

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY IN BRAZIL: A BIBLIOGRAPHIC REVIEW

Heitor Marques Francelino da Silva¹
Francisco José Costa Araújo²

RESUMO: A evolução e o desenvolvimento da humanidade têm sido acompanhados da utilização de fontes renováveis de energia. Diante disso, a queima de combustíveis fósseis representa um grande retrocesso, pois é a principal fonte de impactos ambientais ocasionando agravamento do efeito estufa, derretimento de calotas polares, poluição do ar, mares e rios, entre outros; e possui seus recursos finitos. A indispensabilidade da preservação ambiental gera a necessidade da produção de energia limpa que cause o mínimo impacto possível e, uma das soluções para esta questão é a utilização de energia gerada através da luz solar, utilizando células fotovoltaicas compostas de silício, material abundante no planeta. O presente artigo visa analisar e discutir de que maneira o uso de placas fotovoltaicas influencia na busca por sustentabilidade enquanto fonte de energia renovável, ampliando o conhecimento sobre o tema, e disseminando estudos e aspectos relacionados a este gerador solar, cuja utilização pode ser direcionada tanto para uso residencial quanto para industrial. A metodologia escolhida foi a de revisão bibliográfica com busca em fontes acadêmicas renomadas no google acadêmico e scielo.

Palavras-chave: Evolução. Sustentabilidade. Placas.

ABSTRACT: The evolution and development of humanity has been accompanied by the use of renewable energy sources. In view of this, the burning of fossil fuels represents a major setback, as it is the main source of environmental impacts causing aggravation of the greenhouse effect, melting of polar ice caps, air pollution, seas and rivers, among others; and has its finite resources. The indispensability of environmental preservation generates the need to produce clean energy that causes the least possible impact and one of the solutions to this issue is the use of energy generated through sunlight, using photovoltaic cells composed of silicon, an abundant material on the planet. This article aims to analyze and discuss how the use of photovoltaic panels influences the search for sustainability as a source of renewable energy, expanding knowledge on the subject, and disseminating studies and aspects related to this solar generator, whose use can be directed both for both residential and industrial use. The methodology chosen was the bibliographic review with a search in renowned academic sources on Google Scholar and SciELO.

Keywords: Evolution. Sustainability. Plates.

¹Graduando em Engenharia Elétrica Eletrotécnica na Escola Politécnica de Pernambuco - POLI, da Universidade de Pernambuco - UPE. E-mail: hmfs@poli.br

² Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Atualmente é Professor Adjunto classe IV - nível "C" da Universidade de Pernambuco - UPE, lotado na ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO. Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (1975), graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Pernambuco - UPE. Especialização em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

INTRODUÇÃO

Sustentabilidade, preocupação com a redução dos poluentes e dos impactos ambientais são assuntos pertinentes a todos. A humanidade atualmente retira suas fontes energéticas da natureza de forma viciosa e a continuidade desta prática poderá causar o esgotamento dos recursos naturais nos próximos 50 anos. Ainda hoje é possível encontrar novas fontes de energias não renováveis, a exemplo os campos de petróleo, a um custo altíssimo e em águas profundas. Mas nota-se que não acompanha o crescimento populacional e econômico. Como principal substituta dos combustíveis fósseis, a perspectiva das pesquisas e mercado apontam a energia solar como melhor opção, pois o uso da energia solar fotovoltaica não é poluente, é compacta e tem baixo custo de manutenção.

Isto posto observa-se a importância de compreender de que maneira o uso das placas fotovoltaicas influencia na busca pela sustentabilidade. O Brasil é um país com alto índice de irradiação solar, sendo, portanto, o uso desta energia renovável uma importante alternativa para a busca por uma sociedade sustentável. Apesar dos altos custos ainda atrelados ao uso desta tecnologia, diversos estudos têm sido realizados a fim de ampliar os conhecimentos e também baratear os gastos para que cada vez mais pessoas tenham acesso a esta tecnologia.

2. Fontes renováveis de energia

Por conta do aumento das discussões a respeito da sustentabilidade, cada vez mais a utilização de fontes de energia renováveis é compreendida como alternativa essencial para a humanidade.

