

UTILIZAÇÃO DO ARDUINO NO DESENVOLVIMENTO DE UM EXPERIMENTO DIDÁTICO PARA DISCUSSÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO

USE OF ARDUINO IN THE DEVELOPMENT OF A DIDACTIC EXPERIMENT TO DISCUSS THE PHOTOELECTRIC EFFECT IN HIGH SCHOOL

Thiago Vicente de Assunção¹, Charles Teruhiko Turuda²

Recebido: setembro/2018 Aprovado: junho/2020

Resumo: A pouca difusão da experimentação no Ensino Médio é uma das dificuldades associadas ao ensino de Física Moderna. O Efeito Fotoelétrico é um dos fenômenos mais importantes e, igual a outros fenômenos dessa área do conhecimento, não é passível de observação direta. Pesquisas do Ensino de Ciências mostram que a demonstração e a construção experimentais são essenciais para contemplar os diferentes perfis dos estudantes. Diante disso, o presente artigo propôs o desenvolvimento de um objeto didático, com materiais de baixo custo, destinado a discussões relativas ao Efeito Fotoelétrico. No desenvolvimento do instrumento, utilizou-se, além de componentes básicos da eletrônica, uma placa de prototipagem, minipainéis solares e resistores com resistência elétrica dependente da luz incidente. O presente artigo apresenta os procedimentos experimentais e os resultados, indicando que o objeto didático pode servir de suporte para discussões acerca do Efeito Fotoelétrico.


Palavras-chave: experimento, Efeito Fotoelétrico, objeto didático, Física Moderna.


Abstract: The low diffusion of experimentation in high school is one of the difficulties associated with the teaching of Modern Physics. The Photoelectric Effect is one of the most important phenomena and, like other phenomena in this area of knowledge, it is not subject to direct observation. Research on Science Education shows that experimental demonstration and construction are essential to contemplate the different students' profiles. Considering this, this article proposed the development of a didactic object, with low-cost materials, intended for discussions related to the Photoelectric Effect. In the development of the instrument, in addition to basic electronics components, a prototyping plate, solar mini-panels and resistors with electrical resistance dependent on the incident light were used. This article presents the experimental procedures and the results, indicating that the didactic object can serve as support for discussions about the Photoelectric Effect.

Keywords: experiment, Photoelectric Effect, didactic object, Modern Physics.

1. Introdução

Atualmente, vive-se em um mundo influenciado e controlado pela ciência e pela tecnologia. Notadamente, é necessário estar atualizado para interagir com essa sociedade e intervir nela. Essa perspectiva tem atribuído cada vez mais responsabilidades aos professores, já que estes são os mediadores entre o conhecimento e os estudantes e um filtro que separa os conteúdos significativos daqueles sem valor, nessa época demasiadamente informativa. O que

¹  0000-0002-1833-8144 – Mestre em Ensino das Ciências pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Professor de Física do Colégio Incentivo, Recife, Pernambuco, Brasil. Rua Lorena, 598, Jardim São Paulo, CEP: 50790-030, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: tva.assuncao@gmail.com

²  0000-0003-4591-9670 – Licenciado em Física pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor de Física do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), Vitória de Santo Antão, Pernambuco, Brasil. Caixa postal 235, Vitória de Santo Antão, Pernambuco, CEP: 55.602-970. E-mail: charles.turuda@gmail.com

tem preocupado os pesquisadores da Educação é justamente o método de como levar inovação para dentro das salas de aula sem se desvincular dos objetivos da educação científica.

Se, de um lado, existe a preocupação dos professores com a relação entre escola e sociedade, por outro lado, na perspectiva dos aprendizes, muitas vezes, o ensino não tem atribuído significados aos conhecimentos. Uma consequência disso é que os estudantes têm perdido o interesse pelas disciplinas escolares. Fourez (2003) diz que essa falta de apreciação também se estende aos cursos técnicos e superiores devido ao fato de os alunos não compreenderem como os conhecimentos científicos escolares construídos no sistema acadêmico se relacionam com as práticas diárias. Segundo Auler (2013) e Cupani (2011), nesse contexto, a sociedade está imersa em uma cultura que depende cada vez mais da ciência e da tecnologia e a escola encontra dificuldades para cumprir sua missão de proporcionar o conhecimento científico necessário aos aprendizes a fim de que tenham capacidade de interagir com seu meio e intervir nele de forma crítica e consciente, participando de decisões políticas e contribuir para melhoria do todo.

Assim, existe a necessidade de uma melhor compreensão das ciências, de forma geral, e dos fenômenos físicos, de maneira específica, sendo esta última o foco do presente artigo. Dentre outras coisas, essa desejada compreensão de um fenômeno físico é mediada pela linguagem e, dentro dela, há a explicação. Martins, Ogborn e Kress (1999) identificaram seis momentos relacionados à construção de significados a partir da explicação, sendo eles: 'Criar Diferenças'; 'Construir Entidades'; 'Transformar o Conhecimento'; 'Atribuir Significado ao que é Material'; 'Fontes da Variação' e 'Estilos'. Os quatro primeiros momentos se relacionam fortemente com o processo de transposição didática, onde o professor adapta o conhecimento e a linguagem para torná-los acessíveis e interessantes para os alunos. Já os dois últimos associam-se ao perfil do professor e a sua capacidade de estimular o diálogo em sala de aula. O presente estudo está mais alinhado com o quarto momento que, segundo os autores supracitados, considera que "a função de uma demonstração é levar os estudantes a ver as coisas como as teorias dizem que elas são" (Ibid., 1999, p. 33).

