



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA O ESTUDO DE FILMES FOTOSSENSÍVEIS PARA A PROTEÇÃO DE PAINÉIS SOLARES

João Pedro Brito A. e Souza, jpedrobas@gmail.com¹
Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹
Joyce Batista Azevedo, joyceazevedo@fieb.org.br¹

¹Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1875, Piatã, Salvador-BA.

Resumo: O planeta Terra recebe todos os anos cerca de 174 petawatts de radiação solar, enquanto 30% dessa energia é refletida de volta ao espaço o restante é absorvida pela terra. Tal fator dá à energia solar o maior potencial de geração elétrica dentre todos os outros, porém pelo fato da tecnologia dos painéis solares ser recente, há ainda um baixo rendimento destes sistemas (13 - 15%). As bancadas experimentais para painéis solares são de suma importância também, pois existem lugares onde tais condições não são favoráveis ao tipo de teste "outdoor" ou experimentos laboratoriais de pequeno porte que necessitam da utilização de tais bancadas. Este trabalho tem como objetivo apresentar a metodologia utilizada no desenvolvimento de uma bancada de experimentos "indoor" para sistemas fotovoltaicos. Tem como finalidade a reprodução mais próxima possível das condições nas quais o sistema estará exposto. A bancada de testes consiste em uma câmara escura totalmente lacrada para minimizar as interferências externas, também revestidas por formica preta fosca que tem como finalidade a diminuição das reflexões dos raios que incidirão sobre o painel solar. Internamente está adaptado um sistema didático que consiste basicamente de um painel solar, refletores que serão usados para simular a radiação solar e externamente na lateral da câmara está exposto o painel de controle do sistema didático para a realização dos ensaios; assim todo controle será feito por fora com isso minimizando as interferências externas no experimento.

Palavras-chave: Radiação, Painel Solar, Câmara Escura, Experimental

1. INTRODUÇÃO

Incropera (1996) diz que a radiação térmica é uma energia emitida por toda matéria que se encontra em uma temperatura não nula. A energia vinda da radiação é transportada através de ondas eletromagnéticas ou fótons. Segundo Goldstein Jr.(1986) as ondas para a transferência de calor estariam abrangendo a radiação ultravioleta, infravermelho e a radiação visível que se encontram entre 100 e 3000nm.

Segundo Boland (2008), a radiação solar é a energia radiante do sol na qual é transmitida através de ondas eletromagnéticas, sendo transmitida parte espectro visível e parte infravermelha e ultravioleta. A densidade média do fluxo energético proveniente da radiação solar, segundo a OMM (Organização Metrológica Mundial) é de 1367 W/m², tendo um plano perpendicular à incidência da radiação solar como referência.

Na pesquisa de Vera (2004) foi possível perceber que as principais características que se deve analisar para aproveitar a energia solar são a intermitência e a variabilidade no tempo. Devido à quantidade de fenômenos que a radiação solar é exposta no seu caminho a terra, ela sempre estará em constante mudança, porém ao chegar à superfície terrestre, três principais fatores são levados em conta: a geometria entre Sol-Terra, a posição em que se encontra no globo e os fatores meteorológicos locais.

O espectro solar tem uma abrangência espectral que varia de 100nm até 3000nm, na qual apresenta maior densidade espectral em 550nm, o espectro que será utilizado nessa pesquisa será o espectro visível que varia de 350nm até 800nm.

Um sistema fotovoltaico tem como função a conversão básica da energia solar em energia elétrica. Ele é formado principalmente pelos seguintes componentes: Gerador fotovoltaico, elementos de condicionamento de potência e proteção, bateria e célula fotovoltaica.

O sistema de geração é formado pelas células fotovoltaicas, nas quais são as responsáveis pela conversão da energia solar em energia elétrica. As células fotovoltaicas são dispositivos semicondutores e fotossensíveis.

Segundo Vitti (2006), a descoberta do fenômeno físico foi feita por um cientista chamado Bequerel em 1839, porém a utilização e o desenvolvimento dos mesmos ocorreram nos anos 50 onde estava ocorrendo a corrida espacial.