O desenvolvimento da humanidade sempre teve relação com a capacidade do homem de captar e utilizar da melhor forma possível os recursos que precisava. Como exemplo disso, sua capacidade de dominar o fogo e domesticar animais foi essencial para a transição de sua existência nômade, estabelecendo assim as sociedades. A energia foi utilizada durante muito tempo para a cozinhar, aquecer e criar materiais. O aspecto que define a riqueza destas civilizações tem relação com sua capacidade de acesso e controle da energia que tinha disponível (FAPESP, 2007).

Com o advento da Revolução Industrial, a humanidade passou a utilizar sua energia de diferentes maneiras, através da modernização das máquinas e equipamentos. O padrão

de vida do homem muda, de acordo com estas evoluções e a utilização da energia também; agora o homem utiliza a energia para seu conforto, para aquecer a casa no inverno, refrescar no verão, ter iluminação e seus equipamentos elétricos funcionais (FAPESP, 2007).

Essas modificações só foram possíveis pelo desenvolvimento da capacidade do homem de utilizar sua energia com mais destreza. O avanço tecnológico permitiu ao homem desenvolver novos meios para obter e explorar as fontes de energia. Segundo a FAPESP (2007), o consumo atual de energia no mundo equivale a cerca de dezessete bilhões de cavalos trabalhando durante 24 horas diariamente. Enquanto que para sustentar um homem por um dia, é necessário um consumo entre 2000 a 3000 quilocalorias. Um cidadão dos Estados Unidos consome, por dia, 230.000 quilocalorias.

Este padrão de consumo não é considerado sustentável visto que o modo como a energia é utilizada, e a dependência do homem de combustíveis fósseis acabam trilhando caminhos que levam a degradação do meio ambiente e o esgotamento das fontes de energia (FAPESP, 2007).

Assegurar o acesso a recursos vitais de energia, principalmente de petróleo e gás natural, tornou-se um fator definitivo nos alinhamentos políticos e estratégias. O acesso iníquo à energia, principalmente das pessoas em áreas rurais dos países em desenvolvimento, e a consequente exaustão das fontes baratas de energia terão profundos impactos sobre a segurança internacional e sobre a prosperidade econômica (FAPESP, 2017, p. 16).

Para compreender melhor a utilização de energia no planeta, estudos apontam que metade das reservas de petróleo disponíveis já foram utilizadas, e o que sobrou para a utilização estaria estimado com uma duração de cerca de 50 anos. O mesmo ocorre com o gás natural, que também tem seu tempo de uso estimado em cerca de 60 anos até acabar totalmente, já que também é uma fonte de energia não-renovável. Alternativas como a utilização de reservas de carvão também são possibilidades para determinados países, porém, sua utilização apresenta altos níveis de poluição e é prejudicial ao meio ambiente (GOLDENBERG; LUCON, 2007).

Apesar desta realidade, existem alternativas sustentáveis consideradas como a chave para a prosperidade humana no que se refere à utilização de energia. Para que isso seja uma realidade, são necessárias políticas que incentivem a adoção do uso de fontes de energia renováveis e sustentáveis, que gerem ações que otimizem o uso da energia (FAPESP, 2007).

O conceito de sustentabilidade energética diz respeito a necessidade de oferecer adequadamente energia que seja capaz de atender às demandas das pessoas de forma que não haja agressão ao meio ambiente e mantenha a integridade deste sistema, evitando os desastres ambientais e que ao mesmo tempo, consiga alcançar grande parcela da população, afinal, muitas pessoas ainda não têm acesso às formas atuais de utilização de energia e de forma que reduza os riscos referentes a segurança e conflitos geopolíticos que podem ocorrer devido à competição pelos recursos energéticos (FAPESP, 2007).