Assunção e Nascimento (2017), Caruso e Freitas (2009), Laudares et al. (2014), Boff, Bastos e Melquiades (2017), Vivas, Teixeira e Cruz (2017) e Laburú (2005) mostraram a atividade didática experimental como poderosa ferramenta na aquisição de conhecimentos pelo estudante. Quando se trata da inserção de Física Moderna e Contemporânea nas salas de aula, vários trabalhos – tais como de Mesquita (2011), Lozada (2007), Ostermann e Moreira (2001), Ostermann e Moreira (2000), Pietrocola e Ofugi (2000), Terrazzan (1992), Cavalcante (1999), Cavalcante e Tavolaro (2004) e Valadares e Moreira (1998) – discutem sua importância para o aluno.

O presente artigo propõe a construção de um experimento simples e de baixo custo que permita aos alunos do Ensino Médio observar e discutir o Efeito Fotoelétrico, considerado um dos fenômenos mais importantes para a Física Moderna. Albert Einstein explicou esse fenômeno, que não era bem descrito pela Física Clássica devido às limitações dela.

Assim, teve-se como objetivo mostrar empiricamente que a intensidade de luz não é o único fator importante na produção da corrente fotoelétrica. Igual a outros fenômenos da Física

Moderna, o Efeito Fotoelétrico não é passível de apreciação a olho nu e isso torna seu estudo demasiadamente abstrato para os estudantes do Ensino Médio. Apesar de a literatura trazer trabalhos relevantes acerca do uso de simulações computacionais para explicar fenômenos físicos – tais como Studart (2015), Leão e Souto (2015) e Pimentel (2018) –, não são todas as escolas que dispõem das ferramentas necessárias para receber esse tipo de tecnologia. Além disso, Assunção e Nascimento (2019, p. 28-29) afirmam que a demonstração e a construção experimentais são estratégias fundamentais no desenvolvimento de uma sequência didática que contemple todos os perfis de alunos. Segundo os autores supracitados, a observação do fenômeno pode ser feita através de “*experimentos concretos*, simulações computacionais ou aula de campo, e, junto a isso, reflexão sobre o que está sendo observado” (grifo feito pelos autores). Assim, o experimento desenvolvido nesse estudo, denominado de ‘objeto didático’, traz consigo a capacidade de alavancar discussões a respeito do Efeito Fotoelétrico.

2. Um breve relato sobre o Efeito Fotoelétrico

Quando um feixe luminoso incide sobre a superfície de um metal, ela pode liberar elétrons. Parte da energia luminosa incidente total é transformada em energia cinética dos elétrons liberados. Denominou-se essa emissão de elétrons devido à incidência de luz de Efeito Fotoelétrico.

Segundo Eisberg e Resnick (1979), Caruso e Oguri (2006) e Nussenzveig (1998), em 1887, Heinrich Hertz observou o fenômeno. Ele notou que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre de maneira mais fácil ao se incidir luz ultravioleta sobre eles. Em seguida, Lenard, acompanhando os estudos de Hallwachs, mostrou que essa facilidade ocorre porque a luz ultravioleta faz com que elétrons sejam emitidos pela superfície do cátodo. Posteriormente, Lenard levantou uma série de resultados experimentais apresentando características contraditórias com as previsões da Física Clássica. Esses resultados, de acordo com Caruso e Oguri (2006), podem ser organizados da seguinte forma:

- A ocorrência ou não da emissão de elétrons independe da intensidade de luz incidente;
- Havendo a emissão, a intensidade de corrente é proporcional à intensidade da luz incidente, quando a frequência e o potencial retardador são mantidos constantes;
- A ocorrência ou não da emissão de elétrons depende da frequência da luz;
- Para cada metal, há um limiar de frequência para a emissão ocorrer e o potencial de corte independe da intensidade da luz;
- A energia cinética dos elétrons emitidos cresce com a frequência da luz incidente.

Na teoria clássica, a energia de uma onda eletromagnética depende apenas de sua amplitude e independe da sua frequência e, equivalentemente, do seu comprimento de onda. A amplitude da onda eletromagnética é a grandeza correspondente à intensidade luminosa.

Em 1905, Einstein propôs um modelo teórico para a luz aplicada ao Efeito Fotoelétrico e que explicava todas essas observações. Ele supôs que a radiação é quantizada em espécies de

pacotes concentrados, mais tarde chamados de fótons. A energia de um fóton se relaciona com sua frequência f pela expressão:

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

onde h é a constante de Planck e f é a frequência do fóton emitido. Einstein supôs também que, no Efeito Fotoelétrico, um fóton é completamente absorvido pelo elétron. Esse elétron, quando emitido da superfície do material, possui uma energia cinética (K) dada por:

$$K = h \cdot f - W \quad (2)$$

em que $h \cdot f$ é a energia do fóton absorvido e W é o trabalho necessário para remover o elétron do metal. Em outras situações, W é denominado de função trabalho, que é a energia mínima necessária para o elétron libertar-se da superfície do metal, escapando das forças atrativas do material. Deve-se notar que, se o fóton tem energia menor do que a função trabalho, não há emissão de elétrons. Isso explica a frequência de corte. Millikan obteve experimentalmente dados corroborando com a teoria de Einstein; dedicação que lhe rendeu o prêmio Nobel de Física em 1923.

