



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NUCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE  
FÍSICA - LICENCIATURA

THIAGO JUN URAGA

**ABORDAGEM EXPERIMENTAL DO EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO  
MÉDIO – CONTEXTUALIZANDO A FÍSICA MODERNA**

Caruaru  
2019

THIAGO JUN URAGA

**ABORDAGEM EXPERIMENTAL DO EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO  
MÉDIO – CONTEXTUALIZANDO A FÍSICA MODERNA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de graduação em Física - Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Física.

**Orientador:** Prof<sup>o</sup>. Dr. João Francisco Liberato Freitas

Caruaru  
2019



THIAGO JUN URAGA

**ABORDAGEM EXPERIMENTAL DO EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO  
MÉDIO – CONTEXTUALIZANDO A FÍSICA MODERNA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física - Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de licenciado em física.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. João Francisco Liberato Freitas (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Gustavo Camelo Neto (1<sup>o</sup> Examinador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. João Eduardo Fernandes Ramos (2<sup>o</sup> Examinador)  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho a Rubia Valeria e Cassio Kenichi, por todo esforço realizado para que a construção desse trabalho fosse possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos responsáveis pelos momentos de felicidade ao longo desses 5 anos, meus amigos e família, aos quais tenho muito carinho. Obrigado a Saulo Barros, Thiago Tabosa, Dalvan Miguel, Leonardo Rufino, Rafael Alcântara e Marcos Assunção pelo apoio e incentivo que me deram para que eu finalizasse esta etapa e pela companhia durante a jornada pela universidade. Um agradecimento especial a minha namorada, Ana Beatriz, a minha mãe, Rubia, meu pai, Cassio, meu irmão, Hugo, e aos meus amigos mais íntimos, obrigado por seu apoio;

Por fim, agradeço ao meu orientador, o professor Dr. João Francisco Liberato Freitas, pela sua paciência e voto de confiança em me aceitar como orientando, por todo o auxílio oferecido durante o desenvolvimento desse projeto. Agradeço ao professor Dr. Augusto Cesar, meu orientador do PIBID e docente de disciplinas fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho. Agradeço à professora Elizabeth Lacerda, ao professor Dr. Paulo Peixoto, ao professor Dr. Gustavo Camelo, ao professor Márcio Rubens, a professora Dr<sup>a</sup>. Kátia Calligares e ao professor Dr. João Eduardo por suas valiosas contribuições para a minha formação, assim como aos demais professores que tive na graduação.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma ferramenta de estudo para o ensino de física, que busca contribuir com a formação do aluno por meio de investigações e análises a respeito da experimentação. Levando em conta a dificuldade dos professores quanto a inserção de conteúdos presentes na física moderna no ensino médio, este trabalho propõe a construção de dois objetos educacionais que apresentam em seus resultados duas variações do efeito fotoelétrico. A pesquisa de cunho explicativo, coletou dados qualitativos por meio da observação experimental, expondo resultados e relações com a física moderna. Foram construídos um simulador da iluminação pública e um circuito acoplado a uma placa fotovoltaica para o estudo e exploração do efeito fotoelétrico nos dois casos. A partir disso, observa-se que utilizar de recursos fundamentais para a sociedade pode contribuir de forma mais efetiva na construção do saber por parte do aluno, já que a experimentação desmistifica e apresenta a relação da teoria com a prática de forma mais ilustrativa, o que ajuda na compreensão de conteúdos considerados densos e abstratos como é o caso da física moderna, portanto sendo um ótimo recurso para o ensino de física.

Palavras-chave: Ensino de física. Objeto educacional. Efeito fotoelétrico. Efeito fotovoltaico. Efeito Fotocondutivo.

## ABSTRACT

This work presents a study tool for the teaching of Physics, which seeks to contribute to the formation of the student through investigations and analyzes regarding the experimentation. Taking into account the difficulty of teachers in the insertion of present contents in modern physics in high school, this work proposes the construction of two educational objects that present in their results two variations of the photoelectric effect. The research of explanatory nature, collected qualitative data through experimental observation, exposing results and relations with the modern Physics. A public lighting simulator and a circuit coupled to a photovoltaic plate were built for the study and exploration of the photoelectric effect in both cases. From this, it can be observed that using fundamental resources for society can contribute more effectively to the construction of knowledge on the part of the student, since the experimentation demystifies and presents the relation of theory with practice in a more illustrative way, the which helps in the understanding of contents considered dense and abstract as it is the case of modern Physics, therefore being a great resource for the teaching of Physics.

Palavras-chave: Physics teaching. Educational object. Photoelectric effect. Photovoltaic effect. Photoconductive Effect

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01-	Luminosidade incidindo numa barra de metal despreendendo elétrons.....	22
Figura 02 –	O efeito fotoelétrico depende da intensidade luminosa.....	23
Figura 03–	Experimento semelhante ao utilizado para estudar o efeito fotoelétrico.....	23
Figura 04 –	Variação da corrente elétrica com a voltagem, para dois valores distintos de intensidade luminosa.....	24
Figura 05 –	Variação da fotocorrente em função da frequência luminosa.....	24
Figura 06 –	Efeito fotoelétrico interno e externo.....	26
Figura 07 –	Aumento de temperatura no semicondutor, faz com que elétrons da banda de valência se excitem e saltem para a banda de condução.....	29
Figura 08 –	Representação bidimensional do cristal de silício dopado com fósforo.....	30
Figura 09 –	Representação bidimensional do cristal de silício dopado com boro....	30
Figura 10 –	Representação bidimensional da junção NP.....	31
Figura 11–	Representação esquemática do processo de transformação de energia solar para energia elétrica .....	32
Figura 12–	Sistema autônomo de produção de energia elétrica.....	33
Figura 13 –	Gráfico da resistência elétrica em função da intensidade luminosa incidente.....	36
Figura 14 –	LDR e sua representação esquemática.....	36
Figura 15 –	Funcionamento da iluminação pública durante o dia.....	37
Figura 16 –	Funcionamento da iluminação pública durante a noite.....	38
Figura 17 –	Circuito esquemático que representa a organização do circuito elétrico utilizado no simulador do chaveamento da iluminação pública observada no experimento 01.....	40
Figura 18 –	Representação 3D do circuito elétrico construído para simular o chaveamento da iluminação pública.....	40
Figura 19 –	Aparato experimental que simula o chaveamento da iluminação pública.....	41

Figura 20 – Aparato experimental que simula o chaveamento da iluminação pública.....	41
Figura 21 – Modelo esquemático do circuito elétrico construído. Onde a fonte de tensão é a célula fotovoltaica está ligada ao LED .....	42
Figura 22 – Experimento da célula fotovoltaica .....	43
Figura 23 – Simulador do chaveamento da iluminação pública. Simulando o dia em que a luz solar está presente e incide sobre o LDR.....	44
Figura 24 – Simulador do chaveamento da iluminação pública. Simulando a noite em que a luz solar é inexistente a noite. O multímetro está medindo a quantidade de DDP que chega até o LED.....	45
Figura 25 – Resistência elétrica ( $M\Omega$ ) oferecida pelo LDR a um alto nível de luminosidade.....	45
Figura 26 – Resistência elétrica ( $M\Omega$ ) oferecida pelo LDR a um baixo nível de luminosidade.....	46
Figura 27 – Experimento da energia solar sob um baixo nível de luminosidade.....	47
Figura 28 – Experimento da energia solar sob um alto nível de luminosidade.....	47
Figura 29 – Funcionamento da célula fotovoltaica em baixa luminosidade sem o LED.....	48
Figura 30 – Funcionamento da célula fotovoltaica em alta luminosidade sem o LED.....	49
Figura 31 – Circuito esquemático que representa a organização do circuito elétrico utilizado no simulador do chaveamento da iluminação pública com luz incidente sobre o LDR, as setas indicam onde a corrente elétrica flui com maior intensidade.....	50
Figura 32 – Circuito esquemático que representa a organização do circuito elétrico utilizado no simulador do chaveamento da iluminação pública sem luz incidente sobre o LDR, as setas indicam por onde a corrente elétrica flui com maior intensidade.....	51
Figura 33 - Gráfico da resistência elétrica de acordo com o lux.....	52

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1	INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO.....	11
1.2	DIFICULDADES ENCONTRADAS NA INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO.....	15
1.3	EXPERIMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA.....	17
1.4	PROPOSTA DE APLICAÇÃO EM SALA DE AULA.....	21
<b>2</b>	<b>O EFEITO FOTOELÉTRICO</b> .....	22
2.1	EFEITO FOTOELÉTRICO.....	22
2.2	EFEITO FOTOVOLTAICO.....	28
2.2.1	<b>História das placas fotovoltaicas</b> .....	28
2.2.2	<b>Funcionamento das células fotovoltaicas</b> .....	28
2.2.3	<b>Aplicação das células fotovoltaicas</b> .....	31
2.2.4	<b>Energia solar no Brasil</b> .....	34
2.3	EFEITO FOTOCONDUTIVO.....	35
2.3.1	<b>Funcionamento de uma célula fotocondutiva</b> .....	35
2.3.2	<b>Aplicações de Células fotocondutoras</b> .....	37
<b>3</b>	<b>A CONSTRUÇÃO DO OBJETO EDUCACIONAL</b> .....	39
3.1	SIMULADOR DO CHAVEAMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	39
3.2	ENERGIA SOLAR.....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS</b> .....	44
4.1	SIMULADOR DO CHAVEAMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	44
4.2	ENERGIA SOLAR.....	46
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	50
5.1	SIMULADOR DO CHAVEAMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	50
5.2	ENERGIA SOLAR.....	53
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS</b> .....	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	57

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Inserção da Física Moderna no Ensino Médio

Há um importante trabalho, como o primeiro esforço, na década de cinquenta, para a melhoria do ensino de física, apresentando a abordagem “Ciência do Cotidiano”. Que buscava apresentar uma relação mais efetiva entre a teoria e a vida diária, buscando motivar o aluno quanto a objetos de seu cotidiano que poderiam ser explorados para o estudo da ciência (Colbert, S, P. 2012). A reforma deste ensino ocorreu inicialmente na década de 1960, em especial com a introdução de alguns projetos relacionados ao ensino de física.

A introdução da Física Moderna no ensino médio é de suma importância conforme atestam vários estudos na área. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB, 1996, p. 15), os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM, 1997, p. 18), as Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares (PCN+, 2002, p. 67), as Orientações Curriculares Nacionais (OCN'S, 2006, p. 57) e as Diretrizes Curriculares da Educação Básica do Estado do Paraná (PARANÁ, 2008) destacam a importância do ensino de Física Moderna e Contemporânea para os alunos do Ensino Médio. (VICENTINI, *et al.*, 2011, p.39, apud, OLIVEIRA; MIYAHARA, 2014, P. 3).

Em relação aos livros didáticos, eles apresentavam conteúdos básicos de física moderna, porém, quanto a abordagem, era essencialmente ilustrativa. Dessa maneira, não contribuindo de forma significativa para a aprendizagem, além do que, uma abordagem pouco experimental, enfatizando apenas a aquisição de conteúdos e não o desenvolvimento de habilidades científicas. (Colbert, S, P. 2012)

Porém, mesmo com a presença e inserção dessas documentações que defendem veementemente a inserção da física moderna no ensino médio, em geral só são vistos conteúdos apenas que se referem a física clássica. Com isso a física moderna, que apresenta um potencial inovador e que estimularia os discentes, ao passo que veriam as relações entre a física moderna e os avanços tecnológicos presentes no cotidiano. É deixada de lado por inúmeros fatores que fogem do escopo do professor.

Tendo isso em mente é proposto uma modificação em relação ao tipo de abordagem em sala de aula, ou seja, enfatizando a aquisição de conteúdos e teorias por meio de abordagens que possibilitem os discentes a desenvolver habilidades científicas e experimentais de forma diferenciada. Onde poderíamos contextualizar e trazer a abordagem teórico/experimental para

o cotidiano do aluno, apresentando-lhes a aplicação dos conceitos físicos a qual a física moderna corresponde em nosso cotidiano, justamente para dar mais significado e estímulo ao estudante.

Que é o que Paulo (1997) reitera a respeito da importância da inserção da Física moderna e contemporânea (FMC) no ensino médio.

Paulo (1997) considera pertinente a introdução de FMC no ensino médio, visto que esta faz parte do cotidiano da sociedade contemporânea. Ao ter noções de tópicos de FMC, o aluno dará sentido à Física, fazendo relações com o mundo que o cerca. Acredita, também, que a introdução da FMC no currículo das escolas pode proporcionar a superação de certas barreiras epistemológicas fundamentais para o conhecimento do indivíduo sobre a natureza. Para esse autor, o entendimento de FMC fará o indivíduo ter uma capacidade cognitiva maior. (PAULO, 1997.)

É interessante ressaltar que o foco é tornar a física moderna um conteúdo atraente tendo em mente todo seu formalismo matemático abstrato, objetivando vincular a física a uma compreensão de conteúdos mais práticos, ligados ao cotidiano dos estudantes e a conteúdos técnicos relacionados ao mundo do trabalho.

Portanto, iremos demonstrar e estudar fenômenos da natureza de forma quantitativa e qualitativa explorando teorias que ajudem os alunos a compreender a física de maneira clara e sucinta, e fazendo uso da matemática como ferramenta para formalizarmos e quantificarmos os fenômenos da natureza evidenciando seu amplo significado físico.

Observe que o foco principal no ensino de física passa a ser voltado a não memorização de fórmulas matemáticas que indicam a quantificação do efeito físico que está sendo estudado no caso, mas sim numa análise mais teórica e mais experimental onde o aluno pode realizar relações entre o que se aprende teoricamente com o que se vivencia na experiência, tornando assim o ensino da física moderna mais atraente, já que se trata de um conteúdo com elevado grau de abstração que requer maior aplicabilidade e visibilidade conceitual.. Com essa vertente seria possível para o ensino da física implantar e efetivar discussões conceituais que estimulariam o aluno a ser crítico, já que ele por ventura iria se indagar a questões do seu próprio cotidiano, tanto a questões de funcionamento quanto a explicações físicas.

A tendência de atualizar-se o currículo de física justifica-se pela influência crescente dos conteúdos contemporâneos para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a necessidade de formar consciente e participativo que atue nesse mesmo mundo. Observe que a forma de abordagem influencia diretamente na forma com que a física é vista, por isso há uma necessária renovação e necessidade de inclusão de toda a sociedade no

campo conceitual a qual está inserida. (TERRAZZAN, apud, MOREIRA; OSTERMANN, 2001, P.2)

Para suprir essas deficiências quanto a inserção e forma de abordagem da física moderna no ensino médio, propomos nesse trabalho uma forma de se introduzir a física moderna por meio de objetos educacionais que ilustrarão o que está presente nas teorias, mais especificamente na teoria do efeito fotoelétrico.

Nos Estados Unidos e, provavelmente, em nível internacional, a preocupação com o ensino de FMC nas escolas e nos cursos universitários introdutórios começou, ou intensificou-se, com a "Conferência sobre Ensino de Física Moderna", realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois, em abril de 1986, na qual, aproximadamente, 100 professores interagiram com cerca de 15 físicos. O objetivo específico da conferência era promover a abordagem de tópicos de pesquisa em Física, em especial Física de Partículas e Cosmologia, no ensino médio e em cursos introdutórios de graduação (Aubrecht, 1986, apud, MOREIRA; OSTERMANN, 2001, P.2).

