

Campus Nilópolis

Mestrado Profissional em Ensino
de Ciências

Alexandre da Silva
Barcellos

**APLICAÇÕES DIDÁTICAS
DE UMA CÉLULA SOLAR
CONSTRUÍDA COM LED: um
ensaio para a disciplina
Fundamentos de Energia
Solar Fotovoltaica no Curso
FIC Instalador de Sistemas
Fotovoltaicos**

ALEXANDRE DA SILVA BARCELLOS

APLICAÇÕES DIDÁTICAS DE UMA CÉLULA SOLAR CONSTRUÍDA COM LED:
um ensaio para a disciplina Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica no Curso FIC
Instalador de Sistemas Fotovoltaicos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Ensino de Ciências, Campus Nilópolis, do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio
de Janeiro, como requisito para obtenção do título de
Mestre em Ensino de Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Lopes de Oliveira

NILÓPOLIS – RJ

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

B242a Barcellos, Alexandre
APLICAÇÕES DIDÁTICAS DE UMA CÉLULA SOLAR
CONSTRUÍDA COM LED : um ensaio para a disciplina Fundamentos
de Energia Solar Fotovoltaica no Curso FIC Instalador de Sistemas
Fotovoltaicos / Alexandre Barcellos - Nilópolis, 2022.
71 f. ; 30 cm.

Orientação: Alexandre Lopes de Oliveira.
Dissertação - (mestrado), Mestrado Profissional em Ensino de
Ciências, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Rio de Janeiro, Campus Nilópolis, 2022.

1. Mestrado Profissional. 2. Ensino de Ciências. 3. Kit
experimental. 4. Célula Fotovoltaica. 5. Sistemas Fotovoltaicos. I.
Lopes de Oliveira, Alexandre, **orient.** II. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. III. Título

Elaborado pelo Módulo Ficha Catalográfica do Sistema Intranet do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
- Campus Volta Redonda e Modificado pelo Campus Nilópolis/LAC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Bibliotecária: Heloisa S. Lima CRB-7/6089

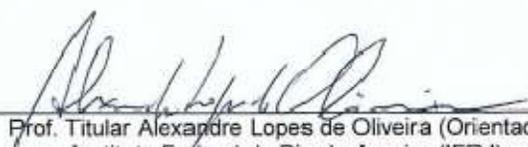
ALEXANDRE DA SILVA BARCELLOS

APLICAÇÕES DIDÁTICAS DE UMA CÉLULA SOLAR CONSTRUÍDA COM LED: um ensaio para a disciplina Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica no Curso FIC Instalador de Sistemas Fotovoltaicos

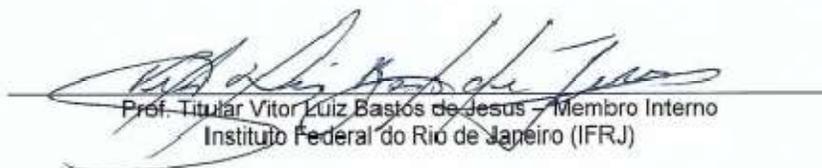
Dissertação apresentada ao Instituto Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Aprovada em: 21/07/2022

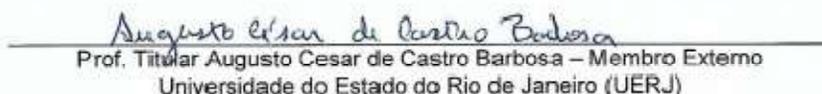
BANCA EXAMINADORA



Prof. Titular Alexandre Lopes de Oliveira (Orientador)
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)



Prof. Titular Vitor Luiz Bastos de Jesus – Membro Interno
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)



Prof. Titular Augusto Cesar de Castro Barbosa – Membro Externo
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Dedico esta obra a toda minha família por todo amor, apoio, carinho e confiança no meu trabalho e, em especial, aos meus queridos pai e mãe, o Sr. Rudinei Gomes de Azevedo e a Sra. Maria Helena da Silva, que sempre olharam e vibraram por mim.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Ana Caroline e filhos Mariana e Heitor, por toda estrutura e incentivo para que eu pudesse me dedicar à realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Lopes de Oliveira, pela atenção, orientações e direcionamento constante ao longo de todo o processo.

Aos meus colegas do curso de mestrado, pelo acolhimento, conversas e discussões que me proporcionaram grande amadurecimento nessa árdua caminhada.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que
ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”
Arthur Schopenhauer

BARCELLOS, Alexandre da Silva. Aplicações didáticas de uma célula solar construída com LED: um ensaio para o curso de Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica do Curso de Instalador de Sistemas Fotovoltaicos da FIC. Dissertação de Mestrado Profissional, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ensino de Ciências, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis. RJ, Nilópolis, 2022.

RESUMO

Diante do cenário mundial, em que muitos países buscam substituir os combustíveis fósseis, a energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa promissora. Portanto, o investimento no setor de geração de energia solar fotovoltaica pode contribuir com a redução da dependência dos combustíveis fósseis e, ainda, viabilizar a abertura de empresas especializadas em implementação de projetos, criação de novas profissões e a conjunção para novos postos de trabalho. Nesse sentido, a difusão da cultura sobre energia solar, a capacitação de profissionais em diversos níveis de conhecimento e os incentivos para o desenvolvimento da indústria e comércio, são de extrema importância. Na tentativa de contribuir com processo de ensino e aprendizagem para a formação de profissionais qualificados para essa área, mais especificamente no curso de Formação Inicial e Continuada (FIC) – Montador de Sistemas Fotovoltaicos, este trabalho apresenta a construção da disciplina Fundamentos de Sistema Fotovoltaico, numa perspectiva metodológica baseada na metodologia ativa *Peer Instruction* (Instrução pelos Colegas – IpC), em que se utiliza um material didático experimental: “célula solar” construída com LED, aliando teoria e prática ao conteúdo do curso. A “célula solar” é um material didático instrucional em que se utilizam 12 LED e por meio de fácil montagem é possível obter de forma análoga o comportamento dos módulos comerciais quanto às variações nas posições em relação à direção dos raios de Sol e variações climáticas. Os materiais didáticos instrucionais associados à esta dissertação são dois livros, a saber: um livro direcionado para professores(as) e outro para alunos(as).

Palavras-chaves: material didático, energia solar fotovoltaica, célula solar com LED

BARCELLOS, Alexandre da Silva. Didactic applications of a solar cell built with LED: an essay for the Fundamentals of Photovoltaic Solar Energy course in the FIC Photovoltaic Systems Installer Course. Professional Master's Dissertation, Stricto Sensu Graduate Program in Science Teaching, Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis. RJ, Nilópolis, 2022.

ABSTRACT

Faced with the world scenario, in which many countries seek to replace fossil fuels, photovoltaic solar energy appears as a promising alternative. Therefore, investment in the photovoltaic solar energy generation sector can contribute to reducing dependence on fossil fuels and also enable the opening of companies specialized in project implementation, creation of new professions and the combination of new jobs. In this sense, the dissemination of the culture on solar energy, the training of professionals at different levels of knowledge and the incentives for the development of industry and commerce are extremely important. In an attempt to contribute to the teaching and learning process for the training of qualified professionals for this area, more specifically in the Initial and Continuing Training (FIC) - Photovoltaic Systems Assembler, this work presents the construction of the discipline Fundamentals of Photovoltaic System, from a methodological perspective based on active Peer Instruction methodologies, in which an experimental teaching material is used: "solar cell" built with LED, combining theory and practice with the course content. The "solar cell" is an instructional didactic material in which 12 LEDs are used and through easy assembly it is possible to obtain in an analogous way the behavior of commercial modules regarding variations in positions in relation to the direction of the sun's rays and climatic variations. The instructional teaching materials associated with this dissertation are two books, namely: a book aimed at teachers and another one for students.

Keywords: didactic material, photovoltaic solar energy, solar cell with LED

LISTA DE SIGLAS E ABRVIAÇÕES

EBTT	Ensino Básico Técnico e Tecnológico
IFRJ	Instituto Federal do Rio de Janeiro
CSJM	Campus São João de Meriti
PPC	Projeto Pedagógico de Curso
IFF	Instituto Federal Fluminense
CEFET-RJ	Centro Federal de Educação Tecnológica - Celso Suckow da Fonseca
LED	<i>Light emitting diode</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
EPE	Empresa de Planejamento Energético
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
EnergIF	Programa para Desenvolvimento em Energias Renováveis e Eficiência Energética na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica
SETEC	Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
IpC	Instruções por Colegas
QE	Quase Experimental

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. UMA BREVE ABORDAGEM SOBRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	4
3. PRINCÍPIOS FÍSICOS DA CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM ELÉTRICA	10
3.1 JUNÇÃO P-N	14
3.2 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	16
4. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E AS METODOLOGIAS ATIVAS	20
4.1 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS	20
4.2 METODOLOGIAS ATIVAS.....	21
4.2.1 Metodologias ativas – Uma visão geral.....	21
4.3.2 Metodologias ativas – Instruções por Colegas (IpC).....	25
5. PROPOSTA METODOLÓGICA	29
5.1 A “CÉLULA SOLAR”	29
5.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	32
5.2.1 Considerações gerais	32
5.2.2 Proposta para as aulas	33
5.3 DESCRIÇÃO E RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS.....	34
5.3.1 Descrição do material utilizado	34
5.3.2 Resultado dos experimentos	39
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE A - Descrição do produto final	53
ANEXO 1 - Acordo de cooperação técnica	55
ANEXO 2 - Datasheet módulo fotovoltaico era solar	56
ANEXO 3 - Tabela periódica	57

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi inicialmente pensado em meados de 2019, nas primeiras reuniões de orientação. Na ocasião definimos, entre outros assuntos, as estratégias didáticas, o referencial teórico, a metodologia e o produto a ser produzido, com o intuito de aplicar a estratégia didática numa turma de Formação Inicial e Continuada (FIC) do curso Instalador de Sistemas Fotovoltaicos, na disciplina Fundamentos de Sistemas Fotovoltaico, oferecido pelo IFRJ, *Campus Nilópolis*.

À época, o referencial teórico escolhido a *Peer Instruction* (Instrução pelos Colegas – IpC, em tradução livre) do autor Erik Mazur, pelo fato de evidenciar uma maior interação entre os alunos em sala de aula. A metodologia buscaria associar aulas teóricas com práticas, utilizando-se de um experimento que simula um módulo solar comercial, nos assuntos em que a apresentação prática fosse pertinente. Portanto, a metodologia de aplicação seria a IpC mediada pelo experimento célula solar construída com LED. Para verificação do ensino e aprendizagem das intervenções seria por meio do delineamento quase experimental, por conta da baixa estatística, e de forma quantitativa por meio do ganho de Hake. Como desdobramento, seriam propostos dois materiais didáticos instrucionais (conhecidos como produtos educacionais), a saber: o livro do(a) professor(a) com uma proposta de aplicação da metodológica utilizando-se a IpC e o experimento célula solar construída com LED e o livro do(a) aluno(a) com tópicos dos conteúdos previstos na disciplina.

A aplicação da estratégia didática iniciaria no mês de abril de 2020. Entretanto, devido ao surto pandêmico de COVID-19, todas as atividades foram suspensas, interrompendo o início da disciplina e a paralisação, momentânea, do curso. As atividades no IFRJ somente foram retomadas em outubro de 2020, porém a estratégia adotada para a volta às aulas foi por meio das Atividades Pedagógicas Não Presenciais (APNP).

No formato inicialmente idealizado a realização da proposta ficou impossibilitada de ocorrer. Nesse sentido, este trabalho apresenta, então, uma proposta metodológica para aplicação em sala de aula da disciplina Fundamentos de Sistemas Fotovoltaico, o ensaio de viabilidade do kit experimental de material alternativo denominado célula solar construída com LED para simulação do funcionamento de um módulo solar e os dois livros inicialmente propostos.

1. INTRODUÇÃO

O modo como a sociedade tem se organizado e se desenvolvido está atrelado à obtenção de energia e transformação do meio ambiente. Ao longo da história ficou evidente a carência de energia para subsidiar o progresso em todos os aspectos da vida humana. Nas últimas décadas tem-se visto um apelo de várias vozes alertando sobre o iminente fim dos recursos energéticos atualmente utilizados, baseados em combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural) e os impactos ambientais por eles causados.

Nesse sentido, uma das medidas que vem sendo experimentadas por alguns países é o aumento das fontes de energias limpas e renováveis em suas matrizes elétricas. Essas fontes de energias são consideradas inesgotáveis, pois suas quantidades se renovam constantemente ao serem usadas. Como exemplo, podem ser citadas as fontes hídricas (energia da água dos rios), solar (energia do Sol), eólica (energia do vento), biomassa (energia de matéria orgânica), geotérmica (energia do interior da Terra), oceânica (energia das marés e das ondas) e hidrogênio (energia química da molécula de hidrogênio). Essas fontes renováveis de energias também são consideradas limpas, pois emitem menos gases de efeito estufa (GEE) que as fontes fósseis e, por isso, estão conseguindo uma boa inserção no mercado mundial.

Dos exemplos citados, a fonte de energia solar fotovoltaica tem grande potencial de crescimento, podendo atingir 40% de toda matriz energética do planeta até 2050, segundo relatou o presidente da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) num Workshop Energia – Energia Solar Fotovoltaica, realizado em 2010, na sede da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), em São Paulo. Ainda, conforme o presidente da ABSOLAR mencionou, o Brasil apresenta-se bem localizado geograficamente e com grande potencial de geração de energia elétrica a partir da fonte solar, pois possui boa incidência de irradiação solar em toda a sua extensão territorial (ABSOLAR, 2010).

Diante do exposto, entender o que é essa tecnologia e refletir sobre a sua utilização e os impactos que ela possa causar no meio ambiente e na vida do cidadão, atualmente é bastante relevante. Portanto, promover o debate e mostrar à população que ela é uma opção ao uso dos combustíveis fósseis, à diminuição da dependência das hidrelétricas que, apesar de limpas e renováveis, causam grandes impactos ambientais, pode levar a uma mudança de postura por parte da sociedade e, conseqüentemente, projetar um futuro melhor, com menos poluição e com maior preservação dos recursos naturais.

Contudo, para que esse debate ocorra é necessário que ele chegue nos diversos setores da sociedade e, um dos lugares que certamente ele deve acontecer é no espaço acadêmico.

Mostrar para os alunos que tipo de tecnologia compõem os sistemas solares fotovoltaicos e quais são as suas vantagens e desvantagens poderá formar cidadãos mais conscientes com respeito às políticas públicas que envolvam questões energéticas e ambientais importantes para a sociedade.

Entre os diversos níveis acadêmicos que esse assunto pode ocorrer, com graus de complexidade e abrangências distintas, a proposta neste trabalho destina-se, principalmente, ao ensino no curso de Formação Inicial e Continuada (FIC), mais especificamente, na disciplina de Fundamentos de Sistemas Fotovoltaicos do curso Instalador de Sistemas Fotovoltaicos, oferecido pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis.

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar a proposta de uma metodologia de ensino, associada a experimentos, para explicação dos fenômenos fotovoltaicos que os módulos solares estão sujeitos. Especificamente, pretende-se mostrar as etapas para a aplicação da metodologia, os resultados dos quatro experimentos propostos e apresentar os produtos educacionais destinados aos docentes e discentes que ingressarem no curso FIC Instalador Fotovoltaico.

Para cumprir o objetivo geral desta dissertação, estruturou-se a mesma em seis capítulos, a saber:

O Capítulo 1 como introdução.

O Capítulo 2 apresentando uma breve abordagem sobre energia solar fotovoltaica. Descrevendo desde a descoberta do fenômeno, as primeiras células solares, o panorama atual no mundo e no Brasil.

O Capítulo 3 é sobre os princípios físicos da conversão da energia solar em energia elétrica. O capítulo aborda as características elétricas dos elementos semicondutores, a teoria de bandas de energia, os semicondutores intrínsecos e extrínsecos, o princípio de funcionamento de uma célula solar e as características elétricas dos módulos comerciais.

O Capítulo 4 apresenta o aporte teórico, em que são abordadas as teorias sobre atividades experimentais e metodologias ativas, mais especificamente a *Peer Instruction*.

O Capítulo 5 apresenta a proposta metodológica para aplicação da metodologia aliada às atividades experimentais com a “célula solar” construída com LED.

Por fim, o Capítulo 6 destina-se às considerações finais deste trabalho.

2. UMA BREVE ABORDAGEM SOBRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

As tecnologias que utilizam o princípio fotovoltaico são usadas tanto na Terra quanto no espaço e tem princípio de funcionamento baseado na transformação direta da radiação solar em energia elétrica. Esse fenômeno só é possível devido às células solares, que são fundamentalmente constituídas por dois contatos metálicos e duas pastilhas semicondutoras com dopagens distintas. A conversão de energia ocorre quando uma diferença de potencial elétrica (ΔV) se estabelece nas extremidades dos contatos metálicos, a partir da incidência de luz sobre o material semiconductor (ZSE e NG, 2007).

