



Efeito fotovoltaico: uma proposta de construção de experimento de baixo custo para o Ensino Médio e apresentação de algumas estratégias para o ensino

.....

P.J.P. de Oliveira*

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, campus Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil

E. Rodrigues Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, campus Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil

J.C. Madureira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, campus Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil

N.A. Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, campus Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil

F.C. Marques

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, campus Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil

RESUMO

Estamos expostos a muitas tecnologias que só podem ser compreendidas utilizando conceitos de física moderna (FM). O laser e o diodo emissor de luz

*Autor correspondente: P.J.P. de Oliveira. E-mail: paulojoseo@ifes.edu.br.

Endereço permanente: Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Rodovia Br-482 (Cachoeiro-Alegre), fazenda Morro Grande, Caixa Postal 527, 29300-970, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

(LED) são alguns exemplos de dispositivos eletrônicos que são explicados com conceitos de FM. No cenário vigente do ensino de física, encontra-se dificuldade para o ensino de FM devido a, por exemplo, o número reduzido de aulas para explicar conteúdos sobre o tema e a falta de tempo para construir experimentos. Pensando em contribuir para vencer esses desafios, este trabalho apresenta um experimento de baixo custo para estudo do efeito fotovoltaico no Ensino Médio. O experimento possibilita também uma abordagem qualitativa dos conceitos físicos envolvidos no funcionamento de LED, transistor, LDR e do dispositivo Arduino. Tomando o experimento proposto como problematização, o professor pode utilizar o ensino investigativo como estratégia de ensino, sugerindo ao aluno pesquisar, por exemplo, sobre os conceitos físicos e aplicações do efeito fotovoltaico.

Palavras-chave: física moderna; ensino de física; efeito fotovoltaico

.....

1. Introdução

É comum, após as aulas de física, um estudante procurar um professor para conversar a respeito de um assunto que ele viu no jornal, como por exemplo buraco negro, ondas gravitacionais e acelerador de partículas. Esses são alguns exemplos de assuntos que fazem parte da chamada física moderna e contemporânea (FMC). Neste trabalho, como forma de simplificação, usaremos simplesmente o acrônimo FM (física moderna) para nos referirmos à FMC.

A física desenvolvida a partir de 1900 é chamada de FM. Microscópio eletrônico e tunelamento, raios X, transistores, semicondutores, laser, supercondutividade, Grafeno, GPS, ressonância magnética, bomba atômica são exemplos de dispositivos desenvolvidos durante esse período. Chama a atenção o fato de esses conteúdos quase não serem abordados no Ensino Médio, conforme afirmam Jardim, Guerra e Chris-

pino [1, p.3]:

Focada basicamente em estudos que vão pouco além da mecânica clássica, a física do Ensino Médio não apresenta agentes motivadores para um aluno que se vê diante de uma física que não se dispõe à discussão ou modificações e, não lhe permite compreender a atualidade que lhe é exposta no cotidiano. Questões científicas mais interessantes a esse alunado podem ser encontradas na internet, revistas de divulgação, reportagens exibidas em telejornais e documentários na televisão (...), mas não em sala de aula. Essa distância parece incoerente com os interesses atuais.

Dentre os motivos que explicam esse cenário, podemos citar: deficiência na formação inicial e continuada dos professores, tempo insuficiente disponibilizado para as aulas de física, desmotivação dos professores devida aos baixos salários, sobrecarga de atividades de preparação e elaboração de aulas e provas, a não abordagem da FM no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e também a imagem dos alunos de que a física é algo difícil de aprender [2].

Sobre a falta de tempo para preparação das aulas, Loch [3, p.77] afirma que “o dilema entre quantidade e profundidade dos conteúdos, entre tentar cumprir o programa previsto para o Ensino Médio ou aprofundar alguns tópicos parece incomodar um pouco os professores [...]”. Neto, Oliveira e Siqueira [2, p.72] relatam que “Essa realidade é observada devido ao pouco tempo das aulas de física, logo, os professores

se veem obrigados a excluir alguns conteúdos e selecionar outros”.

