

## ESTUDO DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

### RESUMO

**Nicole Polityto Cremasco**

[nicolepolityto@gmail.com](mailto:nicolepolityto@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0003-0986-8765](https://orcid.org/0000-0003-0986-8765)  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná, Curitiba, Paraná

**Ana Carla Cordeiro**

[anacarlacordeiro\\_utfpr@hotmail.com](mailto:anacarlacordeiro_utfpr@hotmail.com)  
[orcid.org/0000-0001-8718-2764](https://orcid.org/0000-0001-8718-2764)  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná, Curitiba, Paraná

**Renata Rodrigues Lautert**

[renata.lautert@acad.ufsm.br](mailto:renata.lautert@acad.ufsm.br)  
[orcid.org/0000-0002-1867-229X](https://orcid.org/0000-0002-1867-229X)  
Universidade Federal de Santa Maria,  
Santa Maria, Rio Grande do Sul

**Jorge Assade Leludak**

[assade@utfpr.edu.br](mailto:assade@utfpr.edu.br)  
[orcid.org/0000-0003-3755-7737](https://orcid.org/0000-0003-3755-7737)  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná, Curitiba, Paraná

**Jair Urbanetz Junio**

[jurbanetz@utfpr.edu.br](mailto:jurbanetz@utfpr.edu.br)  
[orcid.org/0000-0001-9355-1730](https://orcid.org/0000-0001-9355-1730)  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná, Curitiba, Paraná

A energia fotovoltaica tem ganhado maior interesse ao longo dos anos, devido a sua capacidade de gerar energia limpa e acessível, que é um dos objetivos do desenvolvimento sustentável. Desta forma, há inúmeras pesquisas com o objetivo de aperfeiçoar o uso desta forma de geração, tornando-a acessível, com baixo custo e com eficiências cada vez mais altas. As células fotovoltaicas são as responsáveis por absorver energia solar e transformá-las em energia elétrica. A energia fotovoltaica pode ser obtida através de algumas tecnologias, tais quais: silício monocristalino (m-Si), silício policristalino (p-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS), telureto de cádmio (CdTe), células fotovoltaicas orgânicas (do inglês, *Organic Photovoltaic* - OPV) e células fotovoltaicas sensibilizadas por corantes. Estas tecnologias diferem com relação a fabricação e forma de conversão de energia, sendo relacionadas a elementos como o silício, no caso das tecnologias cristalinas (m-Si e p-Si). Sendo assim, este artigo tem como objetivo descrever as tecnologias supracitadas, indicando as principais características e as eficiências de cada uma.

**PALAVRAS-CHAVE:** Células Fotovoltaicas. Eficiência. Tecnologias Fotovoltaicas.

## INTRODUÇÃO

As tecnologias fotovoltaicas podem ser classificadas em três gerações de acordo com a eficiência e participação no mercado. As tecnologias abrangendo silício cristalino fazem parte da primeira geração, possuindo maior participação no mercado (90%) e maiores eficiências (MUSSARD; AMARA, 2018).

No final do século XX, surgiu a tecnologia *Passivated Emitter and Rear Cell* (PERC) para a indústria fotovoltaica (FV), podendo ser aplicada a células de silício cristalino. Esta descoberta eleva a eficiência da célula FV, visto que aumenta a absorção de luz na sua parte posterior. As tecnologias de filmes finos fazem parte da segunda geração, tendo participação menos expressiva que as tecnologias cristalinas no mercado (SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017; SINKE, 2019).

Por fim, as tecnologias emergentes fazem parte da terceira geração, ainda a nível laboratorial, na maioria dos casos (GREEN, 2015). Cada uma apresenta uma resposta diferente conforme o espectro solar. Até o ano de 2019, o mercado nacional de módulos FV era majoritariamente composto pela tecnologia de p-Si, tanto na geração centralizada como na distribuída. Entretanto, em 2020 módulos de m-Si com tecnologia PERC demonstraram maior representatividade (GREENER, 2020).