Valadares e Moreira (1998) também concordam que é imprescindível que o estudante do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e pode definir seu futuro profissional. É importante a introdução de conceitos básicos de FMC e, em especial, fazer a ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. (Apud, MOREIRA; OSTERMANN, 2001, P. 4).

Na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física (Barojas, 1988), organizou-se um grupo de trabalho para discutir sobre o ensino de física moderna. A fim de debater e definir o porquê da implantação e efetivação de tópicos da física moderna no ensino médio. Esse grupo enumerou algumas razões para a implantação.

- 1 - Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- 2 - Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- 3 - É do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;
- 4 - É mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino;
- 5 - Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata; mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la. (BAROJAS, apud MOREIRA; OSTERMANN, 2001, P. 2).

Portanto, trazer para o ensino médio a física moderna e suas descobertas fará com que os alunos tenham curiosidade à cerca das tecnologias desenvolvidas em função dessa física mais recente, dessa forma estaríamos construindo e disseminando a física contemporânea e sua importância na sociedade atual principalmente mostrando e exemplificando por meio de experimentos simples onde esse tópico tão inovador está presente em nosso cotidiano.

Através da chamada "física do cotidiano", Valadares e Moreira (1998) apresentam sugestões conceituais e práticas, de como introduzir no ensino médio tópicos de FMC relacionados com o cotidiano dos alunos. São considerados três tópicos: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro, enfatizando-se algumas de suas aplicações através de experiências simples e acessíveis a escolas com modestos recursos financeiros. (VALADARES E MOREIRA (1998), apud MOREIRA; OSTERMANN, 2001, P. 7).

Então, devemos trabalhar numa vertente em que a física que será abordada em sala de aula chame a atenção do aluno, despertando o seu interesse a respeito da história e dos conceitos que são compreendidos. Para isso, seria interessante que as escolas oferecessem ao menos um laboratório de física, para estimular os docentes a explorar a questão experimental que está fortemente imbricada ao ensino de física.

Levando isso em consideração devemos utilizar de novos meios, que podem ser inovadores, para trabalhar os conteúdos de física no ensino médio e principalmente a física moderna, justamente por trazer para o discente a evolução científica que está contida na maioria dos dispositivos eletro/eletrônicos do seu cotidiano, como exemplo. Aparelhos tipo smartphones, TVs, Veículos automotores, etc. Abordando de uma maneira mais investigativa. Essa forma de abordagem trará mais significado para os conceitos físicos que estão sendo empreendidos, o que facilitará a absorção e a fixação destes conhecimentos. Considerando que a física moderna apresenta elementos e um formalismo matemático bem mais complexo do que a presente na física clássica, a maneira de abordarmos influenciaria diretamente na construção dos conceitos por parte dos discentes.

Gil et al. (1987) acreditam que o ensino de FMC a alunos secundaristas se reveste de grande importância, uma vez que a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para dar uma imagem mais correta desta ciência e da própria natureza do trabalho científico. Esta imagem deve superar a visão linear, puramente cumulativa do desenvolvimento científico. (GIL ET AL, 1987, Apud, MOREIRA; OSTERMANN; 2001; P 3.)

Note que a física moderna no ensino médio se faz necessária por apresentar conceitos mais atuais e que fazem referência a aspectos recentes da sociedade. O que estimularia o aluno a estudar e compreender os fenômenos físicos que são intrínsecos a objetos e questões de seu

cotidiano. Com sua inserção no ensino médio estaríamos evidenciando a relação da física moderna com a física clássica, afastando a ideia de que a física é uma ciência pronta e acabada, ou seja, é uma ciência que está sempre passando por testes e revoluções científicas. O que incitaria os alunos quanto a possíveis descobertas e refutações de teorias que são aceitas atualmente, o que traria à tona o caráter investigativo dos discentes contribuindo para uma análise crítica e reflexiva.

## **1.2. Dificuldades encontradas na inserção da física moderna no ensino médio**

Analisando tudo que foi dito e mostrado até o momento, devemos nos fazer uma pergunta: Por que os professores de física do ensino médio não abordam a física moderna no ensino médio?

Para Ostermann e Moreira (2001), os professores enquanto estavam passando pelo processo de formação não viram os conteúdos da física moderna ou viram de forma superficial, o que leva o professor a não se sentir seguro quanto a sua desenvoltura nesse conteúdo específico. Em relação a isso o Conselho Nacional de Educação nos diz que:

O Preparo inadequado dos professores cuja formação de modo geral, manteve predominantemente um formato tradicional, que não contempla muitas das características consideradas, na atualidade, como inerentes à atividade docente (CNE, 2002, p. 21).

Que ainda reitera que para obtenção de uma educação básica de qualidade e que seja efetivamente significativa para o aluno, o professor deve

Orientar e mediar o ensino para a aprendizagem dos alunos; comprometer-se com o sucesso da aprendizagem dos alunos; assumir e saber lidar com a diversidade existente entre os alunos; incentivar atividades de enriquecimento cultural; desenvolver práticas investigativas; elaborar e executar projetos para desenvolver conteúdos curriculares; utilizar novas metodologias, estratégias e materiais de apoio; desenvolver hábitos de colaboração e trabalho em equipe (CNE, 2002, p. 21).

As dificuldades apresentadas pelos professores, não fica restrita à sua formação inicial. É um problema que permeia por todos os âmbitos ao qual o docente está inserido. Note que isso está totalmente atrelado ao modo de ver a física e a importância que se dá a sua inserção, por parte das competências superiores. Que investem minoritariamente em construções de laboratórios e formações específicas de professores, dificultando o trabalho do professor que não possui instrumentos qualificados e pouco tempo para introduzir os conteúdos presentes na

física. Essas são as principais questões que incomodam os professores de física quanto a condições de trabalho oferecida pelas instituições de ensino.

Segundo Ostemann e Moreira (2001), Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) os professores alegam as seguintes dificuldades encontradas, quanto a aplicação dos conteúdos da física moderna no ensino médio.

- Tempo;
- Formação inadequada;
- Instrumentos escassos;
- Elevado grau de abstração;
- Formalismo matemático.

Observe que alguns desses aspectos podem ser superados como o caso do formalismo matemático, caso trabalhado de forma conjunta a inovações tecnológicas e experimentais que contribuem para a construção estruturada dos conceitos de forma integrada a matemática que formaliza os conceitos físicos estudados.

Porém, segundo alguns professores a falta de instrumentos e experimentos corroboram para a não diversificação na forma de abordagem. Atribuem também que a não existência de salas de laboratório específicas impossibilitam a construção de aparatos experimentais. O que resume basicamente a resolução de problemas em que o aluno apenas deve identificar qual fórmula deve ser utilizada para aquele problema. (MONTEIRO M. A.; NARDI R.; BASTOS FILHO J. B. 2009)

E de acordo com os Parâmetros Nacionais Curriculares o ensino de física deve capacitar o aluno a lidar com situações de seu cotidiano:

Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio não venham a ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento em Física, em outras instâncias profissionais ou universitárias, ainda assim terão adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem (BRASIL, 2002, p. 59, apud, CABRAL, J. C., 2015).

Freire (2006) discute as dificuldades de um professor que teve sua formação baseada apenas na memorização mecânica e repetição de ideias e reprodução de fórmulas, sem atrelar a

situações corriqueiras, portanto não corroborando para um estudo emancipatório por parte desse docente, o que influencia diretamente na criticidade desse professor.

Alguns professores apresentaram a falta de tempo como questão fundamental para a não inserção da física moderna no ensino médio.

“O tempo não é suficiente nem para trabalhar a Física Clássica [...] e com as dificuldades dos alunos, a gente não consegue avançar muito, aí não dá para terminar a Física Clássica” (Professor 5, apud, MONTEIRO, NARDI, BASTOS FILHO, p. 150)

De acordo com o que foi dito na frase acima, podemos observar que o professor apresenta as ideias de que o tempo regular do ensino médio não é suficiente para a física clássica ser apresentada ao discente. Que infelizmente deixa os professores de física de mãos atadas quanto a apresentação da disciplina por completo, ou seja, ele é obrigado a realizar uma seleção de conteúdos mais “*relevantes*” para serem trabalhados em sala de aula.

Por vezes o professor não pode avançar em conteúdos mais abstratos porque os alunos não acompanham e não possuem o aporte teórico suficiente para abarcar e compreender a física moderna, que apresenta um alto grau de abstração e formalismo matemático.

Diante do que foi dito até aqui, este trabalho propõe uma sugestão de atividade experimental simples que pode ser trabalhada de forma gradual e investigativa nos 3 anos referentes ao ensino médio. Possibilitando a visualização do efeito fotoelétrico que possui um grande potencial investigativo e que se apresenta amplamente em nosso cotidiano. Consequentemente estaremos utilizando a estratégia experimental para abordar a física moderna em seu âmbito teórico/visual e de forma conjunta matemático para assim haver a construção cognitiva do conteúdo abordado.

### **1.3. Experimentação para o ensino de física**

Fazendo uma análise geral dos estudantes de nível médio, é possível observar que uma grande maioria dos alunos demonstra dificuldade no que se refere a aprendizagem na disciplina de ciências, mais especificamente em física. Justamente por ser uma disciplina que apresenta um grau de abstração matemático diferente em relação ao que o aluno tem contato habitualmente, dessa forma surgem dificuldades tanto do professor quanto do aluno.

Um meio importante e ao mesmo tempo extremamente positivo é a utilização de experimentos para a visualização e estudo de situações em que a física está presente.

Principalmente quando estamos nos referindo a um campo da física que envolve teorias mais sofisticadas e conseqüentemente muito abstratas. Essa metodologia experimental nos ajuda a observar de maneira efetiva o conceito/teoria em ação o que nos possibilita fazer uma discussão em sala de aula mais sólida quando empreendida com caráter investigativo, principalmente por trazer até o aluno um meio de aplicação daquilo que está sendo aprendido e discutido em sala de aula, ou seja, trazendo para o cotidiano do aluno algo que é abstrato.

A atividade experimental, portanto, nos proporciona a materialização dos conceitos científicos empreendidos nas aulas, o que possibilita ao aluno enxergar de forma mais clara o que está sendo discutido teoricamente pelo professor. Fugindo da abordagem metodológica em que os alunos estão retidos apenas a memorização de fórmulas matemáticas e a reprodução de cálculos, que possuem a principal ênfase de quantificar conceitos e teorias. Note que as fórmulas e os cálculos são importantes, porém o que está sendo discutido é a importância da inserção e visualização dos conceitos físicos por meio de experimentos, o que facilitaria na absorção dos conteúdos por parte dos discentes. Que é justamente o que Lazarowitz Tamir (1994, p. 94) nos diz: “Trabalho Experimental é a atividade desenvolvida num ambiente criado para esse fim, envolvendo-se os alunos em experiências de aprendizagem planejadas, interagindo com materiais para observar e compreender fenômenos”.

Nessa perspectiva poderíamos utilizar o aparato experimental para exemplificar e mostrar ao aluno a forma com que a ciência evolui, fazendo com que o aluno participe e seja um agente modificador instigando e incentivando o caráter crítico e científico do aluno. Justamente para que ele perceba e entenda que as teorias que são apresentadas nos livros didáticos não foram criadas de um dia para o outro, mas sim de um acúmulo e de revoluções científicas que houveram ao longo da história até os dias de hoje. Note que essa prática leva o aluno a refletir e a analisar de uma forma mais crítica o que é lhe imposto e apresentado.

A chamada aprendizagem por descoberta, que acentua o valor motivacional da experimentação, é um importante exemplo do empirismo-indutivismo aplicado ao ensino das ciências. Esta proposta tem, como suposto essencial, que a observação e a experimentação bem conduzidas proporcionam a base segura da qual o conhecimento é obtido. A aprendizagem por descoberta tem a pretensão de tornar o aluno mais ativo; entretanto, esta atividade é entendida como dispendendo mais tempo no laboratório, fazendo observações. A formação de conceitos é considerada uma decorrência de observações bem conduzidas, subestimando desta forma as dificuldades da aprendizagem (CLEMINSON, 1990, apud, FL DA SILVEIRA, 1996 P. 2).

Porém, deve-se ressaltar que a experimentação por si só não traduz ao conhecimento de forma efetiva, deve haver uma coligação entre o aspecto experimental com pressupostos teóricos que embasam o que está sendo visualizado no experimento.

Toda a observação e/ou experimentação estão impregnadas de pressupostos, teorias. Observar é dirigir a atenção para algum aspecto da realidade e, portanto, a observação é antecedida por algum pressuposto ou teoria que lhe orienta. Os dados sensoriais somente adquirem significado quando interpretados. A observação e a interpretação estão indissoluvelmente ligadas. (LAKATTOS, apud, FL DA SILVEIRA, 1996).

Portanto, a atividade experimental será evidenciada neste trabalho de duas formas distintas, uma trata-se apenas da demonstração visual daquilo que é estudado teoricamente em sala de aula. A outra faz referência a (re) construção de teorias, fazendo com que os alunos compreendam de maneira concreta a forma com que as teorias são criadas e postas como leis e postulados físicos. Principalmente por explorar os subsunsores dos alunos. Note que essa forma de abordagem traz consigo um caráter mais exploratório e investigativo por parte dos alunos, o que estimula o discente a fomentar sua curiosidade a respeito da física, tanto como perspectiva do passado quanto perspectiva para o futuro.

A atividade da experimentação segundo Lakattos é precedida por uma teoria que lhe orienta, que serão corroboradas a partir dos resultados experimentais observados. Justamente por enfatizar e apresentar um elo no elemento real.

Pode-se inferir, portanto, que a utilização da demonstração experimental de um conceito em sala de aula acrescenta ao pensamento do aluno elementos de realidade e de experiência pessoal que podem preencher uma lacuna cognitiva característica dos conceitos científicos e dar a esses conceitos a força que essa vivência dá aos conceitos espontâneos. (Gaspar e Monteiro, 2005)

Dessa forma, vemos que a atividade experimental traz consigo elementos extremamente importantes por enfatizar a visualização e a conceituação investigativa e científica. Explorando a investigação e a indagação do aluno quanto a forma com que a ciência é construída, vem sendo atualizada e defendida de acordo com as crises e revoluções científicas que são corroboradas por um sistema de falseabilidade dessas teorias.

A atividade experimental enfatiza e estimula o aluno a presenciar o evento e ainda relacionar o que ali estava compreendido com os conceitos científicos. Isso nos mostra que o experimento é um elemento rico e apresenta um grande potencial e assim atingir de maneira significativa o alunado.

De acordo com uma lista elaborada por Hodson (2000), existem basicamente cinco motivos para envolver os alunos em trabalhos experimentais:

1. motivar, estimulando o interesse e o prazer de investigar;
2. treinar destrezas laboratoriais;
3. enfatizar a aprendizagem do conhecimento científico;
4. perceber o método científico e adquirir perícia na sua utilização;
5. desenvolver certas “atitudes científicas” como abertura de espírito e objectividade.

Para desenvolver esses aspectos nos alunos pode-se partir da experiência que se trata da visualização experimental, e até mesmo num trabalho de investigação que é lhe imposto uma situação-problema a qual deve investigar e solucionar-la.