Uma situação que reforça esse cenário é a situação das aulas práticas, como afirma Algeu [4]:

Devido a falta de investimento e escassez de recursos financeiros enfrentados, as escolas da rede pública geralmente não têm laboratórios equipados adequadamente e disponíveis para a prática do ensino de física. Somado a isto, os fenômenos quânticos envolvem escala muito pequena (tamanhos atômicos ou até subatômicos), introduzindo dificuldades adicionais à montagem de experimentos de baixo custo em sala de aula. Considere-se ainda o fato de que os equipamentos direcionados para a prática experimental de quântica terem custos elevadíssimos e, em alguns casos, exigirem um especialista para manuseio.

Mesmo diante dos desafios mencionados acima, a inclusão da FM no Ensino Médio com a mesma ênfase da física clássica (FC) é defendida por muitos autores. Dominguíni [5, p. 2502] relata que a FM deve:

ser ministrada com a mesma ênfase que é dada aos carrinhos e bloquinhos da dinâmica ou mesmo dos espelhos e lentes da óptica. Não podemos mais estar à mercê de conteúdos com quase 150 anos de atraso. O avanço das tecnologias nos mostra que, cada vez mais, necessitamos de conhecimentos avançados. As tecnologias atuais não são mais baseadas tão somente nas leis de Newton, mas também em um conhecimento muito mais profundo.

Essa realidade está longe de atender às Orientações Curriculares Nacionais [6] e aos Parâmetros Curriculares Nacionais [7], que defendem a inserção da FM no Ensino Médio [5].

Portanto, neste trabalho apresentamos um experimento de baixo custo sobre o efeito fotovoltaico (EFV), bem como uma orientação para a sua utilização em aulas de FM. É importante ressaltar que, apesar de similares, o EFV e o efeito fotoelétrico (EF) são fenô-

menos diferentes. O EF é um fenômeno que ocorre na superfície do material, enquanto o EFV ocorre na parte interna do material. Uma discussão sobre EFV versus EF na Educação Básica pode ser encontrada na referência [8]. Outros experimentos, sobre EFV, também de baixo custo, foram reportados por Da Silva e Assis [9] e Cavalcanti e colaboradores [10]. Um experimento sobre EF foi apresentado também por Silveira e Girardi [11]. A seguir, relatamos um pouco cada experimento e destacamos algumas diferenças em relação ao presente trabalho.

Cavalcanti e colaboradores apresentaram uma explicação bastante acessível sobre a física do EF e do EFV. Também propuseram um simulador do efeito fotoelétrico e um experimento didático para calcular a constante de Planck por meio da física envolvida no diodo emissor de luz. O aparato experimental, funcionamento e proposta de aplicação do presente trabalho difere do de Cavanti e colaboradores por conter componentes eletrônicos extras: transistor, LDR (*light dependent resistor*), Arduino e dois resistores.

O experimento de Da Silva e Assis utiliza uma caixinha de som e um controle remoto. O laser do controle remoto é apontado para um LDR e a caixinha de som emite um barulho, que, segundo os autores, se assemelha ao som produzido por um helicóptero, despertando a curiosidade dos alunos em tentar entender o que está acontecendo. As diferenças da presente proposta em relação à de Da Silva e Assis são relatadas a seguir: a caixinha de som foi substituída por um transistor, a luz do laser foi substituída pela luz do ambiente, os resistores utilizados foram diferentes e foi incluído o Arduino. Dessa maneira, o aparato experimental utilizado no nosso experimento, bem como seu funcionamento, são diferentes em relação aos do trabalho de Da Silva e Assis.

Silveira e Girardi construíram uma célula fotoelétrica de baixo custo e o aparato experimental permite trabalhar os aspectos quantitativos do efeito fotoelétrico. Nosso experimento envolve o EFV e permite trabalhar aspectos qualitativos do fenômeno.

O Arduino consiste em uma plataforma de prototipagem em eletrônica e tem como objetivo facilitar o desenvolvimento de projetos, desde os mais simples aos mais complexos [12]. Com essa plataforma é possível controlar diversos sensores, motores, leds, dentre vários componentes eletrônicos. Um pon-

to forte do Arduino é o fato de não exigir um conhecimento vasto de eletrônica e permitir desenvolver projetos com um custo relativamente baixo. Existe muito material disponível na internet sobre Arduino. Na Ref. [13] é apresentada uma sugestão de apostila que pode ser baixada gratuitamente para auxiliar na configuração e em dar os primeiros passos no Arduino.