## TECNOLOGIAS CRISTALINAS

### 1.1 Tecnologia de Silício Monocristalino (m-Si)

O principal método de fabricação das células monocristalinas é o processo Czochralski, no qual há crescimento de um lingote de silício a partir de uma semente de silício de alta pureza em um processo de temperatura controlada. Posteriormente, há o corte do lingote em *wafers*, produzindo células fotovoltaicas que podem atingir eficiência de até 24,4%, com espessura variando entre 10 e 300  $\mu\text{m}$  (LUCEÑO-SÁNCHEZ; DÍEZ-PASCUAL; PEÑA CAPILLA, 2019). A Figura 1 indica uma célula monocristalina.

Figura 1 – Célula Monocristalina



Fonte: Alaaeddin *et al.* (2019).

## 1.2 Tecnologia de Silício Policristalino (p-Si)

Para a fabricação de células de p-Si, o processo mais utilizado é o de fundição de lingotes. Blocos de p-Si são criados, sendo, posteriormente, serrados em barras e laminados (DGS, 2013).

As células de tecnologia policristalina possuem menores eficiências que as tecnologias monocristalinas, entretanto, possuem menor consumo de energia durante o processo de fabricação e menores custos com manutenção (SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017). A eficiência máxima de sua célula, em laboratório, alcançou 22,3% (FRAUNHOFER ISE, 2020).

Um dos fatores importantes para que a eficiência da tecnologia monocristalina seja superior a tecnologia policristalina é o fato de que as tecnologias policristalinas possuem perdas em fronteiras de descontinuidades de grãos, enquanto as tecnologias monocristalinas possuem células uniformes. Entretanto, há alteração em processos de fabricação e de arquitetura de célula para aumento de eficiência das células policristalinas. Um dos exemplos é a arquitetura PERC, que deve ser mais difundida no mercado nos próximos anos, com a qual a diferença de valor de eficiência entre tecnologias monocristalinas e policristalinas é menor do que com as arquiteturas convencionais (ALAAEDDIN et al., 2019). A Figura 2 indica uma célula fotovoltaica monocristalina.

Figura 2 – Célula Policristalina



Fonte: Alaaeddin *et al.* (2019).

## TECNOLOGIAS DE FILMES FINOS

### 2.1 Tecnologia disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)

As células FV de filmes finos podem ser produzidas de diversas maneiras, entre elas estão o processo de pulverização catódica, eletrodeposição, sublimação em espaço reduzido, deposição por banho químico e deposição química a vapor em baixas pressões. A tecnologia de CIGS corresponde a um filme fino de forma

multicristalina, com um elevado coeficiente de absorção dos fótons incidentes (BÜHLER; GABE; SANTOS, 2019). Em experimentos laboratoriais, sua célula chegou ao patamar de 23,4% de eficiência (FRAUNHOFER ISE, 2020).

## 2.2 Tecnologia telureto de cádmio (CdTe)

Dentre as tecnologias de filmes finos, o CdTe possui maior participação no mercado, além de possuir melhor resposta ao ser exposta à temperatura (determinada por meio dos coeficientes de temperatura). Entretanto, possui como desvantagem o fato de que seus elementos são menos abundantes que o silício, utilizado nas tecnologias cristalinas (MUSSARD; AMARA, 2018). Em relação à eficiência, sua célula alcançou 21% em laboratório (FRAUNHOFER ISE, 2020).

## TECNOLOGIAS EMERGENTES

### 3.1 Tecnologia Orgânica (OPV)

As células solares orgânicas representam um tipo de célula solar empregada para a conversão da energia solar em energia elétrica que tem ganhado maior interesse nas últimas duas décadas devido, principalmente, a sua aplicabilidade e baixo custo (GALDINO *et al.*, 2018). A energia solar fotovoltaica gerada por polímeros, apesar de ser uma solução viável para suprir a demanda por energia elétrica não está ao alcance da população (LOURENÇO JUNIOR *et al.*, 2020). A Figura 3 indica uma célula fotovoltaica orgânica.

Figura 3 – Célula Fotovoltaica Orgânica



Fonte: Lourenço Junior *et al.* (2020).