A descoberta do efeito fotovoltaico é por vezes atribuída ao físico francês Edmond Becquerel (1820–1891), observando que a ocorrência de algumas reações químicas induzidas pela luz produzia corrente elétrica, em 1839. Esse mesmo fenômeno foi visto também pelo físico Heinrich Hertz (1857–1894), por volta de 1887, quando percebeu que a intensidade da descarga elétrica entre dois eletrodos aumentava à medida que se fazia incidir luz sobre eles.

Contudo, a devida compreensão desse fenômeno físico só foi possível no início do século XX, após Max Planck (1858–1947) ter estabelecido a teoria quântica e Albert Einstein (1879–1955), em 1905, ter realizado a interpretação desse efeito por meio de um modelo corpuscular para a luz, que passava a ser entendida também como pacotes de energia, denominados fótons. Na ocasião, Einstein descreveu os resultados experimentais do efeito fotoelétrico para a radiação eletromagnética, considerando tal efeito como um processo de colisão entre um elétron e um fóton (PALANDI, *et al*, 2010).

A primeira célula solar moderna foi apresentada em 1954. Tinha apenas dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, gerando 5 mW de potência elétrica. Cinquenta anos depois, em 2004, foram produzidas cerca de mil milhão de células, com eficiências da ordem de 16%, ultrapassando pela primeira vez a barreira de 1 GW de potência elétrica anual instalada (GREEN, 2005).

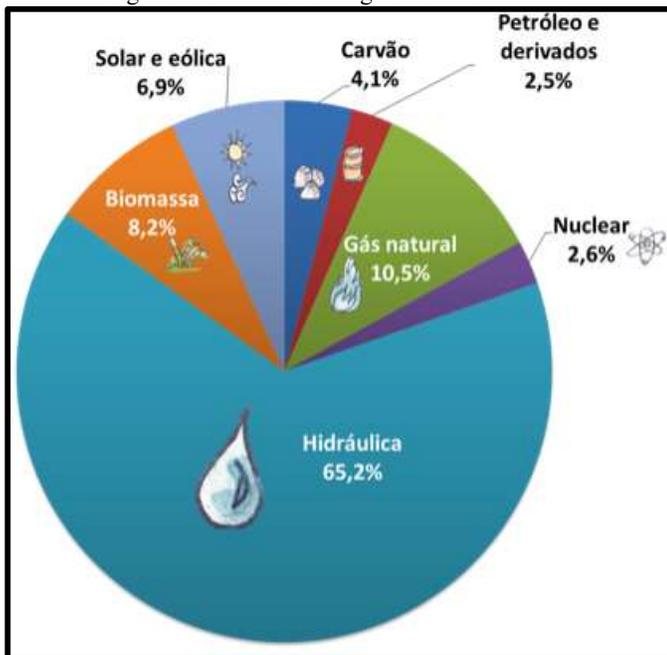
Hoje o cenário mundial relacionado à fonte de energia solar fotovoltaica é de otimismo e crescimento, e os países que mais se destacam no mercado mundial de energia solar fotovoltaica são a China, líder do *ranking* desde 2015, alcançando uma potência instalada de 176,1 GW em 2018. Os Estados Unidos da América (EUA) apresentam-se em segundo com capacidade instalada de 62,2 GW, seguido pelo Japão com 56 GW e a Alemanha com 45,4 GW (ABSOLAR, 2019).

No Brasil a situação ainda é um pouco tímida, quando comparada com os países que ocupam o topo do *ranking* em produção de energia solar. Como citado, mesmo possuindo um

excelente território com potencial energético para a exploração do mercado de energia solar fotovoltaica, que chega a superar o potencial de países europeus que estão na liderança mundial desse mercado, e de vir experimento um expressivo crescimento dessa tecnologia ano após ano, ele continua com uma capacidade instalada que ainda não o coloca entre os dez maiores líderes mundiais em produção (NASCIMENTO, 2017). Atualmente a sua geração está em torno de 2,3 GW, sendo que 16,2% se apresentam na modalidade de geração distribuída e 83,8% em projetos de geração centralizada. Segundo Bezerra (2018, p. 6), esse é um número ainda insignificante, quando comparado ao total de 141 GW de capacidade instalada de energia elétrica, na matriz elétrica brasileira.

Uma das possíveis explicações para esse cenário em que o Brasil se encontra frente aos números internacionais pode estar relacionada com a facilidade de recursos para geração de energia a partir de fontes renováveis como a hidráulica, a eólica e a biomassa (NASCIMENTO, 2017). Hoje a matriz elétrica brasileira conta com apenas 9,2% de fontes não renováveis, conforme pode ser visto na Figura 2.1, e esse é um número muito pequeno quando comparado com outros países no mundo. Segundo dados da Empresa de Planejamento Energético (EPE), o Brasil lidera o *Ranking* de fontes de energias renováveis para produção de energia elétrica com uma grande folga, chegando a ter 90,8% de participação das renováveis em sua matriz, contra apenas 21,2% no mundo (BRASIL, 2016).

Figura 2.1 Matriz de energia elétrica brasileira.

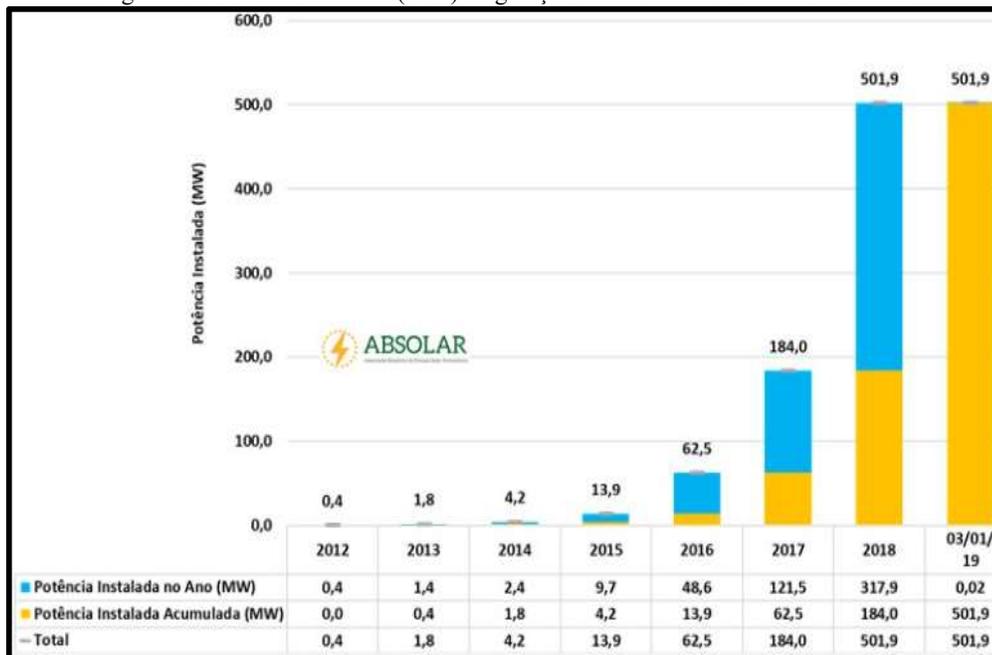


Fonte: Brazilian Energy Balance (BEN), 2018.

Uma matriz de energia elétrica baseada em energias renováveis é a solução para diversos problemas. Mas, no Brasil, o sistema elétrico enfrenta outros problemas de ordens técnicas. A crise hídrica vivida nos últimos anos, por exemplo, afeta diretamente a produção (BRASIL, 2015) e obriga a ligação das termelétricas, conduzindo um aumento no custo de energia para o consumidor devido a mudança da bandeira tarifária. Outro ponto que pode ser citado é o dispêndio financeiro com a manutenção de toda estrutura que proporciona o transporte de energia das usinas hidrelétricas até os centros urbanos.

Por conseguinte, na tentativa de minimizar a dependência das fontes hídricas e os custos com transmissão, apostando em fontes renováveis, nas últimas décadas, os agentes do governo brasileiro vêm tentando aumentar a participação da energia solar no sistema elétrico. Para isso, foram criadas regras importantes para o processo de uso e comercialização de energia que utilizam fontes alternativas. Uma delas, a REN 482 de 2012 – resolução normativa que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração (até 75 kW) e minigeração (de 75 kW a 5 MW) ao sistema de distribuição de energia elétrica brasileiro e tratar das regras para o sistema de compensação de energia elétrica, e outros assuntos relacionados ao tema – foi o ponto de partida e iniciou o processo de difusão e comercialização de instalação de sistemas fotovoltaicos. Desde então, o número de consumidores com micro ou minigeração distribuídas vem aumentando a cada ano, como mostrado na Figura 2.2 (ABSOLAR, 2018).

Figura 2.2 Potência instalada (MW) de geração distribuída fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR. 2018.

Como pode ser visto no gráfico da Figura 2.2, desde que as regras para instalação de geradores com fontes renováveis passaram a valer no Brasil, em 2012, o mercado para energia solar vem crescendo ano a ano, apresentando sucessivos aumentos nos números de sistemas fotovoltaicos instalados. Mesmo que esse avanço mostrado pelo gráfico seja ainda tímido quando comparado com as realidades de muitos outros países que estão hoje no topo do *Ranking* do setor de energia solar, o mercado brasileiro apresenta-se promissor e as tendências para esse setor nos próximos anos são bem otimistas. Uma projeção para 2024 é apresentada na tabela 2.1, e nela pode ser visto o aumento dos números de instalações para consumidores residenciais e do comércio (BRASIL, 2017).

Tabela 2.1 Número de geradores instalados em residências e comércios até 2024.

	Residencial	Comercial	Total
2017	23.794	3.040	26.834
2018	51.683	5.917	57.600
2019	94.310	10.196	104.506
2020	157.776	16.434	174.210
2021	250.758	25.362	276.120
2022	383.010	37.903	420.913
2023	565.448	55.156	620.604
2024	808.357	78.343	886.700

Fonte: ANEEL, 2017.

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) apresentados na Figura 2.3, o Rio de Janeiro (RJ) encontra-se na sexta posição no cenário nacional quando se comparam as potências instaladas de sistemas fotovoltaicos em cada Estado. Com 21,2 MW de potência, a posição que o RJ ocupa parece expressar um relativo avanço no setor de energia solar, levando-se em conta que atrás dele há 27 Estados. Contudo, cabe ressaltar que, ao se olhar para os Estados que estão à sua frente, percebe-se que ainda há uma longa jornada de trabalho, investimento, ações legais e crescimento no setor para se alcançar, por exemplo, a potência instalada em Minas Gerais (MG) (109 MW), maior potência entre todos os Estados. Um dos motivos primordiais para o crescimento do setor em MG foi a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para os consumidores, atitude ainda não tomada pelo RJ (STROM BRASIL, S.D.).

Figura 2.3 Ranking nacional de potência instalada, em MW, para todos os Estados do Brasil.



Fonte: ANEEL / ABSOLAR, 2019. Última atualização 03/01/2019.

Diante do exposto, investir no setor de geração de energia solar fotovoltaica pode viabilizar a abertura de empresas especializadas em implementar projetos, criação de novas profissões e a conjunção para novos postos de trabalho. Nesse sentido, a difusão da cultura sobre energia solar, a capacitação de profissionais em diversos níveis de conhecimento e os incentivos para o desenvolvimento da indústria e comércio, são de extrema importância. Todavia, para que esse progresso ocorra, para que a potência fotovoltaica instalada no Brasil alcance os níveis dos países líderes nesse ramo, há a necessidade da participação de todos os setores público e privado, da sociedade civil e o setor educacional, como cita os Itinerários Formativos em Energias Renováveis e Eficiência Energética do Ministério da Educação (BRASIL, 2018).

Para isso, no campo da educação, o governo brasileiro tem atuado por intermédio do Programa para Desenvolvimento em Energias Renováveis e Eficiência Energética na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (EnergIF), conduzido pelo Ministério da Educação (MEC), por meio da Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), buscando-se induzir a cultura do desenvolvimento de Energias Renováveis e Eficiência Energética na Rede Federal de Educação. A Criação do Comitê Temático de Formação Profissional e Tecnológica em Energias Renováveis e Eficiência Energética pela Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do MEC, foi uma das iniciativas do governo no campo da educação. Os Institutos Federais (IF), assim como os CEFET têm desenvolvido

cursos voltados tanto para formação docente, quanto para discente, no âmbito da formação inicial e continuada e técnica.

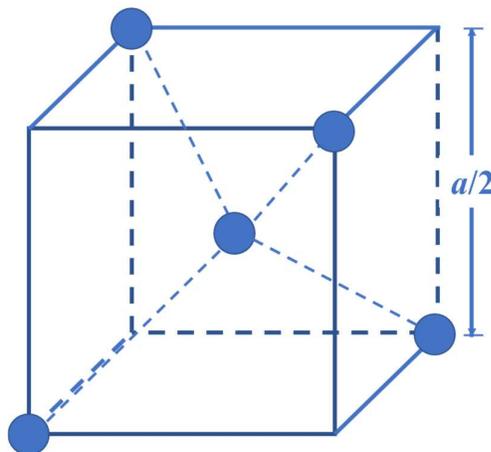
3. PRINCÍPIOS FÍSICOS DA CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM ELÉTRICA

A compreensão do fenômeno físico que ocorre na célula solar, onde a irradiação do Sol é transformada em eletricidade, está relacionada com a física dos semicondutores. Portanto, para entender o fenômeno fotovoltaico é importante entender o que é um semicondutor, suas propriedades elétricas e o que ocorre numa pastilha semicondutora quando a luz incide sobre ela.

Os semicondutores são um grupo de materiais constituídos por elementos pertencentes à família 4A da tabela periódica e apresentam condutividade elétrica entre os metais e os isolantes. Um dos principais representantes é o Silício (Si), um dos elementos químicos mais abundantes da natureza. Em termos de aplicação ele é encontrado em circuitos integrados para componentes eletrônicos, células fotovoltaicas e outras áreas da engenharia.

Os semicondutores básicos como o Si e o Germânio (Ge), quando ligados para formar um cristal, apresentam uma estrutura cristalina tetraédrica, similar à do carbono, como mostrado na Figura 3.1.

Figura 3.1 Estrutura tetraédrica de uma célula fundamental numa rede de um cristal de Si.



Fonte: próprio autor.

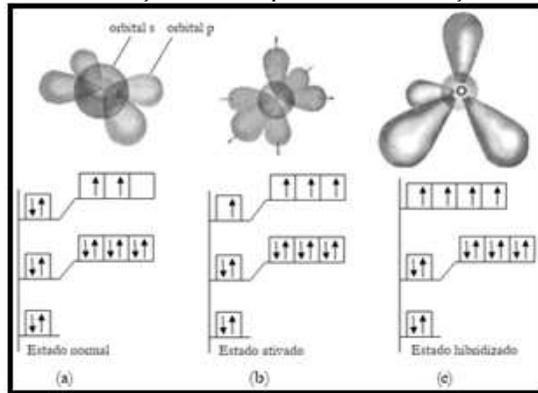
Elementos semicondutores como o Si possuem alta eletronegatividade, tendência de atrair elétrons, e por isso podem estabelecer ligações químicas entre si por meio do compartilhamento de seus elétrons desemparelhados mais externos, na camada de valência.

Esse compartilhamento de elétrons exige a formação de um orbital molecular que deve ser feito aos pares, pelo fato de poder existir apenas dois elétrons em um orbital.

Para que ocorra a formação de uma molécula, os átomos devem interpenetrar seus orbitais atômicos semipreenchidos formando um único orbital molecular, num processo conhecido como *overlap* (região onde a probabilidade de encontrar elétrons compartilhados é máxima).

A distribuição eletrônica para o átomo de Si é $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^2$. Portanto, na camada de valência (camada M) existem quatro elétrons distribuídos nos subníveis s e p ($3s^2, 3p^2$) em que, no estado fundamental, aparecem dispostos conforme Figura 3.2(a). Na formação da molécula, quando os átomos se aproximam, ocorre uma alteração nos níveis de energia dos elétrons de valência devido a ação do campo elétrico de um átomo sobre o outro átomo. Nessas condições o átomo entra no estado excitado, como mostrado na Figura 3.2(b) e, na ligação, ocorre a hibridização, vista na Figura 3.2(c).

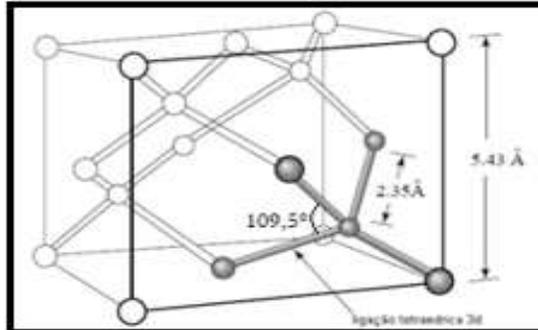
Figura 3.2 Hibridização do Si no processo de formação da molécula.