Segundo a teoria quântica, a intensidade de luz tem relação com o aumento de corrente fotoelétrica. Todavia, essa relação entre intensidade de luz e corrente elétrica não é uma relação linear, existem outras variáveis implícitas como, por exemplo, a energia do fóton emitido pela fonte luminosa. Cada espectro de luz contém informações precisas e particulares que se distinguem entre si, interferindo no produto que é a energia do fóton emitido. Assim, e de acordo com Eisberg e Resnick (1979), o aumento da intensidade de luz não interfere linearmente no aumento da energia do fóton emitido que, por sua vez, varia diretamente com o comprimento de onda do espectro de luz.

3. Materiais e metodologia

Inicialmente, construiu-se um modelo virtual do objeto didático para servir de orientação no desenvolvimento do instrumento almejado. Assim, fez-se seu modelo espelho com auxílio do software *SketchUp Pro 2016*. Na Figura 1, representa-se a ideia básica para a montagem do equipamento.

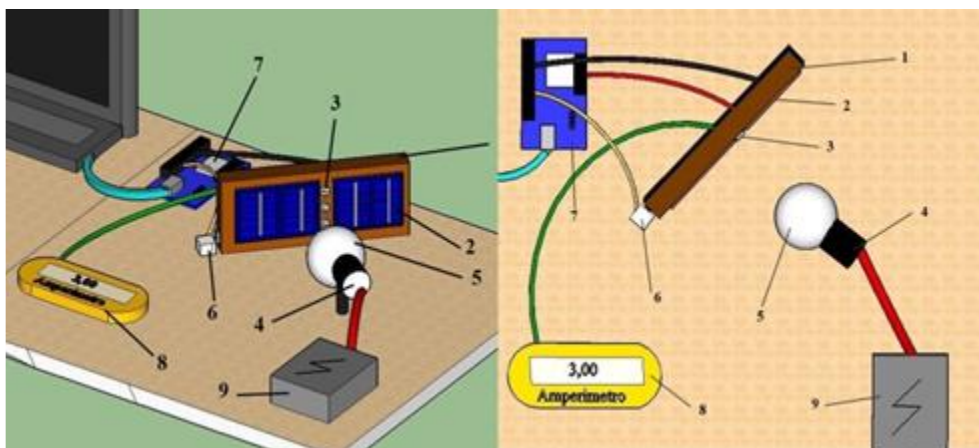


Figura 1 - Esquema base utilizado na montagem do experimento. (Fonte: autores).

Segundo a numeração adotada na Figura 1, utilizou-se um anteparo de forro de PVC reciclado (1) e, acoplado a este, além dos fios de comunicação, há dois pequenos módulos fotovoltaicos (2), três sensores de luminosidade (fotorresistor ou *Light Dependent Resistor* - LDR) (3) e um motor para a inclinação do anteparo (6). Atrás do anteparo existe uma placa de Arduino (7) conectada diretamente a um *notebook* e, ao lado, é possível identificar um multímetro (8), com a função de amperímetro, que é utilizado para medir a corrente gerada nos terminais dos módulos fotovoltaicos. Defronte do amperímetro há um soquete (4) sustentando uma lâmpada (5) e todo este conjunto está ligado em uma fonte de 220 V (9). Essa organização é fundamental na coleta das informações geradas na interação entre a lâmpada e o sistema acoplado no anteparo.

Para a montagem do objeto didático representado pelo esquema (Figura 1), utilizaram-se materiais de baixo custo, além de dois minipainéis fotovoltaicos. As características dos materiais que compõem a montagem do objeto didático são dadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação dos materiais utilizados no desenvolvimento do objeto didático.

Material	Quantidade	Característica
1. Anteparo	1	PVC (120 x 90 cm)
2. Mini fotocélula	2	60 x 90 cm
3. Fotorresistor	2	5 mm
4. Suporte para lâmpada	1	-
5. Lâmpada	3	LED, fluorescente e incandescente
6. Motor servo	1	9 g, SG90
7. Placa Arduino	1	UNO, genuíno
8. Medidor de corrente	1	-
9. Fonte	1	9 V
-. Resistor	1	10 K Ω
-. Potenciômetro	1	10 K Ω
-. Computador	1	-
-. Fios	-	-
-. <i>Protoboard</i>	1	-
-. Fita isolante	1	-

Segundo McRoberts (2011) e Souza et al. (2011), o *software* do Arduino utilizado possui bibliotecas bem definidas e é possível a compilação de códigos concomitantes. Assim, no presente estudo, fez-se a junção de dois códigos com funções diferentes, sendo eles: (i) o que controla o servo motor e (ii) o que codifica os sinais do fotorresistor ou *LDR*.

Inicialmente, para tornar os resultados mais significativos, obtiveram-se as informações do ambiente em situações determinadas: luz ambiente durante o dia, luz artificial e com ausência de luz (escuridão total). A coleta de dados nesses ambientes contou com a utilização de uma programação específica, tal como descrita no Anexo 1.