Dentre as vantagens do uso das OPV, pode-se citar que elas são construídas com materiais flexíveis, leves e transparentes (GALDINO *et al.*, 2018). Porém, as OPV não suportam as intempéries por muito tempo, o que ocasiona baixa vida útil e baixa eficiência, em torno de 2 a 6 % (SCHARBER; SARICIFTCI, 2013). Entretanto, em centros de pesquisa foi alcançada eficiência em torno de 18% (LIU *et al.*, 2020).

De maneira geral, a estrutura de uma OPV consiste em um eletrodo transparente, em que geralmente são utilizadas lâminas de vidro, como substrato, recobertas com um filme fino de óxido de estanho dopado com flúor (FTO) ou óxido de índio dopado com estanho (ITO), duas camadas orgânicas que absorvem a luz, por fim, um segundo eletrodo metálico. Sendo que as camadas orgânicas são constituídas de tipos de semicondutores diferentes: um do tipo doador e outro receptor de elétrons (C. W. TANG, 1986; LOURENÇO JUNIOR *et al.*, 2020). Desta forma, muitos materiais e métodos de fabricação podem ser desenvolvidos e conseqüentemente, novos tipos de células orgânicas podem emergir (GALDINO *et al.*, 2018).

Assim, acredita-se que o crescente interesse em desenvolver novas tecnologias fotovoltaicas viáveis e acessíveis irá contribuir para soluções de como aumentar a eficiência das OPV.

### 3.2 Tecnologia Sensibilizada por Corante

As células sensibilizadas por corante (CSSC) são híbridas, por serem formadas tanto por materiais orgânicos quanto inorgânicos (SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017).

O funcionamento das CSSC deriva do processo de geração da foto-corrente elétrica, devido à absorção de energia (fótons) pelo corante, proveniente do sol ou de uma fonte de radiação artificial (LIMA, 2017). Quando há incidência de luz nos corantes, ocorre absorção dos fótons da luz, gerando pares elétron-lacuna e posteriormente, a injeção dos elétrons gerados pela luz na banda de condução do dióxido de titânio –  $TiO_2$  (FRAGA, 2012).

Em uma CSSC, a excitação do corante leva a uma injeção de elétrons no  $TiO_2$ , que chegam até o TCO (do inglês, *Transparent Conductor Oxide*), onde são levados ao circuito externo e, ao chegarem ao contra-eletrodo, regeneram os íons contidos no eletrólito, que regeneram o corante, fechando o ciclo (COUTINHO, 2014).

A eficiência de um módulo CSSC é de 8% e ele possui período de vida de 20 anos, tendo baixas emissões de  $CO_2$  durante o processo de fabricação (LUDIN *et al.*, 2018).

## CONCLUSÕES

Algumas tecnologias de células FV presentes no mercado já são consolidadas. Contudo, algumas tecnologias ainda estão emergindo e necessitam de aperfeiçoamentos para que sejam usadas em larga escala.

Neste trabalho foram apresentadas algumas características de tecnologias de células fotovoltaicas arraigadas no mercado e outras que ainda estão em desenvolvimento. Todavia, possuem grandes chances de serem utilizadas no setor de energia solar em breve.

Desta forma, acredita-se que ainda há formas de melhorar a geração de energia elétrica através da energia solar FV através do avanço tecnológico crescente.

# Study of different photovoltaic cell technologies

**ABSTRACT**

Photovoltaic energy has gained greater interest over the years, due to its ability to generate clean and affordable energy, which is one of the goals of sustainable development. Thus, there are numerous researches to improve the use of this form of generation, making it accessible, with low cost, and with increasingly higher efficiencies. Photovoltaic cells are responsible for absorbing solar energy and transforming it into electrical energy. Photovoltaic energy can be obtained through some technologies, such as monocrystalline silicon (m-Si), polycrystalline silicon (p-Si), copper indium gallium diselenide (CIGS), cadmium telluride (CdTe), photovoltaic cells (OPV), and dye-sensitized photovoltaic cells. These technologies differ concerning the fabrication and form of energy conversion, being related to elements such as silicon in the case of crystalline technologies (m-Si and p-Si). Therefore, this article aims to describe the above-mentioned technologies, indicating the main characteristics and efficiencies of each one.