Deve se ressaltar que o trabalho experimental aplicado a sala de aula deve sempre representar para os alunos aspectos instigantes que possibilitem a real aprendizagem significativa, seja na forma apenas de visualização como também na forma investigativa. Explorando e dando liberdade de imaginação e de expressão, mediando e mostrando a relação do real com o conhecimento científico. Sobre isso Gil Pérez e Valdés reiteram que

Se pretendermos que o trabalho experimental seja eficaz no atingir dos fins educativos estabelecidos, se tenha em conta a relevância social das situações propostas, se impliquem os alunos na formulação de hipótese, se valorize a planificação das actividades pelos alunos e a elaboração de memórias científicas sobre o trabalho realizado, enfatizando o papel da comunicação e debate no processo científico. (Péres G. e Valdés, 1996)

Diante dessas afirmações a atividade experimental nos é uma grande aliada quanto a desmistificação e disseminação do ensino de física moderna no ensino médio. Já que ela apresenta alto grau de formalidade e sofisticação matemática, podemos viabilizar o seu ensino por meio de experimentos que instigam os alunos de forma visual e investigativa, além de ser um objeto didático que representa um grande arcabouço de teorias aplicadas e que poderão ser visualizadas pelos alunos. O que facilitará na elaboração e estruturação de conceitos e ideias a respeito do que está sendo trabalhado em sala de aula.

Portanto, a atividade experimental servirá de base solidificadora e estruturadora de conceitos físicos que estão sendo empreendidos teoricamente de uma forma abstrata. Assim contribuindo com a representação do abstrato na realidade e até mesmo em coisas que utilizamos em nosso cotidiano, o que levará o discente a observar e analisar de maneira mais criteriosa o mundo que o cerca. Levando em conta o caráter investigativo compreendido no

trabalho experimental, isso trará a ele a ideia de como surgem e são desenvolvidas teorias e conceitos que estão solidificados no campo da física.

#### **1.4. Proposta de Aplicação em sala de aula**

Como sugestão de aplicação, é proposto que se trabalhe no 1º e 2º ano do ensino médio durante 5 aulas de forma investigativa os dois aparatos experimentais, a princípio apenas como experimentos que despertam a curiosidade e instiguem os alunos a investigar os processos e componentes eletrônicos utilizados.

Já no 3º ano do ensino médio é interessante ressaltar a maioria dos conceitos e aplicações sociais desses dois aparatos experimentais com o intuito de apresentar de maneira conceitual, experimental e investigativa a física moderna, num total de 6 aulas. Para evidenciar o grau de aplicabilidade atual da física moderna.

Nos 3 anos do ensino médio o professor pode propor variações experimentais e explorar o caráter investigativo de um grupo de alunos a fim de buscarem explicações e soluções para as situações-problema que forem apresentadas pelo docente regente.

## 2. O EFEITO FOTOELÉTRICO

De acordo com tudo que foi dito até o momento torna-se necessário apresentar e discutir a teoria que baseia a nossa proposta de inserção da física moderna no ensino médio. Principalmente para que o leitor possa se inteirar da importância tecnológica presente nesse conceito físico que está contida em nosso cotidiano.

Dessa forma nas próximas sessões serão discutidos e apresentados tópicos relevantes que servirão de sustentação para a construção e explicação teórica dos dois experimentos propostos, que são eles o simulador do chaveamento da iluminação pública e a energia solar. Explicitando sua importância como instrumento introdutório para a física moderna no ensino médio.

### 2.1. Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico foi descoberto por Heinrich Hertz, em 1887, em que demonstrou a validade da teoria de Maxwell, produzindo e detectando ondas eletromagnéticas, ele produzia uma descarga oscilante, fazendo saltar uma faísca entre dois eletrodos, para gerar as ondas, e detectava-as usando uma antena ressonante. Hertz percebeu que a faísca de detecção saltava com mais dificuldade quando os eletrodos da antena receptora não estavam expostos à luz. (H. Moysés Nussenzveig, 1999)

Hertz estava descobrindo o Efeito fotoelétrico, uma das primeiras evidências experimentais da quantização.

Portanto, o que se esperava, é que para uma fonte de luz fraca o elétron levaria um certo tempo para adquirir energia e amplitude suficiente para se libertar da superfície do metal, porém foi visto que os elétrons se desprendiam instantaneamente quando a luz era acesa, mas não em um número comparável à quando havia uma luz intensa incidindo sobre o sistema.

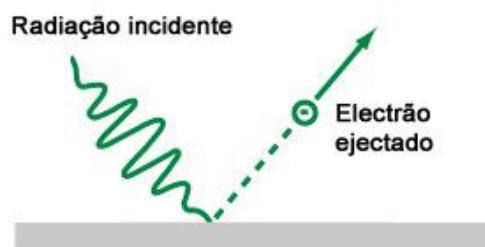


Figura 1 – Radiação luminosa incidindo numa barra de metal desprendendo elétrons. Fonte: <http://www.fq.pt> Acessado em: 14/02/2019.

Na figura 1, observamos que quando há luz incidente sobre um determinado metal, seria possível desprender um elétron. E a esse elétron arrancado denominamos de fotocorrente.

Observou-se então que o efeito fotoelétrico apresentava várias ideias que eram contrárias a física clássica, mais especificamente da ondulatória clássica. Essa por sua vez determinava que sob uma luz fraca, após um certo retardo, o elétron deveria acumular energia vibracional suficiente para se desprender da superfície, enquanto sob uma luz forte deveria se desprender quase imediatamente. O que mais intrigava os estudiosos, é que sob uma luz mais intensa, mais elétrons eram ejetados, mas não com grandes velocidades. Enquanto um feixe de luz mais fraco, menos elétrons eram ejetados, porém com grandes velocidades. (HEWITT, P. G. 2002) Como mostra a figura 2.

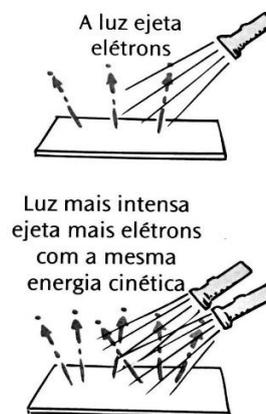


Figura 2 – O efeito fotoelétrico depende da intensidade luminosa. Fonte: HEWITT, P. G. (2002) P. TAL

Na figura 3, podemos observar um aparato experimental capaz de quantificar o fluxo de elétrons a partir da intensidade luminosa que incide sobre a placa metálica. Note que a superfície metálica é fotossensível e dessa forma a medida que a luz incide sobre a placa ela libera elétrons, esses, são captados pela placa positiva. Produzindo assim uma corrente elétrica mensurável.

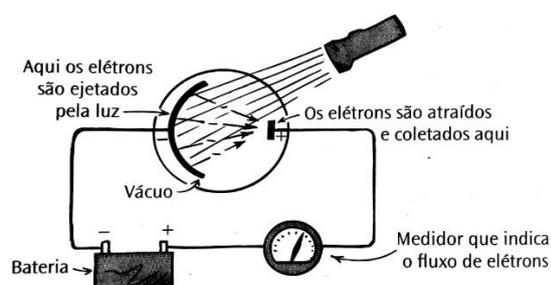


Figura 3 – Experimento semelhante ao utilizado para estudar o efeito fotoelétrico. Fonte: HEWITT, P. G. (2002) P. TAL

Então se eletrizarmos a segunda placa com uma carga negativa suficiente para repelir os elétrons ejetados da primeira placa, a corrente poderia ser interrompida. E assim seria possível calcular as energias dos elétrons ejetados, a partir da Diferença De Potencial (DDP) entre as placas. (HEWITT, P. G. 2002)

De acordo com a figura 4, podemos observar que para zerar a corrente devemos aplicar um  $-V_0$ . Nesta configuração, nem mesmo o mais energético dos elétrons emitidos conseguiriam chegar ao coletor.

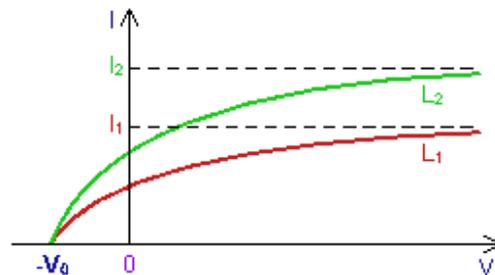


Figura 4 - Variação da corrente elétrica com a voltagem, para dois valores distintos de intensidade luminosa. Fonte: <http://www.gradadm.ifsc.usp.br>(2019)

O número de fótons presentes num feixe luminoso controla o brilho ou intensidade do feixe todo, enquanto a frequência da luz controla a energia de cada fóton. Ou seja, ao alterarmos a frequência do feixe luminoso, modificaremos também a corrente produzida e consequentemente alterando o potencial de corte, que é onde a corrente elétrica será igual a zero. Dessa forma, em outras palavras a determinação do potencial de corte equivale a determinar a energia médias dos elétrons, concluindo assim que a energia dos elétrons emitidos é proporcional à energia dos fótons incidentes. (HEWITT, P. G. 2002) De acordo com a figura 5.

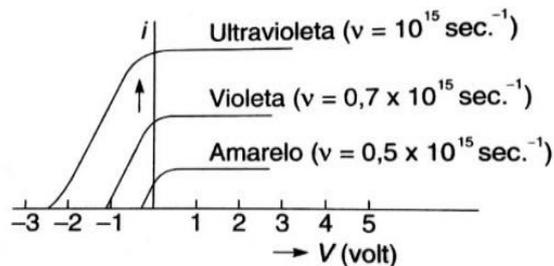


Figura 5 – Variação da fotocorrente em função da frequência luminosa. Fonte: HEWITT, P. G. (2002) P. TAL

Fazendo um análise das figuras 4 e 5 podemos observar que o potencial de corte não varia de acordo com a intensidade luminosa que incide sobre a placa (figura 4), ele se altera quando há uma mudança da frequência da luz que incide sobre a placa (figura 5). Portanto, aumentando a intensidade luminosa e não alterando a frequência da luz culmina num potencial de corte igual, ou seja, o potencial de corte não depende da intensidade luminosa, mas sim da frequência da luz.

A produção de corrente a partir de fontes luminosas deve resultar que a luz forneça energia suficiente para que os elétrons sejam arrancados da vizinhança da superfície, quando um elétron é extraído a carga positiva que fica tende a atrair o elétron de volta, portanto é preciso fornecer energia suficiente para que o elétron consiga energia suficiente para se desprender e conseqüentemente vencer essa força de atração. (H. Moysés Nussenzveig, 1999)

Para frear um elétron é necessário utilizar uma diferença de potencial retardadora, onde a energia cinética deverá ser exatamente igual ao produto da carga do elétron pela diferença de potencial. (H. Moysés Nussenzveig, 1999) Representado da seguinte forma:

$$\frac{1}{2} m_e v_m^2 = eV_F \quad (1)$$

Onde,  $m_e$  é a massa do elétron,  $v_m$  é a velocidade do elétron depois de livre,  $e$  é a carga do elétrons e  $V_F$  é o potencial elétrico de frenagem do elétron.

Pela conservação da energia, a energia cinética máxima deverá equivaler a energia fornecida pela luz menos o trabalho necessário para desprender um elétron da superfície contra a força da carga positiva que o atrai. (H. Moysés Nussenzveig, 1999) Dessa forma, representando assim:

$$\frac{1}{2} m_e v_m^2 = eV_F = E - W \quad (2)$$

Onde,  $E$  é a energia fornecida pela luz e  $W$  é o potencial de corte.

Einstein em 1905 respondeu a esse mistério por meio da teoria de Planck da radiação. Planck considerou que a energia da matéria está quantizada, mas que a energia radiante é contínua. Einstein por sua vez atribuiu propriedade quânticas a própria luz, determinando assim os fótons. Um fóton é completamente absorvido por cada elétron ejetado da superfície do metal. (H. Moysés Nussenzveig, 1999) De acordo com Planck temos:

$$E = h\nu \quad (3)$$

Substituindo a equação 3 na equação 1 obtemos exatamente a expressão que descreve o efeito fotoelétrico escrito por Einstein.

$$\frac{1}{2} m_e v_m^2 = eV_F = h\nu - W$$

A comprovação experimental do efeito fotoelétrico foi realizada após 10 anos da postulação da teoria, a experimentação foi realizada por um físico americano R. A. Millikan. De acordo com esse estudo e publicação, Albert Einstein recebeu o prêmio Nobel no ano de 1921 pela teoria do efeito fotoelétrico.

Vale lembrar que existem dois tipos de efeito fotoelétrico, são eles: Interno e externo. No caso do efeito fotoelétrico externo a luz incidente excita o elétron até o ponto em que escapa completamente de sua superfície irradiada, do mesmo modo que uma energia consegue libertar um elétron ligado num átomo. Já o efeito fotoelétrico interno, trata-se do caráter de condutividade do semicondutor, ou seja, a energia fornecida para a superfície não é o suficiente para libertar o elétron, mas é o suficiente para modificar a condutividade elétrica do material. (SCRIBD, 2019)

Observe que na figura 6, podemos observar que no efeito externo vemos que elétrons escapam completamente da superfície de acordo com a incidência de luz. Enquanto o efeito interno, não escapam elétrons. Nesse caso, há a modificação de sua resistência elétrica justamente por ser um semicondutor que varia sua resistência de acordo com a luminosidade.

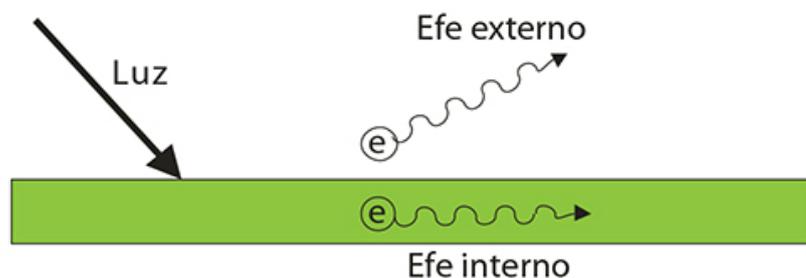


Figura 6 – Efeito fotoelétrico interno e externo. Fonte: <http://www.universiaenem.com.br>(2019)

Podemos observar em nosso cotidiano a aplicação do efeito fotoelétrico de maneira simples. A iluminação pública, o controle remoto, sensores de luminosidade, sensores de catraca, placas voltaicas, etc.

De acordo com o que foi dito se torna válido mostrar as relações e aplicações do efeito fotoelétrico em nosso cotidiano e até mesmo em áreas diversas que influenciam diretamente na nossa vivência.

Nesse trabalho, evidenciaremos o efeito fotoelétrico na iluminação pública e na energia solar por, ser questões que afetam socialmente várias pessoas e que de certa forma, é de conhecimento de todos da sua existência. Então, torna-se mais simples e acessível para todos a inserção da física moderna, tanto no ensino médio, quanto em nossa vida cotidiana. Explorando assim o caráter da disseminação dos conhecimentos científicos para uma melhor apreensão e distribuição de conceitos científicos para a comunidade leiga que tenha interesse de apreender e estudar as possíveis tecnologias hoje empreendidas em objetos simples e que modificam de maneira significativa nosso cotidiano.

Em relação ao efeito fotoelétrico, é possível analisar e estudar de três maneiras diferentes que são os modos que o efeito fotoelétrico pode se apresentar. (SCRIBD, 2019) São eles:

- a) *Efeito fotovoltaico*: É aplicado na produção de células que tem o propósito de converter diretamente a luz em energia elétrica. Esse efeito é muito utilizado como fonte de energia, por meio de painéis fotovoltaicos.
- b) *Efeito fotocondutivo*: É aplicado na produção de células cuja resistência varia de acordo com a intensidade luminosa incidida sobre ele. Esse efeito é tradicionalmente utilizado na iluminação pública.
- c) *Efeito fotoemissivo*: Esse está diretamente ligado com o efeito descoberto por Hertz em 1887 e descrito teoricamente por Einstein em 1905.