Analisando o trabalho de Honsber e Bowden (1996) foi visto que as células fotovoltaicas são formadas principalmente pelo silício (Si) no qual deve passar por uma série de processos até que chegue ao seu estado final de utilização a diferenciação desses processos é que dá a distinção das técnicas industriais de fabricação.

Egido e Lorenzo (1992) explicam que o silício apresenta quatro elétrons na sua última banda de valência, para ser utilizado em uma célula fotovoltaica é preciso ser introduzido dois tipos de impurezas (Figura 1) diferentes no qual fará com que ocorra o fenômeno.

A primeira impureza é chamada de doadora (tipo 1), se o átomo associado ao silício apresentar cinco elétrons na sua última banda de valência, como por exemplo, o fósforo (P) ao associar-se ao silício um elétron ficará sem estabelecer ligação, assim será conduzido à banda de condução.

A segunda impureza é chamada de aceitadora (tipo 2), se o átomo associado ao silício apresentar três elétrons na sua última banda de valência, o boro como exemplo, ao associar-se ao silício a ligação será incompleta deixando uma lacuna que é considerada como carga positiva.

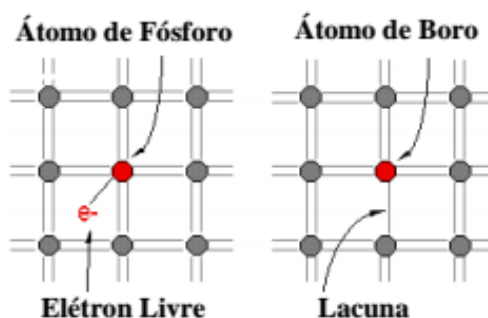


Figura 1 – Cristais de silício tipo 1 e 2. Fonte: Vitti (2006)

Ao ocorrer à junção dos cristais de silício 1 e 2, na zona de junção, ocorre uma difusão de elétrons do doador para o aceitador e vice e versa, assim gerando uma decadência de elétrons no tipo 1 e um acúmulo de cargas negativas no tipo 2, causando uma polarização e consequentemente gerando um campo elétrico que quando exposto à iluminação, os fótons com energia gap suficiente conduzem os elétrons da banda de valência até a banda de condução fazendo com que as cargas negativas formem pares com as lacunas (positivas), criando uma corrente elétrica. Efeito denominado efeito fotovoltaico. Segundo Vitti (2006) a tecnologia de painéis fotovoltaicos está dividida em três principais tipos, apresentadas na Figura 2.

A primeira é o silício monocristalino no qual a célula voltaica de silício monocristalino é basicamente um único grande cristal de silício crescido e fatiado, por apresentar um alto grau de pureza é bastante confiável. O rendimento de uma célula comercial deste tipo varia entre 12 – 16%. O maior problema que é encontrado na produção desta célula é um alto custo de fabricação do produto.

A segunda é o silício multicristalino, a célula voltaica de silício multicristalino ou policristalino é formada pela junção de muitos pequenos cristais, devido a este fato a eficiência da célula é reduzida um pouco, porém o custo de energia para a produção deste tipo é significativamente menor do que a do monocristalino.

A terceira é o filme fino, células de filmes finos são resultados de uma necessidade de redução nos custos de produção deste produto, devido à menor quantidade de material necessário para sua fabricação, também necessitam de menos células para a formação de um módulo por produzirem uma corrente maior e ainda podem se adaptar a diferentes superfícies devido a sua flexibilidade. Na sua fabricação é utilizado o silício amorfo, devido ao quão recente é a produção e desenvolvimento de filmes finos a sua confiabilidade ainda é baixa, porém com um grande potencial para o futuro.

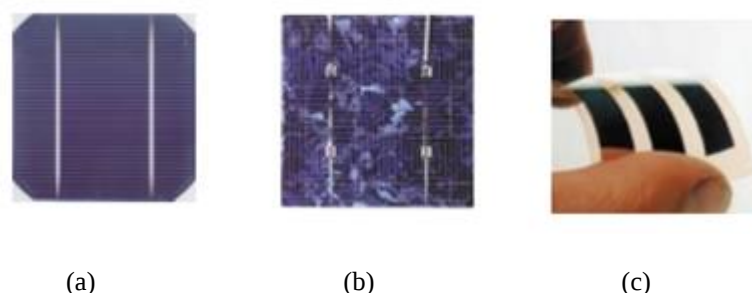


Figura 2. Tipos de painéis fotovoltaico. (a): Silício monocristalino; (b): Silício policristalino; (c): Filme fino. Fonte: Vitti (2006).

