

Tecnologias emergentes para produção de células solares fotovoltaicas: uma revisão

Emerging technologies for photovoltaic solar cell production: a review

Tecnologías emergentes para la producción de células solares fotovoltaicas: una revisión

Recebido: 03/10/2022 | Revisado: 20/11/2022 | Aceitado: 20/12/2022 | Publicado: 23/12/2022

Gabriel Ashley Moreira de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0454-0886>
Faculdade Integrada Carajás, Brasil
E-mail: gabriel99ashley@gmail.com

Vinicius Oliveira Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1557-1095>
Faculdade Integrada Carajás, Brasil
E-mail: viniciusoliveirasouza36@gmail.com

Rogério Santiago Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1954-6842>
Faculdade Integrada Carajás, Brasil
E-mail: rogeriosantiago08@gmail.com

Resumo

Entre as energias geradas de fonte renovável destaca-se a fotovoltaica. Esse tipo de energia vem se tornando cada dia mais atraente, uma vez que apresentam emissões zero de gases de efeito estufa. Além de ter como fonte a luz solar, ou seja, suprimento inesgotável. A partir do exposto, tendo em vista a importância das energias renováveis e a recente ascensão das tecnologias fotovoltaicas, o objetivo do presente estudo é explanar, por meio de uma revisão integrativa da literatura, a ascendência e a aplicação de tecnologias emergentes para produção de células solares fotovoltaicas. A revisão foi realizada por meio de buscas em documentos técnicos científicos disponíveis em bases de dados como Scielo, Scopus, ScienceDirect, Periódicos Capes e em repositórios científicos. A energia fotovoltaica converte energia solar em elétrica e tem se mostrado uma solução sustentável e prática para o desafio de atender à crescente demanda global por energia. O silício é o material mais largamente disseminado na tecnologia fotovoltaica e na produção de células solares. As células de terceira ou última geração são também denominadas como tecnologias emergentes, já que a maioria se encontra em fase experimental, englobando uma variedade de materiais que em sua maioria são orgânicos. A busca por novas tecnologias e materiais que podem melhorar vários aspectos das células e painéis fotovoltaicos como resistência, durabilidade e maior eficiência na conversão de energia é uma demanda atual.

Palavras-chave: Energia limpa; Célula fotovoltaica; Materiais alternativos; Maior eficiência.

Abstract

Among the energy generated from renewable sources, the photovoltaic one stands out. This type of energy is becoming more attractive every day, since it has zero greenhouse gas emissions. In addition to having sunlight as its source, that is, an inexhaustible supply. From the above, in view of the importance of renewable energies and the recent rise of photovoltaic technologies, the objective of the present study is to explain, through an integrative literature review, the ascendancy to the application of emerging technologies for the production of photovoltaic solar cells. The review was carried out through searches of scientific technical documents available in databases such as Scielo, Scopus, ScienceDirect, Capes Periodicals and in scientific repositories. Photovoltaic energy converts solar energy into electrical energy and has proven to be a sustainable and practical solution to the challenge of meeting the growing global demand for energy. Silicon is the most widely disseminated material in photovoltaic technology and in the production of solar cells. Third or last generation cells are also called emerging technologies, since most are in the experimental phase, encompassing a variety of materials that are mostly organic. The search for new technologies and materials that can improve various aspects of photovoltaic cells and panels such as strength, durability and greater efficiency in energy conversion is a current demand.

Keywords: Clean energy; Photovoltaic cell; Alternative materials; Greater efficiency.

Resumen

Entre las energías generadas a partir de fuentes renovables destaca la fotovoltaica. Este tipo de energía es cada vez más atractiva, ya que tienen cero emisiones de gases de efecto invernadero. Además de tener como fuente la luz solar, es decir, un suministro inagotable. A partir de lo anterior, en vista de la importancia de las energías renovables y el reciente auge de las tecnologías fotovoltaicas, el objetivo del presente estudio es explicar, a través de una revisión integrativa de la literatura, el ascenso y aplicación de las tecnologías emergentes para la producción de células solares fotovoltaicas. La revisión se realizó a través de búsquedas en documentos técnicos científicos disponibles en bases de

datos como Scielo, Scopus, ScienceDirect, Capes Periodicals y en repositorios científicos. La energía fotovoltaica convierte la energía solar en energía eléctrica y ha demostrado ser una solución sostenible y práctica al desafío de satisfacer la creciente demanda mundial de energía. El silicio es el material más difundido en la tecnología fotovoltaica y en la producción de células solares. Las celdas de tercera o última generación también se denominan tecnologías emergentes, ya que la mayoría se encuentran en fase experimental, abarcando una variedad de materiales que en su mayoría son orgánicos. La búsqueda de nuevas tecnologías y materiales que puedan mejorar varios aspectos de las células y paneles fotovoltaicos como la resistencia, la durabilidad y una mayor eficiencia en la conversión de energía es una demanda actual.

