

Prática experimental no ensino de semicondutores fotorresistivos

Fabio Rogerio Longen^{1, #}
Edevânio João Gonçalves¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, Medianeira, PR, Brasil.

RESUMO

Materiais semicondutores são um assunto pouco explorado no ensino de física do Ensino Médio, assim como a experimentação, que muitas vezes é deixada de lado, sendo um fator considerável na dificuldade da disseminação dos variados conteúdos de física. Este trabalho apresenta um experimento de um semicondutor fotorresistivo, utilizando um LDR (light dependent resistor) ligado a um circuito composto por peças de baixo custo, demonstrando a variação da resistência e da condutância elétrica desse dispositivo com a variação de luminosidade, caracterizando o material utilizado como um semicondutor fotorresistivo, contribuindo desse modo para a disseminação desse conhecimento no processo de ensino-aprendizagem de física.

Palavras-chave: semicondutor fotorresistivo; resistência elétrica; condutância elétrica; luminosidade; experimento

1. Introdução

Os livros didáticos de ensino de física do Ensino Médio, especificamente o volume três, que trata de eletricidade e magnetismo, abordam os materiais semicondutores de forma muito sucinta, de modo que estes na maioria das vezes não são compreendidos.

Por dificuldades do educador em encontrar materiais elaborados em linguagem conveniente para os educandos do Ensino Médio e principalmente pela falta de experimentação – devido à falta de propostas de experimentos com materiais de baixo custo –, pouco se avança na compreensão do comportamento de materiais semicondutores.

De acordo com Silva [1], as atividades experimentais, ainda raras em todos os níveis de ensino no Brasil, são consideradas um importante complemento às aulas expositivas e ao estudo individual, sendo uma importante contribuição para o processo de ensino-aprendizagem. Seu uso também é apontado por Araújo e Abib [2] como uma importante ferramenta de ensino, indicada pelos professores e alunos como um facilitador na compreensão dos conteúdos, diminuindo a dificuldade na abstração do conhecimento encontrada no ensino tradicional.

Não menos importante é a aproximação do educando com os fenômenos físicos no cotidiano, o mundo real que o envolve e a proximidade da física moderna e contemporânea presentes na evolução tecnológica em seu meio de convívio. Na abordagem do conteúdo

sobre semicondutores fotorresistivos, sendo esse um tópico de física moderna e contemporânea, a demonstração experimental é de fundamental importância para a compreensão do comportamento de um dispositivo LDR (*light dependent resistor*), pois trata-se da observação do comportamento desse dispositivo com relação à variação de sua resistência elétrica quando exposto a uma variação de intensidade de luminosidade.

O objetivo deste artigo é apresentar um experimento simples tendo como protagonista um dispositivo LDR. Trata-se de um experimento de baixo custo, com materiais de fácil acesso comercial e sem riscos no manuseio, tais como descargas elétricas, pois utilizam-se componentes eletrônicos de fácil manipulação.

2. Fundamentação teórica

2.1. O ensino da física moderna e contemporânea no Ensino Médio

Nos veículos de comunicação, observamos novas descobertas científicas e a divulgação de aparelhos modernos, bem como séries e filmes de ficção científica, que ajudam a chamar a atenção dos jovens para a ciência e suas aplicações. Por serem atuais e estarem presentes no cotidiano da sociedade em geral, esses assuntos acabam estimulando os educandos a questionar fenômenos, mas na maioria das vezes é perdida a oportunidade de apresentar seus princípios físicos.

Para Terrazzan [3], os conteúdos da física moderna e contemporânea (FMC)

Apresentamos um experimento de baixo custo, com materiais de fácil acesso comercial e sem riscos no manuseio, tais como descargas elétricas, pois utilizam-se componentes eletrônicos de fácil manipulação

#Autor de correspondência. E-mail: frlongen@utfpr.edu.br.

têm influência direta na compreensão do mundo moderno, bem como no exercício da cidadania, tendo essa justificativa para sua abordagem no Ensino Médio.

Em sua pesquisa, Valadares e Moreira [4] destacam a necessidade de ligação entre física moderna e contemporânea e o cotidiano do educando:

É imprescindível que o estudante do segundo grau conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzirem conceitos básicos de física moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. [4, p.121]

Percebemos a necessidade dessa importante ligação do conceito científico com a realidade vivenciada pelo educando.