Fonte: próprio autor.

Sendo assim, um cristal de Si assume a forma como é apresentada na Figura 3.3. O ângulo entre os eixos dos orbitais hibridizados é de $109,5^\circ$.

Figura 3.3 Estrutura do carbono para um cristal de carbono.

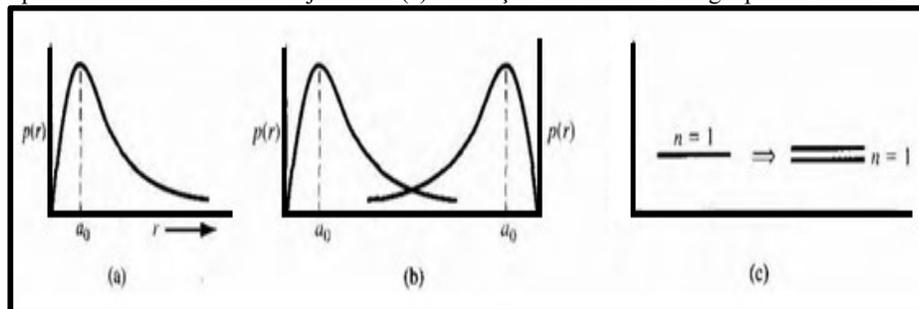


Fonte: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/208-s/809-silicio.html>.

Para entender as características de condução dos semicondutores, um caminho é a análise dos estados quânticos permitidos do elétron num átomo. A investigação mostra que a energia de ligação dos elétrons é quantizada e os estados que o elétron pode ou não ocupar são discretos. Porém, quando essa análise é realizada num cristal, percebe-se que, devido ao fato de os átomos estarem ligados e em equilíbrio, para um mesmo número quântico, há uma sobreposição dos níveis de energia dos elétrons, de forma que essa sobreposição forma “bandas de energia”, em que os elétrons podem ou não ocupar (SZE, NG, 2007).

Na Figura 3.4 está exemplificado o processo de formação de uma banda de energia mostrando as funções de densidade de probabilidade radiais para dois átomos de hidrogênio (H), em seus estados mais baixos de energia. Na Figura 3.4(a) está representada a função de densidade de probabilidade do átomo de H, sem interação com qualquer outro átomo. Em 3.4(b) a Figura mostra as funções de densidade de probabilidade radiais quando há a interação entre dois átomos de H. Essa interação resulta em dois níveis discretos quantizados de energia, como mostrado na Figura 3.4(c).

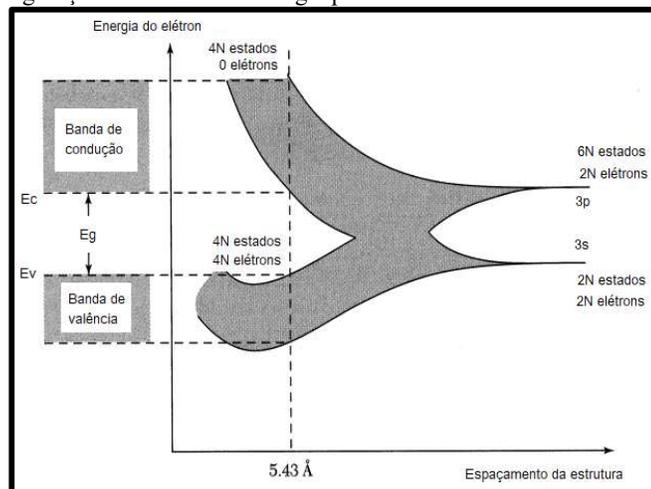
Figura 3.4 (a) Densidade de probabilidade de um átomo isolado. (b) Sobreposição das duas funções de densidade de probabilidade dos átomos adjacentes. (c) Formação da banda de energia para o estado $n = 1$.



Fonte: SZE, NG (2007), adaptado.

Extrapolando a ideia de formação de banda por dois átomos de H para um cristal de Si, tem-se, como mostrado na Figura 3.5, três regiões denominadas: banda de valência, banda proibida (*band gap*) e banda de condução. Após o *overlap* dos N elétrons dos átomos no cristal, em cada banda, a de valência e a de condução, há $4N$ estados por átomos.

Figura 3.5 Configuração das bandas de energia para a camada de valência num cristal de Silício.



Fonte: SZE, NG (2007).

A parte inferior da banda de condução é chamada de E_c e o topo da banda de valência é chamada de E_v . A região entre as bandas de valência e condução ($E_c - E_v$) é denominada de

banda proibida E_g ou *gap*. Fisicamente, E_g é a energia necessária para elevar um elétron da banda de valência para a banda condução, deixando assim um buraco na banda de valência.

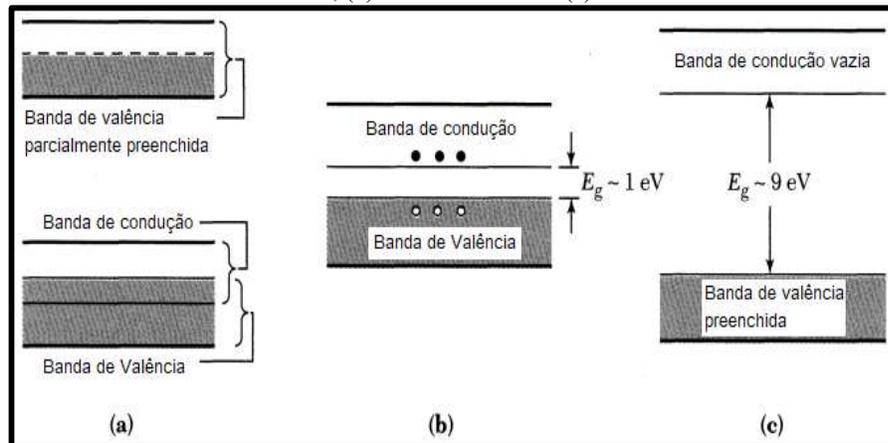
Na temperatura próxima ao zero absoluto os elétrons ocupam os estados de mais baixa energia, a banda de valência, de modo que todos os estados da banda superior, a banda de condução, apresentam-se vazios. Nessa condição não há elétrons livres e o Si se comporta como um isolante. Contudo, à temperatura ambiente e condições normais de pressão, a energia térmica de excitação é suficiente para fazer com que os elétrons vençam a barreira imposta pela banda proibida e chegue à banda de condução. Como existem muitos estados vazios na banda de condução, uma pequena diferença de potencial elétrico pode facilmente mover esses elétrons, resultando em uma corrente elétrica moderada (SZE, NG, 2007).

Ainda sobre as bandas de energia, há outras configurações possíveis que podem caracterizar os materiais também como condutor ou isolante. Na Figura 3.6 estão as configurações possíveis para condutores, semicondutores e isolantes. A Figura 3.6(a), apresenta o caso dos condutores para a banda de valência parcialmente preenchida e para a banda de condução sobreposta à banda de valência. Em ambos os casos os elétrons podem ser movidos a partir da aplicação de uma diferença de potencial (ddp). Não há um *gap* entre as camadas de valência e condução.

Para os semicondutores (Figura 3.6(b)), mesmo com o *gap*, em temperatura ambiente, os elétrons têm energia suficiente para vencê-lo e acessarem a banda de condução, tornando-a semipreenchida e a banda de valência com as lacunas deixadas pelos elétrons que acessaram a banda de condução. Assim, também será possível gerar uma corrente elétrica a partir de uma ddp aplicada ao semicondutor.

Os isolantes (Figura 3.6(c)), por sua vez, apresenta, em uma situação, a banda de condução totalmente vazia e uma energia de *band gap* grande o suficiente para que, à temperatura ambiente, não haja elétrons na banda de condução, não permitindo a geração de uma corrente elétrica. Outra situação possível que torna o material isolante é quando a banda de condução está completamente preenchida, não sendo possível haver mobilidade de cargas elétricas. Nesses dois casos o material apresenta uma alta resistência ao fluxo de cargas elétricas (corrente elétrica).

Figura 3.6 Representação das bandas de valência, condução e da banda proibida para os materiais (a) Condutores, (b) Semicondutores e (c) Isolantes.



Fonte: SZE, NG (2007).

3.1 JUNÇÃO *p-n*

Os semicondutores como o Si e o Ge, em suas configurações naturais, quando possuem grau de pureza elevado, são denominados de semicondutores intrínsecos. Nessa condição, quando um elétron deixa a banda de valência e salta para a banda de condução gera-se um buraco na banda de valência. Esse buraco pode ser considerado uma carga positiva gerada quando o átomo foi ionizado devido à perda do elétron para a banda de condução. Para os semicondutores intrínsecos, então, para cada elétron que acessa a banda de condução cria-se, na banda de valência, um buraco com carga de sinal oposto ao do elétron. Essa movimentação de elétrons e buracos não muda a carga elétrica do átomo, que se mantém nula.

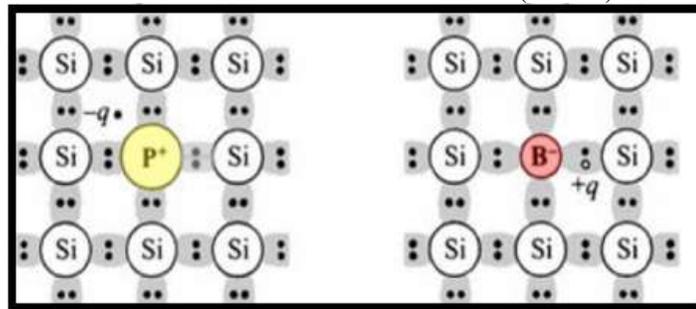
Contudo, para algumas finalidades práticas, os semicondutores intrínsecos podem ter as características elétricas alteradas se forem associados a outros átomos. Quando isso ocorre, diz-se que o semicondutor foi dopado com outros elementos químicos e, então, eles passam a ser denominados de semicondutores extrínsecos. Os elementos normalmente usados para o processo de dopagem dos semicondutores intrínsecos são aqueles pertencentes às famílias IIIA e VA, da tabela periódica. Semicondutores dopados, apesar de apresentarem desequilíbrio entre os números de portadores de carga positiva (lacunas) e carga negativa (elétrons), não deixam de serem neutros eletricamente.

Quando um cristal de Si é dopado com elementos da família IIIA, tal como o Boro (B), os três elétrons do B formam ligações covalentes com três elétrons de Si e deixa um sem ligação, gerando uma lacuna com “carga positiva”. Esse fato ocorre porque, sendo o B trivalente (três elétrons de valência) e o Si tetravalente (quatro elétrons de valência), na ligação um elétron do

Si ficará sem par, ocasionando assim, a geração de uma lacuna, como mostrado na Figura 3.7(a). Numa rede cristalina, com o processo de dopagem, vários buracos são gerados e esse semiconductor extrínseco é denominado de semiconductor do tipo *p*.

Pensando agora numa dopagem de um cristal de Si com elementos da família VA, tal como o Antimônio (Sb), os cinco elétrons de valência do Sb formam ligações covalentes com os quatro elétrons de valência do Si e um elétron não participa da ligação, gerando uma “carga negativa”, como mostrado na Figura 3.7(b). Numa rede cristalina, a partir desse processo de dopagem, vários elétrons sobram e esse semiconductor extrínseco recebe o nome de semiconductor do tipo *n*.

Figura 3.7 (a) Dopagem tipo *p* do cristal de Si com elemento da família IIIA (Boro). (b) Dopagem tipo *n* do cristal de Si com elemento da família VA (Fósforo).

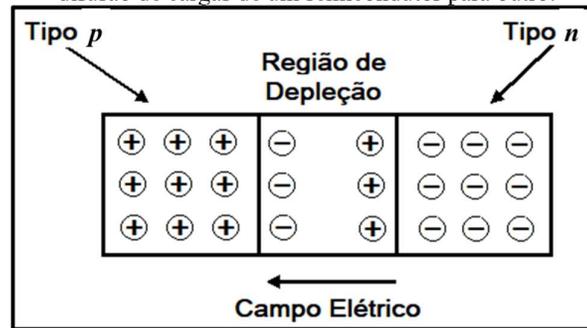


Fonte: Campos (2010).

Os semicondutores dopados com elementos das famílias IIIA e IVA, quando unidos uns com os outros formam componentes de grande aplicabilidade em produtos eletroeletrônicos existentes no mercado. Um desses componentes é o diodo de junção *p-n*, formado a partir da união entre um semiconductor extrínseco tipo *p* e outro tipo *n*. Entre tantas aplicações que existem para o diodo, algumas são o chaveamento de circuito, permitindo a corrente passar apenas em um sentido, a emissão de luz, funcionando com lâmpada e o receptor de luz, atuando como célula fotovoltaica (CARNEIRO, 2010).

Quando ocorre a junção de dois semicondutores dopados com materiais tipo *n* e tipo *p*, na fronteira entre eles, estabelece-se um fluxo de elétrons livres da região *n* para a região *p*, por um processo conhecido como difusão, ocupando as lacunas nessa região. Esse processo de movimentação de elétrons da região *n* para a *p* polariza os dois lados e gera um campo elétrico cujo sentido é do lado *n* para o lado *p*, como mostrado na Figura 3.8. Esse campo elétrico é o responsável por estabilizar a região entre os dois lados *n* e *p* devido à força do campo elétrico sobre os elétrons, contrária à força de Coulomb. Essa região é conhecida como região de depleção e a diferença de potencial, para uma temperatura de 25°C, nesta região é de 0,7 V para o Silício e 0,3 V para o Germânio (SOUZA, 2016).

Figura 3.8 Região de depleção entre os dois semicondutores tipos n e p e o campo elétrico gerado no processo de difusão de cargas de um semicondutor para outro.



Fonte: próprio autor.

A estrutura apresentada na Figura 3.8 é típica do componente eletroeletrônico diodo de junção. Para fins de aplicações práticas o diodo pode ser polarizado diretamente ou reversamente, ou seja, uma fonte de tensão externa pode ser ligada ao diodo com o seu polo positivo no lado p e negativo no lado n do diodo (polarização direta) ou ao contrário, com o polo negativo da fonte no lado p e o polo positivo no lado n (polarização reversa). Caso o diodo seja polarizado diretamente, com uma tensão acima da ddp de 0,7 (caso do Si), a região de depleção irá diminuir e ele conduzirá, funcionando como uma chave fechada, por exemplo, em algumas aplicações. Entretanto, se o diodo for polarizado reversamente, a região de depleção irá aumentar, não permitindo a passagem de corrente elétrica, tornando o diodo uma chave aberta.

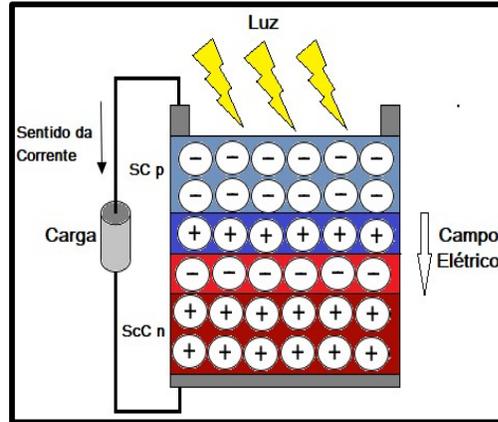
3.2 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

De acordo com Pinho e Galdino (2008, p.114) “as células fotovoltaicas podem ser entendidas essencialmente como diodos (junções $p-n$) de grande área, preparadas especialmente para que ocorra o efeito fotovoltaico”. Essas células destinam-se a converter energia radiante de uma fonte luminosa diretamente em energia elétrica, por meio de um processo denominado de efeito fotovoltaico.

O efeito fotovoltaico ocorre quando a luz incide sobre uma junção $p-n$. Nessa ocasião, os fótons de luz com energia superior à energia de gap do material atingem os elétrons fornecendo-lhes energia suficiente para que eles saltem para a banda de condução, gerando-se assim um par elétron-lacuna. A absorção da luz aumenta drasticamente a geração dos pares elétron-lacuna para além da geração que advém da excitação térmica, por exemplo. Devido ao campo elétrico, os elétrons movem-se para a região tipo n , enquanto as lacunas deslocam-se para a região tipo p , formando polos elétricos (CARNEIRO, 2010).

Assim, se um fio condutor for utilizado para ligar a região do tipo n à região do tipo p , verifica-se que o excesso de elétrons do lado n irá movimentar-se através do fio condutor de modo a se combinarem com o excesso de lacunas existentes no lado p , ocasionando uma corrente eléctrica, conforme representado de modo esquemático na Figura 3.9.