Nos últimos anos a Bahia se apresenta como um dos maiores potenciais de geração de energia renovável, em especial na energia eólica. Todavia, por estar na região nordeste e com grande parte de seu território no semiárido, o Estado da Bahia possui um nível de insolação (radiação solar) bastante elevado ao longo do seu território. Com isso, o estado pode ser um dos principais sites de geração de energia descentralizada à partir da energia solar.

Hoje as tecnologias aplicadas nos projetos de implantação de parques com painéis fotovoltaicos utilizam tecnologias de baixa eficiência energética, e tendem a permanecer produzindo durante muitos anos. Para buscar uma vida útil maior nos equipamentos, filmes podem ser utilizados para melhorar a eficiência de captação da energia solar, como também para diminuir a incidência de danos por erosão e corrosão desses equipamentos.

Os testes experimentais em painéis solares normalmente são feitos externamente, pois é o ambiente no qual o painel estará exposto durante a produção de energia. Porém, na pesquisa em questão, não há viabilidade de experimentos *outdoor*. Sendo assim, foi necessária a construção de uma câmara escura para exequibilidade dos testes em laboratório. Os testes consistem na avaliação de filmes aplicados a painéis fotovoltaicos existentes com o objetivo de avaliar a efetividade de absorção de energia num sistema *indoor*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O dispositivo confeccionado para realização dos testes proposta neste estudo consiste em uma câmara projetada com o objetivo de realizar testes *indoor* em dispositivos fotovoltaicos. Os materiais utilizados para a confecção da bancada estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Lista de materiais.

MATERIAIS	QUANTIDADE
Ripas de madeira	17,8 m
Placa de madeirite naval	
1580 x 840 mm ²	2
1770 x 840 mm ²	1
1790 x 1510 mm ²	2
1750 x 840 mm ²	1
Dobradiças	2
Cola para madeira	1
Webcam	1
Trava para porta	1
Formica preta fosca	12m ²
Obs: madeirites de espessura de 10mm	

Para a confecção da câmara escura foi adaptada uma bancada didática que consiste em três principais partes: painel solar, refletores e painel de controle para a realização dos ensaios experimentais. A Fig. 3 apresenta o projeto inicial da câmara escura em *SolidWorks*, CAD 3D.

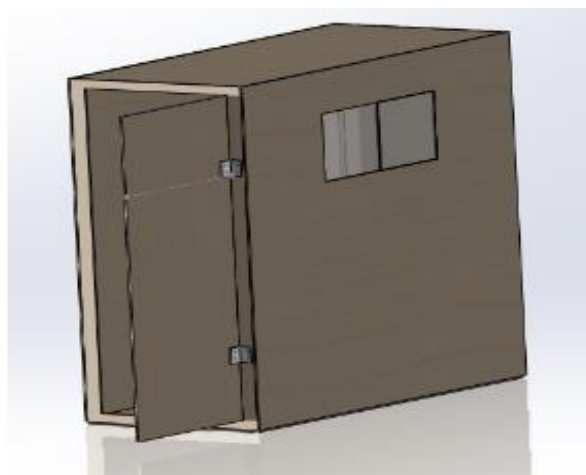


Figura 3. Câmara escura, CAD 3D.

Durante a construção a câmara sofreu uma série de retroalimentações visando um melhor desempenho na hora de sua utilização. A primeira mudança foi à adição de rodas para a facilitação de transporte ou locomoção, pois ela precisará ser movimentada dentro do espaço laboratorial. A segunda mudança foi à retirada da janela na qual seria utilizada para a visualização do experimento sem ter interferência externa no experimento, no lugar da janela foi introduzido uma *webcam* na qual será conectada a um laptop e irá permitir a mesma visibilidade com menor interferência. A terceira alteração foi à vedação adicionada na porta com a finalidade de obstruir a passagem de radiação externa, assim minimizando as interferências externas. A Figura 4 mostra imagens da câmara finalizada.



Figura 4. Câmara escura.