O cotidiano vivenciado pelos educandos assume papel fundamental na definição das estratégias de abordagem dos conteúdos previamente definidos como relevantes. Não se restringe apenas ao sistema produtivo e à realidade geral em que vivemos, mas deve ser tratado como forma de satisfação da curiosidade inerente ao ser humano em busca do conhecimento e de preparação do cidadão para uma plena participação na sociedade. [3, p. 213]

Em seu trabalho, Pinto e Zanetic [5] relatam que a física desenvolvida no século XX está distante das aulas dos colégios e que há necessidade de uma transformação no ensino, um ensino que aproxime as tecnologias da FMC, ensinando conhecimentos que contemplem os fenômenos que a física clássica não explica.

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), [6] aprovada pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) em 4 de dezembro de 2018 para o Ensino Médio, na definição das competências específicas e habilidades da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias foram privilegiados conhecimentos conceituais que considerassem a continuidade da proposta do Ensino Fundamental, sua relevância no

ensino de física, química e biologia e sua adequação ao Ensino Médio. Dessa forma, a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias propõe um aprofundamento nas temáticas: Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo.

Em termos educacionais, o tema deste trabalho tornou-se potencialmente significativo por apresentar esse caráter de aproximação da ciência da realidade do educando, mostrando que o conhecimento científico também é uma construção humana, percebida no histórico de evolução dos materiais semicondutores de eletricidade até sua explicação, mostrando a contribuição de vários cientistas que, de forma direta ou indireta, por meio de experimentação e construções teóricas, possibilitaram a compreensão e a explicação desse fenômeno.

É fácil perceber a desmotivação dos educandos em relação a alguns temas da física, como a cinemática, por exemplo, em que a classificação e a análise de tipos de movimentos estão desvinculadas das situações vivenciadas pelos educandos, sendo que as situações apresentadas na maioria dos casos são idealizadas. Uma física que oportunize a explicação dos fenômenos do mundo atual e situações relacionadas ao contexto do aluno pode apresentar maior potencial de participação e envolvimento dos educandos.

2.2. Materiais semicondutores

Materiais semicondutores apresentam portadores de carga (elétrons livres) em um nível intermediário entre os materiais condutores e os materiais isolantes.

- O termo *condutor* é aplicado a qualquer material que sustente um grande fluxo de carga ao se aplicar, através de seus terminais, uma fonte de tensão de amplitude limitada.
- *Isolante* é o material que oferece um nível muito baixo de condutividade quando submetido a uma fonte de tensão.
- Um *semicondutor* é, portanto, o material que tem o nível de condutividade entre os extremos de um isolante e de um condutor [7].

De forma inversa, à condutividade

elétrica de um material se relaciona sua resistência, de modo a apresentar um menor fluxo de carga ou corrente elétrica, ou seja, materiais com maior condutividade elétrica apresentam menor resistência elétrica.

Materiais semicondutores mudam o comportamento de condutância e da resistência elétrica, dependendo de fatores como luminosidade e variação de temperatura, sendo um aspecto importante para o desenvolvimento de dispositivos sensíveis ao calor e à presença de luz.

Podemos citar como exemplos de materiais semicondutores o germânio (Ge) e o silício (Si), sendo estes os materiais semicondutores mais comuns, por seu alto nível de pureza na fabricação, o que os caracteriza como semicondutores intrínsecos [8, 9].

Outro material utilizado como semicondutor é o arseneto de compostos de gálio, que apresenta maior resistência ao calor e pode ter aplicações específicas. No entanto, é pouco utilizado na indústria por apresentar, devido sua dificuldade de processamento, alto valor comercial. A indústria recorre ao uso desse material quando não é possível a aplicação do silício [8].

A utilização de materiais semicondutores é fundamental em aparelhos eletrônicos, pois a condutividade de alguns dispositivos eletrônicos precisa variar em determinadas aplicações práticas, como é o caso do LDR presente em sensores de luminosidade das lâmpadas de iluminação pública.

Os materiais apresentam, na sua estrutura atômica isolada, certos níveis de energia discretos, associados a cada elétron em órbita nesses níveis. Cada material apresenta seu próprio conjunto de níveis, tendo elétrons situados nesses níveis, sendo alguns mais próximos e outros mais distantes do núcleo atômico, conforme indicado na Fig. 1.

Quanto mais longe o elétron estiver do núcleo, maior será seu estado de energia, e qualquer elétron que tiver deixado seu átomo de origem apresentará um estado de energia maior do que qualquer outro na estrutura atômica [7].