Palabras clave: Energía limpia; Celda fotovoltaica; Materiales alternativos; Mayor eficiência.

1. Introdução

Nos últimos anos, o Brasil tem tomado a direção já adotada nos países mais desenvolvidos em relação a geração de energia renovável. De acordo com Vieira (2021), os dados do Balanço Energético Nacional (BEM) de 2019, que tem por base o ano de 2018, demonstram uma redução de 0,8%, em comparação ao ano anterior, na produção de energia não renovável. O que teve relação direta com a geração de energia renovável, uma vez que no mesmo período houve um aumento na produção de energia limpa de exatamente 0,8%. Segundo ainda o autor, o cenário nacional é expansivo para as energias renováveis.

Entre as energias geradas de fonte renovável destaca-se a fotovoltaica. Esse tipo de energia vem se tornando a cada dia, mais atraentes, uma vez que apresentam emissões zero de gases de efeito estufa além de ter como fonte a luz solar, ou seja, suprimento inesgotável. Outro fato relevante é que a geração fotovoltaica recebe incentivos governamentais para sua implementação, uma vez que é uma forma de geração que promove a comercialização de créditos de carbono. Além disso, do ponto de vista comercial a energia solar é interessante para investidores, já que a mesma apresenta menos variação de preço ao se comparar com a geração de energia a partir de combustíveis fósseis (de Oliveira, et al., 2021).

A popularização do uso de energia solar tem se tornado realidade nos últimos anos. Essa expansão da energia fotovoltaica tem possibilitado o surgimento de novos estudos no que tange a procura por células mais eficazes. Essa preocupação se dá já que a maioria dos módulos de energia fotovoltaica tradicionais apresentam uma eficiência da transformação de radiação solar em energia elétrica de no máximo 20% (Teixeira, et al., 2021).

Já Teixeira (2019), em estudo de matérias alternativas ao silício na produção de células foto voltaicas, identificou vários estudos que demonstravam que materiais alternativos, como alguns polímeros, são potencialmente mais eficazes com taxas de conversão superiores, conseguindo atingir até 50%, o que torna essa tecnologia ainda mais viável do ponto de vista econômico ao se usar a geração de energia fotovoltaica.

A partir do exposto, tendo em vista a importância das energias renováveis e a recente ascensão das tecnologias fotovoltaicas, o objetivo do presente estudo é explanar por meio de uma revisão integrativa da literatura, a ascendência e a aplicação de tecnologias emergentes para produção de células solares fotovoltaicas.

2. Metodologia

Uma revisão integrativa de literatura foi realizada, por meio de buscas em documentos técnicos científicos disponíveis em bases de dados como Scielo, Scopus, ScienceDirect, Periódicos Capes e em repositórios científicos. A busca dos documentos nas bases de dados foi realizada por meio dos seguintes descritores: tecnologias fotovoltaicas, energia fotovoltaica, módulos fotovoltaicos, dye-sensitized solar cell, heterojunction solar cell e multijunction solar cell,

Foi adotado como critério de inclusão: documentos de cunho científico, nos idiomas inglês, espanhol e português os quais apresentaram relação direta com a temática proposta. Além disso, o recorte temporal entre 2015 a 2022, foi aplicado com o intuito de apresentar os achados científicos dos últimos sete anos. Esses critérios foram aplicados posteriormente a leitura prévia dos títulos e resumos dos trabalhos encontrados.

3 Resultados e Discussão

3.1 Tecnologias fotovoltaicas

A energia fotovoltaica converte energia solar em elétrica e tem se mostrado uma solução sustentável e prática para o desafio de atender à crescente demanda global por energia (Polman, et al., 2016).

Essa tecnologia se utiliza de fonte renovável e que atende a anseios ambientais, como a redução da emissão de gases de efeito estufa, o que tem incentivado seu desenvolvimento e implantação (Gul, et al., 2016). Recentemente Lima, et al., (2022), em estudo no qual tinha por objetivo avaliar os impactos tanto adversos como benéficos mediante a geração de energia fotovoltaica concluíram que: a geração de energia por sistemas fotovoltaicos é crucial para o desenvolvimento sustentável mundial. Os mesmos ainda ressaltam que a geração de energia fotovoltaica é um reconhecido método de geração de energia renovável.