De acordo com Villalva e Gazoli (2012), o sol é a principal fonte de energia do nosso planeta. A superfície da Terra recebe atualmente uma quantidade de energia solar, nas formas de luz e calor, suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais durante o mesmo período. Consoante os autores apenas uma pequena parcela dessa energia é aproveitada, mesmo assim, com poucas exceções, praticamente toda energia usada pelo ser humano tem origem no sol. A energia da biomassa, ou da matéria orgânica, tem origem na energia do sol através da fotossíntese, sendo a conversão da energia captada da luz solar em energia química. A energia da água dos rios, usada para mover as turbinas de usinas hidrelétricas, tem origem na evaporação, nas chuvas e no degelo provocado pelo calor do sol. A energia dos ventos tem origem nas diferenças de temperatura e pressão na atmosfera ocasionada pelo aquecimento solar. Os combustíveis fósseis como carvão, o gás natural e o petróleo também têm origem na energia solar, pois são resultados da decomposição da matéria orgânica produzida há milhões de anos (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A utilização de fontes de energia renováveis como a luz solar, é importante para promover as metas de sustentabilidades atualmente propostas, além de outros motivos:

Benefícios ambientais e de saúde pública. Na maioria dos casos, as modernas tecnologias de energia renovável geram emissões muito mais baixas (ou quase nulas) de gases de efeito estufa e de poluentes atmosféricos convencionais, em comparação com as alternativas de combustível fóssil; 44 outros benefícios podem envolver necessidades menores no uso de água e tratamento de resíduos, bem como impactos evitados de mineração e prospecção. • **Benefícios de segurança energética.** Recursos renováveis reduzem a exposição à escassez de oferta e à volatilidade dos preços nos mercados de combustíveis convencionais; também oferecem um meio para muitos países diversificarem os seus suprimentos de combustível e para reduzir a dependência das fontes estrangeiras de energia, incluindo a dependência do petróleo importado.

• **Desenvolvimento e benefícios econômicos.** O fato de muitas tecnologias renováveis poderem ser implantadas gradativamente, em aplicações isoladas de pequena escala, faz com que sejam adequadas para os contextos dos países em desenvolvimento, em que existe uma necessidade urgente de estender o acesso aos serviços de energia nas zonas rurais; além disso, uma maior dependência dos

recursos renováveis nacionais pode reduzir a transferência de pagamentos por energia importada e estimular a criação de empregos. (FAPESP, 2007, p.186).

Algumas questões podem ser levantadas quando se pensa na utilização destas fontes de energias, como, por exemplo a densidade do recurso que está sendo utilizado e o custo da aplicação das ferramentas necessárias para sua captação. Ainda assim, a instalação de painéis solares é considerada como promissora (FAPESP, 2007).

As tecnologias utilizadas para a captação da energia solar utilizam semicondutores que convertem fótons de luz em eletricidade. Foi possível notar, entre os anos de 2000 e 2004 um aumento de cerca de 60% na utilização desta tecnologia para obtenção de energia. Ainda assim, as estimativas a respeito da utilização da energia solar dependem de fatores políticos e orçamentários (FAPESP, 2007).

Para diminuir os custos relacionados à utilização desta tecnologia, a curto prazo, é preciso realizar pesquisas que objetivem o aperfeiçoamento tecnológico dos componentes dos equipamentos utilizados, como tecnologias relacionadas a produção de células, desenvolvimento de tecnologias de filmes finos, responsáveis por diminuir a quantidade de material utilizado para a fabricação dos painéis, entre outras ações. A longo prazo, a construção de usinas que utilizem energia solar fotovoltaica em ambientes abertos como desertos, e a construção de linhas de transmissão capazes de levar esta energia captada aos centros populacionais é uma das opções, porém esta opção é ambiciosa e exige muito planejamento (FAPESP, 2007).

3. RADIAÇÃO E EFEITO FOTOVOLTAICO

O Sol constitui a principal fonte de energia do planeta Terra e é responsável pela manutenção da vida atuando como uma fonte de energia inesgotável. A captação da energia solar para sua utilização como fonte de energia elétrica e térmica, por exemplo, tem grande potencial como uma alternativa aos métodos atuais de produção de energia baseados em recursos não-renováveis e limitados (PINHO; GALDINO, 2014).

Composto de núcleo, zona radiativa, zona convectiva, fotosfera, cromosfera e coroa, o sol gera energia através de reações termonucleares em seu núcleo que apresenta temperaturas em torno de 15 milhões de Kelvin. A zona radiativa é responsável pela condução da energia produzida no núcleo para as outras regiões. A zona convectiva é

responsável pela condução do calor das partes mais internas para as externas através de fluidos. (PINHO; GALDINO, 2014).