Intervalos de *gap* de energia, ou

Materiais semicondutores mudam o comportamento de condutância e da resistência elétrica, dependendo de fatores como luminosidade e variação de temperatura

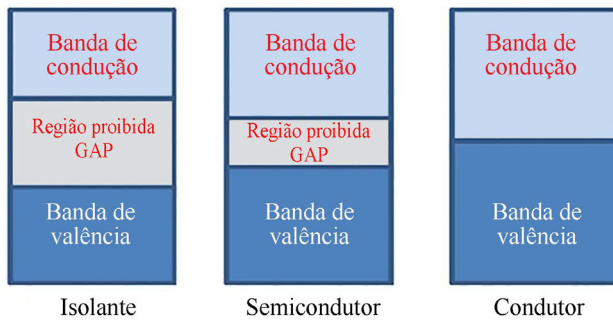


Figura 1 - Representação das bandas de condução e valência de materiais dos tipos: isolante, semicondutor e condutor.

seja, região proibida, estão entre os níveis discretos de energia nos quais nem um elétron na estrutura atômica isolada pode aparecer. Quando os átomos de um material são aproximados para formar a estrutura da rede cristalina, entre eles surge uma interação que resulta em elétrons em uma órbita restrita de um átomo, com níveis de energia distintos dos elétrons na mesma órbita de um átomo vizinho. Como resultado, surge uma expansão dos níveis discretos dos estados de energia possíveis para os elétrons de valência para aquelas bandas.

Existem estados de energia máxima e níveis de ligação nos quais o elétron na rede atômica pode existir em uma região proibida (*gap*) entre a banda de valência e o nível de ionização – considerando que ionização é o processo pelo qual um elétron pode absorver energia suficiente para escapar da estrutura atômica e entrar na banda de condução.

Para materiais semicondutores à temperatura de zero Kelvin (0 K), zero absoluto, todos os elétrons estão na camada mais externa do átomo, com níveis de energia associados a camada de valência; à medida que aumenta a temperatura do material semicondutor, os elétrons adquirem energia suficiente para escapar da camada de valência, atravessando o *gap* de energia e entrar na banda de condução, predispostos a se tornarem elétrons livres [7].

Para materiais semicondutores fotoresistivos, como é o caso do sensor LDR, a luz é o agente responsável por transmitir uma quantidade discreta de energia ao elétron, para que ele possa abandonar a camada de valência, atravessando a região de *gap* de energia e chegando até a camada de condução.

De acordo com Meneses [10], os fotocondutores podem ser classificados em dois tipos:

- Intrínseco: utiliza um material fotocondutivo que envolve a excitação de portadores de carga da banda de valência para a banda de condução;
- Extrínseco: utiliza um material que envolve a excitação de portadores de carga entre uma impureza e a banda de valência e de condução. São mais empregados para operação no espectro do infravermelho.

Um sensor LDR é um dispositivo que apresenta mudança em sua característica de resistência elétrica quando colocado na presença de luz. Também conhecidos como fotoresistores, apresentam um alto valor de resistência elétrica em um ambiente na ausência de luminosidade; sua condutividade elétrica aumenta quando expostos à luz, ou seja, oferecem baixa resistência elétrica quando iluminados. O aspecto de um LDR e seu símbolo para utilização em diagramas esquemáticos podem ser vistos nas Figs. 2a e 2b.

Esse sensor é feito de um material semicondutor, composto por uma área exposta à luz que apresenta variação na sua resistência elétrica conforme o nível de incidência de luminosidade; isso ocorre devido ao material semicondutor ser sensível a alguma forma de radiação (luminosa ou não, visível ou não). A resistência elétrica de um LDR sob luz intensa (10 Lux) pode variar entre 1.000 Ω e 10.000 Ω , e sem presença de luz é sempre maior que 200.000 Ω [10].

Também conhecido como célula fotocondutiva, o LDR é um dispositivo semicondutor de dois terminais, no qual a resistência elétrica varia com a intensidade de luz incidente – sua resistência diminui ao ser iluminado, pois a ener-

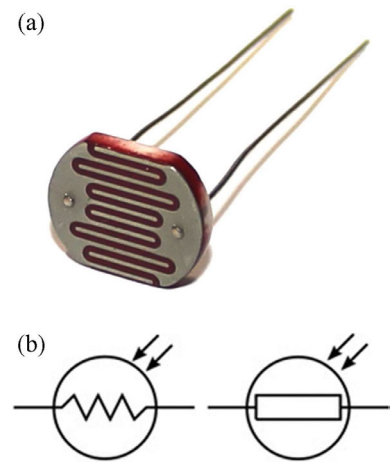
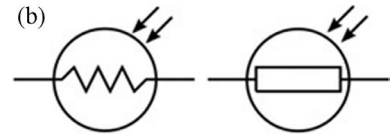


Figura 2 - (a) Aspecto de um LDR; (b) Simbologia mais usada para representar um LDR em um circuito elétrico.



gia luminosa desloca elétrons da camada de valência para a camada de condução (mais distante do núcleo), aumentando o número de elétrons e consequentemente diminuindo a resistência elétrica.

Na construção de LDRs, são utilizados materiais de alta resistência elétrica, como o sulfeto de cádmio (CdS) ou o sulfeto de chumbo (PbS), por apresentarem poucos elétrons livres quando colocados em ambiente escuro e grande número de elétrons quando a luz incide sobre eles, o que aumenta sua condutividade. Quando cessa a incidência de luz sobre o componente, os elétrons retornam à camada de valência e a resistência do material volta a aumentar.

Os LDRs podem ser aplicados como sensores de presença, controle automático de porta, controle de iluminação em um recinto, entre outras aplicações, todos fotocontrolados para a operação de um relé.

Por apresentar maior sensibilidade na faixa da luz visível verde-amarela, o LDR é um componente muito utilizado para detectar o amanhecer e o anoitecer, nos conhecidos interruptores crepusculares ou fotocélulas (nome utilizado comercialmente), sendo esse tipo de componente usado na iluminação pública em todo o mundo.

Um dispositivo LDR apresenta uma curva característica de resistência elétrica em relação à intensidade de luz incidente sobre ele; na leitura do gráfico a seguir, percebemos que a resistência di-

Um sensor LDR é um dispositivo que apresenta mudança em sua característica de resistência elétrica quando colocado na presença de luz.

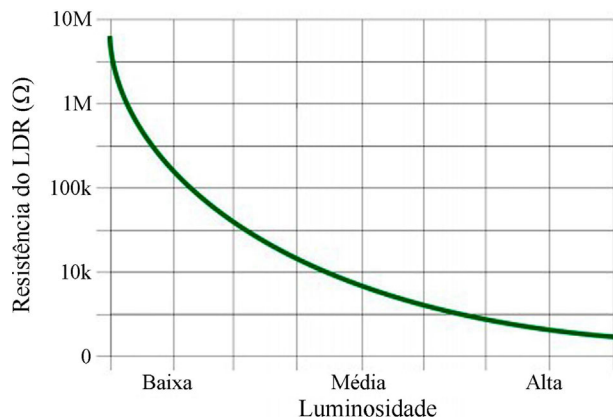


Figura 3 - Gráfico de resistência vs. luminosidade. Fonte: Ref. [11].

minui à medida que a intensidade da luz aumenta, sendo a resistência medida em $k\Omega$ e a intensidade de luz em lux, que mede o fluxo luminoso por unidade de área (iluminância); equivale a um lúmen por metro quadrado.

A Fig. 3 mostra a relação da resistência vs. luminosidade para um sensor LDR.

3. Proposta experimental

O experimento consiste na medida da resistência elétrica em função da distância da fonte luminosa em relação ao sensor LDR, com o objetivo de demonstrar o comportamento não linear da resistência do LDR em razão da intensidade de luminosa à qual esteja exposto.

Foram realizadas duas medidas experimentais, utilizando como fontes de luz a lanterna de um celular e uma lanterna de LED, na regulagem de foco maior. As medidas foram realizadas com objetivo de mostrar que a resistência elétrica de um LDR diminui à medida que aumentamos a intensidade luminosa sobre esse dispositivo e que a resistência elétrica é inversamente proporcional à condutância elétrica.

Para a realização do experimento, são necessários os seguintes materiais: 1 multímetro digital, cabos de prova com conexão do tipo jacaré, régua, lanterna e um sensor do tipo LDR. A montagem experimental consiste basicamente em um sensor LDR conectado a um multímetro digital, na função ohmímetro, como indicado na Fig. 4.

Em um ambiente com luminosidade constante, de preferência pouco iluminado, e com o circuito LDR, uma régua de 30 cm, um multímetro e uma fonte de luz, inicia-se a medida de resistência elétrica com a iluminação ambiente. Esse valor serve apenas para a observação da resistência, não deve ser utilizado na confecção do gráfico. Em seguida, coloca-se a fonte de luz a uma distância de zero centímetros (0 cm) do sensor LDR, afastando-se a fonte de luz a cada três centímetros (3 cm) até a distância máxima a ser medida, que foi de 30 centímetros, e tabelam-se os valores de distância e resistência elétrica aferidos no multímetro digital.

As anotações da distância da fonte de luz do sensor LDR e do valor da resistência elétrica aferida no multímetro

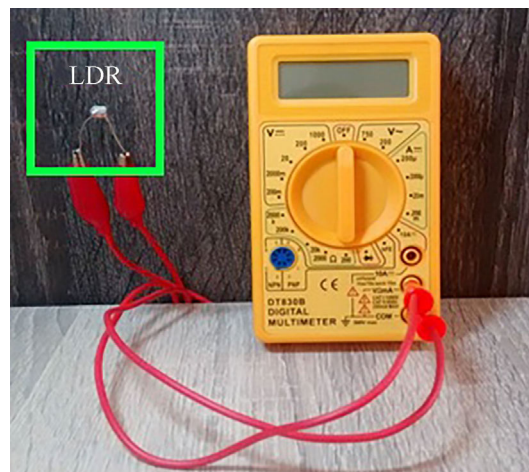


Figura 4 - Representação do circuito elétrico formado por um sensor LDR, cabos e um multímetro digital.

estão descritas na Tabela 1, de modo a auxiliar na elaboração do gráfico distância vs. resistência elétrica.

Os resultados obtidos nos experimentos realizados são apresentados nos gráficos de resistência elétrica vs. distância para as duas fontes luminosas utilizadas, conforme mostrado na Fig. 5.

O comportamento da condutância elétrica foi obtido aplicando-se o inverso da resistência elétrica em função da distância. Com os dados de resistência elétrica, realizaram-se os cálculos da condutância elétrica, registrando-se os resultados em uma tabela, sendo esses dados utilizados para a confecção do gráfico da condutância vs. distância.

O cálculo de condutância foi efetuado utilizando os dados de resistência elétrica e aplicando a equação a seguir:

$$G = \frac{1}{R}, \quad (1)$$

onde G = condutância elétrica (Ω^{-1}) e R = resistência elétrica (Ω).

De acordo com o objetivo do ex-

Tabela 1: Dados da distância da fonte de luz ao LDR vs. resistência elétrica para as seguintes fontes: luz de um celular e lanterna do tipo LED.

Distância da fonte de luz do celular ao LDR (cm)	Resistência elétrica (Ω)	Distância da fonte de luz da lanterna LED ao LDR (cm)	Resistência elétrica (Ω)
0	32,1	0	33,2
3	211	3	154
6	406	6	224
9	684	9	390
12	970	12	525
15	1300	15	766
18	1651	18	1020
21	2060	21	1270
24	2480	24	1557
27	3000	27	1842
30	3570	30	2160

perimento – demonstrar que com o aumento da luminosidade sobre o sensor LDR a resistência diminui e a condutância elétrica aumenta no LDR –, as curvas da resistência e da condutância elétrica observadas nos gráficos apresentados confirmaram a

previsão teórica, possibilitando realizar a medida da resistência elétrica de um LDR utilizando apenas um ohmímetro digital, de modo que não foi desconsiderada a interferência da luminosidade do ambiente. Obteve-se assim a condutância elétrica de forma

indireta, aplicando a Eq. (1), conforme mostrado na Fig. 6.

Observa-se que a proximidade de dados experimentais e a manipulação de experimentos colabora na compreensão de fenômenos físicos, sendo esse o propósito deste trabalho: contribuir para o processo de ensino-aprendizagem de tópicos de física moderna e, assim, tornar a física mais interessante aos estudantes do Ensino Fundamental e do Ensino Médio.

4. Considerações finais

Este trabalho propõe uma prática experimental de baixo custo para o ensino de semicondutores fotorresistivos, utilizando um multímetro conectado a um sensor LDR e duas fontes de luz – lanterna de LED usando o foco maior e a luz emitida de um celular –, sendo os materiais utilizados no experimento de fácil acesso e de baixo custo ao docente, possibilitando o uso nos vários níveis de ensino.

Além da facilidade de aquisição e uso dos materiais supracitados, este trabalho oportuniza a exploração do processo de ensino-aprendizagem de um tópico de física moderna pouco explorado, devido à dificuldade encontrada pelos educadores no acesso a experimentos e literaturas que direcionem para essa área de conhecimento da física, possibilitando ainda o desenvolvimento da habilidade de modelagem de tabelas e gráficos, explorando o perfil multidisciplinar do conteúdo e oportunizando a compreensão do fenômeno físico estudado, o qual apresenta grande relevância na vida contemporânea dos estudantes, fato que muitos desconhecem, e pode despertar seu interesse para o estudo de ciências naturais no Ensino Fundamental e no Ensino Médio.

Recebido em: 24 de Agosto de 2021

Aceito em: 27 de Outubro de 2021

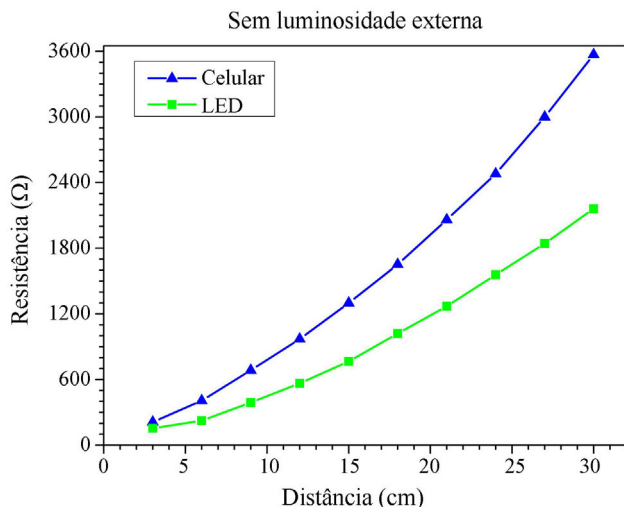


Figura 5 - Gráfico de distância da fonte de luz do celular e da lanterna LED ao LDR vs. resistência elétrica.

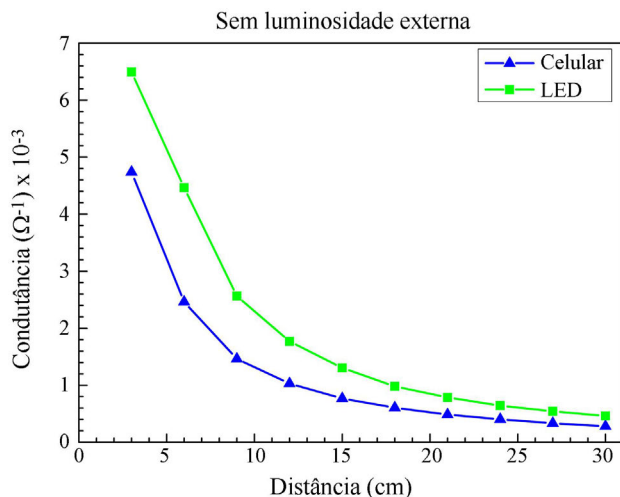


Figura 6 - Gráfico distância da fonte de luz do celular e da lanterna LED ao LDR vs. condutância elétrica.

Referências

- [1] N.C. Silva, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **9**, 1206 (2012).
- [2] M.S.T. Araújo, M.L.V.S Abib, Revista Brasileira de Ensino de Física **25**, 176 (2003).
- [3] E.A. Terrazzan, Caderno Catarinense de Ensino de Física **9**, 209 (1992).
- [4] E.C. Valadares, A.M. Moreira, Caderno Catarinense de Ensino de Física **15**, 121 (1998).
- [5] A.C. Pinto, J. Zanetic, Caderno Catarinense de Ensino de Física **16**, 7 (1999).
- [6] Brasil, *Base Nacional Comum Curricular* (MEC/SEMTEC, Brasília 2018), p. 547.
- [7] R.L. Boylestad, L. Nashelsky, *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos* (Prentice Hall, São Paulo, 2002), 8ª ed.
- [8] S.M. Rezende, *Materiais e Dispositivos Eletrônicos* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004).
- [9] P.A. Tipler, R.A. Llewel, *Física Moderna* (LTC, Rio de Janeiro, 2006), 3ª ed.
- [10] A. Meneses, *Tudo Sobre LDR* (2018), disponível em <http://mundoengenharia.com.br/tudo-sobre-ldr-resistor-dependente-da-luz/>.
- [11] J.A. Macêdo, L.S. Pedrosa, G.A. Costa, Revista Brasileira de Ensino de Física **40**, e5403 (2018).