Em um ambiente onde há entrada de luz natural, existirá variação na luminosidade detectada e apresentada pelo *software*. Se o proponente da atividade experimental não tomar conhecimento da sua existência, essa variação pode ser um empecilho para concretização dos objetivos propostos. Nessa etapa, inseriu-se o objeto didático em um recipiente vedado e isolou-se todo o conjunto em uma sala sem fontes luminosas. Posteriormente, obteve-se o mesmo efeito vedando-se apenas o objeto didático, sem a necessidade de se utilizar uma sala escura. A obtenção dos dados da resposta do LDR na ausência de luz é uma das partes mais essenciais para a validação do objeto didático, pois, a partir dela é possível identificar se existe algum problema no equipamento.

Após a programação no *software* do Arduino, utilizando o sistema de códigos apresentado no Anexo 2, fez-se a montagem do instrumento. Na Figura 2, representa-se o arranjo básico para o projeto que, inicialmente, realizou-se na plataforma *online tinkercad*, por permitir o uso de uma simulação do funcionamento do objeto didático com o seu respectivo código.

Para compreender melhor o arranjo apresentando na Figura 2, esclarece-se o significado de alguns termos técnicos. Quando se utiliza o termo 'porta', faz-se referência a um espaço no dispositivo que permite a entrada ou a saída de alguma informação através de fios. Assim, a porta de 5 V permite a saída de uma tensão nesse valor. Utiliza-se a porta de comunicação para trocar informações (códigos) entre o Arduino e algum componente. Na Figura 2, os fios coloridos possuem características específicas. O fio verde é o que indica comunicação, portanto conectado à porta de comunicação. O fio vermelho, por outro lado, é a fase da alimentação alternada e deve ser conectado à porta de tensão. Por fim, o fio preto é o neutro e deve ser conectado ao filtro Graduado de Neutra Densidade (porta GND). O *protoboard* é uma placa de ensaio com conexões, sua principal função é ampliar as portas da placa de Arduino e permitir a conexão entre mais elementos.

Como se mostra na Figura 2, o servo motor é conectado à alimentação, que é a porta de 5 V, e à porta GND. Sua comunicação¹ é conectada à porta digital ~5. Já o potenciômetro é conectado à alimentação, porta 5 V e ao GND, e a sua comunicação é conectada na porta analógica A0. Nota-se que as portas do Arduino, GND e 5 V, são conectadas no *protoboard* possibilitando a conexão de mais de um elemento em uma mesma porta.

Ainda com relação à Figura 2, o fotorresistor é conectado ao resistor de 10 kΩ e à porta analógica A1. A extremidade livre do fotorresistor é conectada à fonte de 5 V enquanto a extremidade livre do resistor é ligada ao GND.

¹ A porta de comunicação é responsável pelo envio das ordens estabelecidas na programação.

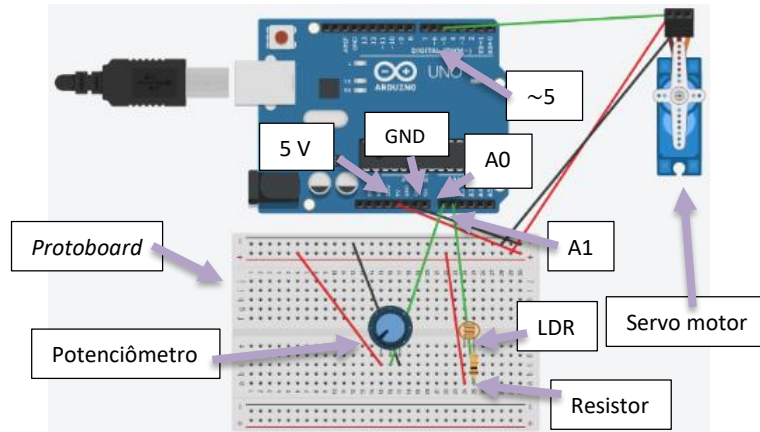


Figura 2 - Pré-montagem do objeto didático para identificação de possíveis erros. (Fonte: autores)

O LDR é uma das peças básicas para o funcionamento do objeto didático, por sua capacidade de capturar e enviar os dados luminosos para o Arduino. Ele é um dispositivo semicondutor dotado de dois terminais e a característica de possuir uma resistência que varia à medida que a luz incide sobre ele. Seu funcionamento é explicado pelo Efeito Fotoelétrico. Assim, quando o LDR é exposto a um feixe luminoso, elétrons livres passam a existir, fazendo sua resistência diminuir. Em contrapartida, reduzindo-se o feixe luminoso, começa a faltar elétrons livres, aumentando-se a resistência do LDR. Além disso, como informam Júnior Mendes e Junior Stevan (2013) e Xiao-Yuan et al. (2012), por ser um dispositivo não polarizado, a corrente pode fluir nos dois sentidos possíveis. Quando se conecta esse tipo de elemento ao Arduino, tem-se a base para o objeto didático desenvolvido neste artigo. Ao ligar uma das extremidades do dispositivo LDR à alimentação do Arduino e a outra extremidade à porta analógica e, em seguida, submeter o esquema à luz, a informação de tensão coletada pela porta analógica é produto da tensão inicial de 5 V. Portanto, os dados de tensão apresentados nos resultados são produtos da tensão resultante do esquema: Fonte (5 V) + LDR + resistor.

Se o funcionamento do LDR é explicado pelo Efeito Fotoelétrico, por que não ensinar esse fenômeno apenas, diretamente e através daquele elemento? Ocorre que o LDR possui uma diferença energética muito pequena entre a banda de valência e a banda de condução, tornando-se extremamente sensível a qualquer variação de energia e, portanto, de frequência luminosa. Montar o objeto didático com os demais elementos permite um *gap* mais elevado, atuando como uma espécie de filtro de energia. Desse modo, pode-se estudar experimentalmente a não existência de uma relação linear entre corrente fotoelétrica e intensidade de luz, algo impraticável usando-se apenas o LDR.

Sob alguns aspectos, essa questão anterior é uma vantagem do experimento concreto em relação a uma simulação computacional. Nessa, preocupações práticas como a da sensibilidade energética, podem não surgir.

Após o término da verificação de possíveis falhas na programação do *software* do Arduino, iniciou-se o desenvolvimento da parte física do objeto didático. Esta, por sua vez, é caracterizada pela montagem dos painéis no anteparo feito de forro PVC. Cortou-se o forro com

as dimensões apresentadas na Tabela 1 para que se ajustasse aos módulos fotovoltaicos e aos LDR. Assim, além dos cortes, fizeram-se pontos de perfuração para a colocação dos periféricos (fios etc.) dos painéis e os fotorresistores.

Sabe-se que as lâmpadas têm suas características particulares baseadas em, pelo menos, duas variáveis: fluxo luminoso e potência. Esses parâmetros são pré-definidos pelo fabricante. Entende-se como fluxo luminoso a quantidade de luz total emitida por uma fonte luminosa e sua unidade é o lúmen, como dizem Miyashiro (2016) e Souza, Rocca e Ferreira (2017). Assim, como as lâmpadas diferem uma das outras, selecionaram-se três tipos de lâmpadas, sendo elas: LED (L), incandescente (I) e fluorescente (F) com diferentes parâmetros para possibilitar as discussões sobre a relação entre intensidade de luz, frequência da luz e corrente fotoelétrica.

Para saber a resposta do sinal luminoso emitido pelas lâmpadas fluorescente e incandescente, inseriu-se o código *serial.println (LDRValor)*, mostrado no Anexo 2. Esse código orienta o monitoramento da resposta através da plotagem de um gráfico, que corresponde à intensidade de luz emitida pela lâmpada.

A luz ambiental interfere nas leituras do LDR. Devido a isso, é preciso considerar as informações do ambiente antes de realizar a atividade experimental. O que realmente interessa neste trabalho são os dados que a luminosidade fornecida pelos diferentes tipos de lâmpadas pode oferecer na leitura feita pelo objeto didático.

Sabe-se, através de Cedro (2004) e Rocha (2011), por exemplos, que o branco é a mistura de todas as cores do espectro do visível, assim como o preto representa a ausência de luz. Quanto mais branca a luz se mostrar, melhor distribuídas serão as frequências de ondas eletromagnéticas presentes ali. Devido a isso, a luz branca acaba por conter pacotes com níveis de energia menores e tem-se como consequência uma resposta muito baixa de tensão gerada pelos módulos fotovoltaicos. Internamente, essa baixa energia 'E' fornecida ao elétron não supera o mínimo necessário para superar a função trabalho *W*, que é a energia necessária para o elétron ejetar da banda de valência para a banda de condução. No entanto, quando se trata de uma lâmpada que emite feixes de luz com comprimentos de onda bem definidos, os resultados podem mudar. Eisberg e Resnick (1979), Veit et al. (1987) e Kleppner (2004) dizem que, segundo a teoria quântica, a energia do fóton varia de acordo com o comprimento de onda da fonte luminosa de acordo com:

$$E = h \cdot (c/\lambda) \quad (3)$$

4. Análise dos resultados

Dividimos os resultados em duas unidades para facilitar a compreensão do leitor. Na primeira etapa dos resultados – Variação do LDR de acordo com o ambiente –, apresenta-se uma análise inicial do comportamento do leitor LDR em 3 tipos de ambiente. Na segunda parte – Da teoria de Einstein –, tece-se uma discussão mediante a comparação dos dados obtidos com o postulado de Einstein.

- Variação do LDR de acordo com o ambiente
- a. Ambiente com total ausência de luz

Na Figura 3, representa-se a resposta do LDR quando não submetido à luz, ou seja, escuridão total.

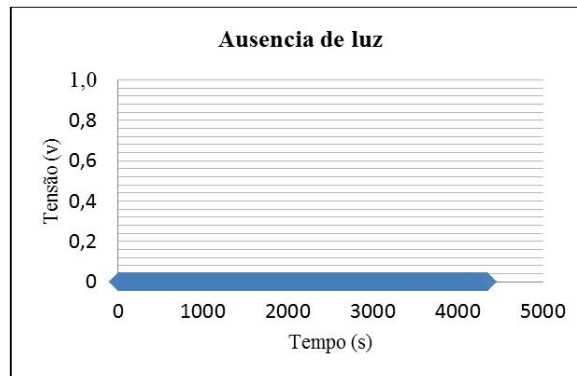


Figura 3 - Variação da tensão em um dado intervalo de tempo para um ambiente fechado e ausente.