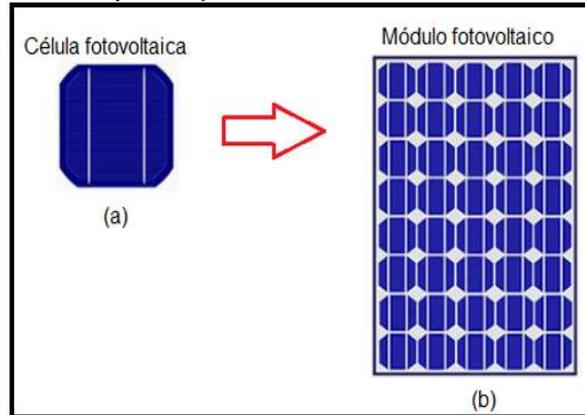
Figura 3.9 Fluxo de elétrons através de um condutor interligado entre os terminais p - n de uma célula fotovoltaica.



Fonte: próprio autor.

As células fotovoltaicas são a base dos módulos disponíveis atualmente no comércio. A Figura 3.10(a) mostra uma célula típica encontrada nos módulos. Elas são interligadas em série e dispostas sob uma camada de vidro, protegidas por uma estrutura metálica para dar a devida resistência ao módulo fotovoltaico, como mostrado na Figura 3.10(b).

Figura 3.10 Representação de uma célula e um módulo fotovoltaico



Fonte: adaptado portalsolar.

As características elétricas de um módulo fotovoltaico podem ser determinadas através de ensaios tomando algumas condições como padrão, tais como temperatura e irradiância. Em laboratório, esses módulos são ensaiados sob *standard test condition* (STC), ou condições padrão de teste, e suas características são apresentadas nas folhas de dados fornecidas pelos fabricantes (VILLALVA, GAZOLI, 2012). O *datasheet* de um módulo de 390 Wp fabricado pela ERA SOLAR Corporation encontra-se em anexo neste trabalho.

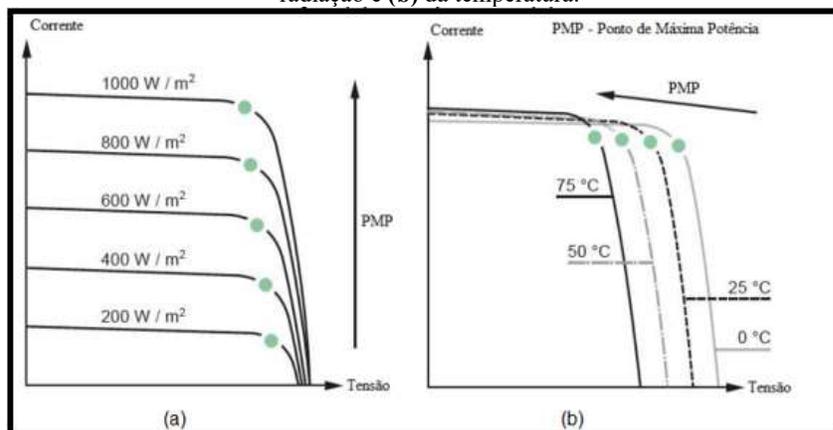
As três grandezas elétricas mais relevantes nos projetos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos são a potência, tensão e corrente. Conhecer o comportamento dessas grandezas diante das condições climáticas e do posicionamento dos módulos em relação ao norte geográfico e à superfície da Terra, é bastante importante quando se deseja entender os princípios de funcionamento de um sistema de geração de energia fotovoltaica.

O comportamento da tensão e da corrente é bastante influenciado pelas condições climáticas. Em dias de tempo nublado a corrente que o módulo pode fornecer é bem menor do que em dias ensolarados, sendo a corrente depende diretamente da radiação que incide sobre o módulo. A tensão, por sua vez, sofre influência maior com a variação da temperatura. Em dias mais quentes, a tensão fornecida pelos módulos será menor do que em dias mais frios. A variação na incidência da radiação solar e na temperatura, acabam por definir a potência de saída dos módulos.

A Figura 3.11(a) mostra o comportamento da corrente em função da variação da radiação incidente nos módulos, destacando que, com a diminuição da radiação, há uma queda acentuada no fornecimento de corrente e uma variação mínima da tensão nos terminais do módulo. Na figura 3.11(b), é mostrada a variação da temperatura e o que acontece, principalmente, com a tensão. Nesse caso ela sofre uma variação maior do que a corrente, tendo o seu valor diminuído, na medida que a temperatura aumenta.

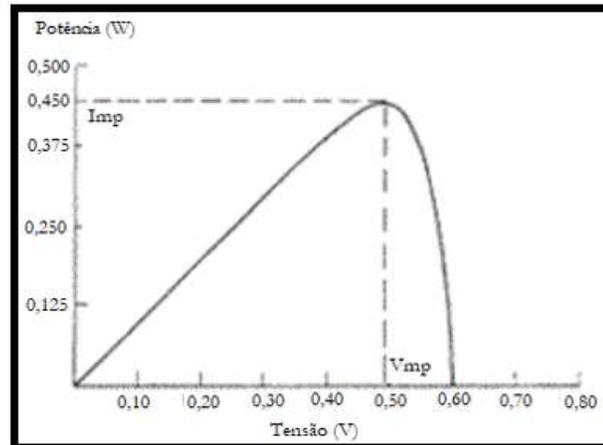
A potência de um módulo pode ser encontrada calculando-se a área sob a curva num gráfico de corrente por tensão ($I-V$). Entretanto, é mais comum apresentar o comportamento da potência por meio de um gráfico de potência por tensão, como mostrado na Figura 3.12. Como pode ser visto no gráfico, a máxima potência que o módulo pode fornecer ocorre no ponto (I_{mp} , V_{mp}), corrente em potência máxima e tensão em potência máxima.

Figura 3.11. Curvas características de Corrente × Tensão de um painel fotovoltaico, com os efeitos (a) da radiação e (b) da temperatura.



Fonte: Bicalho, 2018.

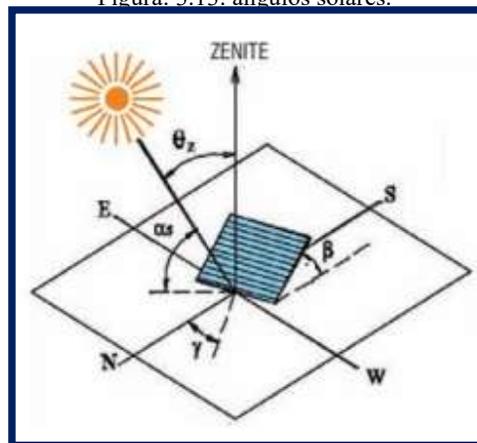
Figura 3.12 Curva de potência com relação à variação de tensão no módulo.



Fonte: Cresceb, 2008.

O posicionamento dos módulos voltados para a passagem do sol ao longo do dia também influencia na geração de energia. Nesse sentido, encontrar o melhor ângulo de inclinação do painel (β) em relação ao plano horizontal e o ângulo azimutal (γ), o ângulo entre a projeção da normal à superfície e o plano do meridiano local, conforme mostrado na Figura 3.13, maximiza o aproveitamento da radiação solar e, conseqüentemente, a geração de energia.

Figura 3.13: ângulos solares.



Fonte: ARRUDA, 2004.

Sendo os módulos fotovoltaicos os responsáveis pela captação da luz do Sol e transformação em energia elétrica, por meio de suas células, definir cuidadosamente o posicionamento deles em relação ao Sol significa maximizar a geração de energia. Nesse sentido, conhecer os fundamentos relacionados com as instalações dos módulos, para o curso FIC em questão, seria bastante relevante para a formação dos discentes que almejam qualificação nesse campo de trabalho.

4. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E AS METODOLOGIAS ATIVAS

4.1 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

A atividade experimental expressa a sua importância didático-pedagógica quando, na aplicação de uma teoria para a resolução de problemas, ela amplia o entendimento do conteúdo e dá significado à aprendizagem, constituindo-se como uma verdadeira atividade teórico-experimental (DELIZOICOV; ANGOTTI, 2000).

Para Fonseca (2001), a atividade experimental desempenha um papel importante no desenvolvimento cognitivo do aluno, estimulando-o a explorar, elaborar e supervisionar suas ideias, na busca pelo entendimento do conteúdo. Por meio das atividades experimentais, é possível perceber a relação com a tecnologia presente no dia a dia, as relações sociais e as implicações ambientais decorrentes da atividade científica, contribuindo para o entendimento do conteúdo e as suas conexões entre ele e os fenômenos que ocorrem no cotidiano do aluno.

Segundo Gaspar (2009), as vantagens das aulas práticas, demonstrativas ou experimentais, estão no fato de que ela ajuda o aluno na interpretação das informações sobre o fenômeno em estudo, possibilitando a ele relacionar o conhecimento científico com aspectos de sua vivência. Além disso, a prática favorece a participação do aluno e a interação social, visto que o seu entusiasmo e participação nesse tipo de atividade é quase unânime. Isso ocorre por dois motivos: “a possibilidade da observação direta e imediata da resposta e o aluno, livre de argumentos de autoridade, obtém uma resposta isenta, diretamente da natureza.” (GASPAR, 2009, p. 25 – 26).

As atividades experimentais apresentam caráter motivador, tanto para o professor, quanto para o aluno, mas é importante estar atento para que essa atividade não represente apenas uma abordagem demonstrativa que comprova alguma teoria (GIORDAN 1999).

Nesse sentido, é importante salientar que a atividade experimental sozinha não é capaz de promover uma relação do conteúdo com o conhecimento científico. Portanto, teoria e prática devem caminhar juntas, pois uma complementa a outra. Com isso, a prática não deve ser um momento descolado do planejamento do conteúdo, apenas para apresentar algo diferente para os alunos. Ela deve estar prevista no planejamento e amparada por uma metodologia, para que no momento de experimentação, ela possa propiciar efetivamente discussões e interpretações entre os alunos e professor, levando à reflexão e compreensão do assunto trabalho (RODRIGUES, 2013).

No ensino de ciências, muitos conteúdos podem ser mais facilmente internalizados pelos alunos, quando eles são munidos de sentidos e ensinados a partir de problemas reais. O uso da experimentação, nesse contexto, ajuda na aproximação do conteúdo com a realidade e, por conseguinte, pode facilitar a aprendizagem. Conforme ressalta Krasilchik (1987), a falta de vínculo com a realidade constitui um dos maiores problemas no ensino, pois não se baseia no conhecimento que os alunos trazem, e não está atrelada ao seu universo de interesse.

Por tanto, sempre que possível, as atividades experimentais devem fazer parte do planejamento do professor, permeando os conceitos teóricos não sem questionamento, não como verdade absoluta, mas como um processo de busca e construção do conhecimento científico, a partir de reflexão e discussão entre os alunos, por meio de uma linguagem própria. A contextualização, a problematização, a investigação, o questionamento e o levantamento de hipóteses são pressupostos que merecem atenção durante a prática pedagógica (RODRIGUES, 2013).

Nessa perspectiva, cabe ressaltar que a atividade experimental pode contribuir para a melhor qualidade de ensino e produzir melhores resultados quanto à participação do aluno. Conforme explicita Melo (2010, p. 17) “ainda que as aulas práticas não possam ser apontadas como única solução para a tão esperada melhoria do ensino de Ciências, constituem-se numa ferramenta importante nesse processo”. Portanto, a adoção de aulas experimentais pode criar situações em que o aluno reflita acerca dos resultados e ressignifique o assunto apresentado, tecendo paralelos com a sua própria vida, possibilitando ampliar a compreensão conceitual em Ciências.

Na IpC as demonstrações experimentais dos conceitos trabalhados no conteúdo, também encontram espaço e, segundo Mazur (2015) elas costumam ser bem recebidas pelos alunos, pois, como eles são encorajados a emitirem suas opiniões sobre uma determinada questão, a constatação, pela realização experimental do fenômeno, torna-se motivo de vibração ao verem que sua resposta estava correta. Dessa forma, a IpC também pode ser conjugada com as aulas experimentais para contribuir com a aprendizagem.

4.2 METODOLOGIAS ATIVAS

4.2.1 Metodologias ativas – Uma visão geral

A fluidez do mundo contemporâneo, em que os objetos se tornam mais descartáveis, a informação viaja quase que instantaneamente e a rede de comunicação interliga quase o mundo

o todo, traz incontestáveis mudanças na vida das pessoas e na forma como elas se relacionam, trabalham e aprendem. Essa nova dinâmica na forma em que se vive a vida obriga a escola e o modelo educacional a refletirem sobre a sua posição e formas de adaptação frente a essa realidade. Com isso pessoas e, em especial, estudantes, não ficam mais restritos a um mesmo lugar, são globais, vivendo conectados e imersos em uma quantidade de informações que transformam continuamente a forma como eles estão no mundo. Esses fatos levam à discussão o papel do estudante nos processos de ensino e de aprendizagem, com ênfase na sua posição mais central e menos secundária diante dos conteúdos que lhe são apresentados.

É nessa perspectiva que se situam as metodologias ativas, trazendo o aluno para uma posição mais central no processo de ensino e aprendizagem, diferentemente do consagrado método tradicional. Nesse percurso há um deslocamento da perspectiva do professor (ensino) para o estudante (aprendizagem), um desvio do foco do docente para o aluno, que assume a corresponsabilidade pelo seu aprendizado. Portanto o professor deixa de ser o único responsável por ensinar o conteúdo e passa a dividir essa tarefa com outros meios e pessoas que serão consultados pelo aluno na busca do conhecimento (SOUZA; IGLESIAS; PAZIN, 2014).

A Figura 4.1 traz uma estrutura que sintetiza os principais pontos das metodologias ativas, no intuito de esclarecer o que se entende por esse tipo de abordagem. Percebe-se, pela Figura, que essa metodologia é cercada de atos e atitudes que movem o aluno para uma posição, frente ao conteúdo a ser aprendido, mais independente, pesquisadora, com maior interatividade com os seus pares e mais ativa no modo como se aprende.

Figura 4.1 Princípios que configuram as metodologias ativas de ensino.



Fonte: Diesel, Baldez, Martins (2017).

Como é mostrado na Figura 4.1, o aluno é visto, nessa metodologia, como o centro do processo de ensino e aprendizagem. A partir de uma maior interação do aluno na aula, ele passa

a ter mais controle e participação efetiva no processo de construção do próprio conhecimento. Dessa maneira, na procura por entender o conteúdo, o aluno desenvolve a observação, a leitura, a pesquisa, a organização dos dados, a imaginação, a elaboração e confirmação de hipóteses, habilidades que podem ajudá-lo na construção do conhecimento. Fica evidente, assim, que esse princípio está atrelado a uma postura ativa do estudante frente ao desafio de aprender (SOUZA; IGLESIAS; PAZIN, 2014).

Outra característica nesse processo de ensino é que o aluno passa a ser estimulado a assumir uma postura mais autônoma em contraponto ao ensino tradicional, em que o discente espera do professor os caminhos e páginas do livro que deverão ser lidas para assimilação do conteúdo. Em oposição a isso, ao desenvolver práticas pedagógicas norteadas pelo método ativo, o estudante passa a assumir uma atitude mais crítica e construtiva frente aos problemas que são apresentados a ele. Berbel (2011, p. 29) corrobora com esse entendimento, acrescentando que essa característica da autonomia é fundamental, no futuro, para o exercício da autonomia:

O engajamento do aluno em relação a novas aprendizagens, pela compreensão, pela escolha e pelo interesse, é condição essencial para ampliar suas possibilidades de exercitar a liberdade e a autonomia na tomada de decisões em diferentes momentos do processo que vivencia, preparando-se para o exercício profissional futuro.

Com base nessa citação, é possível afirmar que as metodologias ativas favorecem o desenvolvimento de habilidades que, no mundo do trabalho e na vida, são muito cobradas. A capacidade e autonomia na busca por soluções são requisitos que costumam ser requeridos e bem-vistos pelos patrões. No mundo corporativo das empresas dá-se mais chances àqueles profissionais críticos, que enxergam o problema e tentam resolvê-lo antecipadamente, agindo proativamente.

Além da autonomia, outro fator que pode contar como ponto positivo no desenvolvimento dessa metodologia em sala de aula, é a problematização, a análise sobre a realidade como forma de tomar consciência dela. Iniciar um conteúdo explicitando possíveis problemas que podem estar relacionados ao contexto do aluno, tem o potencial de motivá-lo e despertar o seu interesse pelo assunto. A problematização implica na necessidade de o docente apresentar motivos que possam despertar no aluno o interesse em aprender. Ou seja, conforme são oportunizadas situações de aprendizagem que envolvem a problematização da realidade em que o aluno se encontra inserido, nas quais ele tenha papel ativo no processo de aprendizagem, exercitará diferentes habilidades e não apenas ouvindo aulas expositivas, muitas vezes mais monologadas que dialogadas (DIESEL, BALDEZ, MARTINS, 2017).

