

## **ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS FIXOS E MÓVEIS**

Fabício Fernandes de Moraes

*Discente do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis  
(fabricioffm@hotmail.com)*

João Paulo Gomes Silva

*Discente do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis*

Fabricio Nascimento Silva

*Professor Mestre do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis*

### **RESUMO**

O sistema de transformação de energia solar em elétrica, através de placas fotovoltaicas, é uma forma instantânea de adquirir energia elétrica através do sol. As placas fotovoltaicas se utilizam da radiação solar como fonte de energia natural, que se tem como a mais limpa e abundante, transformando-a em energia elétrica. Atualmente, os elementos fotovoltaicos existentes, têm sua capacidade de transformação de energia solar em elétrica, bem a baixo do que se espera, isto é fato característico, não existindo ainda tecnologias que possam melhorar sua capacidade. Essa pesquisa se justifica pelo fato de que há um crescimento do consumo energético mundial, impulsionado pelo avanço tecnológico e o desenvolvimento humano, em conjunto com o declínio na produção de combustíveis fósseis, têm sido fatores incentivadores à pesquisa e desenvolvimento de fontes alternativas de energia, menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental. Para essa revisão foi realizada uma pesquisa qualitativa/descritiva o que nos possibilitou utilizar um conjunto de metodologias de diversas referencias e estudos. Apesar das vantagens apresentadas, os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica encontram barreiras à sua popularização. Dois fatores limitam seu uso atualmente, a saber, o alto custo de produção e baixo rendimento frente a outras fontes alternativas de energia. Na busca pelo aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o uso de rastreadores solares. Estes dispositivos permitem manter os painéis sempre voltados em direção ao sol, de maneira a manter a superfície sempre perpendicular aos raios solares. Deste modo o presente trabalho servirá como base para pesquisa de outros estudos, tem assim uma grande significância dentro da engenharia elétrica e outros campos associados.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Energia solar. Painel fotovoltaico. Rastreamento solar.

## 1 INTRODUÇÃO

A Energia Solar é uma alternativa para geração de energia elétrica, juntamente com a Eólica, Biomassa e outras formas de energias renováveis, porém o custo de implantação versus a geração de energia ainda a torna dispendiosa em relação as demais, várias formas de melhorar seu custo benefício têm sido estudadas ao longo dos últimos anos.

A maior parte das linhas de pesquisa em relação aos painéis fotovoltaicos concentram-se na melhor dopagem dos painéis, melhorando sua capacidade de converter Energia Solar em Energia Elétrica, entretanto há pesquisas em relação as práticas de instalação que potencializam a geração de energia.

O uso de painéis móveis pode ser mais eficiente que os painéis fixos, uma vez que aproveitam o espaço para instalação e maximizam os períodos solares ao decorrer do dia. Apesar das vantagens apresentadas, os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica encontram barreiras à sua popularização. Dois fatores limitam seu uso atualmente, a saber, o alto custo de produção e baixo rendimento frente a outras fontes alternativas de energia.

## 2 METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido seguindo os preceitos de estudo exploratório por meio de uma pesquisa bibliográfica que segundo Gil (2005), “é desenvolvido a partir do material já elaborado, constituído de livros e artigos científicos.”

Para essa revisão foi realizada uma pesquisa qualitativa/descritiva o que nos possibilitou utilizar um conjunto de metodologias de diversas referencias e estudos.

Foram feitas buscas eletrônicas em 2018, baseando-se em registros disponíveis de pesquisadores anteriores, o que nos forneceu dados teóricos devidamente registrados, através do acesso aos sites de pesquisa de artigos científicos, além de livros, resoluções e portarias relacionados ao assunto.

## 3 REVISÃO TEÓRICA

### 3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

#### *Absorbância*

A absorbância ou absorvência de um corpo refere-se à capacidade deste absorver radiação de determinada frequência. A absorção dependerá do material e da constituição do corpo. A absorbância pode ser representada por  $\alpha$  que será a relação entre a radiação absorvida e a radiação incidente (MARTÍN, 1994):

$$\alpha = \frac{\text{Radiação Absorvida}}{\text{Radiação Incidente}}$$

Os valores de  $\alpha$  estarão compreendidos entre 0 e 1, onde  $\alpha = 0$  indicará que este corpo não absorve nenhuma radiação, ou seja, comporta-se como um espelho perfeito; e  $\alpha = 1$  indicará que este corpo absorve toda a radiação incidente.

Isto é um Corpo Negro perfeito assim como proposto pela Lei de Planck (MARTÍN, 1994).

Na prática não há materiais que se comportem como espelhos ou Corpos Negros perfeitos, com valores de  $\alpha$  de 0,03 para superfícies espelhadas ou de 0,97 para materiais de cor negra. Desta forma, quanto mais escura a cor maior será a absorção de radiação e consequentemente maior a Absorbância deste corpo (MARTÍN, 1994).

Quanto maior a absorbância de um corpo mais alta será sua temperatura quando este for exposto às radiações solares, consequentemente a confecção de painéis solares na cor preta irá torna-los mais eficientes.

### *Emitância*

A emitância de um corpo é caracterizada pela relação entre a sua radiação emitida e a radiação emitida por um corpo negro perfeito a mesma temperatura (MARTÍN, 1994):

$$E = \frac{\textit{Radiação Emitida}}{\textit{Radiação de Corpo Negro}}$$

A variação da emitância é análoga a da absorbância, ou seja, varia entre 0 e 1, esta variação diz respeito a capacidade de esfriamento por radiação de um corpo, se dois corpos idênticos forem deixados em repouso, resfriará primeiro o que possuir maior valor de Emitância. Superfícies lisas e polidas possuem baixos valores de emitância em quanto nas rugosas e imperfeitas estes valores são mais altos (MARTÍN, 1994).