A proposta de aplicação de nosso circuito é servir como um pequeno simulador de acendimento automático das luzes dos postes de rua e das residências.

O EF e o EFV são temas bastante interessantes de abordar em uma turma do Ensino Médio, pois, além de terem várias aplicações, permitem ensinar de forma qualitativa os conceitos físicos.

Neste trabalho, apresentamos um experimento de baixo custo construído para explicar aspectos qualitativos dos EFV. Apesar de o experimento não tratar do EF, ele pode auxiliar o professor na hora de explicar a diferença entre EF e EFV. Finalmente, também apresentamos algumas estratégias de ensino que podem ser utilizadas na sala de aula, a partir do experimento proposto.

2. Materiais e Métodos

Abaixo listamos os materiais utilizados para construir o circuito e em seguida o desenho do circuito (ver Fig. 1).

- 1 resistor de 100 k Ω ;
- 1 resistor de 1 k Ω ;
- 1 Arduino UNO;
- Placa de ensaios eletrônicos (Proto-board/Breadboard);
- Jumpers de ligação;
- 1 transistor BC548C (transistor de uso geral, tipo npn);
- LDR; Modelo: GL5528 com diâmetro de 5mm;
- 1 LED branco.

2.1. Montagem e funcionamento do circuito

O circuito da Fig. 1 consiste em utilizar um transistor operando como chave eletrônica acionada por um sensor LDR. É o acionamento/interrupção dessa chave que fará com que o LED acenda/apague. O sensor LDR possui uma resistência variável com a intensidade luminosa, apresentando valores entre 8 k Ω e 20 k Ω quando o ambiente está iluminado (~10 lux) e de 1 M Ω (1.000 k Ω) no ambiente escuro. Assim, quando o ambiente está escuro, a resistência do LDR aumenta, acionando o transistor e fazendo com que o LED bri-

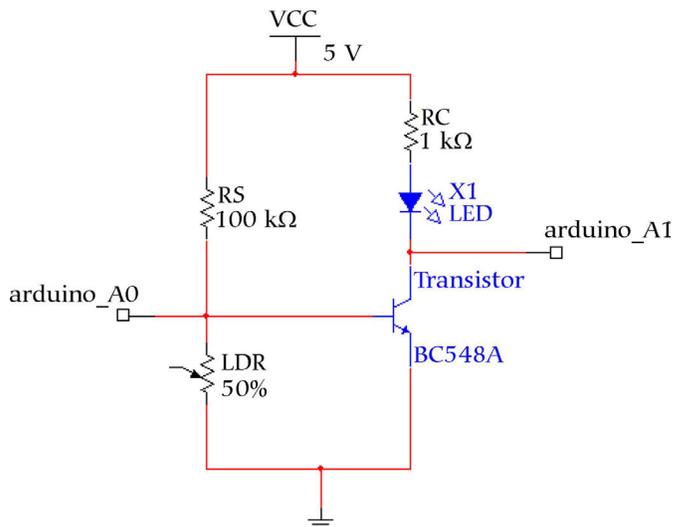


Figura 1 - Circuito utilizado no presente trabalho.

lhe. Quanto mais escuro o ambiente, maior a intensidade luminosa. Por outro lado, quando o ambiente estiver claro, a resistência do LDR diminui, o transistor interrompe a passagem de corrente e o LED apaga. Nas Figs. 2 e 3, mostramos as duas situações: ambiente escuro (LED aceso) e ambiente claro (LED apagado).

À medida que a sala vai ficando mais clara, verifica-se que o brilho da lâmpada vai diminuindo. O circuito funciona com uma tensão de corrente contínua (VCC) de 5 V e poderia também ser montado sem o computador e o Arduino. No lugar do Arduino, que funciona em uma voltagem de 5 V, poderíamos usar, por exemplo, uma fonte

ou bateria de 5 V, ou três pilhas alcalinas em série de 1,5 V cada, com os mesmos resultados.