Outro ponto bastante importante em destaque nessa metodologia é o trabalho em equipe, que favorece a interação constante entre os estudantes. Nessa abordagem, “o ponto de partida é a prática social do aluno que, uma vez considerada, torna-se elemento de mobilização para a construção do conhecimento” (ANASTASIOU; ALVES, 2004, p. 6). Esse movimento de constante interação entre os pares, ensina o estudante a expressar e a ouvir sua opinião e a dos seus colegas. Isso pode fortalecer o sentimento de respeito mútuo e ajudar no desenvolvimento de habilidades com a oratória. Ao professor cabe a tarefa de despertar no educando uma atitude crítica diante da realidade em que se encontra inserido, preparando-o para “ler o mundo”: a princípio, o seu mundo, mas daí em diante, e paulatinamente, todos os mundos possíveis (KOCH, 2002).

O termo “inovar”, segundo as autoras Diesel, Baldez e Martins (2017, p. 277) “tem um valor significativo nesse percurso de transcender a abordagem tradicional de ensino, que privilegia unicamente metodologias de transmissão mecânica de conteúdo, em que a função do estudante é de receptor passivo”. Por isso, conforme as autoras, para superar esse modelo é preciso estudo, pesquisa, ter criatividade, renovando metodologias ou inventando metodologias novas. Cabe ao professor, nesse contexto, a eterna insatisfação e a inquietude, combustíveis que permitem a curiosidade e a busca pelo novo, na inovação dos espaços e nas formas de construção do conhecimento.

Por conseguinte, no contexto de uma aula em que se usa metodologia ativa, o professor deve assumir uma postura investigativa de sua própria prática, refletindo sobre ela com o intuito de melhorá-la a todo momento. Assim, não cabe ao professor esperar que na dinâmica das suas aulas, o “roteiro” seja seguido integralmente, mas, pelo contrário, ele deve esperar inúmeras circunstâncias novas que vão aparecendo à medida que a interação entre ele os alunos e a apresentação dos problemas referentes ao conteúdo vão sendo discutidos. Contudo, isso não pode acontecer sem saberes abrangentes, saberes acadêmicos, saberes especializados e saberes oriundos da experiência (PERRENOUD, 2002).

Outro ponto que cabe destaque quando o professor se vale de uma abordagem pautada no método ativo, é que ele deve ensinar o aluno a pensar, não apresentando o conteúdo pronto, fechado para que o estudante simplesmente o assimile, sem reflexão, sem problematização. Dessa forma, o professor deve provocar o aluno, desafiando-o a buscar soluções para complementar o entendimento do assunto, promovendo condições para construção, compreensão e transformação do objeto de estudo. Nesse contexto, o professor apresenta-se como um orientador, guiando e instigando o aluno na busca pelo conhecimento, mas

promovendo condições para que ele siga em caminhos que o colocará em condições de entender o conteúdo proposto.

Para potencializar a discussão sobre o papel do professor nessa perspectiva, convém mencionar os ideais de Moran (2015), segundo o qual o professor que se utiliza do método ativo tem o papel de curador e de orientador:

Curador, que escolhe o que é relevante entre tanta informação disponível e ajuda a que os alunos encontrem sentido no mosaico de materiais e atividades disponíveis. Curador, no sentido também de cuidador: ele cuida de cada um, dá apoio, acolhe, estimula, valoriza, orienta e inspira. Orienta a classe, os grupos e a cada aluno. Ele tem que ser competente intelectualmente, afetivamente e gerencialmente (gestor de aprendizagens múltiplas e complexas) (MORAN, 2015, p. 24).

O professor quando ensina com uma visão de que a ele cabe o papel de facilitar o aprendizado, ele passa a ver os alunos como seres ativos nesse processo e, os alunos, em contrapartida, enxerga-o como facilitador dessa construção, como mediador do processo de aprendizagem, e não como aquele que detém os conhecimentos a serem distribuídos. Essa postura frente ao ato de ensinar, não é fácil, exige estudo e quebras de paradigmas, pois há de se abandonar uma postura que foi sendo construída em toda a sua vida acadêmica. Por isso, cabe mencionar, que a mudança na prática docente não deve acontecer de forma impositiva para o professor, nem para o estudante, pois esse ato não deve ser doloroso para ambos, e sim, constituído de prazer e esperanças.

Concluindo, os métodos ativos constituem-se numa concepção educativa que estimula o processo de ensino e de aprendizagem numa perspectiva crítica e reflexiva, em que o estudante possui papel ativo e é corresponsável pelo seu próprio aprendizado. O professor, nesse contexto, assume um papel de mediador, facilitador, orientador do aprendizado. O método envolve a construção de situações de ensino que promovam uma aproximação crítica do aluno com a sua realidade, concatenando os conteúdos aprendidos em sala de aula com os fatos e acontecimentos do mundo fora da escola. O aluno aprende, dessa forma, pois enxerga no assunto posto pelo professor parte do que ele vive.

4.3.2 Metodologias ativas – Instruções por Colegas (IpC)

A metodologia ativa *Peer Instruction*, que em tradução livre pode significar Instrução pelos Pares ou Instrução pelos Colegas (IpC), é um método de ensino que tem como principal objetivo explorar a interação entre os alunos e focar a atenção dos estudantes nos conceitos que servem de fundamento. Em essência, por meio desse método, propõe-se uma alteração na dinâmica da sala de aula de modo que os alunos auxiliem uns aos outros no entendimento dos

conceitos apresentados para que, em seguida, sejam conduzidos pelo professor no aperfeiçoamento desse aprendizado por meio de questões dirigidas. Os alunos são encorajados a emitirem opiniões e aprendem a ouvir e serem questionados, com isso tornam-se mais maduros e seguros de suas próprias convicções. Este método procura potencializar o envolvimento do aluno com o conteúdo e a interação entre os pares, promovendo o aprendizado colaborativo.

O criador dessa metodologia é o cientista e pesquisador Eric Mazur, professor de Física e Física Aplicada na *Harvard University*, nos Estados Unidos da América. Esse método surgiu no início da década de 1990, quando Mazur estudou uma série de artigos de Halloun e Hestenes,¹ que tratavam de mostrar a ineficiência do ensino em tentar mudar concepções errôneas trazidas pelos alunos, a partir de uma construção do senso comum, sobre fenômenos físicos. Por meio dos estudos e observações ele percebeu que “embora os métodos convencionais de Ensino de Física tenham produzidos muitos cientistas e engenheiros, um número grande demais de estudantes não se motivavam por esses métodos de ensino” (MAZUR, 2015, p. 4) e, em geral tinham mais habilidades para solucionar problemas numéricos do que os conceituais.

O sucesso dessa metodologia, segundo o autor Eric Mazur, depende de como o professor utiliza o livro didático e conduz as aulas expositivas. Para o referido autor:

É necessário que os livros e as aulas expositivas desempenhem papéis diferentes dos que costumam exercer em uma disciplina convencional. Primeiro, as tarefas de leitura do livro, realizadas antes da aula, introduzem o material. A seguir, as aulas expositivas elaboram o que foi lido, esclarecem as dificuldades potenciais, aprofundam a compreensão, criam confiança e fornecem exemplos adicionais. Finalmente, o livro serve de referência e guia de estudo (MAZUR, 2015).

Nessa metodologia as aulas consistem em uma série de apresentações curtas sobre o conteúdo em estudo. O professor não detalha o assunto como é apresentado nos livros, mas comenta apenas os principais tópicos, seguindo de testes conceituais – questões lançadas para os alunos relacionadas com a matéria. Então, após o professor apresentar a questão, ele espera o tempo necessário para que os alunos formulem as suas respostas e, em seguida, discutam-na entre si. “Esse processo força os estudantes a pensar com base nos argumentos que estão sendo desenvolvidos e dá-lhes um modo de avaliar a sua compreensão do conceito” (MAZUR, 2015).

Os testes conceituais, em geral, são aplicados de forma que os alunos, inicialmente, respondem individualmente às questões e, em seguida, são encorajados a discutirem com os

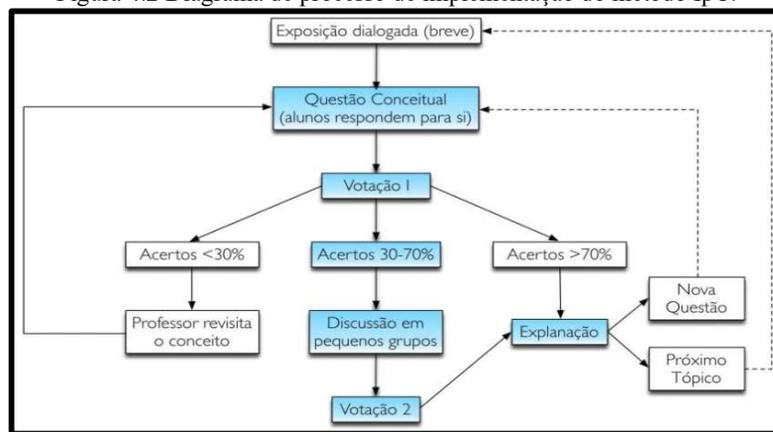
¹ - Ibrahim Abou Halloun e David Hestenes, *Am. J. Phys.*, 53, (1985), 1043; *ibid.* 53, (1985), 1056; *ibid.* 55, (1987), 455; David Hestenes, *Am. J. Phys.*, 55, (1987).

seus pares suas respostas. Nesse momento de debate, os alunos podem oferecer outras explicações aos colegas que são mais elucidativas do que as que foram dadas pelo professor, possibilitando ao aluno que havia tido um entendimento errado do assunto repensar e corrigir a sua resposta. Para Mazur, esse debate entre os pares é importante porque aqueles alunos que acabaram de entender o conceito relacionado à questão dada, estão mais cientes das dificuldades que tiveram para compreendê-la, consequentemente eles sabem exatamente o que enfatizar em suas explicações (MAZUR, 2015).

Conforme o número de acertos, o professor pode decidir por: (i) explicar a questão e retomar o processo de exposição dialogada sobre um novo tópico. Essa opção é aconselhada se mais de 70% dos estudantes votarem na resposta correta (ii) formar pequenos grupos de dois a cinco alunos, que tenham, preferencialmente, escolhidos respostas diferentes, para um novo ciclo de debate, com a intenção de haver um consenso de qual seria a resposta certa. Após alguns minutos, o professor analisa novamente as respostas e, se julgar necessário, ele apresenta outra questão sobre o mesmo tópico, ou passa diretamente para a exposição do próximo assunto. Essa ação deve ser tomada caso o percentual de acertos obtidos na primeira votação esteja entre 30% e 70%. (iii) retomar o conteúdo, explicando-o sob nova perspectiva, buscando aclará-lo e apresentando outra questão conceitual ao final da explanação. Esse caso é aconselhável se menos de 30% das respostas estiverem corretas (ARAÚJO, MAZUR, 2013).

A Figura 4.2 ilustra o processo de aplicação do método. A parte em destaque, compreende a essência do IpC.

Figura 4.2 Diagrama de processo de implementação do método IpC.



Fonte: Araujo e Mazur (2013).

É importante salientar que o intervalo de acertos entre 30% e 70% não é universal, cabendo ao professor reajustar esses parâmetros segundo suas necessidades. O próprio autor Eric Mazur, em seu livro *Peer Instruction – A revolução da aprendizagem ativa*, num momento, quando explica o teste conceitual, diz que “se a porcentagem das respostas corretas for muito

baixa (digamos, menos de 30%), eu ensino novamente o mesmo tópico com mais detalhes” (MAZUR, 2015, p. 10). Porém, numa outra passagem, quando apresenta um exemplo de aula, o autor considera que “se aproximadamente 20% dos estudantes dessem respostas erradas após a discussão, eu provavelmente usaria um tempo extra” (MAZUR, 2015, p. 36). Mas, “quando a porcentagem de respostas corretas for acima for igual ou maior que 80%, eu passo para a terceira lei de Newton” (MAZUR, 2015, p. 37). Portanto, esse critério deve ser avaliado pelo professor, levando em consideração a realidade da turma.

Uma das grandes vantagens dessa metodologia é que ela fornece *feedback* imediato sobre o entendimento dos alunos a respeito do conteúdo, pois o retorno das respostas é feito logo após se encerrarem as discussões entre os estudantes. Dependendo da situação e do propósito, o retorno das respostas pode ser dado com os alunos levantando as mãos para sinalizarem o item da questão que eles julgam correto. Porém, além dessa opção, outras formas podem ser usadas como o *flash cards*, cartões que sinalizam as respostas escolhidas pelos estudantes e sistema interativo de resposta com computador, denominado de *Classtalk*, em os estudantes passam suas respostas para o professor utilizando-se de diversos dispositivos como celular, *laptops*, calculadoras gráficas, entre outras. Cada método de apresentação de respostas tem suas vantagens e desvantagens, mas o sucesso não depende do método de *feedback* e, portanto, não depende de recursos financeiros ou tecnológicos.

Apesar do foco da IpC ser na Física, onde teve origem, nas disciplinas de Física na década 1990, é importante destacar que esses métodos vêm sendo usados com sucesso também em outras áreas tais como Biologia (CROSSGROVE; CURRAN, 2008; MARRS; NOVAK, 2004), Química (MCCREARY; GOLDE; KOESKE, 2006), Filosofia, Lógica e Pensamento Crítico (BUTCHART; HANDFIELD; RESTALL, 2009). Essa possibilidade de IpC ser implementada em outras áreas corrobora com a ideia de utilizá-la na disciplina de Fundamentos de Sistema Fotovoltaico no curso de Formação Inicial e Continuada de Instalador de Sistemas Fotovoltaicos.

5. PROPOSTA METODOLÓGICA

A presente proposta metodológica foi pensada para atender à disciplina de Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica do Curso de Formação Inicial e Continuada: Instalador de Sistemas Fotovoltaicos, na modalidade presencial, oferecido pelo IFRJ Campus Nilópolis.

Esse curso surge num momento em que o setor de energias renováveis se apresenta em pleno desenvolvimento no Brasil e no Mundo, gerando novas profissões e oportunidades de empregos. Seu Projeto Pedagógico de Curso (PPC) foi escrito por docentes do IFRJ pertencentes aos *Campi* Nilópolis, São João de Meriti e Paracambi, no intuito de propiciar formação profissional para aqueles que buscam trabalhar no setor de energia solar fotovoltaica, atendendo assim às demandas do mercado.

Ele está inscrito no eixo Tecnológico e Infraestrutura no segmento de Energia no Guia Pronatec² dos Cursos FIC da Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do Ministério da Educação (ME). A sua oferta no IFRJ *campus* Nilópolis é em parceria com o CEFET-RJ Unidade Maria da Graça e IFRJ *campus* São João de Meriti, por meio de um acordo de cooperação técnica³ assinado entre ambas as instituições. Ele acontece na modalidade presencial e apresenta carga horária de 200 h.

O público-alvo é aquele com formação escolar mínima exigida no nível de ensino fundamental completo. Ao final do curso, como consta no perfil profissional de conclusão descrito no PPC, o egresso deverá estar apto a montar e realizar manutenção em sistemas físicos e elétricos de geração fotovoltaica, levando em consideração as questões aplicáveis à qualidade, à saúde, à segurança e ao meio ambiente (IFRJ, 2019).

5.1 A “CÉLULA SOLAR”

A “célula solar” é uma construção simples constituída por 12 LED de alto brilho na cor vermelha, fixados numa placa de papelão em formato retangular, assemelhando-se aos módulos fotovoltaicos comerciais, ligados entre si em paralelo por solda, como mostra a Figura 5.1. Para

² Pronatec: Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego.

³ Acordo de Cooperação Técnica: convênio celebrado entre os Institutos Federais de Educação e Ciências do Rio de Janeiro (IFRJ) e o Fluminense (IFF), o Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow (CEFET-RJ) e o Pedro II com a finalidade de induzir o desenvolvimento da rede federal de no estado do Rio de Janeiro e regular programas de cooperação técnico-científicos, administrativos e de formação de recursos humanos. Disponível no Anexo 1.

se chegar a esse formato, utilizou-se um relógio digital à pilha no intuito de ligá-lo através da “célula solar”. Foram realizados testes com células com número menor de LED, mas o que apresentou o melhor resultado, nas condições do experimento, foi a com 12 LED.

Figura 5.1 “Célula solar”.



Fonte: próprio autor.

O experimento Célula solar construído com LED já foi apresentado em outros trabalhos acadêmicos explorando outros contextos didáticos. Portanto, ele não é um objeto desenvolvido pelo mestrando. Entretanto, neste trabalho, ele será proposto num contexto específico, como material didático para a disciplina Fundamentos Fotovoltaicos no curso FIC Instalador de Sistemas Fotovoltaicos.