**KEYWORDS:** Photovoltaic cells. Efficiency. Photovoltaic Technologies.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à UTFPR e UFSM pela oportunidade, à Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), ao INCT-GD e aos órgãos financiadores CAPES processo n° 23038.000776/2017-54 e FAPERGS n° 17/2551-0000517-1).

## REFERÊNCIAS

ALAAEDDIN, M.H.; Sapuana, S.M.; Zuhria, M.Y.M.; Zainudina, E.S.; Faris M. A. Photovoltaic applications: Status and manufacturing prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 102, p.318-332, 2019.

BÜHLER, A. J.; GABE, I. J.; SANTOS, F. H. dos. Uma revisão sobre as tecnologias fotovoltaicas atuais. *In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2019, Gramado. Energia solar e eólica. Gramado: RS, 2019. p. 10–25. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/01/E-book-Energia-Solar-e-E%C3%B3lica.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2021.*

C. W. TANG. Two-layer organic photovoltaic cell. *Applied Physics Letters*, 1986.

COUTINHO, N. F. Células Solares Sensibilizadas por Corante. 2014. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

DGS. Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers. 2nd eded. London: Earthscan, 2013. (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie - DGS).

FRAGA, T. M. Produção de nanotubos de TiO<sub>2</sub> visando sua aplicação em células solares. 2012. Mestrado em Microeletrônica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-18062013-154723/>. Acesso em: 16 dez. 2021.

FRAUNHOFER ISE. Photovoltaics Report. Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2020.

GALDINO, J. J. B. *et al.* Caracterização de módulos fotovoltaicos orgânicos comerciais. *In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2018, Gramado. Anais [...]. Gramado: RS, 2018. p. 8.*

GREEN, M. A. The Passivated Emitter and Rear Cell (PERC): From conception to mass production. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 143, p. 190–197, 2015.

GREENER. Estudo Estratégico Geração Distribuída Mercado Fotovoltaico – 2º semestre - 2020 Brasil: Mercado Fotovoltaico. Brasil: Greener, 2020. Disponível em: <https://greener.greener.com.br/estudo-gd-2s2020>. Acesso em: 16 dez. 2021.

LIMA, F. M. Preparação e caracterização de filmes condutores: Óxidos de estanho e cobre para uso em célula solar fotovoltaica sensibilizada por corante. 2017. Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

LIU, Q. *et al.* 18% Efficiency organic solar cells. *Science Bulletin*, v. 65, p. 272, 2020.

LOURENÇO JUNIOR, O. D. *et al.* Clean and Renewable Energy, Healthy Organic Electronics. *Revista Virtual de Química*, v. 12, n. 3, p. 583–597, 2020.

LUCEÑO-SÁNCHEZ, J.; DÍEZ-PASCUAL, A.; PEÑA CAPILLA, R. Materials for Photovoltaics: State of Art and Recent Developments. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 20, n. 4, p. 976, 2019.

LUDIN, N. A. *et al.* Prospects of life cycle assessment of renewable energy from solar photovoltaic technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 96, p. 11–28, 2018.

MUSSARD, M.; AMARA, M. Performance of solar photovoltaic modules under arid climatic conditions: A review. *Solar Energy*, v. 174, p. 409–421, 2018.

SAMPAIO, P. G. V.; GONZÁLEZ, M. O. A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, p. 590–601, 2017.

SCHARBER, M. C.; SARICIFTCI, N. S. Efficiency of bulk-heterojunction organic solar cells. *Progress in Polymer Science*, v. 38, n. 12, p. 1929–1940, 2013.

SINKE, W. C. Development of photovoltaic technologies for global impact. *Renewable Energy*, v. 138, p. 911–914, 2019.

**Recebido:** 2021-12-17

**Aprovado:** 2021-12-26

**DOI:** 103895/recit.V12n31.15027

**Como citar:** CREMASCO, N.P.; CORDEIRO, A.N.; LAUTERT, J. A.L.; URBANETZ JUNIOR, J.. Estudo de diferentes tecnologias de células fotovoltaicas R. Electr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira, v. 12.. 31, p44-55, set/dez, 2021 Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Nicole Polityto Cremasco

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças CEP 80230-901 - Curitiba

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença [creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) Internacional.