### *Superfícies Seletivas*

Para as células fotovoltaicas a superfície ideal seria onde a absorbância fosse alta e a emitância baixa, ou seja, sob a presença de radiação solar a superfície aqueceria satisfatoriamente e perderia pouco calor para o ambiente devido à baixa emitância, a estas dá-se o nome de superfícies seletivas. A razão entre a absorbância e a emitância chama-se Seletividade (MARTÍN, 1994):

$$\textit{Seletividade} = \frac{\alpha}{E}$$

As superfícies comuns apresentam os valores de  $\alpha$  e de  $E$  próximos de forma que sua Seletividade é próxima a 1, diz-se então que estas são Não Seletivas (MARTÍN, 1994).

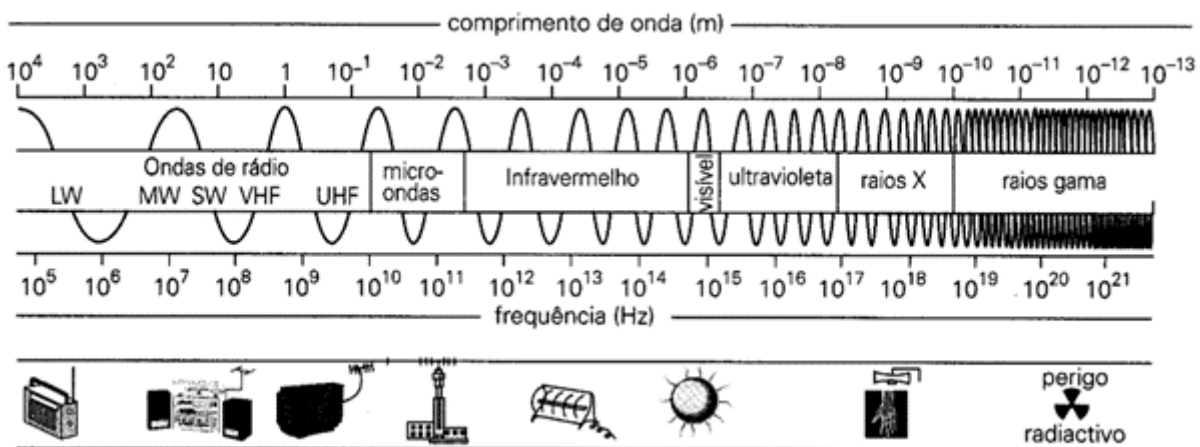
As superfícies Seletivas são em sua maioria formadas por placas metálicas de materiais polidos, de forma a garantir baixa Emitância, e de cor escura, conseguida através de processos químicos ou de tintas especiais, garantindo assim alta absorbância. Com o passar do tempo a Seletividade de uma superfície diminui devido às variações nos valores

de  $\alpha$  e E causados pelas intempéries que estas são expostas, tais como formação de rugosidades sobre a superfície e a descoloração da mesma, desta forma a eficiência de uma célula fotovoltaica varia com o tempo (MARTÍN, 1994).

### 3.2 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação eletromagnética é a maneira que a energia solar alcança a Terra, cerca de 97% desta radiação está entre 0,3 e 3,0  $\mu\text{m}$  gerando anualmente aproximadamente  $1,5125 \times 10^{18}$  KWh de energia (Figura 1). A efeito de comparação segundo Lopez a energia solar incidente sobre a terra em apenas 1 dia equivale a toda a energia consumida no mundo por 27 anos. Esta energia é produzida no interior do sol através de reações de fusão nuclear, entre átomos de Hidrogênio, que por sua vez as liberam em grande quantidade, ao chegar à superfície da estrela, chamada de fotosfera, esta viaja por cerca de 8 minutos até a atmosfera Terrestre através de seus portadores de energia chamados Fótons (FADIGAS, 2012).

Figura 1 – Espectro Eletromagnético



Ao atingir a atmosfera a radiação solar possui uma intensidade de aproximadamente  $1,3 \text{ KW/M}^2$ , e será consideravelmente reduzida devido a fenômenos de reflexões, dispersões e absorções. A própria atmosfera comporta-se como um filtro, a variação dos valores de redução da intensidade solar dependerá da localização geográfica e de variações climáticas no local, desta forma as características estocásticas desta redução nos permitem chegar apenas a valores estatísticos baseados na incidência solar ao longo de um período, não sendo possíveis valores absolutos desta intensidade (FADIGAS, 2012).

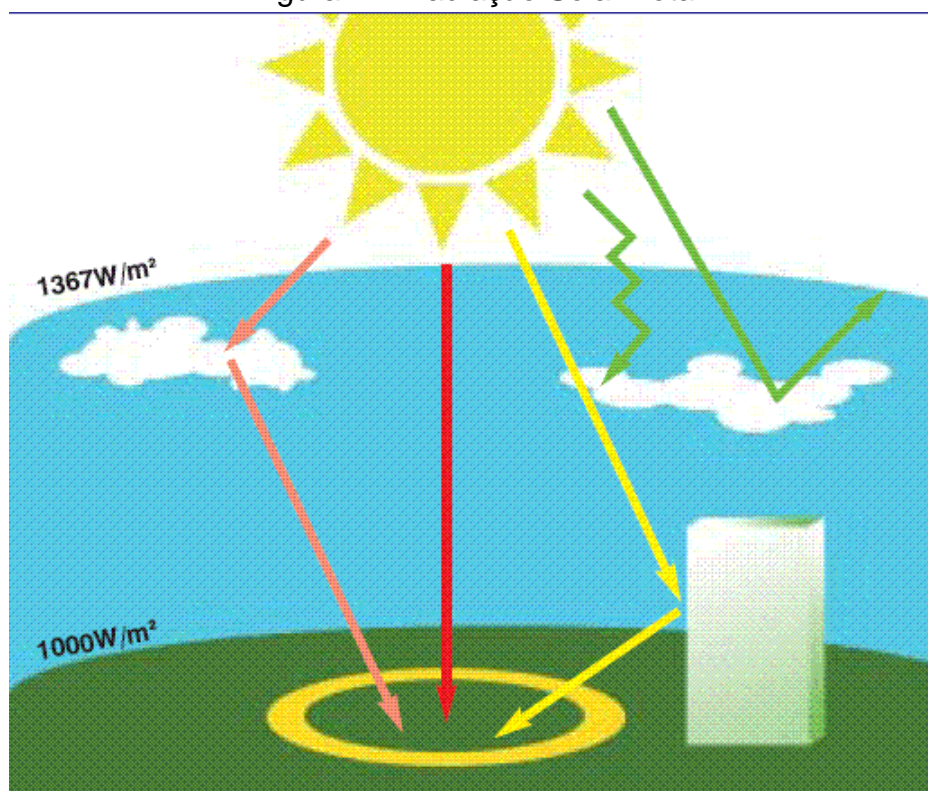
A espessura da Atmosfera também influenciara na intensidade de radiação solar, esta espessura é medida usando-se através do índice de Massa de Ar (MA). Quanto mais próximo de  $90^\circ$  for o ângulo de incidência solar (Figura 2) sobre as superfícies, menores serão os efeitos da camada atmosférica. Fatores como poluição, chuva e partículas suspensas também influenciam nos espalhamentos, por dispersão Rayleigh e ou absorção Mie, devido ao tamanho pequeno da onda de radiação solar (0,3 a 3,0  $\mu\text{m}$ ). Sendo assim, a intensão da radiação sobre a superfície gira em torno de  $1 \text{ KW/M}^2$  (FADIGAS, 2012).