O dispositivo construído pode ser dividido nos seguintes módulos:

- Painel de controle: Responsável por todo controle do sistema monitorando os parâmetros necessários para futuros cálculos de rendimentos (Figura 5).

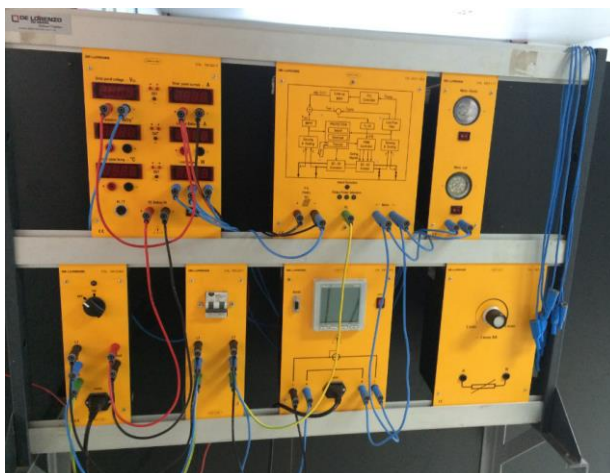


Figura 5. Painel de Controle

- Refletores: O conjunto de refletores utilizados é constituído por seis lâmpadas de 150 W de potência cada, assim chegando a um total de 900 w trabalhando em síncrono. Segue uma imagem dos refletores utilizados (Figura 6).



Figura 6. Refletores.

- Painel solar: O painel solar utilizado nos experimentos consiste no modelo CS5C-85M, produzido pela CanadianSolar (Figura 7). Ele é um painel do tipo monocristalino que apresenta uma eficiência de aproximadamente 14% e apresenta as especificações descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações do painel solar CS5C-85M

Potência Máxima Nominal (Pmax)	85 W
Tensão de Funcionamento Ótima (Vmp)	17.8 V
Corrente de Funcionamento Ótima (Imp)	4.78 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	22.1 V
Corrente de circuito curto (Is)	5.12 A
Tensão Máxima do Sistema	1000 v
Fusível Máximo de Sistemas em Série	10 amp



Figura 7. Painel solar.

O dimensionamento da câmara foi realizado baseando-se nos seguintes parâmetros:

Comprimento: O comprimento de 1790 mm da câmara foi baseado em um artigo publicado pela NASA, no qual eles realizaram testes *indoor* e a partir da distância entre painel e refletor foi concedida a medida do comprimento.

Largura, Altura: A largura e altura de 860 mm e 1510 mm, respectivamente, foram estabelecidas visando os procedimentos que serão feitos quando os testes forem realizados dentro da bancada experimental. A largura foi definida visando à máxima compactação da câmara devido ao espaço limitado do laboratório no qual serão realizados os experimentos, porém sem afetar o desempenho da mesma. A altura foi estabelecida tendo em vista a possibilidade de troca do painel solar sem precisar retirá-lo dentro do sistema de isolamento.

Para o procedimento experimental foi preciso definir os parâmetros em que a placa será testada, para isso foi feito um template de testes no qual foram colocadas todas as medidas que serão analisadas durante a bateria de experimentos. Após uma verificação das medidas disponibilizadas pelo painel de controle do sistema foi constatado que elas são suficientes para a finalidade do experimento, no qual a câmara foi projetada. A figura 8 mostra o template de teste utilizado.

Teste	Voltagem Painel (V)	Corrente Painel (A)	Irradiação (W/m ²)	Temperatura Painel (°C)	Corrente Bateria (A)	Potência (W)	Eficiência (W)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
Ângulo:							
Película:							
Observações:							

Figura 8. Template de teste.

3. RESULTADOS FINAIS

A partir da metodologia anteriormente citada foi possível a construção de uma câmara escura com as seguintes características:

- Isolamento do painel solar e refletores, contra irradiações externas nas quais poderiam vir interferir no procedimento dos testes;
- Controle totalmente externo, fazendo com que as modificações de parâmetros previamente estabelecidos possam ser feitas sem ter que abrir o sistema isolado, assim mantendo a integridade do experimento;
- Fácil transporte, devido às rodas presentes na base da câmara;
- Fácil visualização do sistema através da *webcam* fazendo com que não haja à abertura do sistema, assim minimizando à ação de agentes externos.