Para conhecer os trabalhos existentes que abordam os conceitos da geração de energia fotovoltaica em atividades experimentais foram realizadas pesquisas no site de pesquisa Google e Google Acadêmico (Google Scholar). Essas pesquisas retornaram alguns trabalhos relacionando o LED à produção de energia solar fotovoltaica, em diferentes abordagens. Uns trabalhos se empenharam em mostrar que o LED era capaz de produzir energia e alimentar um equipamento elétrico, outros comprovaram a produção de energia através da medição com multímetros dos parâmetros elétricos. Outra abordagem utilizada nos trabalhos pesquisados foi a questão do uso do material de baixo custo, citando o LED como um equipamento promissor capaz de produzir energia.

Para citar alguns autores que trouxeram o LED como fonte geradora de energia, tem-se Celestino, Cruz, Araújo *et al.* (2014) que apresentaram um trabalho denominado Laboratório de desenvolvimento de ideias: estudo do caso da construção de placa fotovoltaica de LED, no XLII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), cujo objetivo foi mostrar a geração de energia a partir de um LED. O arranjo físico do experimento foi realizado posicionando o LED no foco de um espelho côncavo construído com garrafas pet e caixas Tetra Pak, para maximizar a incidência de luz e assim gerar mais energia. Os dados obtidos foram a

faixa de tensão e a potência de 2,1 V a 2,4 V e 11 mW, respectivamente, suficientes para alimentar um relógio digital ou calculadora, segundo autores.

Alves, Silva, Soeiro *et al.* (2017) compararam LED de diferentes tamanhos, tipos e cores, com o objetivo de encontrar aqueles que apresentassem melhores características para reprodução de células solares, contribuindo para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia. Alguns resultados mostraram que os dispositivos de radiação infravermelha apresentaram valores de tensão mais estáveis quando comparados aos LED brancos e azuis. Esse estudo foi apresentado no IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino-Americano de Engenharia e Sustentabilidade, em 2017. Ele pode contribuir para pesquisas futuras na seleção de LED para geração de energia.

Outra aplicação do LED para produção de energia pode ser vista no trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Estadual da Paraíba, pelo graduando em Licenciatura Plena de Física Matheus, Patrício B. Pereira. O autor utilizou LED de alto brilho nas cores azul e vermelha, realizando diversos arranjos. Os resultados mostraram que os LED vermelhos associados em série apresentaram respostas melhores no quesito geração de energia. O autor concluiu o trabalho relatando que os resultados foram considerados satisfatórios, pois alcançaram os objetivos de produzir energia e encontraram aplicação prática servindo de fonte de tensão para uma calculadora (PEREIRA, 2017).

A Produção de uma Célula Solar com Materiais Alternativos foi um trabalho apresentado no II Congresso nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências pelos autores Santos e Oliveira (2017). O trabalho tem como foco a produção de uma célula solar construída com LED, material de baixo custo, utilizando LED vermelhos de 10 mm com encapsulamento transparente. Foram realizados testes a luz solar como também com luz de lâmpadas, visto que a apresentação foi realizada dentro da sala de aula. Os estudantes observaram a resposta da célula através de medidas de corrente com auxílio de um multímetro. Com a produção desta célula solar, os discentes puderam discutir sobre a conversão de energia solar em energia elétrica e conceitos científicos, tais como materiais semicondutores e ligação metálica.

Os autores Monteiro, Júnior, Nascimento e *et al* escreveram sobre o Led como Fonte de Energia Solar. Nesse trabalho eles buscaram explicar o funcionamento de uma célula solar para a compreensão da transformação direta da energia solar em elétrica, acreditando que o contato dos alunos com tecnologias potencialmente transformadoras sensibilizá-los quanto à

necessidade de uma busca de soluções conscientes para a sociedade, principalmente quando voltada ao meio ambiente e economia.

A revista “O Setor Elétrico” também publicou um importante trabalho utilizando os LED para gerar energia, intitulado de Utilização de LED na microgeração de energia solar fotovoltaica para pequenas cargas em estado de *stand-by*. Segundo os autores do artigo Barros, Queiroz e Leite (2017) “o LED vermelho, nas medições dentro do laboratório (indoor), mostrou-se o melhor candidato para gerar energia elétrica por efeito fotovoltaico”. Eles também alimentaram uma calculadora digital com a fonte de energia a base de LED, concluindo que seria possível gerar energia a partir de LED para alimentar as lâmpadas de *stand by* dos aparelhos eletroeletrônicos.

Neste trabalho, entretanto, o arranjo experimental proposto é de uma “célula solar” construída com LED para experimentos que simulem os efeitos elétricos ocorridos num módulo fotovoltaico comercial. Nesse sentido, essa proposta se diferencia das outras apresentadas, a partir da pesquisa realizada, porque ela é dedicada a simular o comportamento de um módulo solar em condições de funcionamento real, num contexto de uma metodologia ativa, para ensino do conteúdo na disciplina Fundamentos de Energia Solar Fotovoltaica no Curso FIC Instalador de Sistemas Fotovoltaicos.

A consulta a esses trabalhos que tratavam do tema geração de energia elétrica utilizando LED foi importante pois ajudou na definição do tipo de LED a ser usado nessa proposta, os materiais acessórios que compõem o experimento e as possibilidades de aplicações. A partir da leitura dessas fontes definiu-se o LED vermelho de alto brilho, o uso de cabos jumpers como materiais para realização da atividade experimental, um relógio digital à bateria de 1,5V e uma fonte de luz. O multímetro também faz parte do arranjo para ajudar nas medições das grandezas elétricas e comprovação da geração de energia.

5.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

5.2.1 Considerações gerais

A proposta didática está prevista para ocorrer numa sequência de quatro aulas com 4 h cada, computando uma carga horária total de 16 h. Ela é composta de aulas teóricas, suportadas pela metodologia ativa IpC e atividades práticas experimental.

As aulas podem ser iniciadas com uma breve introdução sobre o conteúdo do dia, passando em seguida para a aplicação do teste avaliativo⁴ e discussão das respostas entre os alunos, divididos em grupos. Os testes podem ser projetados no quadro, com uso de um *Datashow*, ou mesmo serem aplicados mediante folha impressa.

Após a discussão entre os alunos nos grupos, o professor anota as respostas dadas por eles às questões do teste e, em seguida, realiza uma explanação do conteúdo. Próximo do término da aula, o professor retoma o teste, realizando uma nova aplicação. Os alunos, nesse momento, reavaliam suas respostas e as reapresentam para um novo registro. Finalmente o professor encerra a aula, fazendo as devidas considerações sobre o conteúdo apresentado.

5.2.2 Proposta para as aulas

Na primeira aula o professor inicia apresentando o conteúdo da disciplina, o cronograma do curso e a metodologia ativa IpC a ser utilizada. Comenta sobre os testes avaliativos do conhecimento que serão aplicados e a importância de usá-los para o acompanhamento da aprendizagem. Explica a estratégia de obtenção das respostas dos testes, que será adotada para dinamizar a aula e esclarece que haverá a realização de experimentos no momento em que for pertinente. Em seguida ele segue a estratégia adotada para o curso aplicando o conteúdo.

A segunda aula segue o mesmo roteiro, iniciando com uma breve explanação do conteúdo, aplicação de teste avaliativo aos grupos, sistematização do conteúdo, retomada dos testes e encerramento da aula.

A utilização do experimento “célula solar” deve ocorrer na terceira aula, após desenvolvimento de conteúdos prévios necessários à abordagem prática. O início dela pode conter uma breve introdução sobre o assunto, aplicação do teste avaliativo, debate em grupo entre os colegas e apresentação das respostas.

Seguindo a aula, o professor inicia a verificação prática dos fenômenos fotovoltaicos, apresentando aos alunos quatro experimentos: (i) "célula solar" geradora de energia, em que demonstra o funcionamento de um relógio digital ligado na “célula solar”; (ii) variação da geração de energia pela "célula solar" em função da sua posição em relação à fonte de luz; (iii) variação da geração de energia pela "célula solar" devido à presença de uma tela construída com papel translúcido entre ela e a fonte e (iv) plotagem da curva $I-V$ da "célula solar", demonstra as relações entre as grandezas elétricas através da curva $I-V$.

⁴ - Os testes avaliativos constam nos apêndices do livro, produto educacional, destinado ao professor.

A quarta e última aula guarda outras etapas que não estão presentes nas aulas intermediárias. Nela, além da aplicação do conteúdo, baseado na metodologia e do processo de avaliação sugeridos neste trabalho, da apresentação das experiências, há as considerações finais, a apresentação dos resultados dos testes avaliativos para os alunos e o feedback por ambas as partes, além do encerramento da disciplina.

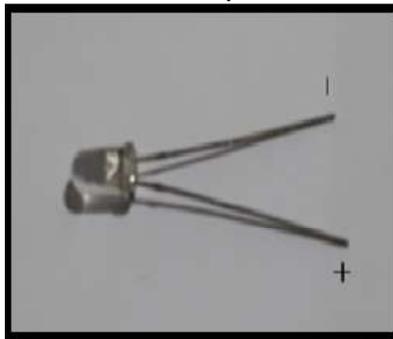
5.3 DESCRIÇÃO E RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

5.3.1 Descrição do material utilizado

5.3.1.1 LED

O LED Vermelho de Alto Brilho é um componente eletrônico que possui polarização, ou seja, dependendo da ligação que for feita com a fonte de energia ele permite ou não a passagem da corrente elétrica. A Figura 5.2 ilustra o LED e os terminais positivo e negativo.

Figura 5.2 LED de alta eficiência que emite luz na cor vermelha.



Fonte: próprio autor.

As especificações técnicas do LED escolhido para o experimento são:

- Tensão de alimentação: 2,0 — 2,2 V;
- Corrente máxima: 20 mA;
- Ângulo de abertura: 18° ~ 25°;
- Diâmetro do LED: 5 mm;
- Comprimento: 37 mm;
- Massa da unidade: 0,3 g.

5.3.1.2 Lâmpada halógena

Lâmpada halógena⁵ palito de 1000 W fixada num refletor, com Índice de Reprodução de Cores (IRC) igual a 100, sendo capaz de emitir uma luz como a luz do Sol. A Figura 5.3 mostra as especificações da lâmpada e o refletor em que ela é encaixada.

Figura 5.4 Refletor para encaixe da lâmpada halógena e as especificações técnicas da lâmpada.



Fonte: próprio autor.

5.3.1.3 Suporte para apoio das células

Para os ensaios com as células foi usado um suporte com movimento giratório, como mostra a Figura 5.4, tornando possível posicioná-las nas direções vertical, inclinada e horizontal.

Figura 5.4 Suporte para apoio das células solares.



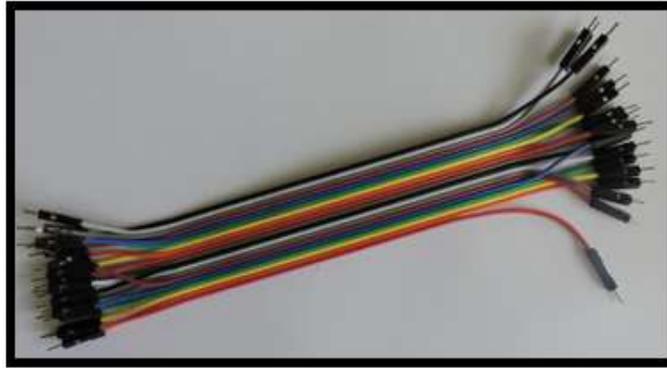
Fonte: próprio autor.

⁵ - lâmpadas halógenas são lâmpadas incandescentes com filamento de tungstênio contido em um gás inerte e com uma pequena quantidade de um elemento halogênio como iodo ou bromo (Wikipedia, 2020)

5.3.1.4 Jumper

São cabos elétricos próprios para uso em circuitos eletrônicos, como construção de circuitos em placas prototipadas⁶ ou outros suportes. A Figura 5.5 mostra alguns *jumpers*.

Figura 5.5 Jumper.



Fonte: próprio autor.

5.3.1.5 Aparelho multímetro

O multímetro digital foi utilizado nos experimentos para medir tensão e corrente nos circuitos das células fotovoltaicas. Em especial, o aparelho escolhido tinha uma escala de corrente na ordem de microampère (μA), para que fosse possível fazer as leituras de correntes dos circuitos ensaiados neste trabalho. Uma ilustração dele é mostrada na Figura 5.6.

Figura 5.6 Multímetro digital.



Fonte: próprio autor.

⁶ - Placas prototipadas são estruturas simples que permitem a conexão de diversos componentes eletrônicos para ensaios e testes.

5.3.1.6 Base de realização dos experimentos

As experiências foram realizadas sobre uma base de madeira composta por duas placas brancas, como mostra a Figura 5.7. O refletor foi fixado sobre uma das placas, posicionado de forma que a luz fosse emitida no plano horizontal. Um cabo com tomada e interruptor foi instalado para comando da lâmpada. Uma marcação de 70 cm foi feita sobre a base para que se pudesse criar referência para as realizações dos experimentos. Todo conjunto da base de realização dos experimentos é desmontável e de fácil transporte.

Figura 5.7 Base de realização dos experimentos.

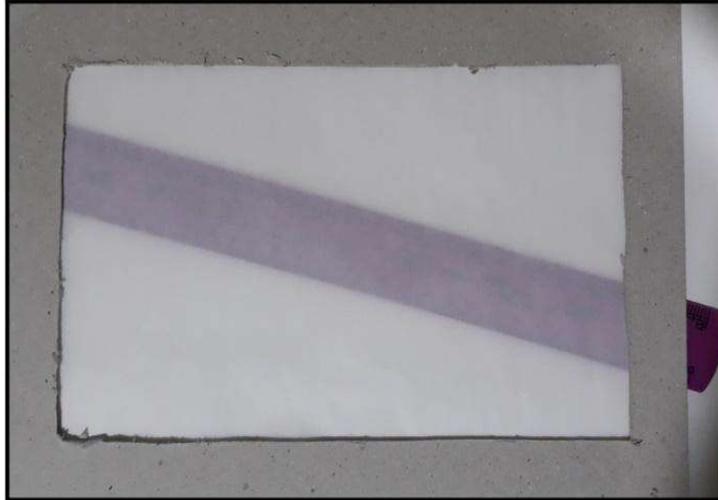


Fonte: próprio autor.

5.3.1.7 Anteparo translúcido

O anteparo translúcido foi utilizado no experimento para bloquear parcialmente a luz da fonte que chega até a célula solar. Ele foi construído com uma moldura de papelão e folhas de papel vegetal, como mostra a Figura 5.8.

Figura 5.8 Anteparo translúcido para bloqueio parcial da luz emitida pela fonte.



Fonte: próprio autor.

5.3.1.8 Relógio digital

A carga elétrica a ser acionada pela célula solar considerada neste trabalho foi um relógio digital, originalmente alimentado por uma bateria de 1,5 V, como ilustra a Figura 5.9

Figura 5.9 Relógio digital utilizado como carga a ser acionada pela célula solar.



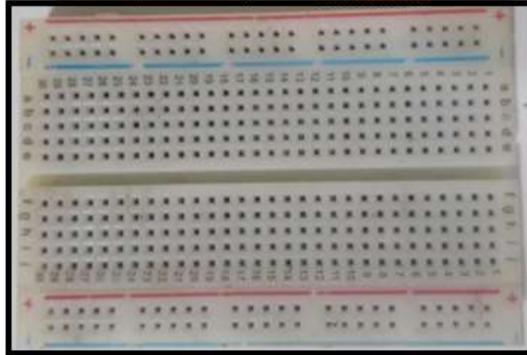
Fonte: próprio autor.

5.3.1.9 Placa prototipada

A placa prototipada (*protoboard*), foi utilizada nos experimentos para garantir uma resistência de contato constante na conexão da célula solar com o multímetro ou com o relógio, evitando assim, possíveis divergências nas medições ou no acionamento da carga

devido à resistência de contato na ligação entre os cabos. A figura da placa prototipada é mostrada na Figura 5.10.

Figura 5.10 Placa prototipada



Fonte: próprio autor.

5.3.1.10 Potenciômetro

Dois potenciômetros de $1\text{ M}\Omega$ cada foram utilizados no experimento relacionado com o traçado da curva I-V. A figura 5.11 mostra o potenciômetro com dois cabos jumpers soldados em seus terminais para conexão no *protoboard*.

Figura 5.11 Potenciômetro de $1\text{ M}\Omega$



Fonte: próprio autor.