Nota-se que, na ausência de luz, não houve tensão detectada. Este fato é esperado mesmo na teoria clássica, pois o elétron não recebe energia alguma para ejetar da superfície do material.

b. Ambiente com entrada de luz solar

Na Figura 4, apresenta-se a variação de tensão detectada pelo objeto didático para um intervalo de 4.350 segundos de coleta de informações de luminosidade de um ambiente parcialmente isolado e com entrada luz solar através de uma janela.

A resposta obtida que apareceu no *layout* do *software* Arduino tinha um intervalo de tempo de, mais ou menos, um segundo. Esse é o resultado da divisão entre a quantidade de dados obtidos pela quantidade de tempo de exposição. Visto que o intuito desta parte é apenas mostrar a variação de tensão em decorrência da variação de luminosidade em um dado intervalo de tempo, essa variável não interfere de forma significativa no estudo.

É possível observar, na Figura 4, uma intensa variação de tensão de saída e, portanto, de luminosidade, em um pequeno intervalo de tempo, apresentando um mínimo de 0,39 V e um máximo de 1,0 V. Essa variação ($1,0\text{ V} - 0,39\text{ V} = 0,61\text{ V}$) é justificada pelas condições ambientais como passagem de nuvens, posição do planeta em relação ao Sol e umidade relativa do ar, dentre outros. Todavia, em um ambiente que dispõe só e somente de iluminação artificial de fontes constantes, essa variação se torna desprezível.

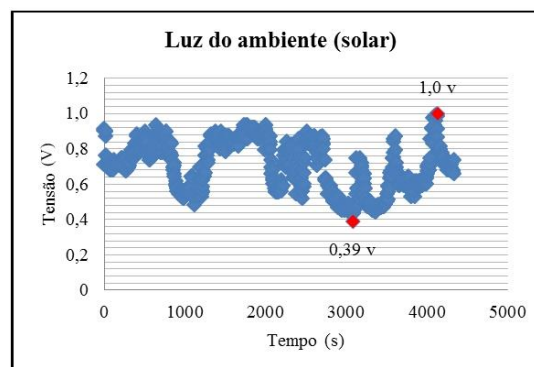


Figura 4 - Variação da tensão em um dado intervalo de tempo para um ambiente iluminado com luz.

c. Ambiente iluminado com luz artificial

O mesmo procedimento e a justificativa descritos no Item 'b' foi feita nesta etapa. Na Figura 5, apresentam-se os resultados da variação de tensão obtida pelo LDR quando submetido a uma luz artificial.

É possível observar, na Figura 5, vários mínimos e máximos locais, indicando que houve variação na tensão detectada pelo *software*. Além disso, nota-se que, diferente dos resultados obtidos no LDR para a luz solar, as variações detectadas para a luz artificial foram dez vezes menores, mostrando uma diferença de 0,06 V entre os pontos mínimo e máximo. Observa-se também vários valores repetidos para a tensão no decorrer do tempo, indicando constância. Essa variação detectada pelo *software* sugere que a lâmpada em questão não produz uma luminosidade fixa.

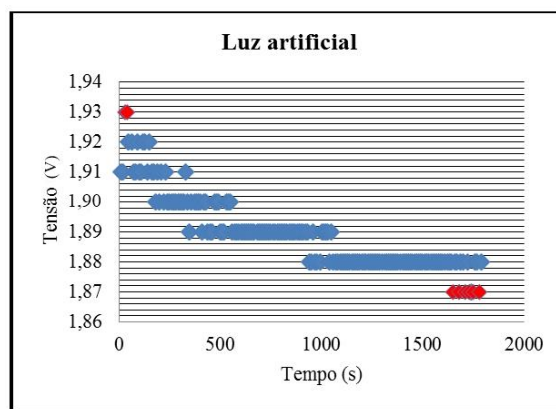


Figura 5 - Variação da tensão em um dado intervalo de tempo para um ambiente fechado iluminado.

- Da teoria de Einstein

Na Tabela 2, apresentam-se as descrições das lâmpadas utilizadas neste experimento e seus respectivos resultados.

É possível observar que a lâmpada L obteve maiores picos de luminosidade e menores variações (Valor máximo – Valor mínimo). O que justifica esse resultado é o seu grande fluxo luminoso que corresponde a, aproximadamente, 880 lm. Já, a lâmpada I obteve o maior valor de consumo, apesar de o seu fluxo luminoso ser o mais baixo. Todavia, a lâmpada I foi a única que provocou o surgimento de tensão através dos minimódulos fotovoltaicos.

Tabela 2 - Representação dos resultados para cada lâmpada utilizada neste experimento.

Material (lâmpada)	Potência (W)	Fabricante	Fluxo luminoso (lúmen)	Tensão gerada no painel solar (volt)	Variação da tensão mostrada no <i>software</i> (ΔU)
Led (L)	8	ALPER	880 \pm 1	0,00	0,01 V
Fluorescente (F)	11	OUROLUX	594 \pm 1	0,00	0,06 V
Incandescente (I)	21	FOCCUS	250 \pm 1	0,05	0,11 V

Fonte: Autores.