A fotosfera apresenta 330 km de espessura e uma temperatura de cerca de 5.800 K, e é a parte do Sol que é possível visualizar. Esta zona tem a aparência da superfície de um líquido em ebulição, repleta de bolhas, chamadas de grânulos fotosféricos. Estes grânulos têm em torno de 1.500 km de diâmetro e duram cerca de 10 minutos cada. Estas zonas granulares representam os processos convectivos do gás quente, que emerge da camada convectiva para a fotosfera. As regiões mais escuras entre os grânulos são zonas onde o gás mais frio e mais denso flui novamente para o interior do Sol. A fotosfera é a fonte de maior parte da radiação visível emitida pelo Sol. Um dos fenômenos fotosféricos mais notáveis é o das manchas solares, que são regiões mais frias que a fotosfera solar, possuindo uma temperatura de cerca de 3.800 K na região central, chama de umbra e pouco mais elevada na parte periférica, denominada penumbra. As manchas solares são indicadores de intensa atividade magnética presente no Sol e seguem um ciclo de onze anos em que o número de manchas varia entre máximos e mínimos (PINHO; GALDINO, 2014, p. 68).

A cromosfera é uma região não visível, por apresentar baixa intensidade de irradiação; sua temperatura varia entre 4.300 K e 40.000 K. A coroa solar é a camada mais externa do sol; sua visualização só é possível em casos de eclipse, quando é possível verificar seu brilho (PINHO; GALDINO, 2014).

Villalva e Gazoli (2012) afirmam que a energia do sol é transmitida para o nosso planeta através do espaço na forma de radiação eletromagnética. Essa radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequências e comprimentos de ondas diferentes. De acordo com Pinho e Galdino (2014) a “radiação solar” pode ser medida em fluxo de potência quando se trata de irradiância solar, ou em energia por unidade de área, quando se trata de irradiação solar. Villalva e Gazoli (2012) apontam que a energia que uma onda pode transmitir está associada a sua frequência. Quanto maior a frequência, maior a energia transmitida.

O Efeito Fotovoltaico é o que se denomina quando a energia solar é diretamente transformada em energia elétrica e ocorre a partir de materiais semicondutores, caracterizados pela existência de bandas de energia, uma composta por elétrons e a outra vazia. O material mais utilizado para este fim é o silício. Os átomos deste material

possuem quatro elétrons que fazem ligação com os que estão ao redor, criando uma rede. Quando são adicionados átomos de cinco elétrons em ligação, um dos elétrons ficará sobrando e este não possui uma forte ligação com seu átomo de origem, por conta desta característica, com pouca energia térmica, este elétron se move para a banda vazia. O fósforo pode ser utilizado como um exemplo de átomo de cinco elétrons, e pode ser chamado de dopante doador de elétrons, ou dopante n (CRESESB, 2006).

A introdução de átomos de três elétrons caracteriza uma falta de elétron, o que é chamado de lacuna; nesta situação, com pouca energia térmica, um elétron que esteja ao redor pode se mover para ocupar esta posição, deslocando a lacuna. O boro pode ser utilizado neste exemplo como o átomo de três elétrons, sendo chamado de aceitador de elétrons ou dopante p (CRESESB, 2006).

No caso da adição de átomos de fósforo e boro em um silício puro, ocorre a junção pn. Neste caso, os elétrons que se encontram livres no lado n, se movem para o lado p onde existem as lacunas. Isso resulta em um acúmulo de elétrons no lado p, o que o torna carregado negativamente, e a redução de elétrons no lado n o caracteriza como eletricamente positivo. As cargas que ficam aprisionadas criam um campo elétrico que dificulta o trânsito de elétrons do lado n ao lado p, ocorre um equilíbrio quando este campo consegue barrar os elétrons livres que permanecem do lado n (CRESESB, 2006).

Se uma junção pn for exposta a fótons com energia maior que o *gap*, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de *Efeito Fotovoltaico*. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas (CRESESB, 2006, p. 14).