É importante ressaltar que há uma pequena diferença entre efeito fotovoltaico e efeito foto emissivo, mas não quanto a sua abordagem teórica, mas sim quanto a forma com que os dois efeitos são obtidos. Enquanto as células fotovoltaicas são construídas com materiais semicondutores, as células fotoemissivas são construídas com a antiga tecnologia das válvulas termiônicas e ligas metálicas especiais, deixando de ser comum no final do século XX.

Vale ressaltar que o efeito fotoemissivo atualmente é complicado de ser reproduzido, justamente porque utiliza instrumentos e materiais que são de difícil acesso. Dessa forma iremos analisar de maneira mais incisiva a aplicação e a importância sócio histórica do efeito fotovoltaico e o efeito fotocondutivo.

## **2.2. Efeito fotovoltaico**

### **2.2.1. História das placas fotovoltaicas**

Historicamente a conversão de energia solar para energia elétrica, foi observada por Edmond Becquerel em 1839, ele percebeu a existência de uma diferença de potencial nas extremidades de objeto semicondutor, quando a luz era incidida sobre ele.

No ano de 1956 foram criadas as primeiras células fotovoltaicas, porém o elevado custo em sua produção inviabilizava a construção e aplicação, a não ser em situações especiais como no fornecimento de energia elétrica para satélites.

Um fato que impulsionou o uso dessa tecnologia em âmbito terrestre foi a crise energética de 1973/1974, onde no final da década de 70 houve grande crescimento na produção e incentivo da prática dessa energia provinda da energia solar. Consequentemente esse aumento no uso traz consigo imbricado uma série de inovações que permitem uma maior eficiência na conversão como também uma significativa busca para redução de seus custos. (FADIGAS E. A. F. A.)

### **2.2.2. Funcionamento das células fotovoltaicas**

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida por meio da conversão direta da luz solar em energia elétrica. As células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, ou seja, que estão numa posição intermediária entre condutores e isolantes. (FADIGAS E. A. F. A.)

Segundo Severino e Oliveira (2010), o efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Complementando esta informação, Nascimento (2004, p.14) afirma que “Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado “Efeito Fotovoltaico””.

Esse material semicondutor se caracteriza por possuir uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução totalmente vazia a temperaturas muito baixas.

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF,2007, apud, ALMEIDA E. et al, 2015).

Uma das características muito interessantes dos semicondutores é a capacidade de aumentar sua condutividade de acordo com o aumento de temperatura, isso ocorre devido a agitação e excitação térmica de portadores na banda de valência para a banda de condução (Figura 7). Note que essa característica é fundamental para células fotovoltaicas, justamente por fótons, na faixa do visível, com energia superior ao gap do material excitarem elétrons à banda de condução. Porém é necessário um aparato apropriado para que essa corrente produzida seja canalizada e aproveitada de maneira mais útil.

Onde as energias possíveis dos elétrons num sólido estão agrupados em bandas separadas por uma barreira de potencial (GAP). As bandas são chamadas de banda de valência, que é completamente ocupada por elétrons. E a banda de condução, que é a banda preenchida parcialmente por elétrons livres. Como mostra a figura 7.

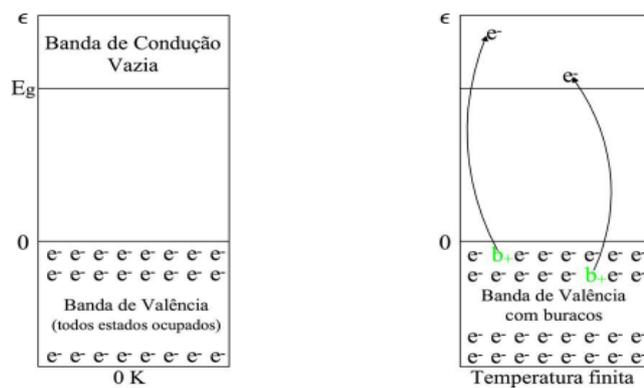


Figura 7 – Aumento de temperatura no semicondutor, faz com que elétrons da banda de valência se excitam e saltem para a banda de condução. Fonte: <http://www.foz.unioeste.br>(2019)

O semicondutor mais utilizado é o silício. Que possui quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. O cristal do silício não possui elétrons livres, o que o torna um mal condutor. Então ao adicionarmos um elemento que possui elétrons de ligação como é o caso do fósforo, temos um elétron sobrando, ou seja, esse elétron está fracamente ligado ao núcleo e assim muito fácil de enviá-lo para a banda de condução. Como mostra a figura 8.



Figura 8 – Representação bidimensional do cristal de silício dopado com fósforo. Fonte: [https://slideplayer.com.br\(2019\)](https://slideplayer.com.br(2019))

Esse processo pelo qual o silício passa chamamos de dopagem, e podemos dizer que o fósforo é um dopante doador de elétrons. (FADIGAS E. A. F. A.)

O silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas (FV), e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2012, apud, ALMEIDA E. et al, 2015).

Por outro lado, pode ser introduzido átomos com apenas três elétrons (Boro) que se ligam aos seus vizinhos, conseqüentemente faltará um elétron para satisfazer as ligações com o átomo de silício. Denominamos assim que há um buraco que deverá ser preenchido por um elétron que esteja na vizinhança, havendo assim um deslocamento do buraco. Uma característica importante nesse processo de dopagem é que ocorre com pouca energia térmica, que é exatamente o contrário à da apresentada anteriormente. Dessa forma podemos dizer que o boro é um aceitador de elétrons. Conseqüentemente um tipo de dopante aceitador de elétrons. (FADIGAS E. A. F. A.) Como mostra a figura 9.

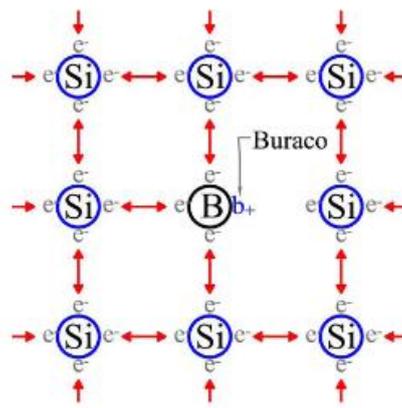


Figura 9 – Representação bidimensional do cristal de Silício dopado com Boro. Fonte: [http://www.foz.unioeste.br\(2019\)](http://www.foz.unioeste.br(2019))

Partindo do silício em sua forma pura, e acrescentados átomos de boro em sua metade e na outra metade átomos de fósforo teremos o que chamamos de Junção NP. Onde os elétrons que sobram no fósforo procuram e ocupam os buracos que são gerados pela introdução do boro (Figura 10). Esse processo resulta num acúmulo de elétrons no lado P o que o torna eletricamente negativo, por outro lado há uma redução de elétrons no lado N, tornando-o assim eletricamente positivo. Note que as cargas que saem do lado N para o lado P ficam aprisionadas e isso gera um campo elétrico que dificulta a passagem de mais elétrons do lado N para o lado P. Esse processo entra em equilíbrio quando o campo impede definitivamente a passagem desses elétrons remanescentes. (FADIGAS E. A. F. A.)

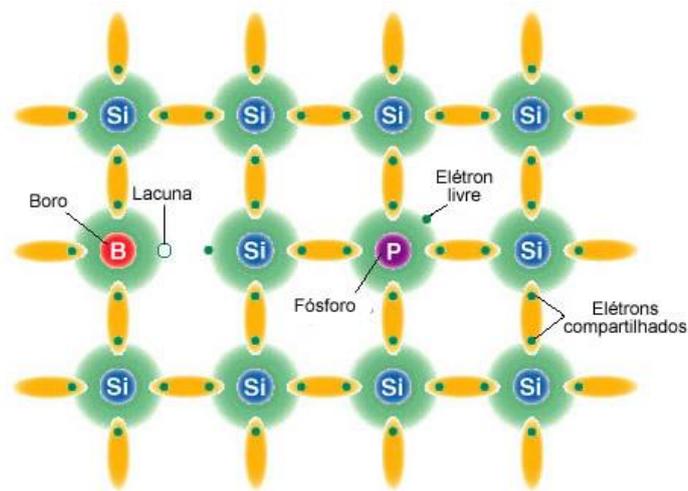


Figura 10 – Representação bidimensional da junção NP. Fonte: <https://www.infoescola.com>(2019)

Se essa junção for exposta a fótons com energia maior que o gap, vai ocasionar na geração de pares de elétrons, que se aplicados onde o campo é diferente de zero as cargas serão aceleradas e assim produzindo uma corrente elétrica, esse deslocamento é o que dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de *efeito fotovoltaico*. (FADIGAS E. A. F. A.)

### 2.2.3. Aplicação das células fotovoltaicas

Os painéis solares, ou módulos são responsáveis pela aplicação direta do efeito fotocondutivo na geração de energia elétrica. Estes são formados pelo conjunto de células fotovoltaicas. Esse conjunto chamamos de gerador fotovoltaico e constituem a primeira e fundamental etapa no processo de transformação da energia irradiada do sol para a energia elétrica.

Quando temos sistemas isolados da rede elétrica utilizamos baterias para armazenar as cargas produzidas a fim de suprir necessidades diárias e até mesmo para suprir necessidades de épocas de baixo índice de isolamento. A bateria constitui a segunda etapa do processo especificamente para sistemas isolados e distantes da rede elétrica.

No processo de transmissão da energia elétrica produzida temos como componente fundamental o controlador de carga, que impede de maneira direta a sobrecarga da bateria consequentemente impedindo o superaquecimento da mesma para que sua vida útil seja prolongada. O controlador também impede que ocorra uma possível descarga, pelo uso excessivo da bateria. Portanto, essa terceira etapa é simplesmente responsável pela proteção e alongamento da vida útil da bateria e consequentemente evitando possíveis gastos excessivos e que podem ser prevenidos.

O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, apud, ALMEIDA E. et al, 2015).

Na última etapa desse processo de transformação e transmissão de energia elétrica temos o inversor que é responsável por transformar corrente contínua que provem da placa fotovoltaica para corrente alternada. Ou seja, ele pega os 12V que chegam até ele como corrente contínua e os transformam para 110V ou 220V no modo de corrente alternada, pronta para uso dos aparelhos eletro e eletrônicos domésticos.

Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (PINHO & GALDINO, 2014). O processo de transformação por meio das placas fotovoltaicas está representado a figura 11.

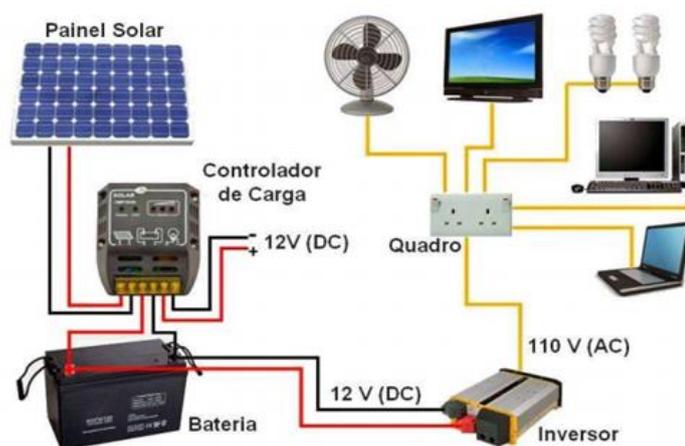


Figura 11 - Representação esquemática do processo de transformação de energia solar para energia elétrica. Fonte: Alfa Energia Solar. (2017)

Observe que esse sistema apresentado na figura 11 somente se apresenta desta maneira caso na região a qual seja inserida não tenha rede elétrica instalada. Caso exista a rede elétrica, não haverá a bateria, mas sim uma unidade de controle e um contador de venda da energia elétrica que está sendo produzida pelas placas fotovoltaicas. Como mostra a figura 12.

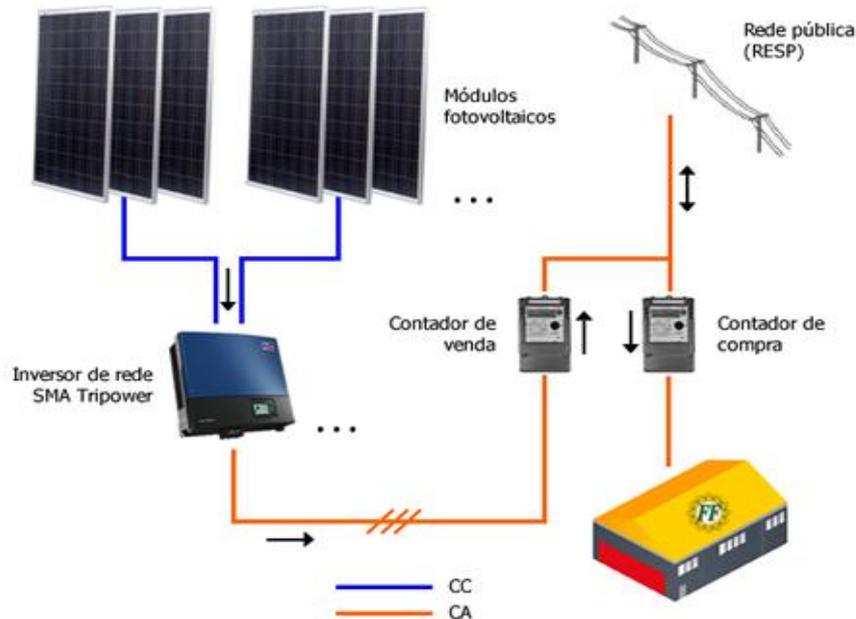


Figura 12 – Sistema autônomo de produção de energia elétrica. Fonte: <http://www.ffsolar.com>(2019)

Note que a construção de uma estação de células fotovoltaicas promoverá uma diminuição da quantia paga pela energia elétrica, já que ao mesmo tempo que a residência está consumindo eletricidade a estação também estará gerando. Ou seja, há a compra e venda de energia elétrica simultânea que é contabilizada pelo contador. Deixando assim, para consumidores das residências brasileiras, pagar somente a energia que consome a mais do que produziu, e em caso contrário, a legislação brasileira diz que ele pode “armazenar” essa energia a mais para o próximo ciclo de pagamentos.

A aplicação destes sistemas geradores de energia em residências vai com a viabilidade econômica que pode variar de acordo com inúmeros fatores, mas principalmente da localização da residência, a demanda prevista de água quente e até mesmo o custo da energia elétrica no local. Vale ressaltar que a viabilidade gira em torno dessas condições porque a placa fotovoltaica é de um custo econômico relativamente alto.

O fator localização geográfica influenciaria justamente por influir no tamanho da área das placas coletoras, isso devido a existência de locais mais ensolarados e com temperaturas

mais elevadas que outros. Nesse sentido um local mais ensolarado e mais quentes consequentemente seria necessário um coletor de área menor, o inverso aconteceria para locais que possuem temperaturas baixas, nesse caso seriam necessários coletores de área maior, para compensar a necessidade de aquecimento de água que porventura seria de maior necessidade. (SILVA, E.P. 2014.)

Portanto, quanto maior o custo da energia (Kwh) maior será a viabilidade econômica dos coletores. Note que a efetivação dessa prática facilitaria e diminuiria bastante a quantidade de Kwh Paga por toda a população, o que viabilizaria uma maior competitividade ao ramo de empresas elétricas do país. Porém essa grande oportunidade de redução de gastos esbarra no custo das placas fotovoltaicas, mesmo apresentando reduções permanentes e avanços tecnológicos na área que favorecem as tecnologias que utilizam o silício, o que resulta numa considerável queda no custo final das células fotovoltaicas. (SILVA, E.P. 2014.)