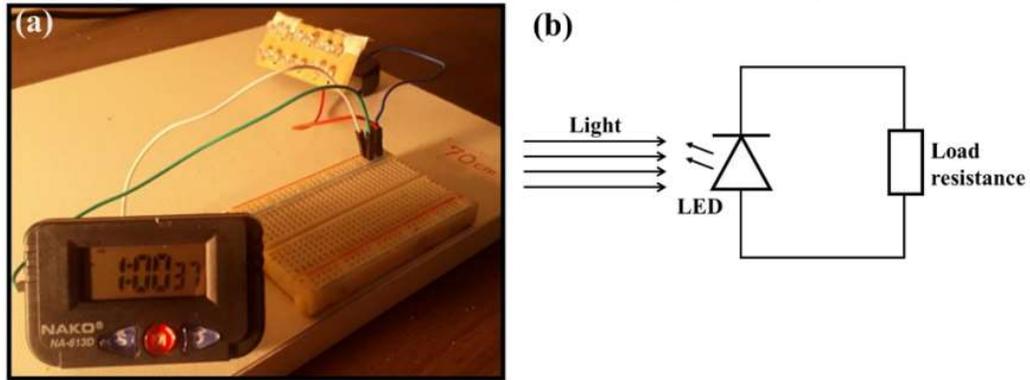
5.3.2 Resultado dos experimentos

5.3.2.1 LED como “célula solar” – uma fonte de energia elétrica

A produção de energia pela “célula solar” pode ser verificada a partir de um experimento no qual um relógio digital foi alimentado por ela, como mostrado na Fig. 5.12).

Neste experimento, a fonte de luz foi posicionada a 70 cm da “célula solar” e um relógio digital de 3V foi conectado a ela. A Figura 5.12(a) mostra o experimento realizado e a Figura 5.12(b) mostra um esquema elétrico do circuito de ligação do relógio.

Figura 12 (a) “Célula solar” iluminada pela lâmpada e o relógio digital conectado a ela. (b) Diagrama esquemático do circuito elétrico. Aqui o símbolo de LED representa o conjunto de LED.



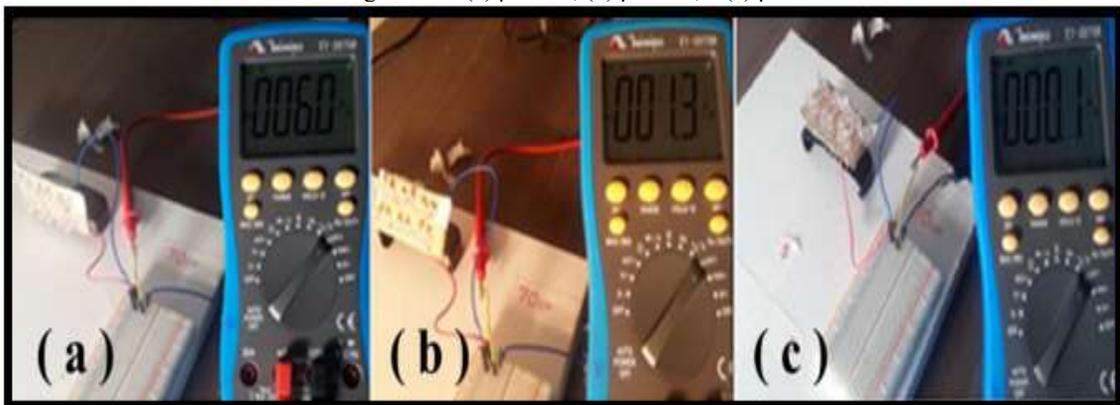
Fonte: próprio autor.

5.3.2.2 Variação da geração de energia pela "célula solar" em função de sua posição em relação à fonte de luz

A verificação do comportamento da "célula solar" foi realizada analisando a variação da corrente elétrica gerada por ela em 2 situações: (a) variação no ângulo de inclinação (β) da "célula solar" (Figura 5.13); (b) variação do ângulo azimutal (γ), usando os ângulos notáveis (Fig. 14).

(a) Variação do ângulo de inclinação (β) da "célula solar".

Figura 5.13 (a) $\beta = 90^\circ$, (b) $\beta = 45^\circ$, e (c) $\beta = 0^\circ$.

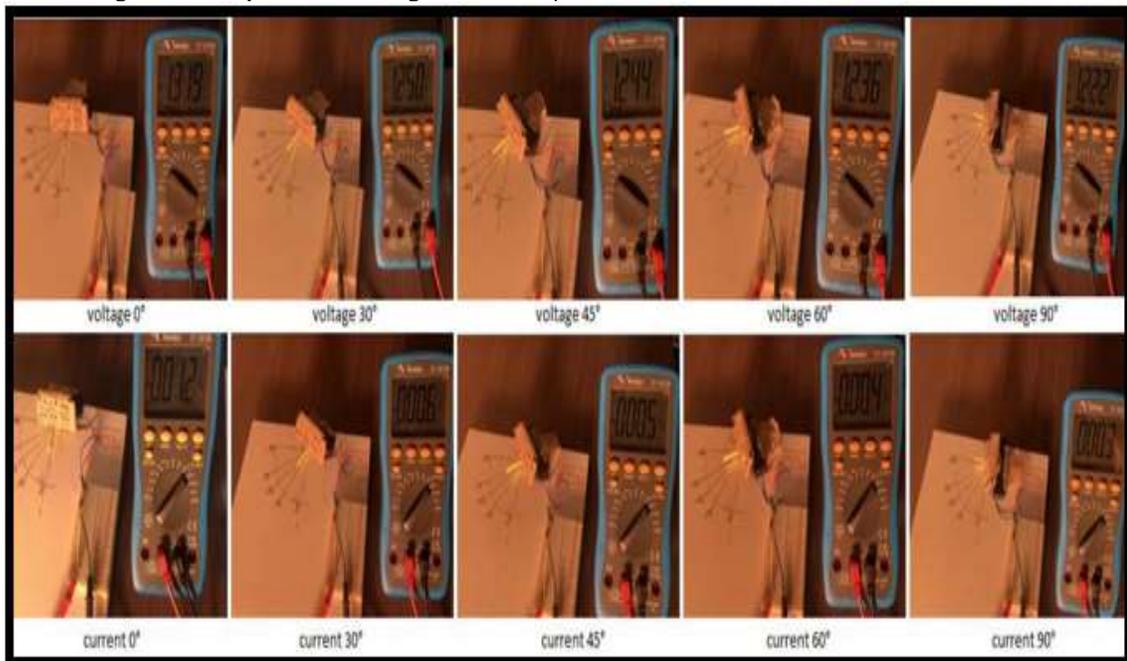


Fonte: próprio autor.

Conforme mostrado na Figura 5.13, ao variar o ângulo (β), posição da “célula solar” em relação ao plano horizontal, o multímetro, na função de medir corrente, apresenta valores menores à medida que (β) diminui. Este experimento simula a variação que ocorre na geração de energia de um painel solar, devido às diferentes inclinações dos telhados em que os painéis são instalados.

(b) Variação do ângulo azimutal (γ).

Figura 5.14: dependência do ângulo azimutal γ da tensão e da corrente através da "célula solar"

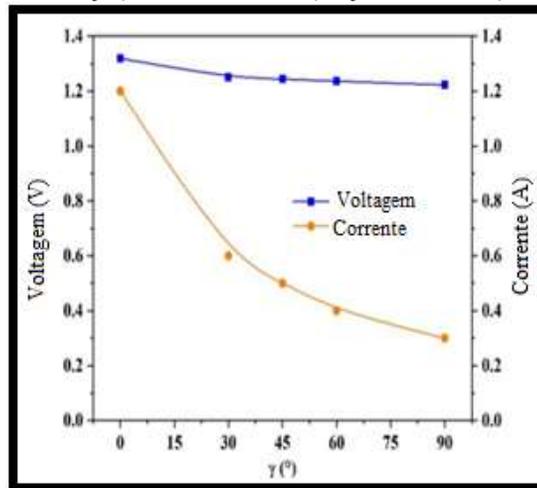


Fonte: próprio autor.

Conforme mostrado na Figura 5.14, ao variar o ângulo azimutal (γ) da "célula solar", tomando em conta os ângulos notáveis (0° , 30° , 45° , 60° e 90°), o multímetro mostra uma pequena variação na tensão, mas revela uma variação considerável na corrente, indicando o quando a “célula solar” diminui sua produção de energia quando posicionada com sua face fora da direção da luz da fonte.

A comparação por meio gráfico entre as variações das grandezas tensão e corrente é mostrada na Figura 5.15, em que se pode ver a dependência da tensão e de corrente com relação aos ângulos notáveis na “célula solar”.

Fig. 5.15 Dependência do ângulo azimutal (γ) da tensão entre (quadrados azuis) e corrente através (círculos laranjas) da “célula solar” (conjunto de LEDs).



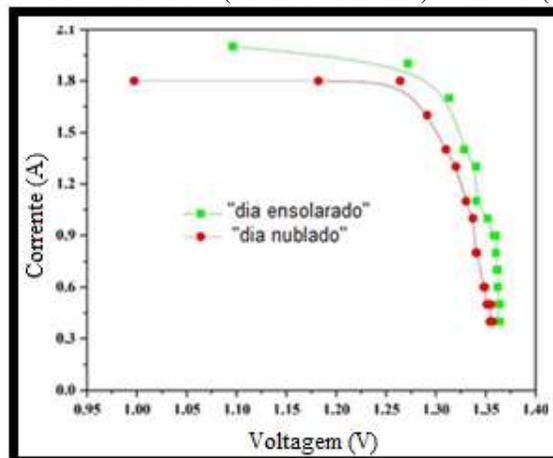
Fonte: próprio autor.

Este experimento simula a variação (γ) que ocorre na geração de energia de um painel solar, devido às diferentes posições do telhado em relação ao norte direção geográfica das coberturas nas quais os painéis são instalados.

5.3.2.3 Variação da geração de energia pela "célula solar" devido à presença de uma tela construída com papel translúcido entre ele e a fonte

O experimento foi realizado colocando a tela construída com papel translúcido entre a fonte de luz e a “célula solar”, para simular um dia nublado. O resultado dessas medições foi plotado num gráfico, como mostra a Figura 5.16.

Figura 5.16 Curvas I-V geradas a partir da variação das resistências nos reostatos, considerando o sistema com tela entre fonte de luz e “célula solar” (círculos vermelhos) e sem tela (quadrados verdes).



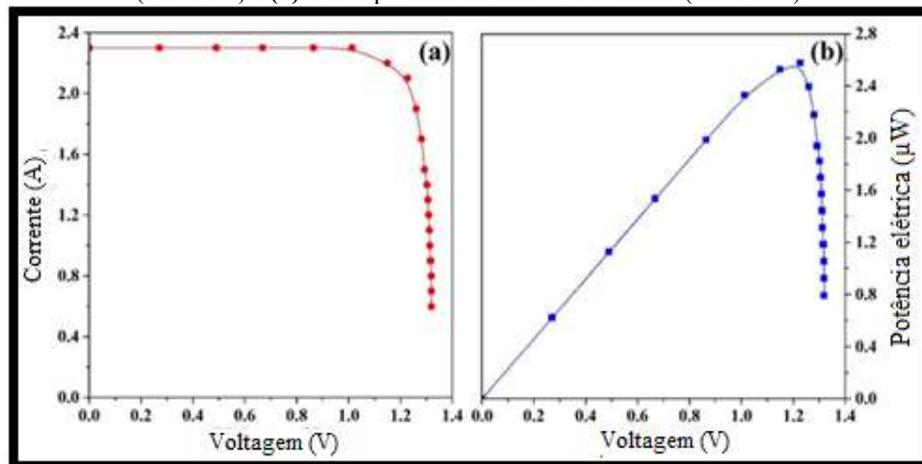
Fonte: próprio autor.

Pode-se ver no gráfico da Figura 5.16 que a geração de corrente elétrica diminui quando a tela translúcida está bloqueando parte da luz da fonte para a "célula solar". Portanto, a produção de energia também diminui nessas condições. Este experimento simula o que acontece com a geração de energia em um módulo solar quando o tempo está nublado, bloqueando parte da passagem da luz solar para o módulo. Nessa situação, como demonstrado na experiência, a produção de energia pelo módulo diminui.

5.3.2.4 Curvas $I-V$ e $P-V$ da "célula solar"

O desempenho das grandezas elétricas numa "célula solar" construída com LED pode ser mostrado através dos gráficos de corrente versus tensão (curva $I-V$), e potência versus tensão (curva $P-V$). Na Figura 17 estão ilustradas essas curvas.

Fig. 17 Características da "célula solar" (conjunto de LEDs): (a) curva de corrente versus tensão (curva $I-V$) e (b) Curva potência elétrica versus tensão (curva $P-V$).



Fonte: próprio autor.

A partir da Figura 5.17(a) pode-se a corrente de curto-circuito $I_{sc} = 2,3$ mA, quando a resistência (R_L) nos reostatos é zero e o circuito aberto, tensão $V_{oc} = 1,3$ V, para quando a resistência no reostato é muita alta. Além das características e dos comportamentos da tensão e corrente, na Figura 5.17(b), tem-se também a curva de potência em que se percebe o ponto de máximo de potência que a "célula solar" é capaz de fornecer. Essa potência é denominada nos *datasheet* dos fabricantes como potência de pico e é medida em Watt pico (Wp).

Os resultados dos experimentos apresentados neste capítulo, para uma "célula solar" construída com LED, estão de acordo com o comportamento e características elétricas apresentadas pelos módulos comerciais Nesse sentido, este trabalho, propondo uma célula solar construída com LED, alternativa à encontrada no mercado, demonstrou que os fenômenos

físicos apresentados pelos módulos fotovoltaicos, quando iluminados pela luz do Sol, podem ser reproduzidos utilizando-se a “célula solar” de LED. Esse fato é bastante relevante, pois facilita a demonstração dos fenômenos, no sentido de que as células solares comerciais, que compõem os módulos fotovoltaicos, não são encontradas facilmente e não têm preços acessíveis, quando comparadas aos LED.

Além do custo para a confecção das células solares com LED, outro ponto a favor é a resistência do material. A célula é composta de papelão e LED soldados uns aos outros apresenta maior resistência do que a sua versão comercial que é frágil e requer manuseio cuidadoso. A quebra de uma célula dessa poderia inviabilizar uma experiência.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual contexto relacionado à substituição dos combustíveis fósseis por fontes de energias renováveis e limpas, tem levado os países a desenvolverem novas tecnologias para geração de energia com menos impactos ambientais. A energia solar, nesse cenário, tem-se estabelecida como uma alternativa importante e, por isso, recebido especial atenção por parte dos setores do governo e da iniciativa privada.

Em consequência disso, surge a necessidade de uma discussão em torno dos pontos positivos e negativos relacionados à essa tecnologia. No campo da educação essa discussão tem ocorrido em diversos níveis, desde cursos de pós-graduação a cursos de formação inicial e continuada, visando à formação de profissionais qualificados e conscientes do que a energia fotovoltaica representa no atual cenário.

Nesse sentido, na tentativa de contribuir para o processo de ensino e aprendizagem, este trabalho traz, como proposta, uma metodologia de ensino baseada na interação pelos colegas, com a finalidade de incentivar os alunos a discutirem suas ideias na busca de respostas para os problemas apresentados em sala de aula, colocando-os numa posição mais ativa no processo de ensino e aprendizagem. Acredita-se que utilizando essa metodologia os resultados esperados possam ser melhores quando comparados com dados estatísticos de resultados para o ensino utilizando-se uma metodologia “passiva” com relação à participação dos alunos.

O experimento, programado para acontecer na terceira aula, também é outro ponto que este trabalho pretende contribuir quanto à questão da aprendizagem do aluno. Explorando as possibilidades que o kit experimental: “célula solar” construída com LED pode oferecer, espera-se que a aula se torne mais lúdica, promovendo um momento único de contato prático com a matéria que está sendo lecionada.

Nesse momento, além do aluno interagir com o material, podendo ele mesmo praticar o que julga interessante, o experimento pode propiciar maior engajamento do aluno com o assunto levando-o a refletir sobre o fenômeno e propor novas situações não presente no *script*, possibilitando um entendimento mais completo do assunto.

Além disso, espera-se que o produto educacional proposto neste trabalho, um livro baseado no conteúdo da disciplina, contendo a teoria, a metodologia proposta para aplicação do assunto, os testes avaliativos e toda a descrição do kit experimental, possa contribuir como um material para os alunos no acompanhamento das aulas da disciplina Fundamento de Sistemas Fotovoltaicos e também como apoio didático e metodológico para outros professores que venham a ministrar essa disciplina ou outra em formato parecido.

Julga-se, portanto, que a disciplina Fundamento de Sistemas Fotovoltaicos, assim como outras que sejam parte integrante de cursos que tenham a tecnologia fotovoltaica como fundamento, ao ser trabalhada, utilizando-se a abordagem proposta neste trabalho, seja melhor recebida pelos alunos e, por conseguinte, apresente melhores resultados no processo de ensino e aprendizagem.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Até 2050, 40% de toda a matriz energética do planeta será fotovoltaica** 2010. Disponível em < <https://bit.ly/3dqrOID>>. Acessado em 25 mar. 2020.