No caso de não utilizar o Arduino, devemos desconsiderar no desenho os termos Arduino_A0 e Arduino_A1 e ligar o terminal negativo onde está o símbolo de aterramento e o positivo onde

está desenhado 5 V. Para utilizar o circuito acoplado no Arduino, devemos ligar o Arduino no computador via USB e em seguida ligar o terra do circuito no terminal GND do Arduino e ligar o positivo no terminal 5 V do Arduino. Por fim, ligar Arduino_A0 e Arduino_A1, indicados no desenho, nos respectivos terminais do Arduino. O objetivo da ligação do Arduino_A0 e do Arduino_A1 nas posições indicadas na figura é o Arduino medir as variações de tensão no LDR e no LED. A Fig. 4 mostra em detalhes as ligações no circuito com Arduino:

Na Fig. 5, para facilitar a visualização, apresentamos uma foto do circuito, montado na placa protoboard.

Basta ligar uma fonte de 5 V nos fios marrom e preto para o circuito funcionar. Para realizar as medidas de tensão no LDR e no LED, ligamos o circuito no Arduino. Para isso, foi necessário compilar um programa na plataforma IDE do Arduino. Na Fig. 6, mostramos o programa que utilizamos:

A Fig. 7 mostra as medidas de tensão no LDR e no LED realizadas pelo Arduino: como se pode perceber, os

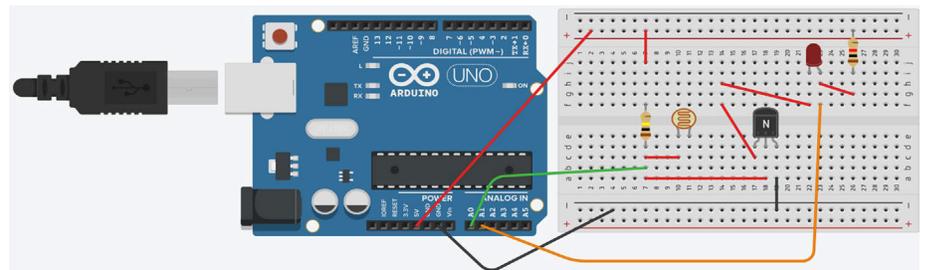


Figura 4 - Detalhes das ligações do circuito com Arduino.

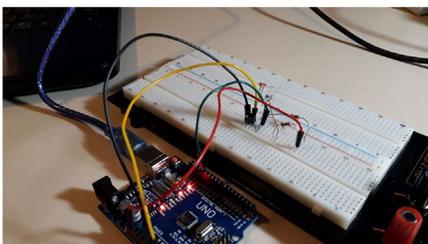


Figura 2 - Mostra o circuito na sala com a luz acesa.

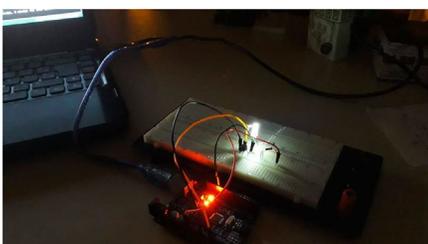


Figura 3 - Mostra o circuito na sala com a luz apagada. Pode-se notar a intensidade do LED.

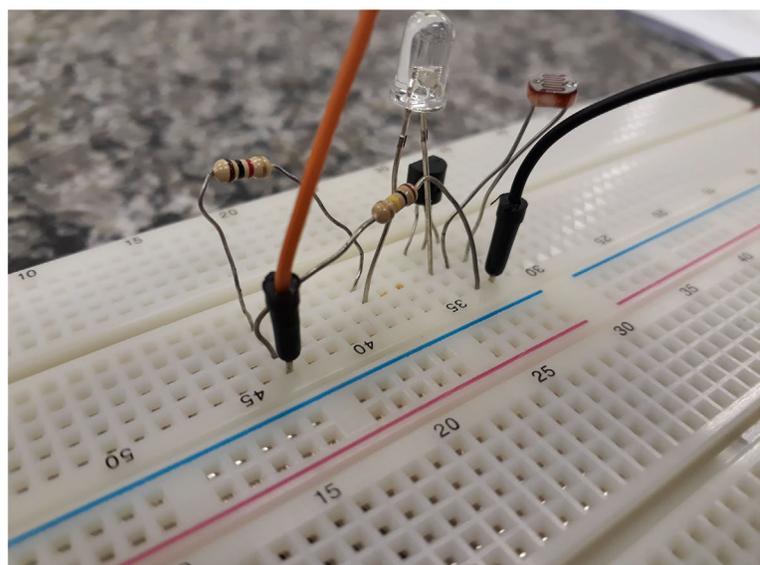


Figura 5 - "Vista" de perto do circuito montado.

```

#define AnalogLDR A0 // define pino analógico A0
#define AnalogLED A1 // define pino analógico A1

int Leitura = 0; // variavel inteiro igual a zero
int Leitura1 = 0; // variavel inteiro igual a zero
float VoltageLDR; // variavel numero fracionario
float VoltageLED; // variavel numero fracionario

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // monitor serial - velocidade 9600 Bps
  delay(100); // atraso de 100 milisegundos
}
void loop()
{
  Leitura = analogRead(AnalogLDR); // leitura da tensão no pino analogico
  A0;
  Leitura1 = analogRead(AnalogLED); // leitura da tensão no pino analogico
  A1;
  VoltageLDR = Leitura*(5.0/1024); // calculo da tensão no LDR
  VoltageLED = Leitura1*(5.0/1024); // calculo da tensão no LED
  Serial.print("Leitura da tensão no sensor LDR = "); // imprime no monitor serial
  Serial.println(VoltageLDR); // imprime a tensão do LDR
  Serial.print("Leitura da tensão no LED = "); // imprime no monitor serial
  Serial.println(VoltageLED); // imprime a tensão no LED
}

```

Figura 6 - Código do programa utilizado neste trabalho.

valores de tensão são diferentes e foram obtidos variando a luminosidade da sala.

Analisando a Fig. 7, é possível notar que o valor de tensão mais alto no LDR é 0,64 V para um valor de tensão 2,8 V para o LED. À medida que diminuíamos a luminosidade do LDR (aproximando o dedo em cima do LDR), a tensão no LDR diminuía enquanto no LED aumentava.

2.2. Estratégias para o ensino com o experimento do efeito fotovoltaico

O LDR no circuito é um fotorresistor que funciona por efeito fotovoltaico, isto é, uma vez exposto à luz, os elétrons do material absorvem os fótons e saltam da banda de valência para a banda de condução, reduzindo a resistividade do material e, consequentemente, aumentando sua condutividade. A estrutura do LDR (Fig. 8) é composta por um material semiconductor - como exemplos, podemos citar o sulfeto de cádmio (CdS) e o sulfeto de chumbo (PbS) - que é colocado na forma de zigue-zague sobre uma superfície cerâmica [16]. O zigue-zague localiza-se entre duas regiões condutoras. O CdS e o PbS são materiais fotocondutivos, isto é, suas resistências variam com a intensidade luminosa.

O dispositivo é revestido com um material plástico, com o objetivo de proteger o fotocondutor de partículas de

poeira, o que poderia afetar seu desempenho. Os fotocondutores (ou fotoresistores) podem ser classificados em dois tipos [16-17]:

- Intrínseco: utiliza materiais semicondutores não dopados, incluindo silício ou germânio. Os fótons (luz) caem no LDR e excitam os elétrons, movendo-os da banda de valência para a banda de condução. Como resultado, esses elétrons são livres para conduzir eletricidade.
- Extrínseco: fabricado a partir de semicondutores de materiais dopados com impurezas. Essas impurezas ou dopantes criam uma nova faixa de energia acima da faixa de valência existente. Como resultado, os elétrons precisam de menos energia para serem transferidos para a banda de condução, devido ao menor intervalo de energia. São mais empregados para operação no espectro do infravermelho.

A resistência elétrica de um dispositivo LDR depende da luminosidade. O gráfico da Fig. 9 mostra a variação da resistência do LDR com a luminosidade em lux (W/m^2) [18]:

Observamos na Fig. 9 que a resistência do LDR diminui com o aumento da luminosidade. Quanto maior a luminosidade que incide no dispositivo, mais elétrons são liberados, aumentando

```

Leitura da tensão no sensor LDR = 0.61
Leitura da tensão no LED = 4.57
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.53
Leitura da tensão no LED = 4.17
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.61
Leitura da tensão no LED = 4.60
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.60
Leitura da tensão no LED = 4.43
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.55
Leitura da tensão no LED = 4.56
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.60
Leitura da tensão no LED = 4.00
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.62
Leitura da tensão no LED = 4.17
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.55
Leitura da tensão no LED = 4.80
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.64
Leitura da tensão no LED = 2.80
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.62
Leitura da tensão no LED = 3.87
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.59
Leitura da tensão no LED = 4.89
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.63
Leitura da tensão no LED = 3.31
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.58
Leitura da tensão no LED = 3.90
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.57
Leitura da tensão no LED = 4.95
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.63
Leitura da tensão no LED = 3.62
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.63
Leitura da tensão no LED = 4.40
Leitura da tensão no sensor LDR = 0.55

```

Figura 7 - Valores de tensão no LDR e no LED.

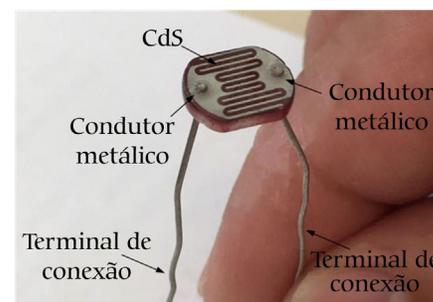


Figura 8 - Detalhes da estrutura do LDR.

do a condutividade e consequentemente diminuindo a resistência do material.

Outro aspecto interessante sobre o LDR é que o intervalo de comprimento de onda onde sua sensibilidade é máxima encontra-se no espectro visível, isto é, comprimentos de onda entre 400 e 700 nm [16, 18]. Fora desse intervalo, a sensibilidade do LDR é baixa, sendo necessário lentes ou outros dispositivos para que o dispositivo possa “captar” a luz incidente [16].

Além da dependência da luminosidade, a resistência do LDR e, portanto, sua condutividade dependem também

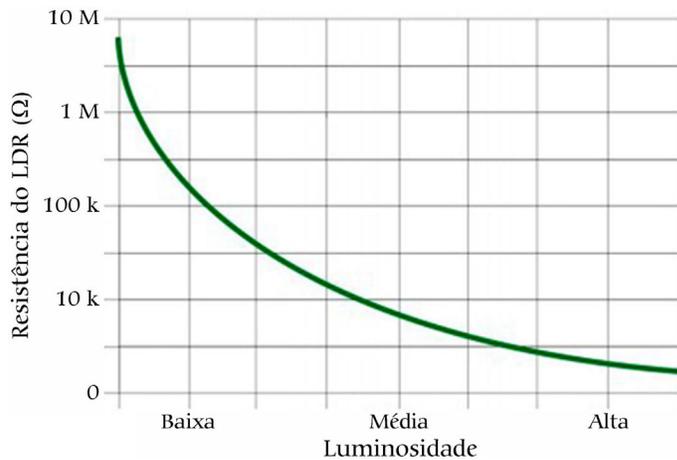


Figura 9 - Resistência vs. luminosidade do LDR. Fonte: Ref. [18].

da temperatura. Um aumento na temperatura provoca uma diminuição na resistência [19]. A relação entre a condutividade e a temperatura é dada pela fórmula [20-22]

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_g/2kT) \quad (1)$$

onde σ é a condutividade; σ_0 é um fator pré-exponencial; E_g é o *band gap* (distância entre a banda de valência e condução); k é a constante de Boltzmann, que possui o valor de $8,1617 \times 10^{-5}$ eV/K, e T é a temperatura em kelvin.

Observando a expressão descrita em (1), verifica-se que um aumento na temperatura provoca também um aumento na condutividade do LDR.

Ao utilizar o LDR, sugerimos que o docente explique os conceitos físicos envolvidos no EFV, bem como o funcionamento do Arduino, ressaltando a importância dessa ferramenta para o ensino de robótica.

Uma sugestão de atividades em uma aula prática para o presente circuito é a utilização de metodologias ativas.