A radiação recebida por uma superfície é formada por três componentes:

- Radiação Direta – origina-se diretamente do sol,
- Radiação Difusa – origina-se através de reflexões atmosféricas,
- Radiação de Albedo – origina-se das reflexões em terra (Prédios, Árvores, Automóveis, etc.).

A soma destas componentes recebe o nome de Irradiação Solar Total (FADIGAS, 2012). Veja Figura 2.

Figura 2 - Irradiação Solar Total



Fonte: FADIGAS, 2012.

A maior incidência de radiação solar acontece entre duas e três horas antes e depois do meio-dia solar, que corresponde à incidência dos raios solares na direção Norte-Sul no meridiano local, este varia ao longo do ano não sendo correspondente ao horário 12:00H (FADIGAS, 2012).

### 3.3 FUNCIONAMENTO DA CÉLULA

Segundo Pinho et al. (2014) há ferramentas na natureza que são classificadas como semicondutores, caracterizando-se por possuírem banda de valência plenamente ocupada por elétrons e uma banda de condução totalmente vazia em 0 K (Kelvin), temperatura na qual se comportam como isolantes.

A separação das bandas de energia recebe o nome de Gap e é representado por  $E_g$ , nos semicondutores possuem valores da ordem de 3eV o que os difere dos isolantes que possuem valores maiores (PINHO et al., 2014). Devido a estas bandas de energia os

materiais semicondutores podem ter sua condutividade aumentada com o aumento de temperatura, devido à excitação térmica dos elétrons na camada de valência para a camada de condução, deixando desta forma as lacunas que são os portadores positivos. Neste cenário a qualquer temperatura acima de 0 K haverá elétrons na banda de condução (PINHO et al., 2014).

Quando os fótons incidentes possuem  $E_g$  superior ao Gap os elétrons preenchem os níveis de energia vagos a partir da banda de condução, esta é a propriedade fundamental para a construção de células fotovoltaicas (PINHO et al., 2014).

A foto geração dos elétrons e das lacunas movem-se ao longo do material aumentando sua condutividade elétrica, desta forma a resistência varia conforme a luminosidade incidente, no entanto para o aproveitamento de corrente e tensão é necessário aplicar um campo elétrico, de modo que ocorra a separação dos portadores de energia, esta separação é conseguida com uma junção PN, ou seja, através da dopagem do material semiconductor (PINHO et al., 2014).

### 3.4 SOBRE AS CÉLULAS

Com a exploração das reservas esgotáveis de combustíveis fósseis e os danos causados ao meio ambiente, esses impactos apresentam circunstâncias impressionantes para os anos que virão. Neste contexto o homem assume uma crucial importância em busca de fontes alternativas de energias renováveis e não poluentes, como a solar, maremotriz e a eólica. (NASCIMENTO, 2004).

Considerada um tipo de energia pura e abundante, a energia solar que incide na Terra sempre foi escopo para realização de pesquisas. O homem através de avanços tecnológicos fez com que pudesse consegui-la de algum jeito e conservá-la. Os raios solares não transferem apenas calor a sistemas térmicos, pois possuem tamanhos de ondas diferentes, aos quais se pode gerar a energia elétrica. (PINHO et al., 2014).

Usando-se placas fotovoltaicas, obtém-se a transformação de energia solar em energia elétrica, é uma forma instantânea de adquirir energia elétrica. Como fonte de energia natural, as placas fotovoltaicas, usando o sol utilizam-se da radiação solar, limpa e abundante, transformando-a em energia elétrica. (PINHO et al., 2014).

“O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmund Becquerel, numa solução de selênio. Becquerel notou o aparecimento de uma tensão entre os eletrodos de solução condutora, quando esta era iluminada pela luz solar. Mais tarde, por volta do ano de 1870, o efeito fotovoltaico foi estudado em sólidos, tal como o selênio e por volta de 1880, a primeira célula fotovoltaica foi construída utilizando-se o selênio. A eficiência desta célula era na faixa de 2 %.” (BRAGA, 2008).

“Conforme BRAGA (2008), impulsionadas pelas novas descobertas da microeletrônica, pesquisas em aplicações práticas para a tecnologia fotovoltaica foram iniciadas nos Estados Unidos da América de 1950. Em 1954, o laboratório Bell produziu a primeira célula fotovoltaica de silício de junção PN. A partir de então se trabalhou na obtenção de um sistema realizável e de longa duração para sistemas de alimentação de satélites.”

“O elevado custo na sua fabricação inviabilizava sua utilização prática a não ser em aplicações especiais, como sistema autônomo de fornecimento de energia elétrica para satélites. Neste caso o custo não era um fator limitante e as características de confiabilidade e de baixo peso, tornaram as células fotovoltaicas a maneira mais conveniente e segura de gerar eletricidade no espaço.” (NASCIMENTO, 2004).

O primeiro uso comercial de células fotovoltaicas foi no espaço sideral, a partir de 1958. Esta continuou sendo a principal aplicação comercial até o início dos anos 70. (SILVA, 2006). Outro fator para aplicações diversas dessa tecnologia, inclusive complementando o que já existia, foi no ano de 1973, quando ocorreu a crise do petróleo. O governo dos Estados Unidos se sentiu atraído pela a energia solar, devido a possibilidade de esgotamento de reservas petrolíferas. Porém o custo para produção das células fotovoltaicas era um dos fatores preocupantes se comparado com a energia por ela produzida. Para viabilidade de produção o custo significativamente era preciso reduzir. Com isso o avanço e desenvolvimento desse mercado foi lento (NASCIMENTO, 2004).

Entretanto, no ano de 1978 a produção já alcançava 1 Mwp/ano, (Megawatts por ano). Com o avanço de pesquisas de tecnologia em matérias utilizados na confecção de células, a despesa e o preço foram se reduzindo continuamente. E após quinze anos de produção já se alcançava 60 Mwp/ ano, (Megawatts por ano). (NASCIMENTO, 2004).

A indústria fotovoltaica teve o desenvolvimento acelerado na década de 90. Hoje vista a ampliação de novos horizontes para a utilização em larga escala de energia solar como uma opção de eficiência energética. Para utilização da energia solar fotovoltaica em projetos de eletrificação rural nos países em desenvolvimento, vários programas mundiais foram lançados para incentivo, com a demonstração da viabilidade técnica comercial da energia solar (NASCIMENTO, 2004).

Com o passar da crise do petróleo, empresas de petróleo deixaram a área no avanço de novas células. Porém, outros vários fatores continuaram impulsionando a indústria: o grande desenvolvimento no mercado da eletrificação rural os países subdesenvolvidos e o fortalecimento do movimento de defesa do meio ambiente. No ano de 1998, a produção esperada era por volta de 100 Mwp<sup>1</sup>. A partir de então a indústria fotovoltaica cresceu rapidamente, principalmente nos últimos anos, atingindo vendas de 12 bilhões de Dólares, em 2005 (SILVA, 2006).

A redução de custos, dos sistemas fotovoltaicos é hoje um dos maiores problemas que o setor lida. Reduções significativas nos custos dos módulos fotovoltaicos poderão ser provocados com as novas tecnologias em desenvolvimento, principalmente com a dos filmes finos. O maior desafio com o desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos é o de módulos autossustentados de eletrificações rural. Um grande limitante para o desenvolvimento do mercado é a baixa condição cultural e econômico de grande parte da população mundial. (NASCIMENTO, 2004).

Pelo motivo de a corroboração de suas particularidades e comportamento espacial, foram aplicadas células fotovoltaicas para fornecer energia elétrica em estações distantes de qualquer meio de telecomunicação. (NASCIMENTO, 2004).

As estimativas levam a crer que 2 milhões de pessoas, cerca de 30% da população mundial, ainda vivem em condições dependentes de outras fontes de energia como carvão

ou biomassa para preparar alimentos e usando velas, pilhas, querosene e diesel para fabricação de energia (NASCIMENTO, 2004). Os maiores ocorridos na história da evolução dos equipamentos de conversão de energia solar fotovoltaica são descritos na Figura 3.

O Brasil possui uma das maiores capacidades mundiais de exploração de energias renováveis, especialmente a energia solar. Ao se comparar com países da Europa, onde a tecnologia fotovoltaica é espalhada para gerar energia elétrica, o desenvolvimento da tecnologia no Brasil passa por fases de evolução e também por períodos difíceis. (PINHO et al., 2014).

“Nos anos 50, iniciou-se o desenvolvimento de módulos fotovoltaicos no Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e no Centro Tecnológico de Aeronáutica (CTA) – hoje Centro Técnico Aeroespacial, sendo realizado, em 1958 o Primeiro Simpósio Brasileiro de Energia Solar. O início do desenvolvimento de células fotovoltaicas de silício cristalino na Universidade de São Paulo (USP) teve por base o conhecimento em microeletrônica. As atividades foram focadas no desenvolvimento de lingotes de silício monocristalino com o método Czochralski (Si-Cz), que utilizados para a fabricação de células fotovoltaicas, resultaram em dispositivos com eficiência da ordem de 12,5%.” (PINHO et al., 2014).



Figura 3 - Representação dos eventos- chave no desenvolvimento das células fotovoltaicas



Fonte: Adaptado de TREVILIN, 2014.

Na década de 1970 começou o desenvolvimento de tecnologias de filmes finos, no Instituto Militar de Engenharia (IME), na cidade do Rio de Janeiro, com auxílio de outros países. Foi elaborada uma categoria para que as células fotovoltaicas de Cu<sub>2</sub>S/CdS (sulfeto de cobre / sulfeto de cádmio) com dimensões de 5 x5 cm fossem processadas.

Segundo Pinho et al. (2014), foram construídas no Brasil duas fabricantes de módulos fotovoltaicos de silício cristalino no final dos anos 70 e início da década de 80. Porém, nos anos 80, por falta de incentivos vários grupos de pesquisadores apontaram a

direção de seus estudos para outros escopos, fazendo com que as fabricantes reduzissem a produção ou fossem encerradas. Nos dias atuais existe somente uma fábrica para encapsulamento de módulos fotovoltaicos em atividade no Brasil (Empresa Tecnometal, localizada em Campinas).

Conforme Pinho et al. (2014), células fotovoltaicas de silício cristalino foram criadas para utilização em teste no primeiro satélite do Brasil, no início da década de 90. Nos dias atuais, no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que fica em São Jose dos Campos, SP, estão sendo testadas e usadas de tripla junção, para aplicações espaciais.

A evolução de células fotovoltaicas de CdS/CdTe e de silício amorfo hidrogenado em diversos locais de estudo, sendo alcançados resultados eficientes de ordem de 6% e 7% respectivamente teve início no final dos anos 90. Porém na década atual, células fotovoltaicas sensibilizadas por corantes e em materiais orgânicos também estão sendo desenvolvidas em universidades e centros de pesquisa, como o Instituto de Química da Universidade de São Paulo e o laboratório de Nanotecnologia e Energia Solar da UNICAMP, com eficiências de ordem de 2%. (PINHO et al., 2014).

Foi criado em Porto Alegre RS em 2004, o Centro Brasileiro para Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar), por meio de um termo de cooperação Técnico-Científica entre entidades dos governos Federal (Ministério da Ciência e Tecnologia), Estadual (Secretaria Estadual de Energia, Minas e Comunicações) e Municipal (Secretaria Municipal da Produção, Indústria e Comércio), em conjunto com a companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS). (PINHO et al., 2014).

Segundo Pinho et al. (2014), no final dos anos 90 foram conectados à rede elétrica os primeiros sistemas fotovoltaicos no Brasil em concessionárias de energia elétrica, universidades e centros de pesquisa. A pioneira nesta área ao instalar um sistema fotovoltaico de 11 KWp em 1995, foi a CHESF (Companhia Hidroelétrica de São Francisco), em sua rede em Recife, PE. Outros sistemas pioneiros foram instalados na UFRGS (Porto Alegre, RS), na UFSC (Florianópolis, SC), na USP (São Paulo, SP) e no Cepel (Rio de Janeiro, RJ).

No Brasil, atualmente, a capacidade de sistemas fotovoltaicos instalados, incluindo sistemas conectados à rede e isolados, é na ordem de 30 a 4 MW, (Megawatts). Para instalação no país de indústrias de módulos fotovoltaicos, o mercado brasileiro ainda não apresenta atratividade, já que para instalação no país as indústrias de módulos fotovoltaicos precisam de um mercado anual de ordem de centenas de MWp. Sem políticas públicas de incentivo e por causa do ainda incipiente, o número de empresas domésticas instalações de sistemas fotovoltaicos é insignificante e, na maior parte, com mínima experiência, estima-se que o mercado fotovoltaico brasileiro irá crescer timidamente alguns megawatts ao ano. (PINHO et al., 2014).

### 3.5 TIPOS DE PAINÉIS

Existem cinco tipos de painéis solares: Sistema Fixo, Sistema de eixo único Polar e Horizontal, Sistema de eixo único Tubular, Sistema de eixo duplo.

## SISTEMA FIXO

Sistemas de painéis fixos não apresentam nenhum tipo de rastreamento solar, ficam posicionados por um ângulo otimizado. Este ângulo seria um ponto médio da variação de ângulo da posição do sol, nas orientações Norte-Sul e Leste-Oeste. A altitude no relevo, ou clima da região pode alterar este ângulo, sendo necessário um estudo da região antes da instalação do painel (LOPEZ, 2012).

De forma geral, o painel fotovoltaico é formado por um total de 32 módulos. Eles são condensados em ligações em série de 04 (quatro) módulos cada uma, obtendo-se uma tensão de 48 Volts de corrente contínua. Esses 08 (oito) agrupamentos em série de quatro módulos são, então, ligados em paralelo. O painel fotovoltaico fixo possui uma potência total de 1450 Wpico (KALOGIROU, 2009).

## SISTEMA DE EIXO ÚNICO POLAR, HORIZONTAL E TUBULAR

Sistemas de eixos únicos são construídos de forma que os painéis acompanhem um eixo de movimentação do sol, norte-sul ou leste-oeste. O eixo pode ser orientado de modo que as células se levantam a uma inclinação (chamado eixo polar) ou deitado (chamado eixo horizontal). O eixo horizontal é mais adequado para pequenas latitudes, o eixo polar é adequado para maiores latitudes. O eixo leste-oeste é o mais comumente usado, por ter a maior diferença do movimento do sol, que é alterado diariamente, em alguns casos é interessante a mudança para o acompanhamento do eixo norte-sul (LOPEZ, 2012).

Este tipo de seguidor tem um eixo N-S fixo num ângulo, normalmente a latitude do local. Este será o eixo de rotação para o seguidor. Ao eleger este eixo como o de rotação, irá certificar-se de que o painel vai estar em posição perpendicular ao sol nos equinócios da Primavera e de Outono. Em alguma outra data qualquer, um pequeno erro pode ocorrer. Os seguidores do eixo polar são um tanto simples e podem aumentar o grau de eficiência do sistema (KALOGIROU, 2009).

Os rastreadores solares de eixo único são desenvolvidos de modo que os painéis sigam somente um eixo de movimentação solar; Leste-Oeste ou Norte-Sul. A utilização de um motor transforma o sistema em mais acessível e com menor consumo de energia. O eixo Leste-Oeste é majoritariamente utilizado por possuir movimentação de maior variação do Sol (PEREIRA, 2012), podendo se transformar dia após dia, só que em locais mais próximos dos polos. Tal variação diária pode ficar menor sendo, em um número expressivo de casos, importante a mudança do sistema para o seguimento do eixo Norte-Sul. Este seguidor possui um eixo horizontal que vai auxiliar como peça fundamental para os painéis, permitindo desta forma um segmento estacional do sol. São seguidores muito comuns, de instalação econômica e com pouca manutenção. A sua eficiência não é tão grande como a dos outros seguidores, mas ainda assim são a melhor opção a se ponderar quando o objetivo é aumentar a eficiência total do sistema, visto que este sistema pode aguentar uma extensa quantidade de painéis. O sistema de eixo horizontal, oposto aos outros sistemas, não necessita de um sistema automático de seguimento, pois pode funcionar antes mediante variadas localizações fixas, determinadas anteriormente a instalação.

Além das opções de painéis de eixo único, uma nova tecnologia de energia solar fotovoltaica tem sido desenvolvida, chamado solares tubulares, onde que as próprias

células são cilíndricas, permitindo que capture uma máxima quantidade de luz solar (LOPEZ, 2012).

### SISTEMA DE EIXO DUPLO

Sistema de eixo duplo permite que os painéis acompanhem o sol nos dois eixos, permite que as células acompanhem perpendicularmente os raios solares durante todo o tempo ao longo do dia (Figura 19).

Esses sistemas são capazes de ajustar a altura do sol, leste-oeste ou norte-sul, aumentando o percentual de energia comparando ao eixo único (LOPEZ, 2012).

### 3.6 COMPONENTES

Um sistema fotovoltaico é constituído por bloco gerador, bloco de condicionamento de potência e bloco de armazenamento. Bloco gerador é constituído por módulos fotovoltaicos cabeamento elétrico e suporte. Bloco condicionamento de potência é constituída por conversores, inversores, controladores de carga, dispositivos de proteção supervisão e controle. Bloco de armazenamento é constituído por baterias (PINHEIRO ET AL., 2014).

**Módulos fotovoltaicos:** compostos por células fotovoltaicas conectadas, produzindo tensão e corrente para utilização de energia e ao mesmo tempo a proteção das células fotovoltaicas.

**Controladores de cargas:** tem como objetivo de proteger o banco de baterias contra cargas e descargas excessivas, tipos de controladores: gerenciador de carga, regulador de carga e regulador de tensão.

**Inversores:** dispositivo eletrônico que transforma energia de corrente contínua para corrente alternada.

**Conversores:** é como controlador de carga, os conversores e possível controlar de forma precisa a corrente e a tensão no banco de baterias.

**Dispositivos de proteção supervisão e controle:** são dispositivos auxiliares que reduz a possibilidade de falhas nos sistemas, e na ocorrência de falhas notificam imediato o operador.

**Baterias:** têm vários tipos de baterias (automotivas, tração, estacionárias, fotovoltaicas, baterias abertas e baterias seladas) as baterias são recarregáveis e apresenta constituição químicas que permite reações reversíveis.

### 3.7 ANÁLISE COMPARATIVA

Painéis Fotovoltaicos foram desenvolvidos inicialmente para aplicações espaciais, porém devido à grande oferta de energia sobre o planeta e o desenvolvimento de novas técnicas de produção houve uma queda nos custos dos projetos (AXAPOULOS, 2013) o que tornou o sistema mais acessível.

Paralelo ao desenvolvimento de novas técnicas de produção mais baratas, há a análise de desempenho dos sistemas, onde não são estudados apenas os meios construtivos dos painéis, mas também as várias técnicas de montagem e movimentação dos mesmos.

Segundo Axaopoulos, o ângulo de incidência dos raios solares sobre uma célula fotovoltaica é um dos fatores mais críticos do desempenho destes sistemas. Quando os Painéis Fotovoltaicos são instalados em suportes fixos o ângulo de incidência solar nunca é satisfatório e o desempenho degrada consideravelmente, especialmente durante os períodos da manhã e final da tarde (AXAOPOULOS, 2013).

Vários estudos a respeito da diferença de desempenho entre os sistemas fixos e móveis estão sendo realizadas principalmente em baixas latitudes (AXAOPOULOS, 2013), destacam-se entre elas as realizadas por Ali Al-Mohamad em Damasco na Síria, experimento este executado em Agosto de 2004; durante os testes foi observado um aumento de eficiência de 20% dos Painéis Móveis em relação aos fixos (AL-MOHAMAD, 2004), este estudo foi realizado em apenas um dia, não podendo servir de referência durante períodos que englobem todas as estações do ano; os experimentos realizados por Maatal.ah na cidade de Monastir na Tunísia em contrapartida aos de Al-Mohamad foram executados durante o ano de 2011 e obtiveram ganhos de 30% no inverno e 44% no verão (MAATAL.AH, 2011).

Outros estudos foram executados em várias partes do mundo, principalmente na Espanha onde destaca, se os realizados por Francisco Javier Gomez-Gil em 2012 no sul do país, foi realizada a comparação de desempenho entre quatro configurações de montagem diferentes, nesse estudo houve um incremento de desempenho de 25,2% dos sistemas móveis sobre os fixos anualmente (GOMEZ-GIL, 2012).

Analisando esses estudos pode-se concluir desempenha o ganho de performance dos sistemas móveis em relação aos fixos, levando-se em conta o maior valor investido e maiores custos de manutenção dos sistemas há a necessidade de estudo prévio para verificar a viabilidade dos sistemas móveis em relação aos fixos (AXAOPOULOS, 2013).

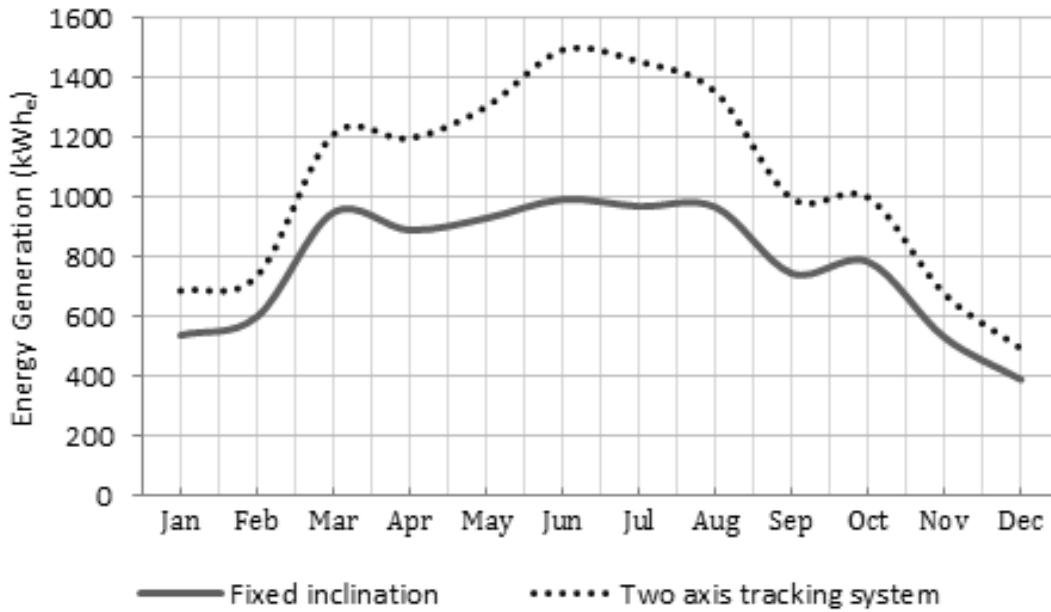
O estudo desenvolvido por Axaopoulos ocorreu em três países Europeus em diferentes Latitudes ao longo de 2013, foram escolhidas as cidades de Athenas na Grécia, Stuttgart na Alemanha e Aberdeen na Escócia, durante suas análises foram levados em conta o clima, latitude e custos de implantação e operação. Os ganhos de desempenho foram de 34,8%, 28,7% e 30,4% na Grécia, Alemanha e na Escócia respectivamente (AXAOPOULOS, 2013), é importante observar que o incremento de 1% no desempenho de captação fotovoltaica é algo perseguido pelas fabricantes de painéis, a partir disto pode-se entender que ganhos de 30% com os sistemas móveis são um grande avanço (APPLEYARD, 2009). Axaopoulos pode observar durante este experimento que a distância do Equador terrestre também influenciava no aumento de desempenho do sistema, uma vez que quanto mais distante do equador menor é o ganho devido a difusão da radiação solar e aos dias serem mais curtos quanto maior a proximidade geográfica com os polos terrestres (AXAOPOULOS, 2013), analogia esta que é válida no hemisfério sul. As temperaturas amenas nas latitudes mais distantes do equador também colaboram positivamente para o ganho de performance, porém este aspecto atinge tanto o sistema fixo como o móvel.

As Figuras 4 a 6 apresentam os dados da análise de Axaopoulos (2013) nos três países em 2013.

A partir dos gráficos pode-se supor que a energia gerada em Athenas é superior as outras duas cidades devido a sua maior proximidade com o equador terrestre. Outro

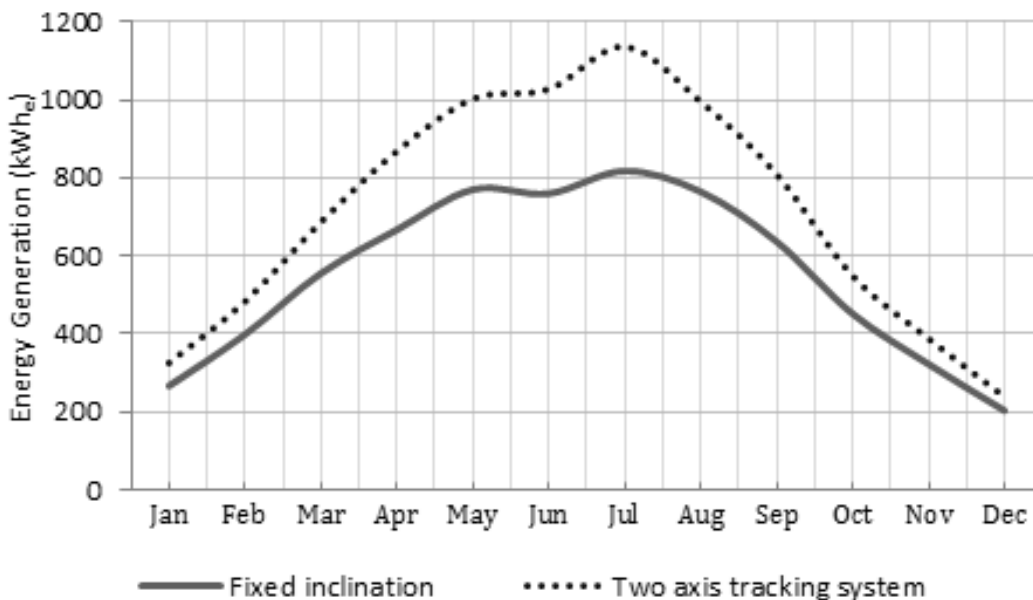
aspecto levado em consideração por Axaopolous (2013) diz respeito aos custos de implantação e manutenção dos sistemas bem como as tarifas de cada país estudado, estes aspectos tornam-se importantes uma vez que o ganho de performance do sistema pode ser suprimido pelos gastos com a manutenção do mesmo, uma vez que o próprio sistema gasta energia para manobrar os painéis (APPLEYARD, 2009).

Figura 4 - Geração de Energia Mensal – Athenas



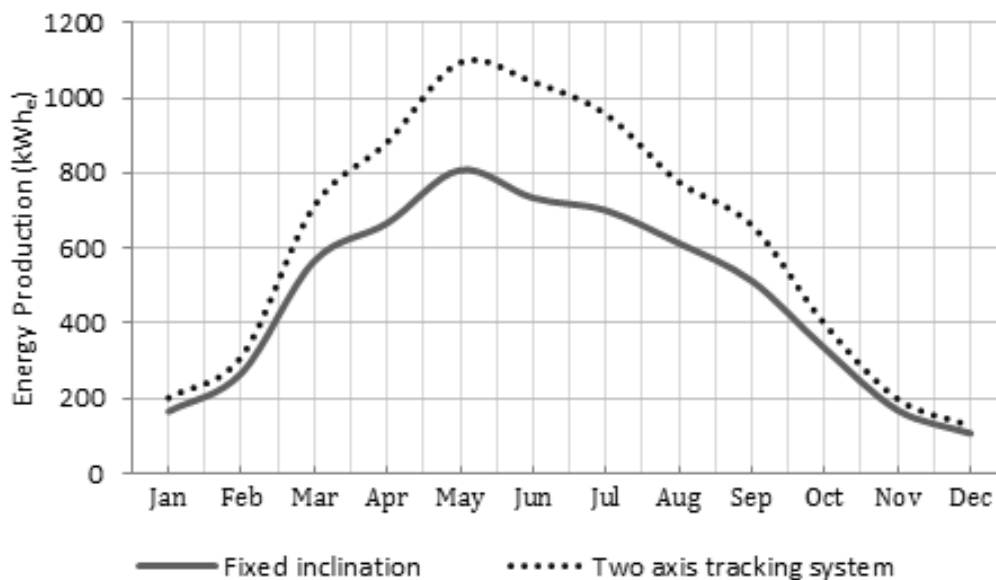
Fonte: AXAOPOULOS, 2013.

Figura 5 - Geração de Energia Mensal – Stuttgart



Fonte: AXAOPOULOS, 2013.

Figura 6 - Geração de Energia Mensal – Aberdeen



Fonte: AXAOPOULOS, 2013.

Segundo Appleyard (2009), é necessário levar em consideração os maiores custos de implantação de sistemas móveis não somente pelos equipamentos necessários, mas também a maior área necessária para sua instalação, visto que deve haver espaço entre as células Fotovoltáicas para a sua movimentação e o cuidado de uma célula não sombrear a vizinha, estas preocupações devem ser levadas em conta durante o projeto e sua execução.

#### 4 CONCLUSÃO

O aumento do gasto de energia no mundo, estimulado pelo desenvolvimento tecnológico e humano, em conjunto com o declínio na produção de combustíveis fósseis, têm sido fatores incentivadores à pesquisa e desenvolvimento de fontes alternativas de energia, menos poluentes, renováveis e que gerem o menor impacto possível ao meio ambiente.

Apesar das vantagens apresentadas, os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica se deparam com impedimentos à sua popularização. Dois aspectos impedem sua utilização nos dias atuais, por exemplo, o alto custo de produção e baixo rendimento frente a outras fontes alternativas de energia.

Na busca pelo aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos, estudos estão sendo desenvolvidos com uso de rastreadores solares. Tais meios conseguem manter os painéis constantemente virados em direção ao sol, de maneira a manter a superfície sempre perpendicular aos raios solares. Sendo assim, existe maior captação de energia solar e, conseqüentemente, elevação da produção energética.

Um provável desenvolvimento da atividade realizada é a análise da produção de energia do sistema durante o período de um ano, observando a consequência das estações sobre rastreadores diversos, de que forma a mudança da altura relativa do Sol atinge o

sistema, observar as diferenças na incidência do sol nos meses distintos e conseguir um resultado real da aplicabilidade da utilização de rastreadores mediante as circunstâncias locais.

Deste modo o presente trabalho servirá como base para pesquisa de outros estudos, tem assim uma grande significância dentro da engenharia elétrica e outros campos associados.

## REFERÊNCIAS

AL-MOHAMAD, Ali. "Efficiency Improvements of Photo-Voltaic Panels Using a Sun-Tracking System." *Applied Energy* 79, no. 3 (2004): 345-54.

APPLEYARD, David. Solar Trackers: Facing the Sun. 2009. Disponível em: <<http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/volume-12/issue-3/solar-energy/solar-trackers-facing-the-sun.html>> Acesso em: abril de 2018.

AXAOPOULOS, Petros; Fylladitakis, Emmanouil. Energy and Economic Comparative Study of a Tracking Vs a Fixed Photovoltaic System. *European Scientific Journal*, Atenas, v.09, N.12.2013.

BHAVNAGRI, Kobad. Solar Trackers. 2010. Disponível em: <[www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/](http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/)> Acesso em: abril de 2018.

BRAGA, Renata Pereira. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola politécnica Departamento de Engenharia Elétrica. – Rio de Janeiro RJ, Novembro de 2008.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade Técnico – Econômica. São Paulo: GEPEA – USP, 2012.

Fotovoltaica. 2004. Dissertação (Especialização), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2004.

GÓMEZ-GIL, Francisco Javier, Xiaoting Wang, and Al.en Barnett. "Energy Production of Photovoltaic Systems: Fixed, Tracking, and Concentrating." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, no. 1 (January 2012): 306-13.

ITO, Masakazu; Kato, Kazuhiko; Komoto, Keiichi; Kichimi, Tetsuo; Sugihara, Hiroyuki; Kurokawa, Kosuke. Comparative Study of Fixed and Tracking System of Very Large Scale PV (VLS-PV) Systems in the World Deserts. Tokyo University of Agriculture and Technology.

LODI, C. Perspectivas para a Geração de Energia Elétrica no Brasil utilizando a Tecnologia Solar Térmica Concentrada. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. Energia Solar para Produção de Eletricidade. São Paulo: Artliber Editora, 2012.



LUCENA, A. Proposta Metodológica para Avaliação da Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas Globais no Setor Hidroelétrico. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

MAATAL.AH, Taher, Souheil El Alimi, and Sassi Ben Nassral.ah. "Performance Modeling and Investigation of Fixed, Single and Dual-Axis Tracking Photovoltaic Panel in Monastir City, Tunisia." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, no. 8 (October 2011): 4053-66.

MARTÍN, Jaume Ribot. Curso de Energia Solar, Tomo 2. 3. Ed. Barcelona: CTE – Centro de Tecnologia Educativa, 1994. Leccion 5, p. 12 – 21.

MARTINS, A. Conhecendo o sol Folha de São Paulo. São Paulo, 15 set. 1996.

NASCIMENTO, Cássio Araújo. Princípio de funcionamento da célula

PINHO, João Tavares; Galdino, Marco Antônio. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESB, 2014.

SILVA, Arthur José. Investimentos de Empresas de Petróleo em Energia Fotovoltaica: O Caso da BP Solar e Motivações da Petrobras. 2006. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

TREVELIN, Felipe Camargo. Estudo Comparativo Entre Métodos de Rastreamento Solar Aplicados a Sistemas Fotovoltaicos. 2014. Dissertação (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.