Um sistema fotovoltaico é composto por um bloco gerador, um bloco de condicionamento e potência e um bloco de armazenamento. O bloco gerador contém os arranjos fotovoltaicos, constituídos por módulos fotovoltaicos em diferentes associações, o cabeamento elétrico que os interliga e a estrutura de suporte. O bloco de condicionamento de potência pode ter conversores c.c.-c.c., seguidor de ponto de potência máxima (SPPM) e inversores, controladores de carga (se houver armazenamento) e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. Finalmente, o bloco de armazenamento é constituído por acumuladores elétricos (baterias) e/ou outras formas de armazenamento (PINHO; GALDINO, 2014, p. 144).

A composição de um módulo fotovoltaico é de células fotovoltaicas que se conectam a sistemas que produzem tensão e correntes de energia enquanto protegem as células. As células são conectadas em série, de forma que sejam somadas suas tensões, tais células são extremamente frágeis e precisam ser protegidas por placas (PINHO; GALDINO, 2014).

As células variam de temperatura de acordo com a radiação que incide sobre elas e a variação de temperatura do ambiente em que se instalam; conforme a célula aumenta a temperatura, a tensão produzida por ela diminui, porém, isso depende da tecnologia empregada na célula (PINHO; GALDINO, 2014).

As ondas eletromagnéticas, ao incidirem sobre determinados materiais, em vez de transmitir calor, podem produzir, alterações nas propriedades elétricas ou originar tensões ou correntes elétricas. Existem diversos efeitos da radiação eletromagnética sobre os corpos, sendo dois deles os efeitos fotovoltaico e fotoelétrico.

Módulos fotovoltaicos são fabricados com células de silício, com características semicondutoras. O silício é um dos elementos mais abundantes no nosso planeta, corresponde a cerca de 25% da massa da crosta terrestre. Encontrado em rochas e em minérios (quartzo, feldspato e mica), até a areia é em parte composta por silício.

O silício puro é um mal condutor elétrico por não conter elétrons livres. Com isso realiza-se a dopagem. Acrescentando o fósforo ao silício, obtendo um material com elétrons livres, (silício tipo N). Agora dopando o silício com o material de nome Boro, temos um material com características inversas, portanto, um material com cargas positivas livres (silício tipo P).

Portanto, um painel solar compõe-se de células com uma camada fina do material tipo N e uma maior do material tipo P. Que quando unidas (P-N), geram um campo elétrico devido à interação do silício tipo N com os vazios da estrutura do silício tipo P.

Silício monocristalino são blocos de silício ultrapuro, aquecidos em altas temperaturas e submetidos a um processo de formação de cristal, o lingote é de silício, constituído de uma estrutura cristalina única e possui organização molecular homogênea, o que lhe oferece aspecto brilhante e uniforme.

O lingote é serrado e fatiado para produzir os *wafers*, que não possuem as propriedades de uma célula fotovoltaica, para isso, recebem impurezas em ambas as faces, formando camadas de silício P e N que constituem a base para o funcionamento da célula

fotovoltaica. Finalmente, a célula semiacabada recebe a película metálica em uma das faces, uma grade na outra face e uma camada de material anti reflexivo na face que receberá a luz (LUQUE; HEGEDUS, 2011).

4. ENERGIA SOLAR COM USO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS NO BRASIL

O Brasil é um país que apresenta características favoráveis à utilização de meios renováveis produção de energia, especialmente a eólica e solar. Suas características de clima e índice de incidência de irradiação solar ao longo do ano é o que permite afirmar que sua utilização é favorável no país, até mesmo em larga escala (PETROBRÁS, 2006).

Mesmo com altos índices de irradiação solar, o Brasil ainda se limita em algumas dificuldades, fazendo pouco uso dessa tecnologia, entre tanto observa que empenhos nessa área estão sendo realizados para o crescimento e avanço em pesquisas.

Atualmente, no Brasil há laboratórios e equipes de especialistas em universidades públicas e privadas, centro de pesquisa e empresas, atuando no desenvolvimento de tecnologias de purificação de silício, células e módulos fotovoltaicos, inversores e controladores de carga, bem como no estudo de aplicações dessas tecnologias, porém, ainda não foi atingido o nível de aperfeiçoamento tecnológico dos países desenvolvidos nesta área e, esforços devem ainda ser realizados por todos os atores do setor (TAVARES, ANTONIO, 2014, p.60).