As metodologias ativas colocam o aluno como ator principal do ensino-aprendizagem, oportunizando ao mesmo ser o responsável pela sua evolução no conhecimento, enquanto o professor assume a responsabilidade de auxiliar essa evolução como um mediador, orientando e auxiliando nas dificuldades que o aluno encontrar [14].

Para Moran [23] e Sobral e Campos [24], as metodologias ativas incentivam a participação dos estudantes de modo responsável e comprometido com o processo educacional.

Dentre as várias metodologias ativas, podemos citar: estudo de caso, pedagogia por projetos e por meio da

resolução de problemas [25], aprendizagem por pares [26], ensino por investigação e demonstração de aulas interativas [27].

Uma sugestão de abordagem didática para o experimento proposto neste trabalho é a utilização da metodologia de ensino por investigação (EPI), entendida segundo Paranhos *et al.* [27, p. 124] como:

uma metodologia utilizada no Ensino de Ciências da Natureza, que propõe questões problematizadas e questionadoras proporcionando aos alunos o desenvolvimento de habilidades e capacidades que possibilitem aos alunos pensar, debater e justificar e as suas respostas serão dadas através de conhecimentos teóricos científicos como também através de utilização de fórmulas matemáticas, levando em consideração o conhecimento prévio desses alunos até chegarem ao conhecimento científico. Nessa abordagem o professor tem o papel de guiar, questionar e incentivar o aluno a pensar e chegar a uma conclusão científica, sem dar as respostas prontas.

O EPI permite ao estudante o seu desenvolvimento conceitual e uma compreensão da ciência como uma atividade reflexiva e admite a eles perceber a integração entre fazer ciência, aprender ciência e aprender sobre ciência.

Ainda segundo Paranhos *et al.* [27], a EPI pode ser trabalhada de quatro

maneiras: a) demonstrações investigativas – o professor demonstra por meio de experimento e pede que os alunos cheguem a uma conclusão; b) laboratório aberto – foco na experimentação, e para sua execução são realizados 6 passos; nesse modelo, o professor chega à sala de aula ou laboratório e diz o que pretender atender naquela aula, mas não ajuda os alunos a chegar à resposta final; c) questões abertas – está direcionado à contextualização; por exemplo, o aluno vai relatar sobre determinado tema e nesse texto ele colocará seus conhecimentos cotidianos e científicos, e d) problemas abertos – não envolve o experimento na prática, mas contextualizado, e após as conclusões os alunos atribuem valores matemáticos para argumentar matematicamente o que foi percebido.

Utilizando a EPI como demonstração investigativa, por exemplo, o professor poderia montar o experimento na sala de aula e mostrar seu funcionamento. Em seguida, ele poderia propor as seguintes atividades investigativas para os alunos: a) identificar e explicar o funcionamento de componentes do circuito, como o LDR, o transistor e o LED; b) montar o circuito em uma placa protoboard e verificar seu funcionamento, e c) pesquisar as aplicações do circuito.

3. Conclusões

Tempo insuficiente para trabalhar os conteúdos, baixos salários dos professores, falta de formação inicial e continuada, falta de equipamentos e recursos para as aulas práticas e o fato de o tema não ser cobrado no Exame Nacional do Ensino Médio são alguns fatores que dificultam o ensino de FM nas escolas brasileiras.

Com o propósito de tentar suprir a carência de equipamentos e recursos didáticos, realizamos um experimento de baixo custo para a explicação do efeito fotovoltaico para alunos do Ensino Médio. Além disso, sugerimos algumas estratégias didáticas que o docente poderá utilizar na condução do experimento citado.

Com esse experimento o aluno poderá: a) visualizar e entender uma importante aplicação do efeito fotovoltaico, como o acendimento automático das luzes dos postes da cidade e das residências; b) compreender o funcionamento de dispositivos eletrônicos, como o LED e o transistor; c) conhecer o funcionamento do Arduino, uma importante ferramenta utilizada na robótica.

Com esse experimento, o professor poderá conduzir um ensino por investigação tendo como foco principal o próprio aluno.

Como implicações futuras, sugeri-

mos trabalhar o experimento proposto também com estudantes do Ensino Fundamental e de Ensino Superior. Resaltamos que para utilizar o experimento em outros contextos, com outros

públicos, poderá existir a necessidade de adaptações na metodologia de ensino e/ou no experimento.