Ao tomar a teoria clássica como base teórica para a produção de questionamentos, usando-se os resultados obtidos na Tabela 2, a primeira indagação seria: “a lâmpada L, por possuir maior intensidade de luz, não deveria representar o maior pico de tensão?”. A intensidade de luz gerada pela lâmpada I correspondeu a aproximadamente 1/4 da luminosidade gerada pela lâmpada L e aproximadamente 2/5 da luminosidade gerada pela lâmpada F. Assim, a aplicação dessa atividade iria contra as previsões da teoria clássica, tendo em vista que os dados apresentados não são passíveis de interpretação por meio dela. Isso acontece porque os resultados mostram que não existe uma relação linear entre intensidade luminosa e corrente fotoelétrica, pois, do contrário, a lâmpada L seria responsável pelos maiores picos de tensão.

Na Tabela 2, nota-se que a lâmpada I apresenta um comprimento de onda favorável à produção de fótons mais energéticos que os fótons produzidos pelas lâmpadas L e F. Se a intensidade de luz da lâmpada I é duplicada, a corrente duplicará. Todavia, essa alteração de intensidade não aumenta a energia do fóton emitido, isto é, ao aumentar a intensidade de luz, aumenta-se o número de fótons emitidos pela fonte luminosa. Em termos práticos e tomando como embasamento os resultados obtidos, a alta intensidade de luz da lâmpada L e F não sugere que o fóton emitido tenha uma energia proporcional a essa intensidade e, posteriormente, uma corrente fotoelétrica. Deste modo, mostra-se na prática instrumental uma das objeções proposta por Albert Einstein a respeito do modelo ondulatório clássico da luz.

Nota-se que o objeto didático desenvolvido neste artigo traz discussões a respeito do Efeito Fotoelétrico que podem se enquadrar no nível de complexidade dos assuntos da Física Moderna apresentada pelos livros didáticos utilizados no Ensino Médio, tais como em Guimarães, Piqueira e Carron (2017); Barreto Filho e Silva (2016) e Válio e Molina (2016). Além disso, o instrumento desenvolvido permite a apresentação e discussão dos seus componentes que, facilmente, podem ser encontrados no dia a dia de grande parte dos alunos. Por exemplo, o módulo fotovoltaico que faz parte do grupo das energias renováveis e o LDR que está presente nos postes elétricos e em diversos sistemas de automação.

5. Considerações finais

Este estudo propôs o desenvolvimento de um objeto didático para o ensino do conteúdo Efeito Fotoelétrico utilizando, além do Arduino e dos Módulos Fotovoltaicos, materiais de baixo custo. Os materiais utilizados são facilmente encontrados em *site* ou departamentos de eletrônica.

Na discussão dos resultados encontrados pelo objeto didático é possível observar que existe uma semelhança com a teoria de Einstein a respeito da luz, visto que, ao submeter o conjunto a uma lâmpada de intensidade maior, meramente aumenta-se a intensidade da corrente fotoelétrica. O fato foi detectado pelo sensor LDR e filtrado pelo conjunto de módulos fotovoltaicos. Sendo assim, pode-se afirmar que a metodologia adotada para a construção do objeto didático, assim como os resultados encontrados, está de acordo com a teoria de Einstein para o Efeito Fotoelétrico.

É de conhecimento dos autores que nem todas as escolas possuem laboratório didático, projetor ou *notebook* disponível para os professores e alunos. No objeto didático, a função principal de um *notebook* ou projetor é a exposição de um gráfico de variação de luminosidade. Sendo assim, vale destacar que o objeto didático, quando programado, funciona sem a utilização de um *notebook*. Para essa montagem, basta conectar a placa Arduino a uma fonte de 12 V.

Uma consideração importante é que a manipulação do objeto didático requer alguns cuidados. Os sensores, apesar de resistentes a possíveis quedas, possuem uma comunicação sensível. Assim, após a montagem do objeto didático, é recomendável evitar o contato com seus componentes para garantir uma resposta condizente com objetivo esperado.

6. Referências

ASSUNÇÃO, T. V.; NASCIMENTO, R. R. Avaliação do interesse dos estudantes em relação a atividade experimental e ao conteúdo científico no ensino de física. **Caderno de física da UEFS**, Feira de Santana, v. 15, n. 2, p. 2301.1 – 9, 2017.

_____. O inventário de estilos de aprendizagem de David Kolb e os professores de ciências e matemática. **Gôndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, Colômbia, v.14, n.1, p.14-34, 2019.

AULER, D. Alfabetização científico-tecnológica: um novo "paradigma"? **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 1-16, 2003.

BARRETO FILHO, B.; DA SILVA, C. **Física aula por aula: eletromagnetismo, física moderna**. 3. Ed. São Paulo: editora FTD, 2016.

BOFF, C. A.; BASTOS, R. O.; MELQUIADES, F. L. Práticas experimentais no ensino de física nuclear utilizando material de baixo custo, **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.34, n.1, p.236-247, 2017.

CARUSO, Francisco. OGURI, Vitor. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

CARUSO, F.; FREITAS, N. Física moderna no ensino médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 26, n. 2, p. 355-366, 2009.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Trindade, v. 21, p. 372-389, 2004.

CAVALCANTE, M. A. O ensino de uma nova física e o exercício da cidadania. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 550-551, 1999.