Para fins de pesquisas, no Brasil segundo Tavares e Antonio (2014 p.62), “A Chesf (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) foi pioneira nesta área ao instalar um sistema fotovoltaico de 11 kWp em 1995, com sede em Recife, PE”.

Programas políticos como o “Minha Casa Minha Vida” adotam a utilização de painéis fotovoltaicos como método de obtenção de energia para as residências. O presidente da Empresa Brasileira de Pesquisas Energéticas (EPE, 2011) afirmou, cerca de duas milhões de residências construídas neste projeto terão essa tecnologia; neste cenário as técnicas desenvolvidas pela área de Engenharia Elétrica atuam no sentido de justificar valores mais justos para a cobrança dos consumidores que utilizam tal tecnologia.

O Brasil é um país com grande potencial para geração de energia, recebe grandes índices de irradiação e é um dos países que mais produz silício do mundo, material usado para confecção de placas solares, o país é um dos que tem as fontes energéticas mais limpas, com isso o sistema vem para completar a geração de consumo diminuindo as perdas com transmissão. (AMERICA DO SOL, 2018)

Segundo dados o Brasil caminha para aproveitar seu potencial de energia solar, isso devido à queda dos equipamentos fotovoltaicos, nos últimos anos, outro fator foi o aumento do preço da conta de energia.

Alguns fatores ajudam a explicar essa curva exponencial de adoção. Há seis anos, uma resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) autorizou a produção própria de energia elétrica de fontes renováveis e possibilitou o repasse do excedente à rede pública de distribuição de energia em troca de desconto na conta de luz. Em 2015, outras facilidades foram incorporadas à norma. Os créditos gerados pelos consumidores passaram a valer durante cinco anos — e não apenas por três, como determinava a primeira regra. Os modelos também se diversificaram. Agora são permitidos sistemas de consumo coletivo, como condomínios e shoppings, e de consumo remoto — quando a energia é produzida num local e consumida em outro dentro da área de concessão de uma distribuidora (REVISTA EXAME, 2018).

Um estudo feito diz que a falta de conhecimento sobre tal assunto faz com que muitas pessoas recuem, por ser uma tecnologia nova dizem ser complicado e arriscado, mas com a regulamentação e baixos custos, crescerá em grande escala por ser uma fonte de energia limpa e renovável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar fotovoltaica é uma das alternativas consideradas mais promissoras para a geração de energia sustentável, pela sua utilização da energia solar para gerar energia. Um sistema fotovoltaico consiste em uma fonte de energia que utiliza células fotovoltaicas capazes de converter energia luminosa em energia elétrica.

As principais vantagens da utilização deste sistema é o fato de não consumir combustível, não poluir ou contaminar o meio ambiente, não gerar ruído, ter uma vida útil estimada em mais de 20 anos, ser resistente as adversidades climáticas, não possuir peças móveis resultando em uma baixa necessidade de manutenção além da limpeza e a possibilidade de se aumentar a potência de geração de energia através da implementação de mais módulos.

Uma das vantagens para o aumento do investimento na utilização de sistemas fotovoltaicos no Brasil é que o país apresenta características muito favoráveis a este tipo de geração de energia devido às suas características de incidência e irradiação solar e pela sua alta produção de silício, material utilizado na fabricação das placas solares.

O que é preciso superar, no entanto, é o nível tecnológico para realização de pesquisas a respeito do desenvolvimento deste tipo de tecnologia; o país ainda se encontra muito atrás com relação à tecnologia dos países desenvolvidos.

REFERÊNCIAS

- CRESESB/CEPEL. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em: 13/01/2022
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. **Anuário estatístico de energia elétrica 2011**. Rio de Janeiro: EPE, 2011.
- FAPESP. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo: FAPESP, InterAcademy Council, 2007. Disponível em: <www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>. Acesso em: 20/01/2022
- GOLDENBERG, J.; LUCON, O. Energias Renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, n. 72, p. 6-15, 2007. Disponível em: <www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13564/15382/>. Acesso em: 22/01/2022
- LUQUE, A.; HEGEDUS, S. **Status, Trends, Challenges and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics**. Handbook of photovoltaic science and engineering. 1ª Ed. Great Britain, Wiley. 2011.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. 36
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012. 224p