Referências

- [1] W.T. Jardim, A. Guerra, A. Chrispino, in: *Anais do Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Manaus, 2011. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T029-11.pdf>, acesso em: 03 de jun. 2020.
- [2] J. G. P. Neto, A.N. De Oliveira, M.C.A. Siqueira, *ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS* **6**, 65 (2019).
- [3] J. Loch, *Física Moderna e Contemporânea no Planejamento de Professores de Física de Escolas Públicas do Estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2011.
- [4] P.A. Algeu, *Tópicos de Física Quântica no Ensino Médio Utilizando Simulações Computacionais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Tocantins, 2018.
- [5] L. Dominguíni, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **34**, 2502 (2002).
- [6] Brasil, *Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (MEC/SEMTEC, Brasília, 2008).
- [7] Brasil, *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+): Ciências da Natureza e suas Tecnologias* (MEC/SEMTEC, Brasília, 2002).
- [8] S. Da Costa Silva, I. J. T. De Aviz, S. M. F. Texeira, W. M. Monteiro, J. R. P. S. Souza, in: *Anais do IV Congresso Nacional-Educação*, Olinda, v. 1, nov., 2017. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/revistas/conedu/resumo.php?idtrabalho=3292>, acesso em: 03 de jun. 2020.
- [9] L.F. Da Silva, A. Assis, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, **29**, 313 (2012).
- [10] M.A. Calvalcante, C.R.C. Tavoraro, D.F. De Souza, J. Muzinatti, *Física na Escola*, **3** (1), 24 (2002).
- [11] S. Silveira, M. Girardi, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e4502 (2017).
- [12] Arduino, Plataforma Eletrônica de Código Aberto Baseada em Hardware e Software, Disponível em: <https://www.Arduino.cc/>, acesso em: 12 de Agosto de 2019.
- [13] Arduino START, Disponível em: <https://www.eletrogate.com/pagina/-apostilas.html>, acesso em 12/8/2019.
- [14] E.D. Ferreira, F.K. Moreira, in: *Anais do XVII Colóquio Internacional de Gestão Universitária*, Mar del Plata, 2017.
- [15] J.J.A.M. Júnior, S.L.S. Junior, in: *Semana de Eletrônica e Automação (SEA)*, UTFPR, Ponta Grossa, 2013.
- [16] E.J. Gonçalves, *Uso de Um Dispositivo LDR Para o Ensino de Semicondutores Fotoresistivos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica do Paraná, 2019.
- [17] Light Dependent Resistor LDR: Photoresistor. Disponível em: <https://www.electronics-notes.com>. Acesso em: 25 de Março de 2020.
- [18] J.A. De Macêdo, L.S. Pedroso, G.A. Da Costa, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **40**, e5403 (2018).
- [19] E. C. A. Cruz, S. Choueri Jr., *Eletrônica Aplicada* (Érica, São Paulo, 2009), 2 ed.
- [20] H.D. Young, R.A. Freedman, *Ótica e Física Moderna* (Person, São Paulo, 2008), 12 ed., p. 310-311.
- [21] A.L.B. Baccaro, Ivano G.R. Gutz, *Química Nova* **41**, 326-339 (2018).
- [22] UFPR, Setor de Ciências Exatas, Disponível em: http://fisica.ufpr.br/LE/roteiros/gap_semi-htm. Acesso em: 27 de Março de 2020.
- [23] M.J. Moran, in: *Coleção Mídias Contemporâneas. Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: Aproximações Jovens. Vol. II*. C.A. Souza e O.E.T. Morales (orgs.) (Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2015), p 15.
- [24] F.R. Sobral, G.J.C. Campos, *Rev Esc Enferm USP* **46**, 208 (2012).
- [25] C. Boghi, M.D. Shitsuka, R. Shitsuka, *Educação & Linguagem* **20**, 143 (2017).
- [26] E. Mazur, in: *Peer Instruction: A Revolução da Aprendizagem Ativa* (Penso, Porto Alegre, 2015).
- [27] M.C. Paranhos, M.L.R. Paranhos, L.C. Filho, J.R. Dos Santos, *Revista UNILUS Ensino e Pesquisa*, **14**, 124 (2017).