CEDRO, Wellington Lima. **O espaço de aprendizagem e a atividade de ensino: O Clube de Matemática**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CUPANI, Alberto. Acerca de la vigencia del ideal de objetividad científica, **Scientiae Studia**, São Paulo, v.9, n.3, p.501-525, 2011.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Ed. 16. Rio de Janeiro: Campus, 1979. p. 51-58.

FOUREZ, G. **Crise no ensino de ciências?** Investigação em ensino de ciências, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

GUIMARÃES, Osvaldo; PIQUEIRA, José R.; CARRON, Wilson. **Física 3: eletromagnetismo e física moderna**. 2a. ed. São Paulo: Ática, 2017.

JÚNIOR MENDES, José Jair Alves; JUNIOR STEVAN, Sérgio Luiz. **LDR e sensores de luz ambiente: funcionamento e aplicações**. In: SEMANA DE ELETRÔNICA E AUTOMAÇÃO, 2013. Universidade Tecnológica do Paraná, campus Ponta Grossa-PR. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287958715_LDR_E_SENSORES_DE_LUZ_AMBIENT_E_FUNCIONAMENTO_E_APLICACOES>. Acesso em: 15 fev. 2020.

KLEPPNER, D. Relendo Einstein sobre radiação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 87-91, 2004.

LABURÚ, C. E. Seleção de experimentos de física no ensino médio: uma investigação a partir da fala de professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.10, n.2, p.161-178, 2005.

LAUDARES, F. et al. Instrumentação para Ensino de Física da UFRuralRJ: experiências docentes para a introdução tecnológica. **Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria**, Espanha, v. 7, n. 1, p. 51-58, 2014.

LEÃO, M. F.; SOUTO, D. L. P. Objetos educacionais digitais para o ensino de física. **Revista de Tecnologias na Educação**, v. 7, n. 13, p. 1-12, 2015.

LOZADA, C. O. **O essencial invisível aos olhos: uma viagem divertida e colorida pela estrutura da matéria através de uma sequência ensino: aprendizagem para a introdução de física de partículas elementares na 8ª série do ensino fundamental**. 2007. 424 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo.

MARTINS, I.; OGBORN, J.; KRESS, G. Explicando uma explicação. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 25-38, 1999.

MESQUITA, D. S. M. **Matéria e radiação: uma abordagem contextualizada ao ensino de física**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade de Brasília, Brasília.

MIYASHIRO, Mauro Massanori et al. **Avaliação da eficiência energética de lâmpadas LED**. 2016. Dissertação. (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana). Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2016.

McROBERTS, Michael. **Arduino básico**, v. 1. São Paulo: Novatec, 2011.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de física básica: ótica, relatividade, física quântica**. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1998, p. 249-254.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação

inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 135-151, ago. 2001.

_____. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porte Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

PIETROCOLA, M.; OFUGI, C. D. R. Análise de artigos sobre ensino de relatividade restrita pela transposição didática. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 7, 2000, Florianópolis. **Atas...** São Paulo: SBF, 2000, p. 1- 13.

PIMENTEL, Israel F. A. **O uso de simuladores educacionais do Phet como ferramenta para um ensino-aprendizagem mais significativo em física**. (2018). Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física). Patos: Universidade Estadual da Paraíba, 2018.

ROCHA, J. Cor luz, cor pigmento e os sistemas RGB e CMY. **Revista Belas Artes**, São Paulo, 2011.

SOUZA, A. R. et al. **A placa Arduíno: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 1702, 2011.

SOUZA, F. G.; ROCCA, G. A. D.; FERREIRA, F. C. S. Análise de viabilidade econômica da substituição de lâmpadas comuns por econômicas e tecnologia LED em residências. **Revista espacios**, Venezuela, v. 38, n. 51, 2017.

STUDART, N. Simulação, games e gamificação no ensino de Física. In: **XXI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA**, 21, 2015, Uberlândia. São Paulo: SBF, 2015, p. 1-17.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.

VÁLIO, Adriana B.; MOLINA, Madson M. **Ser protagonista: Física**, 3º ano. 3. Ed. São Paulo: SM Ltda, 2016.

VEIT, E. A. et al. O efeito fotoelétrico no segundo grau via microcomputador. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 68-88, 1987.

VIVAS, D. B. P.; TEIXEIRA, E. S.; CRUZ, J. A. L. Ensino de física para surdos: um experimento mecânico e um eletrônico para o ensino de ondas sonoras. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 1, p. 197-215, 2017.

XIAO-YUAN, W. et al. Implementation of an analogue model of a memristor based on a light-dependent resistor. **Chinese Physics B**, China, v. 21, n. 10, p. 108501-1 – 108501-8, 2012.

7. Anexos

Anexo 1 - Programação para a obtenção das informações do LDR relativas a luminosidade local.

```
const int analogInPin = A0;
float sensorValue = 0.000;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  sensorValue = analogRead(analogInPin)*0.0048875;
  Serial.print("Tensao = ");
  Serial.println(sensorValue,2);
  delay(1000);
}
```

Anexo 2 - Programação utilizada no software Arduino.

```
#include <Servo.h>
int LDR = 1;
int LDRValor = 0;
Servo servo1;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  servo1.attach(5);}
void loop(){
  int LDRValor = analogRead(LDR);
  Serial.println(LDRValor);
  delay(500);
  int angle = analogRead(0);
  angle=map(angle, 0, 1023, 0, 180);
  servo1.write(angle);
  delay(15);
```