Segundo a solarvoltage, o tempo de vida de um sistema de energia fotovoltaica ligado à rede de transmissão energética convencional é estimado em um período de 30 a 40 anos. Já a portal solar, diz que para uma casa de porte médio onde resida 4 pessoas o custo para instalação da célula chega a R\$17.570,00.

Em relação a produção mundial de energia elétrica, a produzida por painéis fotovoltaicos recebeu um enorme crescimento de instalações nos últimos anos, isso motivado pela busca de diversificações na área de produção de energia elétrica. Principalmente com o intuito e preocupação com a emissão de gases poluentes que futuramente poderiam custar muito caro para a humanidade, note que apesar do custo houveram e ainda há grande investimento nessa área específica da produção de energia elétrica, que possui grandes atributos e que pode gerar uma diversificação interessante tanto para o mercado quanto para pessoas físicas que tem interesse na redução de sua conta de energia elétrica. (SILVA, E.P. 2014.)

#### **2.2.4. Energia solar no Brasil**

O Brasil possui um território que apresenta um excelente potencial para aproveitamento de energia solar, porém também apresenta uma grande extensão territorial o que dificulta o aproveitamento efetivo de todas as regiões. Até o momento a região que aproveitou de sua localização geográfica para aproveitar esse tipo de energia foi o nordeste, onde estão instaladas as usinas de produção elétrica, justamente porque nessa região do país se tem baixas latitudes com reduzidos índices pluviométricos, o que torna viável a utilização e efetivação desse processo de produção de energia elétrica. (SILVA, E.P. 2014.)

O Brasil, por sua grande diversidade de recursos e por sua respeitável extensão territorial, apresenta diversas oportunidades na diversificação de sua matriz energética. Tal fato é afirmado pela Resolução Normativa N° 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, a qual regulamenta a geração de energia através de placas solares fotovoltaicas (ANEEL, 2012, apud, ALMEIDA E. et al, 2015).

Houve um estudo mais efetivo sobre meios alternativos de produção de energia elétrica durante e após a crise do petróleo, justamente para se buscar diferentes meios para suprir a necessidade da população. Entre 2001 e 2002, durante a crise de suprimento de energia elétrica, houve a exigência de redução de consumo elétrico das residências sob pena de corte no fornecimento de energia, e muitos coletores solares foram instalados com o intuito de atingir uma meta estabelecida para suprir a demanda de produção de energia elétrica no país. Note que os painéis fotovoltaicos foram a válvula de escape inicial, surgindo como solução renovável. Porém, haviam grandes dificuldades quanto a instalação nas residências dos coletores o que se tornou um empecilho inicial no que se refere a implantação efetiva das placas voltaicas. (SILVA, E.P. 2014.)

A cerca dos fatores que influenciam na implantação das placas voltaicas temos que dentre os principais são o grande investimento necessário para tê-las na residência e isso afeta diretamente na efetivação dessa prática devido ao baixo poder aquisitivo da maioria dos brasileiros. Apenas uma pequena parte da população que possui um poder aquisitivo maior dispôs o capital necessário. Como solução para esse problema está sendo sugerido que os painéis solares sejam instalados em conjuntos habitacionais, assim os equipamentos poderiam ser financiados se forma conjunta ao imóvel, o que facilitaria e reduziria o alto custo das placas coletoras e assim teríamos efetivamente uma rede elétrica que atendesse as residências de maneira menos agressiva ao meio ambiente e conseqüentemente com menor custo para a população. (SILVA, E.P. 2014.)

## **2.3. Efeito fotocondutivo**

### **2.3.1. Funcionamento de uma célula fotocondutiva**

O fotocondutor ou fotodiodo é um dispositivo semiconductor que tem a capacidade de captar feixes luminosos e dependendo de sua intensidade variar sua resistência elétrica, ou seja, o dispositivo semiconductor capta raios luminosos e isso faz com que sua resistência elétrica seja alterada. (Newton C. Braga, 2012, V. 2)

Quando um fóton de energia específica incide sobre esse material semiconductor, cria-se uma espécie de par elétron-buraco, que se estiver próximo a região de depleção ocasionara um movimento de migração dos elétrons para o cátodo e dos buracos para o ânodo. Esse processo fará com que se crie uma corrente elétrica reversa no fotocondutor. Vale ressaltar que mesmo no escuro sempre haverá uma corrente reversa fluindo no fotodiodo, que são criados espontaneamente pelos pares de elétrons-buracos na parte em que for atingido energia suficiente para atingir os terminais. Como é apresentada na figura 13.

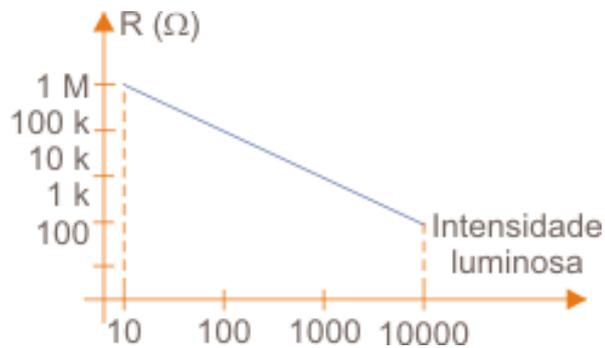


Figura 13 – Gráfico da resistência elétrica em função da intensidade luminosa incidente. Fonte: <http://www.newtoncbraga.com.br>(2019)

Que é basicamente da forma com que o LDR (Light Dependent Resistors) se comporta e funciona.



Figura 14 - LDR e sua representação esquemática. Fonte: SemicondutorForu (2017)

Esse componente possui sua característica voltada a dependência da luminosidade, mais especificamente sua resistência. O LDR apresenta uma resistência muito alta no escuro (na ordem de milhões de ohms), e muito baixa ao ser exposta a luminosidade (da ordem de dezenas e centenas de ohms) o que nesse caso facilitaria a passagem de corrente pelo fotocondutor. (Newton C. Braga) Vale ressaltar que o fotocondutor de luz não produz energia elétrica, ele apenas modifica suas propriedades físicas quando submetido a luminosidade. O caso mais geral de um fotocondutor são os fotoresistores que variam sua resistência de acordo com o grau de

luminosidade a que está sendo exposta. Nesse caso, podemos chamar e determinar que esses tipos de células fotoresistoras são semicondutores que utilizam da energia luminosa para controlar o fluxo de energia elétrica que passa por ele (Newton C. Braga, 2019). Veremos mais à frente as possíveis aplicações desse componente em situações corriqueiras de nosso cotidiano e que conseqüentemente facilitam o desenvolvimento de nossas atividades.

### 2.3.2. Aplicações de Células fotocondutoras

A aplicação dessas células se dá de uma forma muito ampla em nossa sociedade e que ao longo de nossa vivência vamos nos deparando com essas inovações tecnológicas que estão totalmente ligadas a inserção das células fotovoltaicas e fotocondutoras nesses objetos.

Podemos ver a aplicação direta de células fotocondutoras em nossa própria casa, ou em nossa própria rua. Se analisarmos a iluminação pública de um modo mais detalhado, veremos que o ligar e desligar das luzes funciona de acordo com um princípio físico que é justamente o da fotocondutividade. Ao amanhecer as luzes se apagam e ao anoitecer as luzes acendem. Vale ressaltar que há um componente específico na própria iluminação pública que é responsável pela ligação/desligamento do circuito elétrico que o compõem, que é justamente um relê fotoelétrico que funciona como um chaveador que modifica sua resistência elétrica a partir da mudança de intensidade luminosa que incide sobre ele.

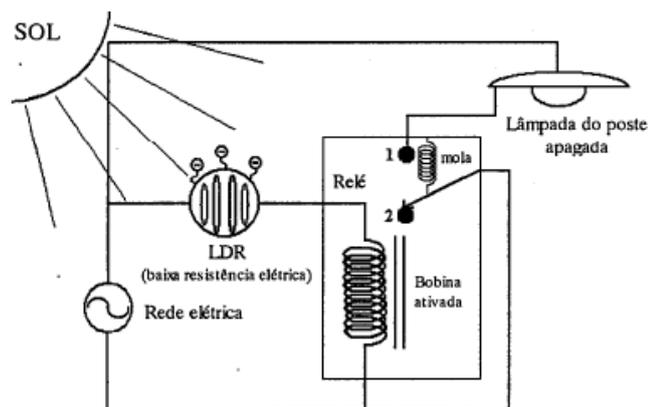


Figura 15 - Funcionamento da iluminação pública durante o dia. Fonte: Cad. Cat. Ens. Fis, v. 15, n. 2: p. 121-135, ago. 1998

Observe que na figura 15, temos todos os componentes que possibilitam o funcionamento da iluminação pública atual no Brasil. Note que temos um fotoresistor presente dentre os compostos que forma esse circuito, ele está presente justamente para controlar a corrente elétrica que passa por ele de acordo com o grau e intensidade luminosa que incide

sobre ele. Observe também que se tem um relê e um chaveamento que é influenciado e regido pelo efeito do campo magnético gerado pela corrente elétrica que passa pelo indutor, o que possibilita a ligação e o desligamento das lâmpadas de acordo com o nível de corrente elétrica que passa por ele, que depende diretamente do grau de luminosidade que incide sobre o LDR.

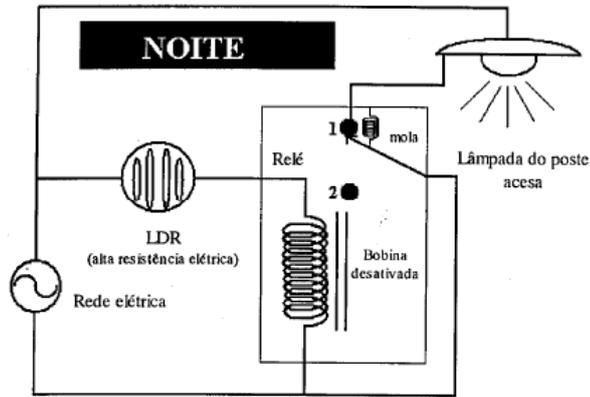


Figura 16 - Funcionamento da iluminação pública durante a noite. Fonte: Cad. Cat. Ens. Fis, v. 15, n. 2: p. 121-135, ago. 1998

Existem várias outras aplicações da fotocondutividade em nosso cotidiano, por exemplo, controle automático de portas de shoppings e supermercados, nesse caso específico um feixe luminoso seria interrompido e isso faz com que as portas se abram. Vale ressaltar que por trás do efeito fotocondutivo há um sistema elétrico que dar suporte para o funcionamento desses objetos.

Dessa forma, faremos uso das teorias até aqui apresentadas para embasar os dois produtos educacionais que serão apresentados nas sessões posteriores. Com o intuito principal de evidenciar em dois experimentos as duas variações do efeito fotoelétrico, que terão como papel fundamental introduzir a física moderna no ensino médio.

### 3. CONSTRUÇÃO DO OBJETO EDUCACIONAL

Nas sessões deste capítulo serão descritos todos os processos envolvidos na construção do produto, desde a sua viabilidade, passando pela sua construção até o funcionamento final do objeto educacional.

#### 3.1. Simulador do chaveamento da iluminação pública

Observe que é de grande importância estudar e entender como funciona o processo de ligação e desligamento do circuito elétrico que culmina no acendimento e desligamento da lâmpada. Justamente porque é um processo que está presente em nosso cotidiano e que possui relação direta com o efeito fotoelétrico, o que nos possibilita discutir e introduzir a física moderna no ensino médio, que é o principal objetivo deste trabalho.

Este experimento busca evidenciar o efeito fotoelétrico a partir de uma de suas variações. Veremos o efeito da fotocondutividade que se faz presente por meio de materiais semicondutores, que variam sua resistência de acordo com a luminosidade que incide sobre esse pequeno componente eletrônico.

Na tabela 1 está presente a listagem dos objetos e componentes eletrônicos utilizados para a construção do aparato experimental.

**Tabela 1 – Material utilizado**

1 LED Branco – D1
1 LDR
1 Resistor de $220\Omega$ - R2
1 Resistor de $100k\Omega$ - R1
1 Transistor BC 548 NPN
1 Fonte de 6,0V – E1
1 Protoboard

Todo o material apresentado na tabela 1 foi organizado de acordo com o esquema apresentado na figura 17.

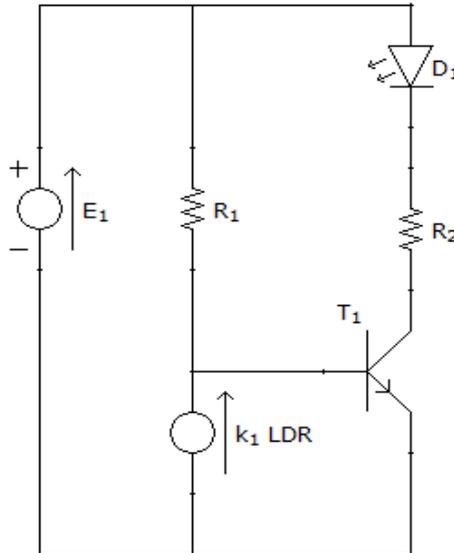


Figura 17 - Circuito esquemático que representa a organização do circuito elétrico utilizado no simulador do chaveamento da iluminação pública observada no experimento 01. Representação esquemática construída pelo autor desse trabalho, no software Solve Elec.

Dessa forma, temos o LDR como regulador e controlador da corrente que passa da fonte para a base do transistor, variando sua resistência de acordo com a intensidade luminosa incidente. Analisando o circuito acima foi construído um circuito elétrico em 3D que representa justamente o que está sendo apresentado na figura 17.

Observe a montagem e a construção em 3D desse circuito na figura 18.

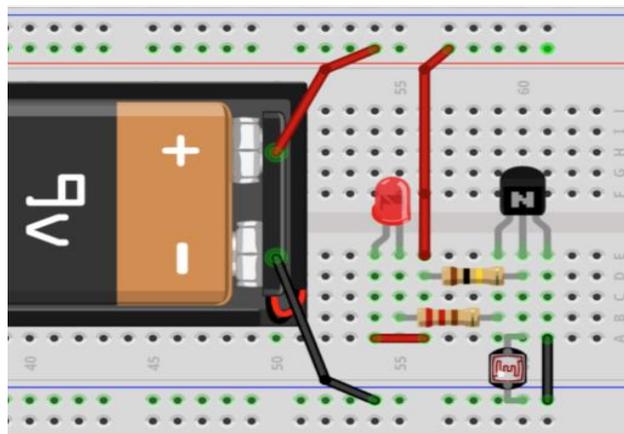


Figura 18 – Representação 3D do circuito elétrico construído para simular o chaveamento da iluminação pública. Fonte: <http://eletronicaparaartistas.com.br/> Acessado em: 14/02/2019.

Observe que temos dois modelos de representatividade. Seguindo as duas representações acima, foi construído o aparato experimental que simula o funcionamento do chaveamento da iluminação pública. A seguir nas figuras 19 e 20 estão apresentadas as figuras do circuito elétrico real construído.

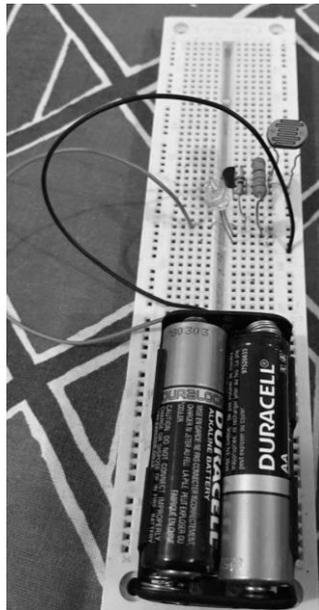


Figura 19 - Aparato experimental que simula o chaveamento da iluminação pública. Fonte: Próprio autor.

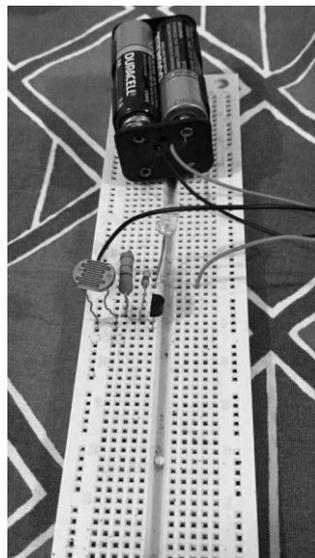


Figura 20 - Aparato experimental que simula o chaveamento da iluminação pública. Fonte: Próprio autor.

E esse foi o resultado da construção experimental do experimento que simula o chaveamento da iluminação pública. Note que mais à frente será apresentado os resultados que

contribuíram para a construção do conhecimento voltado a fotocondutividade do efeito fotoelétrico. Onde veremos que o LDR funciona como um foto resistor influenciando diretamente no processo de ligação e desligamento do circuito, o que culmina no acendimento ou desligamento do LED. Observe que isso só é possível devido a capacidade do LDR de variar sua resistência de acordo com a variação luminosa que incide sobre ele.

### 3.2. Energia solar

Nesse experimento veremos em funcionamento uma placa fotovoltaica acoplada a um pequeno circuito. Esse processo é de grande importância por apresentar um caráter inovador principalmente por estar em meio a tecnologias renováveis de produção de energia elétrica, principalmente porque estaremos obtendo energia elétrica de forma sustentável.

O experimento também nos proporciona uma discussão sobre física moderna, mais especificamente sobre efeito fotoelétrico e uma de suas ramificações que é o efeito fotovoltaico, que possui uma pequena diferença do efeito fotocondutivo. Este processo transforma de fato energia luminosa em energia elétrica. Que é o nosso objetivo com a construção deste experimento.

Na tabela 2 estão contidos os objetos e instrumentos que utilizamos para a construção experimental.

**Tabela 2 – Materiais utilizados**

1 Célula Fotovoltaica
1 Protoboard
1 LED

O experimento é constituído por os materiais presentes na tabela 2 e são organizados de acordo com o modelo esquemático da figura 21.

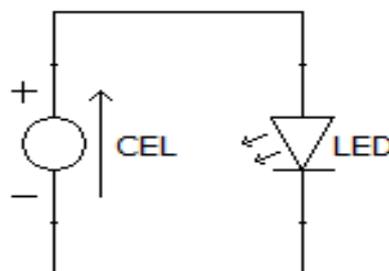


Figura 21 – Modelo esquemático do circuito elétrico construído. Onde a fonte de tensão é a célula fotovoltaica está ligada ao LED.

Representação esquemática construída pelo autor desse trabalho, no software Solve Elec.

Observe que é um circuito simples, justamente porque o objetivo do trabalho é apenas mostrar e apresentar o efeito fotovoltaico presente neste experimento. Evidenciando principalmente a relação da teoria com a prática por meio da experimentação e investigação experimental.

Dessa forma, na figura 22 está evidenciada o experimento final e a qual analisaremos seu funcionamento e discutiremos a física presente.

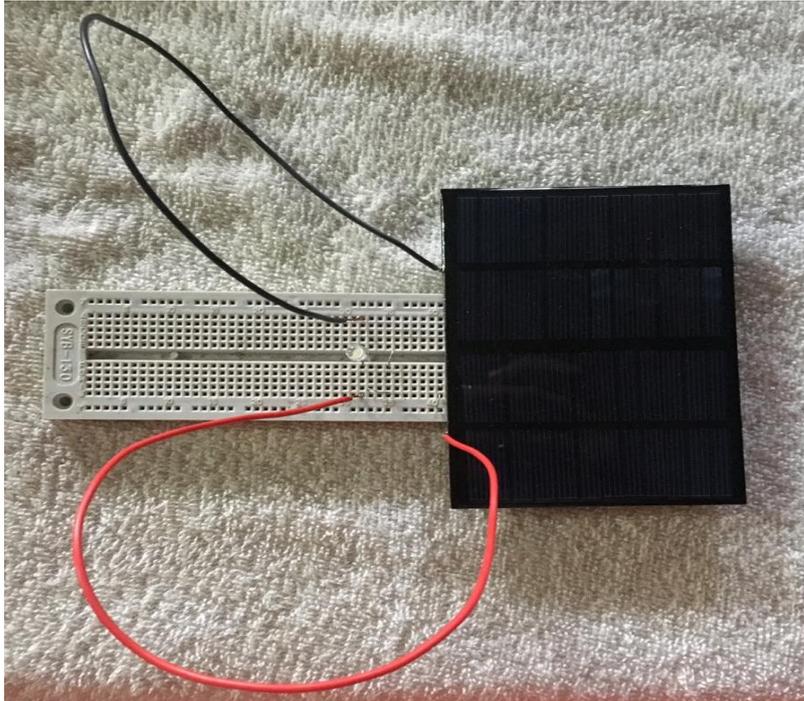


Figura 22 - Experimento da célula fotovoltaica. Fonte: Autoral.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nas sessões desse capítulo serão apresentados os resultados dos dois experimentos que foram produzidos com a intenção de proposta didática para a inserção da física moderna, mais especificamente do efeito foto elétrico no ensino médio.

##### 4.1. Simulador do chaveamento da iluminação pública

De acordo com o que foi apresentado na sessão 2.1 o LDR tem a capacidade de variar sua resistência de acordo com a luminosidade que incide sobre ele, dessa forma com a variação da iluminação do ambiente os resultados colhidos estão representados nas figuras 23 e 24.

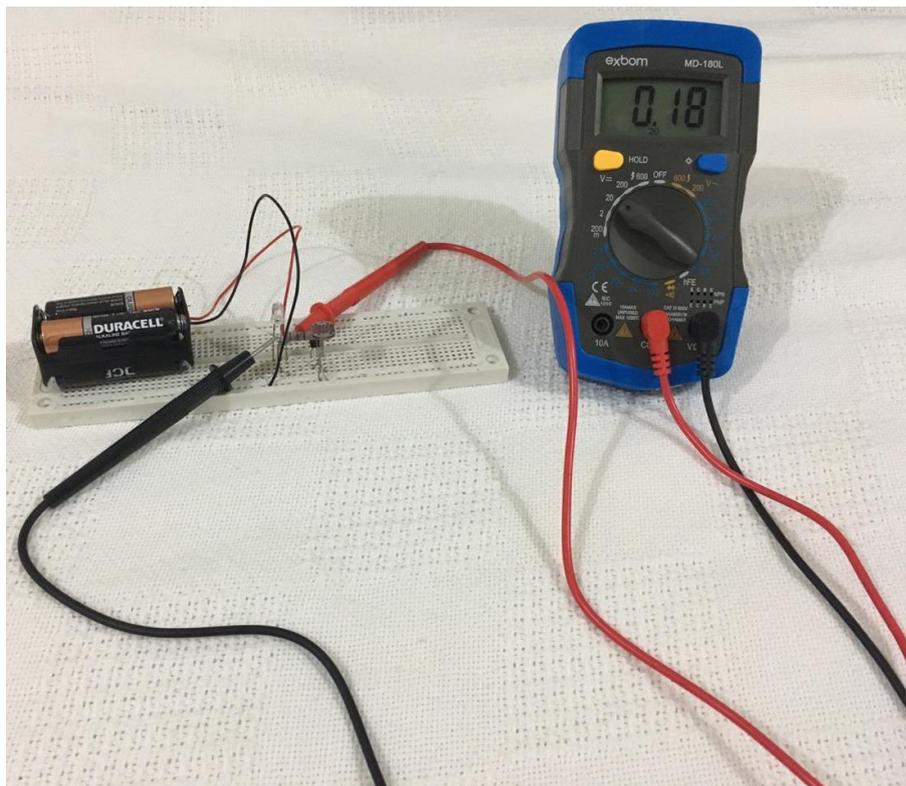


Figura 23 – Simulador do chaveamento da iluminação pública. Simulando o dia em que a luz solar está presente e incide sobre o LDR. Fonte: Autoral.

O multímetro está ligado a lâmpada de LED, justamente para indicar a diferença de potencial que está sendo enviada para a lâmpada. Na figura 17 veremos uma outra configuração.

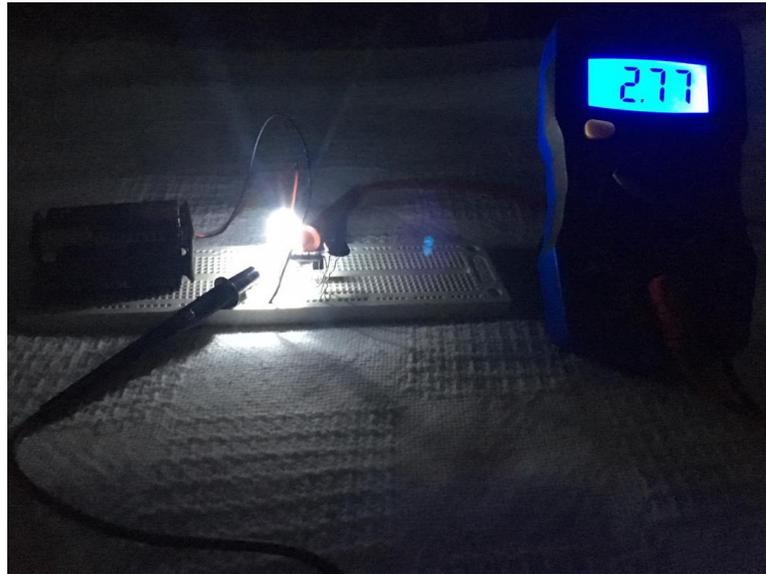


Figura 24 - Simulador do chaveamento da iluminação pública. Simulando a noite em que a luz solar é inexistente a noite. O multímetro está medindo a quantidade de DDP que chega até o LED. Fonte: Autoral.

O multímetro está ligado a lâmpada de LED, justamente para indicar a diferença de potencial que está sendo enviada para a lâmpada. E também para observarmos numericamente o quanto a resistência do LDR variou para que houvesse esse aumento na diferença de potencial.

Dessa forma, ligamos o multímetro aos terminais do LDR nas duas configurações apresentadas na figura 23 e 24 para obtermos a resistência elétrica que ele ofereceu nos dois casos, a fim de observar de maneira numérica a diferença da resistência elétrica para alta luminosidade e baixa luminosidade. Observe os resultados coletados nas figuras 25 e 26.

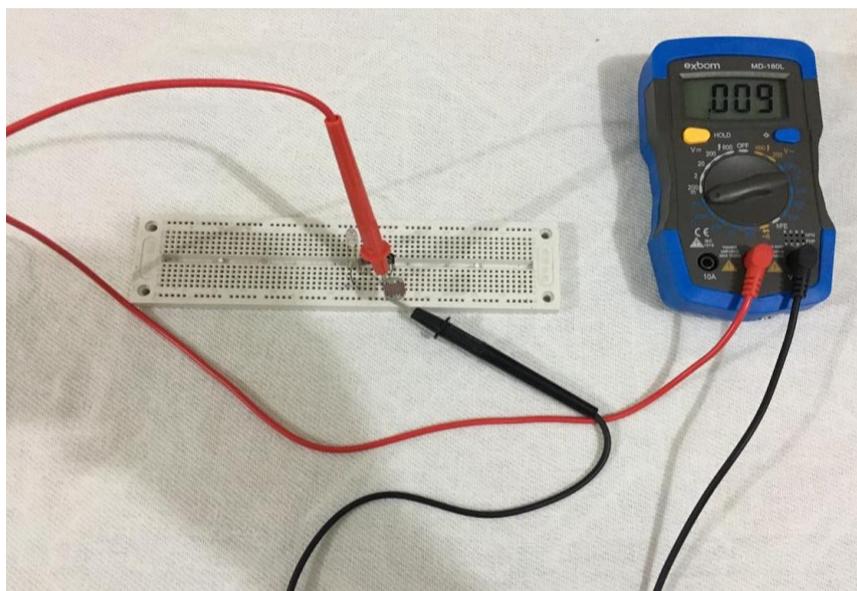


Figura 25 – Resistência elétrica ( $M\Omega$ ) oferecida pelo LDR a um alto nível de luminosidade. Fonte: Autoral.

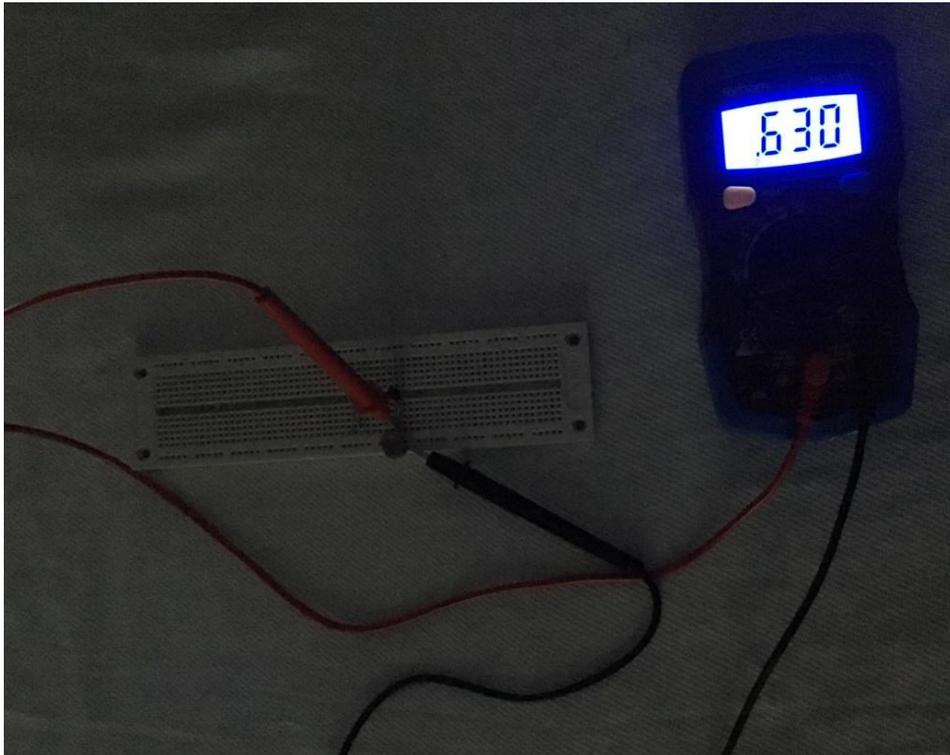


Figura 26 – Resistência elétrica ( $M\Omega$ ) oferecida pelo LDR a um baixo nível de luminosidade. Fonte: Autoral.

Observe que as figuras 25 e 26 representam a resistência em função da intensidade luminosa que incide sobre o LDR. Ambas foram medidas na escala de  $M\Omega$ .

Na figura 25 e 26 temos o nosso circuito elétrico montado e um multímetro ligado aos terminais do LDR para observarmos a variação da resistência apresentada por ele de acordo com a luminosidade incidente.

#### **4.2. Energia solar**

De acordo com o que foi discutido na sessão 2.2 iremos analisar o comportamento da célula fotovoltaica ao alterarmos a luminosidade que incide sobre ela. Primeiro veremos o comportamento da célula sob uma baixa intensidade luminosa e em seguida sob uma alta intensidade de luz, para verificarmos a teoria do efeito fotoelétrico.

Dessa forma, veremos os resultados obtidos nas figuras 27 e 28.

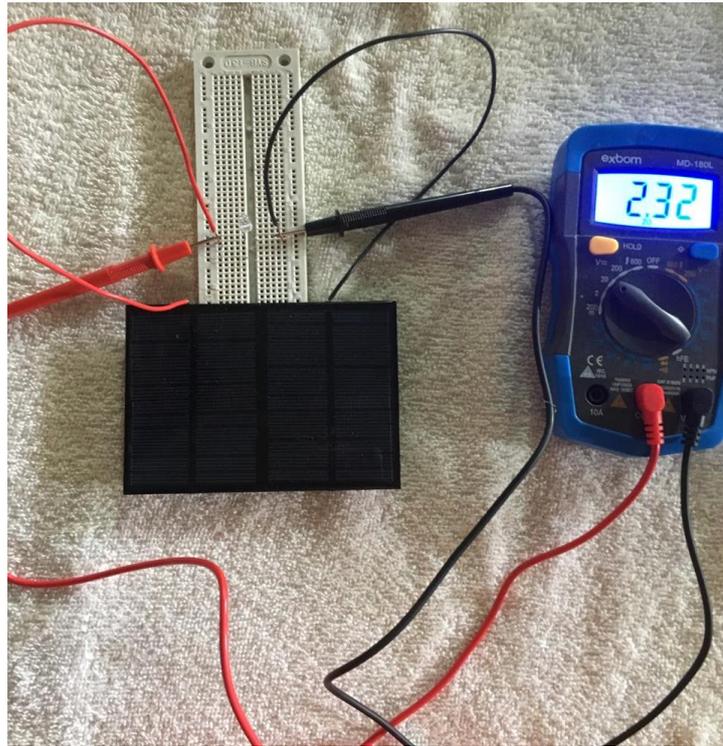


Figura 27 - Experimento da energia solar sob um baixo nível de luminosidade. Fonte: Autoral.

Observe que a tensão gerada pela célula fotovoltaica não foi suficiente para acender o LED. O multímetro está ligado aos terminais negativo e positivo da placa fotovoltaica, justamente para termos uma medição exata e instantânea da tensão que está sendo gerada pela célula sob esse estado de baixa luminosidade. Na figura 28, veremos uma outra configuração.

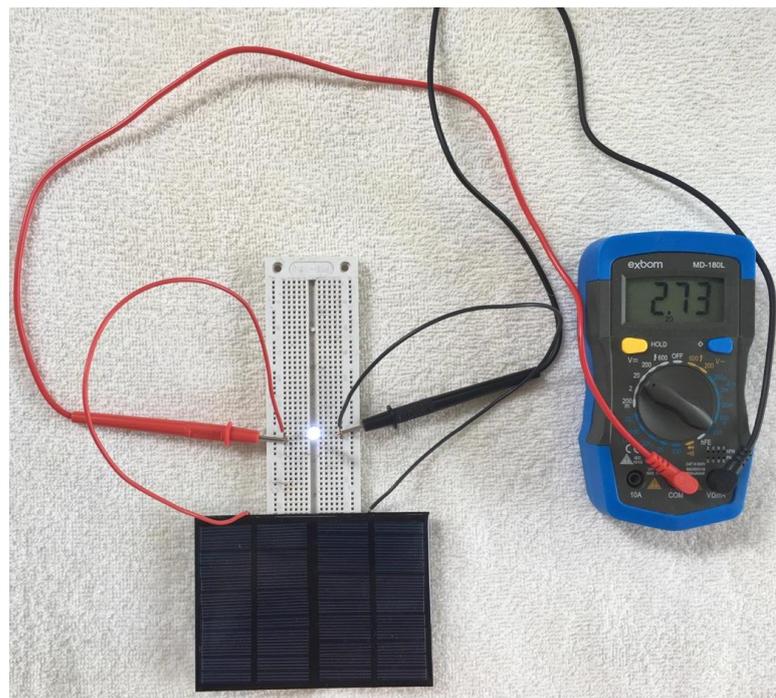


Figura 28 - Experimento da energia solar sob um alto nível de luminosidade. Fonte: Autoral.

Note que nessa nova configuração faz com que o LED acenda diferentemente do que ocorre quando a luminosidade possui um baixo nível de intensidade. O multímetro está ligado aos terminais positivo e negativo da placa para acompanharmos a mudança de tensão que ocorre instantaneamente.

Assim como no experimento do simulador a iluminação pública, analisaremos sem o uso do LED a tensão que a célula fotovoltaica está gerando nas duas configurações apresentadas, em alta luminosidade e baixa luminosidade. E os resultados obtidos estão apresentados nas figuras 29 e 30.

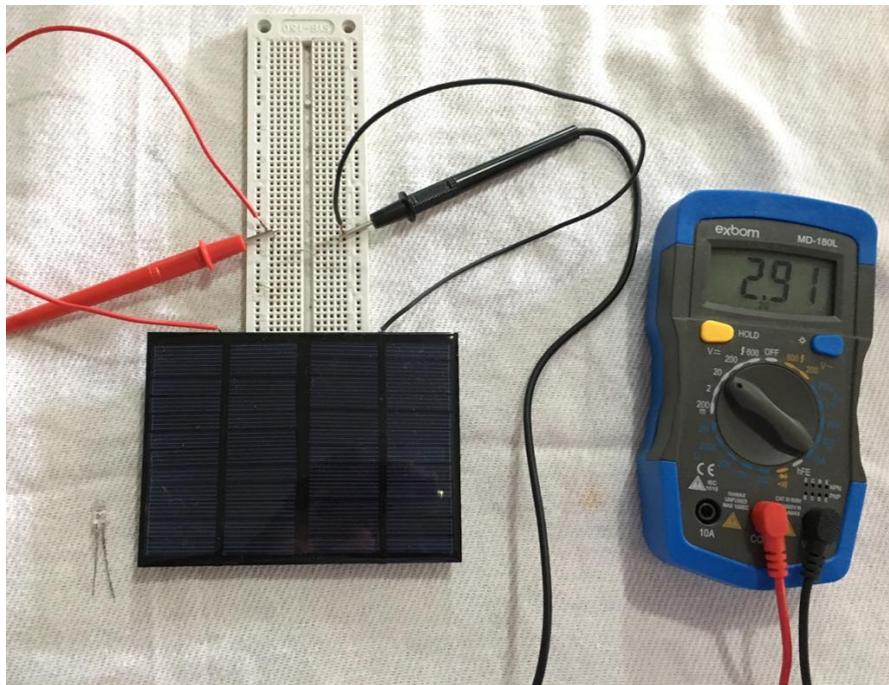


Figura 29 – Funcionamento da célula fotovoltaica em baixa luminosidade sem o LED. Fonte: Autoral.

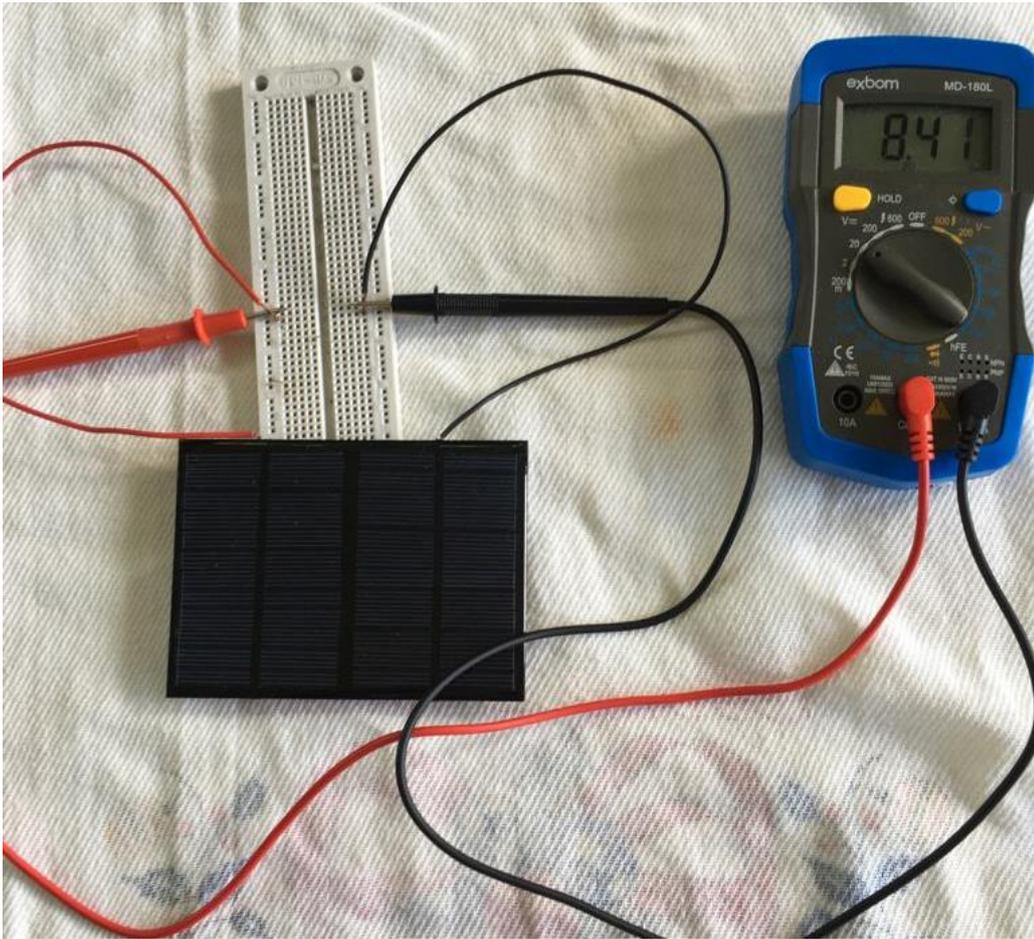


Figura 30 – Funcionamento da célula fotovoltaica em alta luminosidade sem o LED. Fonte: Autoral.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos tópicos deste capítulo, serão apresentadas as relações entre os resultados experimentais obtidos nos dois experimentos com a teoria do efeito foto elétrico apresentada na sessão 1.2.

E evidenciando sua importância no campo de aplicação escolar para reforçar e estruturar os conhecimentos dos discentes por meio da visualização e materialização dos conceitos introduzidos em sala de aula.

### 5.1. Simulador do chaveamento da iluminação pública

Analisando a figura 23, observamos que o LED não acendeu, justamente porque havia luminosidade incidente sobre o LDR. Segundo o que foi dito na sessão 2.1 o LDR diminui sua resistência com o aumento da luminosidade, o que faz com que a corrente elétrica prossiga seu fluxo até a base do transistor que a direcionará para o emissor do transistor, e dessa forma não incluirá o LED no fluxo da corrente. Como mostra a figura 31.

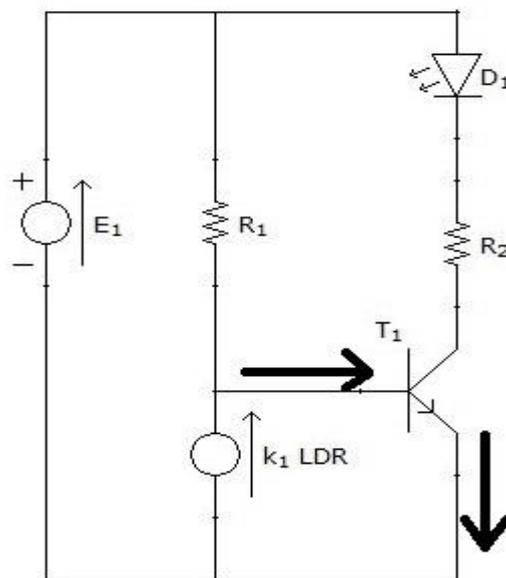


Figura 31 - Circuito esquemático que representa a organização do circuito elétrico utilizado no simulador do chaveamento da iluminação pública com luz incidente sobre o LDR, as setas indicam onde a corrente elétrica flui com maior intensidade. Fonte: Autoral.

Isso ocorre devido ao transistor que foi escolhido. Como é um transistor NPN o seu sentido não permite que a corrente elétrica liberada pela fonte passe pelo LED. No caso da figura 16, vemos que o transistor está trabalhando em corte, ou seja, desligado. Isso porque a

corrente que chega até ele por meio da base e é redirecionada para o emissor, excluindo dessa forma o LED do circuito.

No caso da figura 24 em que não há luminosidade incidente sobre o LDR, sua resistência aumenta e impede que a corrente elétrica passe por ele. Dessa forma a corrente elétrica percorre passa pelo transistor do coletor para o emissor e assim inclui o LED no percurso da corrente elétrica. De acordo com a figura 32.

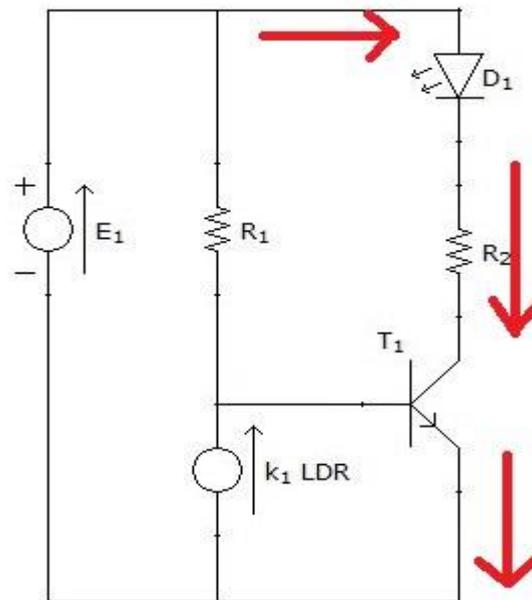


Figura 32 - Circuito esquemático que representa a organização do circuito elétrico utilizado no simulador do chaveamento da iluminação pública sem luz incidente sobre o LDR, as setas indicam por onde a corrente elétrica flui com maior intensidade. Fonte: Autoral.

Neste experimento podemos ver e analisar o efeito fotocondutivo que é uma das variações do efeito fotoelétrico. O LDR nesse processo, não transforma energia luminosa em energia elétrica. Mas sim altera sua resistência proporcionalmente a quantidade de luz que incide sobre ele. Funcionando dessa forma como um sensor de luz que controla a quantidade de corrente elétrica que vai passar por ele de acordo com o nível de iluminação do ambiente.

Portanto, como previsto o LDR funciona como um foto resistor e que tem a capacidade de modificar sua resistência de acordo com a luminosidade incidente (figura 33). E assim poderíamos estudar seu comportamento em sala de aula para introdução e solidificação do estudo do efeito fotoelétrico no ensino médio. Também sendo possível a compreensão da iluminação pública de uma forma mais detalhada.

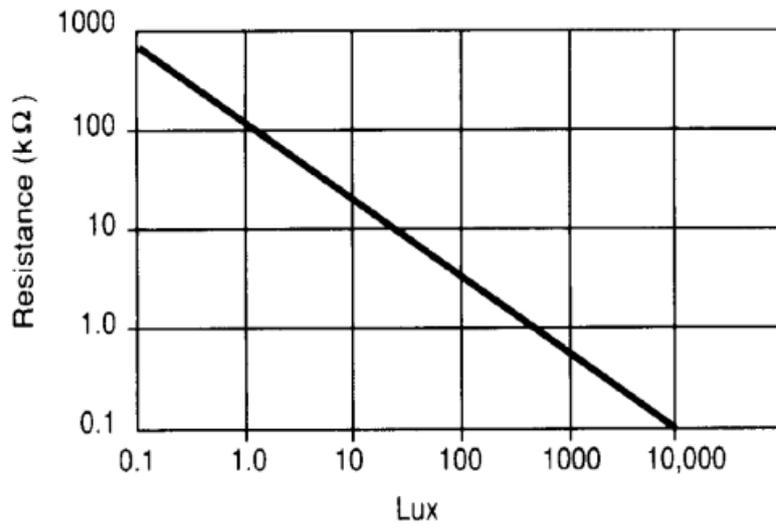


Figura 33 – Gráfico da resistência elétrica de acordo com o lux. Fonte: <http://tot.eng.br>  
Acessado em: 14/02/2019.

Observe que a partir da figura 25, o LDR apresenta uma resistência muito baixa. E como foi apresentado na sessão do capítulo 2, os materiais semicondutores possuem uma barreira de potencial entre a banda de valência e a banda de condução, (figura 7) e neste caso específico do LDR temos uma barreira de potencial que varia seu tamanho de acordo com a quantidade de luz que incide sobre ele alterando sua resistência elétrica. Observe que como houve um alto nível de luminosidade incidente no LDR a resistência do mesmo diminuiu bastante até chegar ao valor de  $0,009M\Omega$ , conseqüentemente o tamanho da barreira de potencial se modificou proporcionalmente.

Já na figura 26 observou-se que a resistência elétrica do LDR aumentou devido à pouca taxa de luminosidade que conseqüentemente distanciou a banda de valência da banda de condução, o que dificultava o salto dos elétrons excitados, de acordo com a incidência dos fótons na célula, conseqüentemente o valor da resistência encontrado foi de  $0,630M\Omega$ .

Portanto, observamos experimentalmente o funcionamento do LDR em função da luminosidade incidente sobre ele. Aplicamos a um circuito que simula a iluminação pública no processo de chaveamento e exploramos ainda mais ao analisarmos qualitativamente a modificação de sua resistência de acordo com o grau de luminosidade incidente. E ao compararmos os resultados experimentais com o gráfico da figura 33, podemos concluir que obteve-se um resultado satisfatório e condizente com o que a teoria apresentava.

Dessa forma tornasse viável a aplicação desse experimento em sala de aula como instrumento introdutório para o ensino da física moderna no ensino médio, por possuir relação

direta com os avanços tecnológicos atuais e que ampliam o campo de ação do professor quanto a estratégias didáticas no processo de ensino aprendizagem do aluno.

## 5.2. Energia Solar

Como foi dito na sessão 2.2 o efeito fotovoltaico baseia-se principalmente na conversão da energia da radiação solar em energia elétrica, de forma que não possui a capacidade de armazenamento mas somente de manter o fluxo de corrente elétrica no circuito.

Portanto, com os resultados experimentais em mãos vimos que a célula fotovoltaica produz uma tensão que varia sua intensidade de acordo com a taxa de luminosidade incidente sobre ela. Isso ocorre devido a distância entre a banda de valência e a banda de condução, que são mais próximas, o que torna mais fácil o estímulo e a excitação do elétron para saltar da banda de valência para a banda de condução, gerando assim a tensão.

Observe que na figura 25, a tensão gerada não foi suficiente para acender o LED, porém constatou-se que a célula estava produzindo uma diferença de potencial de  $2,32 \pm 0,01V$  e que mantinha esse fluxo constante até que a intensidade da radiação solar fosse alterada.

O LED utilizado no experimento é um LED branco de alto brilho e possui uma tensão nominal varia entre  $2,5V \sim 3,0V$ . Tendo essa informação em posse podemos concluir que a tensão fornecida pela célula fotovoltaica na figura 25 não foi satisfatória para que o LED fosse aceso, observe que nessa configuração estávamos a célula estava sob baixa intensidade luminosa e conseqüentemente gerou uma tensão num valor mais baixo que a tensão nominal do LED utilizado.

**Tabela 3 – Tensão dos LEDS em função da cor.**

LEDs		
Cor do LED	Tensão em Volts (V)	Corrente em Miliampères (mA)
Vermelho	1,8V – 2,0V	20 mA
Amarelo	1,8V – 2,0V	20 mA
Laranja	1,8V – 2,0V	20 mA
Verde	2,0V – 2,5V	20 mA
Azul	2,5V – 3,0V	20 mA
Branco	2,5V – 3,0V	20 mA

Fonte: <http://www.comofazerascosas.com.br/> Acessado em: 14/02/2019.

Observe que na figura 26 a tensão fornecida pela célula fotovoltaica foi de  $2,73 \pm 0,01V$ , o que proporcionou uma diferença de potencial suficiente para que o LED fosse aceso.

Ao analisarmos as figuras 29 e 30, e compararmos com as figuras 27 e 28 respectivamente, observamos uma diferença de tensão entre elas, pois nas figuras 27 e 28 o circuito utilizado possui LED enquanto nas figuras 29 e 30 não.

Atribui-se a essa diferença o que denominamos de queda de tensão devido a presença do LED, que é um agente consumidor de tensão no circuito elétrico. Esse efeito ocorre devido a presença do equipamento empregado que é visto pelo circuito elétrico como uma resistência interferindo no circuito e provocando assim uma queda de tensão elétrica. Ou seja, consumindo a tensão que estava sendo produzida pela célula fotovoltaica que se modifica de acordo com a variação da luminosidade que incide sobre ela.

Portanto, vemos que a energia provida da radiação solar que está presente em várias ocasiões de nosso dia-a-dia também possui relação direta com o efeito fotoelétrico, por meio do efeito fotovoltaico. E dessa forma como previsto a placa fotoelétrica apresenta a transformação da energia da radiação solar em energia elétrica de fato, sendo de fato importante para a compreensão dos alunos que a física moderna está presente em nosso cotidiano de forma efetiva, justamente por ser utilizada tanto para fins tecnológicos quanto para fins ecológicos e ambientais. Isto é válido porque a energia solar é considerada uma maneira renovável e limpa de se obter energia elétrica, que de fato nos garante uma estabilidade elétrica e também ambiental.

## 6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A proposta deste trabalho surgiu de uma ideia de como introduzir a física moderna no ensino médio, tendo em vista as dificuldades encontradas pelos professores na sala de aula. Desta forma, a ideia foi de construir dois objetos educacionais para estudar o efeito fotoelétrico no ensino médio de maneira simples desmistificando o formalismo matemático e a abstração dos conceitos físicos. Portanto, o objetivo principal deste trabalho foi de produzir objetos educacionais simples que possibilitassem o estudo e conseqüentemente a inserção da física moderna no ensino médio.

De acordo com a teoria do efeito fotoelétrico, construiu-se dois experimentos. O primeiro busca mostrar o efeito fotocondutivo presente no chaveador da iluminação pública que está em nosso cotidiano, que tem como função abrir ou fechar o circuito elétrico em função da luminosidade que incide sobre um componente eletrônico chamado LDR. Este componente eletrônico varia sua resistência elétrica de acordo com a luminosidade incidente.

O segundo experimento busca mostrar o efeito fotovoltaico que está presente na energia solar, que transforma energia da radiação solar em energia elétrica. Neste experimento veríamos o funcionamento de uma célula fotovoltaica que transforma diretamente a energia solar em energia elétrica, de modo que fosse possível analisar a quantidade de tensão e corrente que a mesma forneceria para um LED.

Observe que mesmo sendo dois experimentos simples, tornasse possível analisar e estudar o efeito fotoelétrico e suas duas variações que estão presentes efetivamente em nosso cotidiano. E sendo assim ótimas ferramentas para o professor utilizar em sala de aula para a introdução da física moderna no ensino médio, principalmente por abordar de maneira prática um conteúdo tão abstrato e que necessita de um aporte teórico razoável para seu entendimento.

Ter em posse estes dois experimentos possibilita ao professor explorar de forma prática e teórica o efeito fotoelétrico, e conseqüentemente motivando e incitando o caráter investigativo dos alunos em relação a física moderna que está totalmente atrelada a tecnologia atual. Vale ressaltar que o segundo experimento foi pensado exclusivamente na região do Nordeste, devido à grande capacidade climática local de fornecer uma boa quantidade de radiação solar. Isto possibilita a aproximação real e efetiva dos alunos com um recurso natural e fundamental da sociedade atual.

A utilização dos objetivos educacionais não necessariamente deve ficar restrito ao que foi apresentado neste trabalho. O professor pode propor modificações quanto a tamanho

da célula fotovoltaica, número de LEDs e até mesmo outros objetos como por exemplo uma calculadora. Já no primeiro pode propor mudanças no circuito elétrico e até mesmo expansão da capacidade resistiva do circuito para que suporte uma tensão de 220V.

Para perspectivas futuras, espera-se que as propostas elaboradas e construídas neste trabalho venham a ser útil em sala de aula, levando em consideração o tempo, a disponibilidade e principalmente com o ímpeto de incitar a investigação e a instigação pelo estudo da física presente nas tecnologias atuais. Sempre buscando evidenciar a importância da presença da física moderna no ensino médio.

## REFERÊNCIAS

- ALFA ENERGIA SOLAR. Energia solar Alfa. 2017. Disponível em: <<http://www.energiasolaralfa.com.br/>>. Acessado em: 14 de Fevereiro de 2019.
- ALMEIDA E. et al *Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica*. Engenharias online. Volume 1. Ano 2015.
- ASSIS A.; SILVA L. F. *Física moderna no ensino médio: Um experimento para abordar o efeito fotoelétrico*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Volume 29, p. 313-324, ano 2012.
- CABRAL J. C. *Efeito fotoelétrico: Uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos*. 2015. 132f. Dissertação (Mestrado em Ensino de física) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.
- COMO CALCULAR O RESISTOR ADEQUADO PARA UM LED. Como fazer as coisas, 2019. Disponível em: <<http://www.comofazerascosas.com.br/como-calculer-o-resistor-adequado-para-um-led.html>>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2019.
- COSTA RAMOS L. B.; ROSA P. R. DA S. *O ensino de ciências: Fatores intrínsecos e extrínsecos que limitam a realização de atividades experimentais pelo professor dos anos finais do ensino fundamental*. Investigação em Ensino de Ciências. Volume 13, p. 299-331, ano 2008.
- EFEITO FOTOELÉTRICO, Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/~betz/iq\\_XX\\_A/fotoElec/aFotoElecText.htm](https://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/fotoElec/aFotoElecText.htm)>. Acesso em : 14 de Fevereiro de 2019.
- EFEITO FOTOELÉTRICO, disponível em: <<http://www.universiaenem.com.br/sistema/faces/pagina/publica/conteudo/textohtml.xhtml?redirect=56494298259014439878134796222>>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2019.
- FADIGAS E. A. F. A. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica. Grupo de energia Escola politécnica Universidade de São Paulo.
- GASPAS A.; MONTEIRO I. C. DE C. *Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: Uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky*. Investigação em ensino de ciências. Volume 10, p. 227-254, ano 2005.
- Gil Pérez, D. & Valdés Castro, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. Enseñanza de las Ciencias, 14(2), 155-163.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física*. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009 vol 4.

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

H. Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica, vol 4*, Editora Edgard Blücher, LTDA (1999).

LANG DA SILVEIRA F. *A metodologia dos programas de pesquisa: A epistemologia de Imre Lakatos*. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Volume 13, p. 219-230, ano 1996.

MATERIAIS SEMICONDUCTORES, Disponível em: <<http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap15.pdf>>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2019.

MONTEIRO M. A.; NARDI R.; BASTOS FILHO J. B. *Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: A necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos*. Ensino de ciências e matemática. temas sobre a formação de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p.

MOREIRA M. C.; OSTERMANN F. *Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física moderna e contemporânea no ensino médio"*. Investigação em ensino de ciências. Volume 5, ano 2001.

NASCIMENTO C. A. *Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica*. 2004. 21f. *Monografia* (especialização em fontes alternativas de energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.

NEWTON, C. BRAGA. LDR, almanaque tecnológico. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/201-1/7547-ldr-alm332>> Acesso em: 14 de Fevereiro de 2019.

NEWTON, C. BRAGA. *Eletrônica Básica: V.1*. São Paulo: NBC, 2012.

NEWTON, C. BRAGA. *Eletrônica Analógica: V.2*. São Paulo: NBC, 2012.

OLIVEIRA, R. L. *Física moderna e contemporânea: Propostas de trabalho aplicadas no ensino médio*. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE. Volume 1, ano 2014.

OSTERMANN, F., MOREIRA, M. A. Tópicos de física contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 6., 1998, Florianópolis. *Atas*. Florianópolis: Imprensa UFSC, 1998. 19p. [Seção de Comunicações Oraís] 1 CD-Rom.

O EFEITO FOTOELÉTRICO PODE OCORRER EM NOSSA PELE. *Natureza da física*. 2015. Disponível em: <<https://naturezadafisica.com/2015/01/31/o-efeito-fotoeletrico-pode-ocorrer-em-nossa-pele/>>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2019.

PACHECO, D. A experimentação e o ensino de ciências. *Ciência & Ensino*. V. 2, 1997.

PAULO, I. J. C. de. *Elementos para uma proposta de inserção de tópicos de física moderna no ensino de nível médio*. Cuiabá: Instituto de Educação – UFMT, 1997. Diss. Mestr. Educação.

PEQUENA PRODUÇÃO, Disponível em: <<http://www.ffsolar.com/index.php?lang=PT&page=pequena-producao>>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2019.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J.; GALDINO, M. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

REZENDE JR, M. F. *Fenômenos e a Introdução de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*. 2001. 180f. *Dissertação* (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS A. C.; NASCIMENTO S. D.; SOUZA D. N. *Ensino de física moderna: Perspectivas e desafios sob o olhar de alguns professores de física do ensino médio*. Scientia Plena. Volume 12, ano 2016.

SARAIVA-NEVES M.; CABALLERO C.; MOREIRA M. C. *Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da física, em sala de aula – Um estudo exploratório*. Investigação em ensino de ciências. Volume 11, p. 383-401, ano 2006.

SCRIBD. Efeito fotoelétrico. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/87886879/O-Efeito-Fotoeletrico>> Acesso em: 14 de Fevereiro de 2019.

SENSOR DE LUZ LDR COM ARDUINO, Disponível em: <<http://tot.eng.br/sensor-luz-ldr-arduino/>>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2019.

SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. *Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados*, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

SILVA, E.P. Fontes Renováveis de Energia 1. 1. ed. Campinas – SP. LF Editorial, 2014.

SOUZA J. P. DA S. *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações para o ensino médio*. 2016. 115f. *Dissertação* (Mestrado em ensino de Física) – Instituto de física, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará.

TEORIA DOS SEMICONDUTORES, Disponível em:  
<<https://slideplayer.com.br/slide/3627825/>>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2019.

TERRAZZAN, E. A. *Perspectivas para a Inserção da Física Moderna na Escola Média. 1994. 241f. Tese* (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene, Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 3, 5a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

TRANSISTORES – INTRODUÇÃO. Eletrônica para artistas. 2017. Disponível em:  
<<http://eletronicaparaartistas.com.br/transistores-1-introducao/>>. Acessado em: 14 de Fevereiro de 2019.

VALADARES E. DE C.; MOREIRA A. M. *Ensinando física moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro*. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Volume 15, p. 121-135, ano 1998.

VIEIRA F. A. DA S. *Ensino por Investigação e aprendizagem significativa crítica: Análise fenomenológica do potencial de uma proposta de ensino. 2012. 197f. Dissertação* (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de ciências, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Bauro, São Paulo.