As células fotovoltaicas são o elemento básico do sistema e são feitas de materiais semicondutores, que absorvem fótons da luz solar e produzem corrente elétrica por meio de elétrons livres (Hosenuzzaman et al., 2015). De modo que várias células formam um módulo e estes ligados em série ou paralelo formam o painel fotovoltaico (Oliveira, et al., 2022).

O desenvolvimento de materiais utilizados nas células solares tem experimentado um grande crescimento, com foco no aumento de sua eficiência a baixo custo, que é um fator-chave para reduzir os valores associados à tecnologia solar fotovoltaica (Polman et al., 2016).

Segundo Gul, et al., (2016) há uma variedade de materiais fotovoltaicos disponíveis e distribuídos pelo mundo, com diferentes empresas responsáveis pela fabricação de módulos fotovoltaicos. Cada um com suas limitações e eficiências. Sendo que a eficiência elétrica depende do comprimento e intensidade da luz solar que incide no sistema, do tipo, qualidade e materiais das células fotovoltaicas e também dos componentes usados no módulo solar (Hosenuzzaman et al., 2015).

3.2 Principais materiais

O silício é o material mais largamente disseminado na tecnologia fotovoltaica e a produção de células solares à base desse material começou a partir da indústria da microeletrônica (Ferreira & Fenato, 2017).

Os módulos fotovoltaicos de primeira geração foram fabricados a partir de estrutura cristalina de silício, que em comparação com os demais tipos de tecnologia solar fotovoltaica, é a que tem a mais alta eficiência comercial, em torno de 24% (Gul, et al., 2016).

Além disso, outros fatores fazem com que as células solares em wafer de silício dominem com mais de 90% o mercado mundial, como o fato de ter matéria-prima em abundância e ser seu processo de fabricação já bem dominado pela indústria (Andreani, et al., 2019).

As células voltaicas de segunda geração são denominadas thin-film (filme fino), e isso se deve por sua fabricação se dá pela aplicação de finas camadas de materiais semicondutores, que tem apenas alguns micrômetros (menores que 10 μm) de espessura em comparação com wafers cristalinos que têm várias centenas de micrômetros, a uma base sólida (Hosenuzzaman et al., 2015; Teixeira, et al., 2021).

De acordo com Hosenuzzaman et al. (2015), os elementos de camada mais comuns usados para a célula de filme fino são o arseneto de gálio, telureto de cádmio, disseleneto de cobre e índio e dióxido de titânio.

No que diz respeito à base, os substratos mais comuns são o plástico, vidro, metal e cerâmica. De modo que, devido a essa tecnologia de finas camadas, há a criação de células flexíveis, leves e de menor custo, uma vez que consome menos material fotovoltaico quando comparado ao de primeira geração (Ogbomo, et al., 2017).

Já as células de terceira ou última geração são também denominadas como tecnologias emergentes, já que a maioria encontra-se em fase experimental, englobando uma variedade de materiais que em sua maioria são orgânicos (Ogbomo et al., 2017). Sendo os principais deles descritos a seguir.

3.3 Dye-sensitized solar cell (DSSC)

Pertencem ao grupo de células solares de filme fino que vem sendo amplamente estudado há mais de duas décadas devido suas características desejáveis, como baixo custo, método de preparação simples, baixa toxicidade e facilidade de produção (Sharma, et al., 2018).

Seu método de fabricação produz eletrodos que contêm dois ou mais corantes diferentes, geralmente orgânicos e organometálicos, com características complementares de absorção óptica (Cole, et al., 2019). Desde o final da década de 1960 é conhecido que a eletricidade pode ser gerada por meio de corantes orgânicos (Sharma, et al., 2018).

Em células solares sensibilizadas por corante, a maior parte do semicondutor é usada apenas como transportador de carga e os fotoelétrons são fornecidos por corantes fotossensíveis (Sharma, et al., 2018).

De acordo com Cole et al. (2019), os dispositivos de DSSCs compreendem quatro componentes principais:

- Corante químico – absorve a luz do sol ficando em um estado fotoexcitado e assim injeta elétron no eletrodo.
- Eletrodo de trabalho – semicondutor (mais comum de nanopartículas de dióxido de titânio) no qual o elétron é adsorvido e gera uma diferença de potencial em relação a este eletrodo e um contra eletrodo.
- Contra eletrodo - óxido condutor transparente (geralmente óxido de estanho dopado com flúor) que transporta o elétron injetado e inicia a corrente elétrica na célula.
- Eletrólito - contido entre os eletrodos atua como um par redox (catalisado por platina), acomodando o elétron do contra-eletrodo e passando-o de volta ao corante para regenerar seu estado fundamental, completando assim o circuito elétrico.

Uma característica desse sistema é que apresentam baixo desempenho em altas temperaturas, ficando limitados a aplicações de baixa temperatura e pouca luz (Ogbomo et al., 2017). Assim, funcionam melhor em condições mais escuras, como ao amanhecer, entardecer ou em tempo nublado, tornando-os uma boa escolha para aplicações internas, como janelas e teto solar (Gong, et al., 2017).

Segundo Gong et al. (2017) eficiências de conversão acima de 13% já foram obtidas para esse sistema. No entanto, para atingir os níveis de eficiência a nível comercial é necessário atingir 15% para competir com tecnologias existentes. Além da eficiência, é necessário melhorias na estabilidade do dispositivo, bem como a redução de material e custos de produção.

3.4 Heterojunction solar cell

Nos últimos anos, reduções de custos na produção fotovoltaica foram alcançadas com foco na diminuição do uso de materiais ou na substituição de materiais caros por outros mais baratos. Recentemente, no entanto, o espaço para melhorias diminuiu, o que levou a uma variedade de abordagens sendo pesquisadas, incluindo a mudança de dispositivos fotovoltaicos tradicionais para alternativos, como a tecnologia de células solares de heterojunção de silício (Louwen, et al., 2016).

Esses dispositivos apresentam uma estrutura que consiste em um wafer de silício cristalino que é passivado, em ambos os lados, com camadas de silício amorfo hidrogenado intrínseco e dopado (Haschke et al., 2018). Sendo essas células produzidas em um processo a baixa temperatura, não superior a 200 °C (Louwen et al., 2016).

O elevado teor de hidrogênio altera as propriedades do material em relação ao silício puro, aumentando assim o bandgap e resultando também em uma absorção óptica muito mais forte (Green, 2019).

Conforme apresentado por Lui et al. (2020), nos últimos anos houveram avanços de sucesso no desenvolvimento das tecnologias de heterojunção de silício, que aumentaram a eficiência de conversão dessas células solares acima de 26%.

A Panasonic foi a primeira empresa a comercializar células solares de heterojunção. Mas com a expiração da patente, nos últimos anos, outras empresas vêm lançando produção piloto, ou mesmo de produção em massa dessas células (Louwen et al., 2016; Haschke et al., 2018).

3.5 Multijunction solar cell

As células solares de multijunção, ou células tandem, também configuram entre as tecnologias emergentes para aumentar a eficiência dos módulos solares. E consistem em empilhar várias células de bandgap diferentes para absorver diferentes cores do espectro solar (Gul, et al., 2016; Yamaguchi, et al., 2021).

Nessas células, há a utilização de diferentes materiais semicondutores, o que permite um aproveitamento maior dos diferentes comprimentos de onda (Teixeira, et al., 2021).

Segundo Yamaguchi et al. (2021), células solares multijunção de silício (Si), como III–V/Si, II–VI/Si, calcopirita/Si e perovskita/Si tornaram-se populares e estão se aproximando da competitividade econômica.

No entanto, de acordo com Green (2019), a perspectiva é que a tecnologia de células de silício permanecerá dominante por pelo menos a próxima década, com potencial de ser aumentada pela combinação da tecnologia de filme fino para produzir pilhas de células tandem baseadas em silício. Onde já foi demonstrada uma eficiência de 28%.

4 Considerações Finais

A busca por novas tecnologias e materiais que podem melhorar vários aspectos das células e painéis fotovoltaicos, como resistência, durabilidade e maior eficiência na conversão de energia é uma demanda atual. É recomendado que pesquisas com o objetivo de desenvolver tecnologias novas e mais eficazes se perpetue, tendo como consequência futura desses estudos possibilidade se ter no mercado células fotovoltaicas mais eficazes e com valores mais acessíveis. Outro ponto importante de se destacar é a importância das pesquisas nacionais. Uma vez que, o desenvolvimento industrial brasileiro voltado a geração de energia a partir da radiação solar contribui para o desenvolvimento nacional. Desta forma, além de se tratar da geração de uma energia limpa, o sistema fotovoltaico pode contribuir para o desenvolvimento da ciência e tecnologia brasileira.

Referências

- Andreani, L. C., Bozzola, A., Kowalczewski, P., Liscidini, M., & Redorici, L. (2019). Silicon solar cells: toward the efficiency limits. *Advances in Physics: X*, 4(1), 1548305. <https://doi.org/10.1080/23746149.2018.1548305>
- Cole, J. M., Pepe, G., Al Bahri, O. K., & Cooper, C. B. (2019). Cosensitization in dye-sensitized solar cells. *Chemical reviews*, 119(12), 7279-7327. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00632>
- de Oliveira, A. M., Mario, M. C., & Pacheco, M. T. T. (2021). Fontes renováveis de energia elétrica: evolução da oferta de energia fotovoltaica no Brasil até 2050. *Brazilian Applied Science Review*, 5(1), 257-272. <https://doi.org/10.34115/basrv5n1-016>
- Ferreira, A. S., & Fenato, A. J. (2017). Potencial Impacto Ambiental Fotovoltaica. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 1, 228-242. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/ambiental-fotovoltaica>
- Gong, J., Sumathy, K., Qiao, Q., & Zhou, Z. (2017). Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 234-246. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.097>
- Green, M. A. (2019). Photovoltaic technology and visions for the future. *Progress in Energy*, 1(1), 013001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/ab0fa8/meta>
- Gul, M., Kotak, Y., & Muneer, T. (2016). Review on recent trend of solar photovoltaic technology. *Energy Exploration & Exploitation*, 34(4), 485-526. <https://doi.org/10.1177/0144598716650552>
- Haschke, J., Dupré, O., Boccard, M., & Ballif, C. (2018). Silicon heterojunction solar cells: Recent technological development and practical aspects-from lab to industry. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 187, 140-153. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.07.018>

- Hosenuzzaman, M., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A. A., & Nahar, A. (2015). Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 284-297. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.046>
- Lima, P. D. T. D., Neto, M. M., & Abrahão, R. (2022). Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(03), 1260-1273. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/viewFile/252652/41290>
- Liu, Y., Li, Y., Wu, Y., Yang, G., Mazzarella, L., Procel-Moya, P., Tamboli, A. C., Weber, K., Boccard, M., Isabella, O., Yang, X., & Sun, B. (2020). High-efficiency silicon heterojunction solar cells: materials, devices and applications. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 142, 100579. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2020.100579>
- Louwen, A., Van Sark, W., Schropp, R., & Faaij, A. (2016). A cost roadmap for silicon heterojunction solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 147, 295-314. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.12.026>
- Ogbomo, O. O., Amalu, E. H., Ekere, N. N., & Olagbegi, P. O. (2017). A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1225-1238. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.109>
- Oliveira, A. T. E. de, Sobreira, A. A., Costa, H. F., Ferreira, J. dos S., & Perez, C. A. S. (2022). A energia solar fotovoltaica: transformação, evolução, aspectos ambientais e abordagens na sala de aula. *Research, Society and Development*, 11(9), e25811932533. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32533>
- Polman, A., Knight, M., Garnett, E. C., Ehrler, B., & Sinke, W. C. (2016). Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges. *Science*, 352(6283), aad4424. <https://doi.org/10.1126/science.aad4424>
- Sharma, K., Sharma, V., & Sharma, S. S. (2018). Dye-sensitized solar cells: fundamentals and current status. *Nanoscale research letters*, 13(1), 1-46. <https://nanoscalereslett.springeropen.com/articles/10.1186/s11671-018-2760-6>
- Teixeira, M. A. C. (2019). Perspectivas do potencial estratégico de novos materiais alternativos ao silício para a produção de células solares fotovoltaicas. 121 f. Dissertação (Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) - Universidade Nove de Julho, São Paulo. <http://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/2149>
- Teixeira, M. A. C., Ramos, H. R., & Aguiar, A. O. (2021) Perspectivas de Novos Materiais Alternativos ao Silício para a produção de Células Solares Fotovoltaicas: Uma Revisão Sistemática da Literatura. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 9(71) 48 – 62, https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/2953/2777
- Vieira, A. C. F. (2021). Energias renováveis e sua eficiência na nova economia energética no Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 8(18), 211-223. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)081813](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081813)
- Yamaguchi, M., Dimroth, F., Geisz, J. F., & Ekins-Daukes, N. J. (2021). Multi-junction solar cells paving the way for super high-efficiency. *Journal of Applied Physics*, 129(24), 240901. <https://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/5.0048653>