Futuramente será desenvolvido um trabalho no qual será confeccionado um filme polimérico que terá como finalidade o aumento da condutividade elétrica e da fotocondutividade de um painel solar. Está bancada de experimentos será utilizada para a realização de todos os ensaios necessários para a elaboração desta pesquisa e de outras futuras pesquisas na área.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro ao estudo e a Faculdade SENAI CIMATEC pelo apoio tecnológico e financeiro.

5. REFERÊNCIAS

- Angström, A, 1924, "Solar and Terrestrial Radiation", Quart. J. R. Meteorological Society, Vol 50, pp 121-128.
- Bartoli B., Cuomo V., Fontana F., Serio C. and Silvestrini V., 1984, "The design of photovoltaic plants: An optimization procedure", Applied Energy, Volume 18, Issue 1, Pages 37-47.
- Boland, J., 2008. Time series modelling of solar radiation. In: Badescu, V.(Ed.), Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface: Recent Advances. Springer-Verlag, Berlin, pp. 283–312.
- Collares P., M., Rabl, A., 1979. "The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values". Solar Energy, 22:155-164.
- Coimbra N.; Azambuja C.; Dalmas T.; Coelho L, 2008, "Eficiência Térmica de Coletor Solar de Baixo Custo", Porto Alegre-RS, UFRGS, página 3-5.
- Egido M. and Lorenzo E., 1992, "The Sizing of Stand Alone PV-Systems: a Review and a Proposed New Method". Solar Energy Materials and Solar Cells, No 26, pp 51–69.
- Energia Solar, 1995, fundamentos e tecnologia de conversão heliotermoeletrica e fotovoltaica, Recife-PE, Ed. Universitária da UFPE.
- Honsber, C.; Bowden S., 1999, PVCDROM- Photovoltaic CDROM Part 1: Photovoltaic Devices", University of New South Wales, Austrália.
- Incropera, Frank P.; Dewitt, David P.. Fundamentos da transferência de calor e de massa. 4. ed. Indiana: Ltc, 1996. 494 p. Tradução de: Eduardo Mach Queiroz.
- Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos, Rio de Janeiro-RJ, CRESESB, 1999.
- NSF/NASA, 1972, "Solar Energy Panel", an assessment of solar energy as a national energy resource.
- R. W. Vernon and F. F. Simon, 1974, "Flat-plate collector performance determined experimentally with a solar simulator", NASA TM X-71602.
- Vera, Luci, 2004, "Programa computacional para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos autônomos", Trabalho de pós-graduação, UFRS, Brasil.
- Vitti, Diego.; Alvares, Leandro 2006, "Avaliação de sistemas fotovoltaicos", Trabalho de graduação, UNB, Brasil.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DEVICE DEVELOPMENT EXPERIMENTAL FOR STUDYING PHOTOSENSITIVE FILM FOR THE PROTECTION OF A SOLAR PAINEL

João Pedro Brito de A. e Souza, jpedrobas@gmail.com¹

Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹

Joyce Batista Azevedo, joyceazevedo@fieb.org.br¹

¹ Faculty of Technology SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1875, Piatã, Salvador-BA.

Abstract. *The Earth receives every year about $174 \times 10^{15} \text{ W}$ of solar radiation, while 30 % of this energy is reflected back to space the rest is absorbed by the Earth. This factor gives the solar energy the greatest potential for electricity generation from all the others, but because the technologies of solar panels are recent, there is still a low yield of these systems (13-15 %). The experimental benches for solar panels are very important too, because there are places where such conditions are not conducive to the type of test "outdoor " or small laboratory experiments that require the use of such stands. This study aims to develop a benchtop experiments "indoor" for photovoltaic systems. It aims to play as close as possible the conditions under which the system will be exposed. The test bench consists of a darkroom fully sealed to minimize external interference. Also coated matte black sheet which focus on decrease the reflection of the rays aimed on the solar panel. Internally there is a teaching system of De Lorenzo company that basically consists of a solar panel, reflectors that are used to simulate solar radiation and externally on the side of the darkroom is exposed the control panel of the teaching system , so all control is done by out with it minimizing external interference in the experiment.*

Keywords: *Radiation, Solar panel, Dark room, Experiment*