ABSOLAR. **Custos menores para a instalação de projetos para geração de energia solar.** 2019. Disponível em < <https://bit.ly/3dqrOID>>. Acessado em 23 mar. 2020.

ABSOLAR. **Geração Distribuída Fotovoltaica: benefícios líquidos ao Brasil.** Seminário de geração em micro e minigeração distribuída – ANEEL. 2018.

ALVES, L. C. A; SILVA, B. H. B; SOEIRO, B. E. T; AMAZONAS, J. G. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino-Americano de Engenharia e Sustentabilidade. **IX SBEA**. MG. 2017.

ANASTASIOU, L. G. C; ALVES, L. P. (Orgs). Estratégias de ensinagem. In: **Processos de ensinagem na Universidade**. Pressupostos para estratégias de trabalho em aula. 3. ed. Joinville: Univille, 2004. p. 67- 100.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 2002. Disponível em: encurtador.com.br/ayCR7 . Acesso em: 05/ 2021.

ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.30, n.2, p. 362-384, 2013.

ARRUDA, L.B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos**. 2004. 230 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BARROS, R.C; QUEIROZ, I. S; LEITE, F. A. Utilização de LEDs na microgeração de energia solar fotovoltaica para pequenas cargas em estado de stand-by. **Revista Setor Elétrico**.

Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/LEDs-geradores-de-energia-solar>>. Acesso em 05 nov.2020.

BERBEL, N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia dos estudantes. **Semina: Ciências Sociais e Humanas**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 25-40, jan./jun. 2011.

BEZERRA, F. D. Energia Solar Fotovoltaica. **Caderno Central ETENE**. Banco do Nordeste, 2018.

BICALHO, M. S; ARAÚJO, T. P; CARDOSO, R. B. Análise de desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede da Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira. **Revista brasileira de energias renováveis**. 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL, 24 mai. 2017**. Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. Disponível em: <<https://bit.ly/2vJzEfv>>. Acesso em 23 mar.2020.

BRASIL. Matriz de Energia Elétrica. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**. Brasília, 015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Operacao-CapacidadeBrasil.cfm>> Acesso em: 05/2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Itinerários Formativos em Energias Renováveis e Eficiência Energética**. 2018. Disponível em: <<http://www.energif.org/materiais.php>>. Acesso em 24 mar.2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Planejamento Energético. **Balanco Energético Nacional, Relatório Síntese 2016**. Rio de Janeiro, 2016.

BUTCHART, S.; HANDFIELD, T.; RESTALL, G. Using Peer Instruction to Teach Philosophy, Logic, and Critical Thinking. **Teaching Philosophy**, v. 32, p. 1-40, 2009.

CAMPOS, L. C. **Nanofios de óxido de zinco e nanofitas de grafeno: fabricação, estrutura e propriedades de transporte (opto)eletrônico.** Tese apresentada ao Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção de grau de doutor em Física Abril de 2010.

CARNEIRO, J. **Semicondutores: modelo matemático da célula fotovoltaica.** Universidade do Minho. Departamento de Física. Azurém. 2010.

CELESTINO, D; SOUZA, P. H; SILVA, Y; ARAÚJO, F; TOSTES, M. E. L; MARTELLI, M. Laboratório De Desenvolvimento De Ideias: Estudo Do Caso Da Construção De Placa Fotovoltaica De LEDs. **XLII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE).** 2014

CELESTINO, D; CRUZ, P. H; ARAUJO, F. D. C; SILVA, Y.S; JUNIOR, F. A. S; CRUZ, O; CORTEZ, R. J. M. **Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica.** Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

CERQUEIRA, M. A. **Desenvolvimento de atividades experimentais e de um kit de experimentos sobre geração fotovoltaica.** Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ – Uned Petrópolis Curso de Licenciatura em Física. 2019.

CRESEB. Centro de Referências para Energia Solar e Eólica Sergio de S. Brito. Módulos Fotovoltaicos. 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=331>. Acesso em: 05 jun. 2021.

CROSSGROVE, K.; CURRAN, K. L. Using clickers in nonmajors-and majors level biology courses: student opinion, learning, and long-term retention of course material. **Life Sciences Education**, v. 7, n. 1, p. 146, 2008.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A.P. **Metodologia do Ensino de Ciências.** São Paulo: Cortez, 2000.

DIESEL, A.; BALDEZ, A. L. S; MARTINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Thema**. Volume 14, nº 1, Pág. 268 a 288. 2017.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, Apostila. 2002.

FONSECA, M.R.M. **Completamente química: química geral**, São Paulo, 2001

GASPAR, A. **Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental**. São Paulo: Ática, 2009.

GIORDAN, M. **O papel da experimentação no ensino de ciências**. Química Nova na Escola, n. 10, p. 43-49, 1999.

GREEN, M. **Silicon Photovoltaic Modules: A Brief History of the First 50 Years**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2005

KOCH, I. G. V. **Argumentação e linguagem**. 7. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

KRASILCHIK, M. **O professor e o currículo das ciências**. São Paulo: EPU, 1987, 80p.

MARRS, K. A.; NOVAK, G. Just-in-Time Teaching in Biology: Creating an Active Learner Classroom Using the Internet. **Cell Biology Education**, v. 3, n. 1, p. 49-61, 2004

MAZUR, E. **Peer Instruction: A revolução da aprendizagem ativa** / Eric Mazur; tradução: Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Penso, p.252, 2015.

MCCREARY, C. L.; GOLDE, M. F.; KOESKE, R. Peer instruction in the general chemistry laboratory: Assessment of student learning. **Journal of Chemical Education**, v. 83, p. 804-810, 2006.

MELO, J. F. R. **Desenvolvimento de atividades práticas experimentais no ensino de biologia – um estudo de caso.** Brasília: UnB, 2010.

MONTEIRO, L. S; JÚNIOR, J. B. S; NASCIMENTO, L. S; AMORIM, M. F; ALVES, P. H. S; SILVA, R. K. Led como Fonte de Energia Solar. **Revista de Trabalhos Acadêmicos - Universo Recife.** 2016

MORALES, O. E. T. **Coleção Mídias Contemporâneas.** Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens. Vol. II. PG: Foca Foto-PROEX/UEPG, 2015. Disponível em: < encurtador.com.br/iFLX8 >. Acesso em: 01 abr. 2020.

MORÁN, J. Mudando a educação com metodologias ativas. In: SOUZA, C. A; MORALES, O. E. T. **Coleção Mídias Contemporâneas.** Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens. Vol. II. PG: Foca Foto-PROEX/UEPG, 2015. Disponível em: < encurtador.com.br/iFLX8 >. Acesso em: 01 abr. 2020.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil:** situação e perspectivas. Consultoria Legislativa – Estudo técnico, Câmara dos Deputados. 2017.

NEAMEN, Donald A., **Semiconductor Physics and Devices** 3^a. Ed., McGraw-Hill, 2003.

PALANDI, J; FIGUEIREDO, D. B; DENARDIN, J. C; MAGNAGO, P. R. **Física Moderna.** Universidade Federal de Santa Maria. Departamento de Física. Grupo de Ensino de Física. 2010.

PEREIRA, B. P. M. **Usando o LED na produção de energia limpa e renovável: construção de mini placas solares fotovoltaicas.** UEB. PB. 2017.

PERRENOUD, P. **A prática reflexiva no ofício de professor:** profissionalização e razão pedagógica. Porto Alegre: Artmed, 2002.

PINHO, J. T; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: cepel/cresesb, 2014.

RODRIGUES, C. A. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor pde. **Caderno PDE**. Versão online. Secretaria de Educação. Paraná. 2013

SANTOS, D. O; OLIVEIRA, G. S. S; Produção de uma Célula Solar com Materiais Alternativos. **II Congresso nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências. CONAPESC**. 2017.

SOUZA, C.S; IGLESIAS, A. G; PAZIN, A. Estratégias inovadoras para métodos de ensino tradicionais – aspectos gerais. **Medicina**, v. 47, n. 3, p. 284-292, 2014.

SOUZA, J. R. P. S. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações para o ensino médio**. Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação do Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Belém do Para. 2016.

STROM BRASIL. **Estados que mais investem em energia solar**. (s.d). Disponível em: <<https://bit.ly/2QLGWqo>>. Acesso em 24 mar.2020.

SZE, S. M; NG, K.K. **Physics of Semiconductors Devices**. 3ª Edição. New Jersey. Hoboken. 2007.

TOSTES, M. E. L; MARTELLI, M. C; Laboratório de desenvolvimento de ideias: estudo do caso da construção de placa fotovoltaica de LEDs. **XLII COBENGE**. MG. 2014.

VILLALVA, M. G; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. Ed. Érica. Pinheiros, SP. 2012.

WIKIPEDIA. **Lâmpada de halogêneo**. Disponível em: <[Lâmpada de halogêneo – Wikipédia, a enciclopédia livre \(wikipedia.org\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_de_halog%C3%AAneo)> Acesso em 5 jan.2021.

APÊNDICE A - Descrição do produto final

O material didático e pedagógico instrucional (produto final) proposto neste trabalho é composto por dois livros, um direcionado ao aluno e o outro ao professor.

O livro para o aluno apresenta todo conteúdo da disciplina e a proposta de quatro experimentos relacionados aos fenômenos fotovoltaicos, que podem ser realizados com a célula solar construída com LED.

O livro do professor, conta com uma pequena descrição do conteúdo da disciplina, apresenta um capítulo sobre atividades experimentais, delineamento quase experimental outros sobre metodologias ativas, e ganho de Hake. Além de descrever quatro experimentos a serem realizados com a célula solar construída com LED, propõe uma metodologia de ensino para as aulas e para a realização de pesquisa, caso o professor queira investigar o comportamento da turma frente à metodologia proposta e traz um apêndice com sugestões de testes avaliativos.

O livro do aluno é estruturado em seis capítulos, a saber:

1. Energia: definição da grandeza física energia, o consumo de energia pelo homem e fontes de energia.
2. Panorama atual da tecnologia fotovoltaica: os cenários mundial e nacional relacionados ao mercado desse setor, a legislação brasileira para esse setor e as etapas e procedimentos para homologação do projeto de energia fotovoltaica na concessionária de energia.
3. Radiação solar: breve comentário sobre o Sol, aspectos da radiação solar e instrumentos de medição da radiação solar.
4. Geometria celeste: coordenadas geográficas e coordenadas astronômicas.
5. Sistemas de conversão de energia: energia solar térmica em eletricidade, energia solar térmica em aquecimento de água e energia solar fotovoltaica.
6. Projetos para realização de experiências com led simulando uma célula solar.

O livro do professor é estruturado em nove capítulos mais um apêndice contendo sugestões de testes avaliativos dos conteúdos, a saber:

1. Considerações iniciais.
2. Panorama sobre energia solar fotovoltaica.
3. Princípios físicos da conversão da energia solar em elétrica: junção $p-n$ e células fotovoltaicas.
4. Atividades experimentais.

5. Metodologias ativas: Metodologias ativas, uma visão geral, e metodologias ativas, instruções por colegas (IpC).
6. Delineamento quase experimental.
7. Análise estatística pelo ganho de Hake normalizado.
8. Metodologia: proposta didática e os testes avaliativos.
9. Descrição do experimento: Materiais usados no experimento célula solar construída com led e ensaios experimentais.
10. Apêndice: Testes avaliativos.

ANEXO 1 - Acordo de cooperação técnica



MINISTERIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA DO RIO DE JANEIRO

CONVÊNIO QUE ENTRE SI CELEBRAM O INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO; O CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA; O COLÉGIO PEDRO II E O INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA FLUMINENSE, COM A FINALIDADE DE INDUZIR O DESENVOLVIMENTO DA REDE FEDERAL NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E REGULAR PROGRAMAS DE COOPERAÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA, ADMINISTRATIVA E DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS.

O Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, doravante simplesmente denominado IFRJ, inscrito no CNPJ/MF sob o nº 10.952.708/0001-04, com sede na Rua Pereira de Almeida, nº88, Praça da Bandeira, Rio de Janeiro- RJ, neste ato representado por seu Reitor Rafael Barreto Almada, portador da CNH 01784846827 e inscrito no CPF 054.411.957-62; o **Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca**, doravante simplesmente denominado CEFET/RJ, inscrito no CNPJ/MF sob o nº 42.441.758/0001-05, com sede na Av. Maracanã, nº 229, Maracanã - RJ, neste ato representado pelo Vice-diretor em exercício da Direção-Geral Maurício Saldanha Motta – RG nº 07.836.620-0 IFF, de 22/11/1985, CPF 949.771.357-68; o **Colégio Pedro II**, doravante simplesmente denominado CPH, inscrito no CNPJ/MF 42.414.284/0001-02, com sede Campo de São Cristóvão, 177, 3º Andar, São Cristóvão - Rio de Janeiro – RJ, neste ato representado por seu Reitor Oscar Halac, portador do RG nº 03831980-2 Detran-RJ e inscrito no CPF 511.005.257-34 e o **Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense**, doravante simplesmente denominado IFF, inscrito no CNPJ/MF sob o nº 10.779.511/0001-07, com sede na Rua Coronel Walter Kramer, nº 357, Pq. Santo Antônio, Campos dos Goytacazes – RJ, neste ato representado por seu Reitor Jefferson Manhães de Azevedo, RG 901014207 CREARJ, inscrito no CPF sob o nº 002.294.577-62 resolvem celebrar o presente convênio, cuja finalidade é formalizar a cooperação técnico-científica, administrativa, inclusive na formação de recursos humanos e compartilhamento de recursos entre o IFRJ, CEFET/RJ, CPH e IFF, sujeitando-se, os convenientes, no que couber, às disposições em vigor da Lei Nº 8.666, de 21 de junho de 1993.

ANEXO 2 - Datasheet módulo fotovoltaico era solar

MONOCRYSTALLINE, 72-CELL SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

Module type: ESPSC	390M
Maximum Power(Wp)	390W
Open circuit Voltage(Voc)	49.3V
Short circuit Current(Isc)	10.12A
Maximum Power Voltage(Vm)	41.1V
Maximum Power Current(Imp)	9.49A
Module efficiency	19.8%
Maximum Series Fuse	15A
Watts positive tolerance	0~+3%
Number of Diode	3
Standard Test Conditions	1000W/m ² , 25°C, AM1.5
Maximum System Voltage	1500VDC
Temperature-Coefficient Isc	+0.08558%/°C
Temperature-Coefficient Voc	-0.29506%/°C
Temperature-Coefficient Pmp	-0.37000%/°C
Normal Operating Cell Temperature	-40°C...+85°C
Load Capacity for the cover of the module (glass)	5400Pa(IEC61215)(snow)
Load Capacity for the front & back of the module	2400Pa(IEC61215)(wind)
Product Certificate	TUV(IEC 61215, IEC 61730), CE, ROHS, PID Resistant, INMETRO
Company Certificate	ISO9001, ISO14001, ISO18001

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Front cover (material / thickness)	low iron tempered glass / 3.2mm
Backsheet (color)	TPT in white
Cell (quantity / material / dimensions)	72 / monocrystalline silicon / 158.75x158.75mm
Frame (material / color)	aluminum hollow-chamber frame on each side anodized aluminum alloy / silver
Junction box (protection degree)	≥IP68
Cables & Plug connectors	2x900mm / 4mm ² & MC4 compatible
Module Dimensions (L / W / H)	1979x996x40mm
Module Weight	22.5kg
Application class	Class A
Electrical protection class	Class II
Fire safety class	Class C

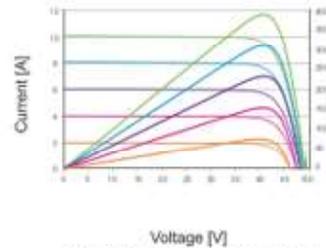
PACKING

Container Size	Units/Pallet (PCS)	Weight/Pallet (KG)	Pallet Measurement (mm)	Units/Container (PCS)
20GP	26	615	2030x1130x1140	260
40HQ	26	615	2030x1130x1140	627
	31	730	2030x1130x1350	

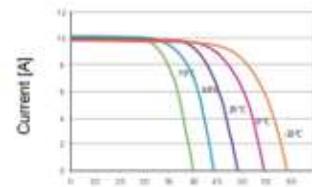


ERA SOLAR and the ERA SOLAR logo are trademarks or registered trademarks of ERA SOLAR Corporation.
© October 2019 ERA SOLAR Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

CURRENT-VOLTAGE CURVES:



Module characteristics at constant module temperatures of 25°C and variable levels of irradiance



Module characteristics at variable module temperatures and constant module irradiance of 1.000 W/m²

MODULE DIAGRAM:

