

## EVOLUÇÃO E PROJEÇÃO DAS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS

Enga. Elena Peñarnda Chenche, LEST, [ing.elenap@gmail.com](mailto:ing.elenap@gmail.com)  
Dr. Enio Pedone Bandarra F., LEST, [bandarra@mecanica.ufu.br](mailto:bandarra@mecanica.ufu.br)  
Dr. Oscar Saul Hernandez M., LEST, [oscarshm5@gmail.com](mailto:oscarshm5@gmail.com)

**Resumo.** Este trabalho contém uma recopilación de informação sobre os princípios de funcionamento das células fotovoltaicas, assim como as diferentes tecnologias fotovoltaicas desenvolvidas no mundo em prol da melhoria da eficiência; tendo como objetivo principal o estudo das possibilidades da aplicabilidade dessas tecnologias na região do triângulo mineiro.

**Palavras chave:** energia solar, fotovoltaico, eficiência, multijunção, concentração, radiação.

### 1. INTRODUÇÃO

A mais abundante fonte sustentável de energia é o Sol, que oferece mais de 150 mil TW de energia para a Terra, cerca de metade dessa energia atinge a superfície da Terra, enquanto a outra metade é refletida para o espaço pela atmosfera (Camacho, et. al, 2012). A energia que consegue chegar à Terra é encontrada na natureza em diferentes formas, as quais podem ser indiretas como energia hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis entre outras, e diretas como a térmica e fotovoltaica. Com vista ao aproveitamento desse último tipo de energia foram desenvolvidos diversas tecnologias, ainda assim, um dos desafios que enfrentamos hoje é criar maneiras mais eficientes para coletar, processar, armazenar e utilizar energia solar a preços acessíveis.

### 2. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células fotovoltaicas são dispositivos encarregados de converter energia radiante em energia elétrica que funcionam segundo o efeito fotovoltaico, que consiste na geração de uma diferença de potencial elétrico pela interação de um fluxo de energia radiante com a matéria. Em outras palavras, os fótons incidentes, colidindo com os átomos de certos materiais (semicondutores em temperatura acima de 0K), provocam um deslocamento dos elétrons carregados negativamente, se estes elétrons podem ser capturados antes de retornarem a seus orbitais atômicos (elétrons livres), então, podem ser aproveitados como corrente elétrica. As lacunas criadas quando os elétrons se deslocam, são cargas positivas e conduzem a corrente elétrica (Cometta, 2004). Porém, a condutividade adquirida devido à temperatura é muito pequena, podendo ser drasticamente aumentada segundo um processo conhecido como dopagem, que consiste na adição controlada de átomos de elementos com mais ou com menos elétrons na banda de valência do que o elemento semicondutor base, por exemplo, uma amostra de silício (Si) é acrescentada com átomos de fósforo (P) produzindo uma dopagem tipo n, onde os portadores de corrente são elétrons, no entanto, se a amostra é acrescentada com átomos de boro (B), há um elétron a menos na banda de valência por cada átomo de boro acrescentado, ou seja, dopagem tipo p. O tipo de dopagem, n ou p, indica o tipo de portadores (cargas negativas ou positivas) responsáveis pelo transporte de corrente no material (Marques, 2005).

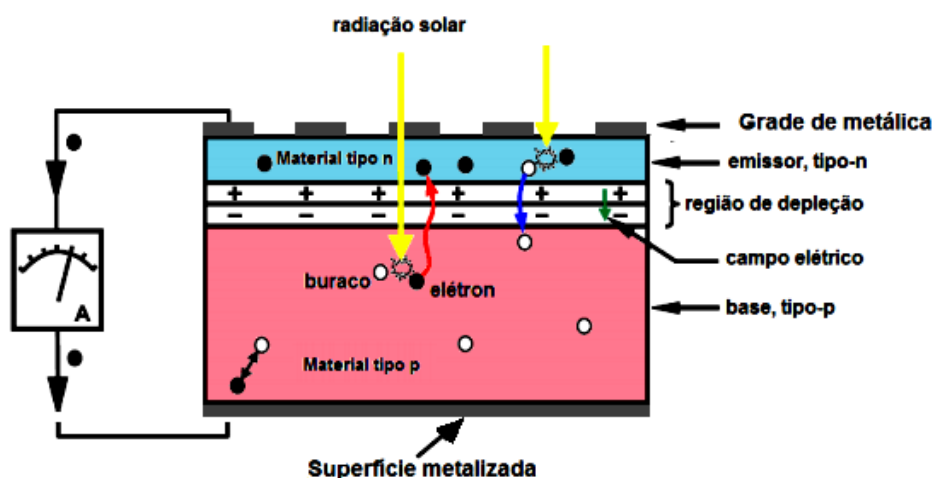


Figura 1. Estrutura e funcionamento de uma célula fotovoltaica

Uma célula fotovoltaica comercial é composta pela junção PN do material semicondutor, além disso, com o objetivo de diminuir as perdas causadas pela reflexão, é acrescentada à parte frontal da célula uma camada de dióxido de titânio

TiO<sub>2</sub> ou dióxido de silício SiO<sub>2</sub>, entre outros. Os terminais das células são constituídas de metalizações em ambas faces da célula, sendo que, a fim de obter um bom dreno da corrente foto-gerada, os contatos metálicos ocupam toda a área não exposta à luz e formam uma grade na face que recebe radiação solar (Kininger, 2003), como se mostra na fig. (1).

### 3. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A máxima tensão gerada por uma célula fotovoltaica está na faixa entre 0,6v e 2,2v (dependendo do material) com baixos níveis de corrente, assim, para conseguir valores de tensão e corrente que possam suprir as necessidades energéticas dos aparelhos de uso diário, precisa-se arranjar essas células em conexões em série (para aumentar a tensão) e em paralelo (para aumentar a corrente), estes arranjos são conhecidos como módulos fotovoltaicos (Bülher, 2011).

### 4. EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A eficiência de um módulo fotovoltaico é definida como a relação entre a energia elétrica fornecida (W) e a área do módulo (m<sup>2</sup>), como é mostrado na Eq. (1).

$$\eta = \frac{P(W)}{A(m^2)} \quad (1)$$

Um módulo fotovoltaico comercial normalmente fornece níveis de corrente e tensão com eficiência entre 14% e 20% (dependendo do material) em condições padrões, ou seja, radiação de 1000W/m<sup>2</sup> e temperatura de 25°C (ASTM E-1036, 1985). A característica V-I (tensão vs. corrente) mostrada na fig. (2) representa o comportamento ideal de um módulo fotovoltaico comercial de silício cristalino para essas condições.

Na figura (2), P<sub>M</sub> é o ponto de máxima potência, V<sub>oc</sub>, I<sub>sc</sub>, V<sub>M</sub> e I<sub>M</sub> representam a tensão de circuito aberto, a corrente de curto circuito, e a tensão e corrente no ponto de potência máxima respectivamente, onde a potência é o resultado da multiplicação direta dos valores de tensão e corrente. Dado que a área de um módulo fotovoltaico é uma constante, a única forma de obter diferentes valores de eficiência é variando a potência. Como a potência é uma variável dependente da tensão e da corrente, é necessário conhecer o comportamento destas em relação à radiação incidente e à temperatura do módulo.

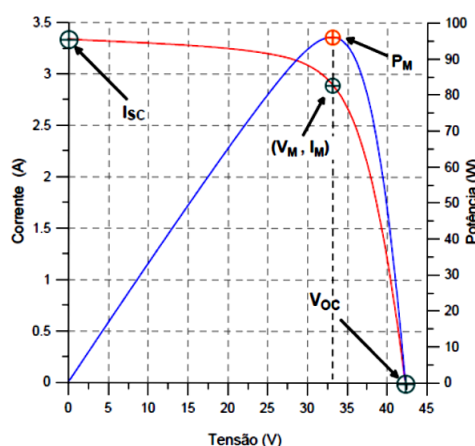


Figura 2. Curva V-I característica para um módulo fotovoltaico comercial

Na figura (3), pode-se observar que a relação entre a potência e a radiação é diretamente proporcional, porém, a relação da potência com a temperatura é inversamente proporcional.

Na prática só é possível conseguir um aumento da radiação sem acréscimo na temperatura do módulo quando são feitos testes em ambientes controlados, já em ensaios em campo, quando a radiação incidente no módulo aumenta também é incrementada a temperatura do módulo. Por este motivo o aumento da eficiência dos módulos fotovoltaicos é um desafio.

Porém, nos últimos vinte anos, pesquisadores tem desenvolvido um tipo de célula diferente, chamada de célula multijunção, este tipo de células não dispõem de uma única junção PN, em vez disso, possuem várias junções PN que permitem a captação de radiação solar num espectro de onda maior, além disto, essas células são feitas de materiais que permitem aumentar a radiação incidente sem que a temperatura apresente grandes variações.

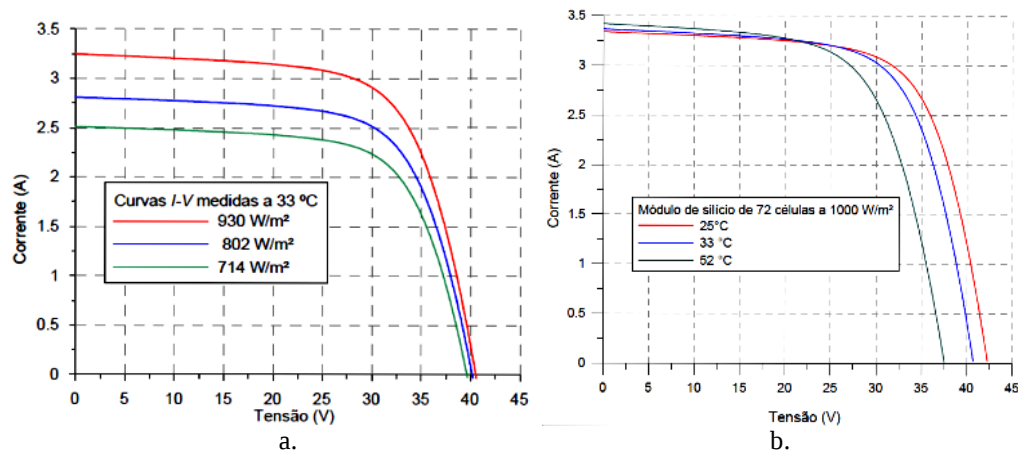


Figura 3. Variação da potência em relação com: a. Radiação incidente b. Temperatura do módulo

A figura (4) mostra a evolução da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas, monojunção e multijunção. As células multijunção, utilizadas em aplicações espaciais e atualmente nos SFVC, apresentam os maiores valores de eficiência sob alto fator de concentração (> 200X). A eficiência atualmente já está na faixa de 40%, com o valor de 41 %, obtido no Fraunhofer-ISE (Fraunhofer - Institut für Solare Energiesysteme, ISE), reportado por Guter et al. e 41,6% obtido pela Boeing-Spectrolab. A expectativa é de que a eficiência dessas células chegue a 50% nos próximos anos (Guter et al., 2009), (Kurtz, 2009).

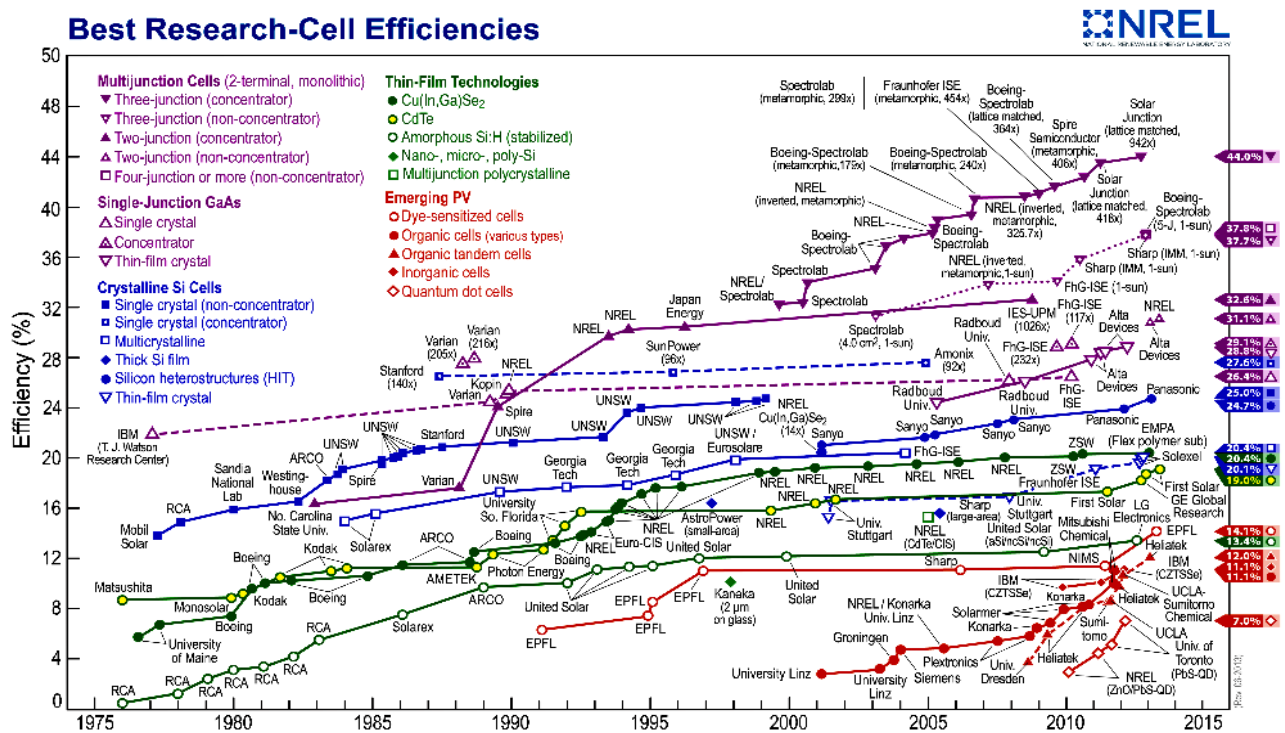


Figura 4. Evolução da eficiência de conversão da células fotovoltaicas

## 5. ENERGIA SOLAR NO BRASIL

O aproveitamento da energia solar no Brasil visa o atendimento de comunidades isoladas da rede de energia elétrica e o desenvolvimento regional. Esses projetos atuam basicamente com quatro tipos de sistemas: i) bombeamento de água, para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura; ii) iluminação pública; iii) sistemas de uso coletivo, tais como eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários; e iv) atendimento domiciliar. Entre outros, estão as estações de telefonia e monitoramento remoto, a eletrificação de cercas, a produção de gelo e a dessalinização de água (ANEEL, 2005). Todos esses sistemas que já foram implementados utilizam células solares monojunção.

Como é possível observar na fig. (5), a região do triângulo mineiro está situada em uma zona onde os níveis de radiação normal diária atingem os  $2200\text{kW/m}^2$ , esses valores de radiação satisfazem a condição estabelecida por Brunner (2009), o qual sugere que a instalação de sistemas fotovoltaicos utilizando células multijunção com concentração só apresenta bons resultados em locais com radiação normal direta anual maior do que  $1800\text{kW/m}^2$ .

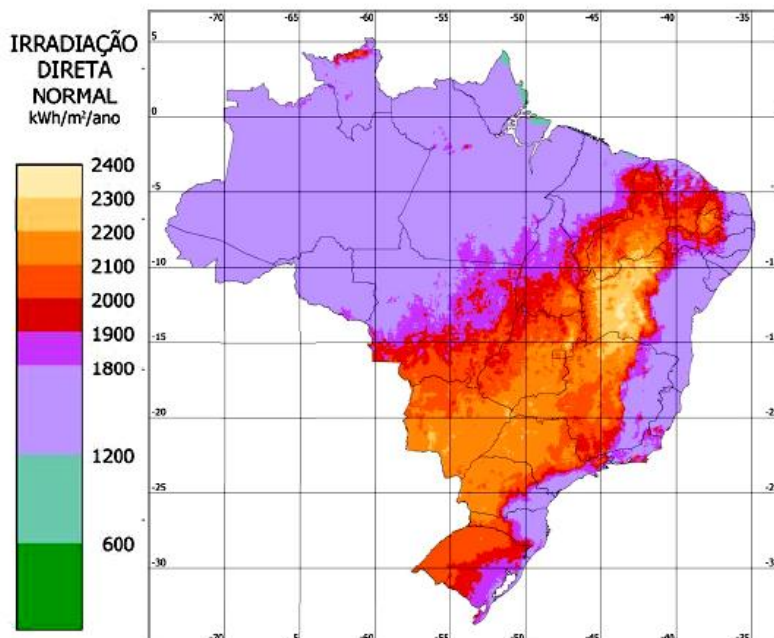


Figura 5. Radiação solar normal diária incidente no território brasileiro.

## 6. CONCLUSÕES

Nas células de silício o coeficiente de perdas devido à temperatura é maior do que o coeficiente de ganho por radiação, este comportamento é ilustrado nos resultados apresentados na fig. (4), quando células de silício são utilizadas em sistemas de alta concentração fotovoltaica. Além disso, a diferença entre a eficiência de um sistema de alta concentração e um sistema sem concentração é só de aproximadamente 4%, enquanto a diferença entre preços pode ser exorbitante. Dentre as células monojunção, as de silício monocristalino são as que apresentam maior eficiência, já as células fotovoltaicas multijunção, mesmo sem concentração, apresentam valores de eficiência superiores, sendo que, as células triplejunção com concentração superam quase ao dobro a eficiência das de silício.

Embora as outras tecnologias de células fotovoltaicas como os filmes finos e as células orgânicas não apresentem valores de eficiência tão expressivos, estas oferecem baixos preços aos consumidores e, por este motivo, são amplamente utilizados em aplicações de carregadores de pequenos dispositivos móveis como calculadoras, relógios, tablets, etc.

Devido às condições de radiação apresentadas na região do triângulo mineiro, pode-se concluir que a implementação de um sistema de alta concentração fotovoltaica é altamente viável.

## 7. REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005, “Atlas de Energia Elétrica do Brasil”, 2da edição, pp. 38-39.
- Bühler, Alexandre, 2011, “Estudo de Técnicas de Determinação Experimental e Processamento de Curvas Características de Módulos Fotovoltaicos”, Tesis de Doctorado UFRG, pp. 23.
- Brunner, Fabio, 2009, “Highly Efficient Solar Power Plants for the American Southwest”, 5<sup>th</sup> Germany California Solar Day, Concentrix Solar, pp. 10.
- Camacho, Eduardo F., et. al, 2012, “Controle f Solar Energy Systems”, Edit. Springer, pp. 1.
- Cometta, Emilio, 2004, “Energia Solar, Utilização e Empregos Práticos”, Edit. Hemus, pp. 105.
- Guter, W., et. al, 2009, “Current-matched triple-junction solar cell reaching 41.1% conversion efficiency under concentrated sunlight”, Applied Physics Letters, v. 94, 223504.
- Kininger, Franz, 2003, “Photovoltaic Systems Technology”, Universidade de Kassel Alemanha, pp. 31.
- Kurtz, S, 2009, “Opportunities and Challenges for Development of a Mature Concentrating Photovoltaic Power Industry”, Update. Technical Report - NREL/TP-520-43208. National Renewable Energy Laboratory, pp. 28.
- Marques, Gil da Costa, 2005, “Física, Tendências e Perspectivas”, Edit. Livraria da física, pp. 120.