

INOVAÇÃO EM PAINÉIS SOLARES ORGÂNICOS E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS): UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Resumo

Uma vez que a energia oriunda de poluentes fósseis vem se mostrando como uma das vilãs dos desequilíbrios climáticos, as questões que envolvem energia renovável vêm ganhando grande relevância em todo o mundo. Nesse contexto, a energia solar se apresenta como uma das alternativas em substituição aos combustíveis como petróleo, carvão mineral, gás natural etc. A pesquisa identificou artigos sobre inovações de painéis solares evidenciando as células fotovoltaicas compostas por materiais orgânicos como uma opção menos onerosa de modo a tornar mais acessível, aos consumidores, o acesso à energia mais limpa e renovável alinhando-se, assim, ao atendimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela Organização da Nações Unidas (ONU). Este artigo tem como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre inovação de painéis solares orgânicos no período entre 2018 e 2023. A metodologia inclui, ainda, um estudo bibliométrico de documentos das bases de dados Scopus e Web of Science por meio da ferramenta Bibliometrix identificando o tipo de documento, ano de publicação, autores, rede de autores, publicações dos autores, afiliação, agrupamentos de palavras-chave e países com maior número de publicações. A revisão da literatura permitiu, também, verificar o crescimento no número de publicações sobre inovação em painéis solares orgânicos nos últimos cinco anos, o que se infere o interesse acadêmico sobre o tema.

Palavras-Chaves: *Inovação, Revisão Bibliográfica, Painel Solar, Painéis Solares Orgânicos, Bibliometrix, ODS.*

1. Introdução

A inovação em painéis solares representa um avanço significativo no campo da energia renovável, incorporando tecnologias inovadoras para tornar a geração de energia mais sustentável e acessível (SOCAOOL *et al*, 2022). Enquanto os painéis solares tradicionais são predominantemente baseados em materiais semicondutores inorgânicos, de acordo com Van Der Staaij *et al* (2021) e Xie *et al* (2021), os painéis solares orgânicos exploram compostos orgânicos condutores e semicondutores para converter a luz solar em eletricidade de maneira eficiente.

Essa abordagem inovadora não apenas amplia as possibilidades de design e flexibilidade dos painéis solares (GHOSH, 2020) como também contribui diretamente para a conquista dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU (Organização das Nações Unidas). Dentre esses objetivos, destaca-se o ODS 7 - Energia Limpa e Acessível, que busca garantir o acesso confiável, sustentável, moderno e o preço acessível à energia para todos até 2030.

Além disso, os painéis solares orgânicos abordam questões relacionadas ao ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura ao promoverem o desenvolvimento e a implementação de tecnologias limpas e sustentáveis (DE OLIVEIRA, *et al.* 2021). A natureza desses painéis flexíveis também abre portas para aplicações inovadoras em setores como arquitetura, vestuário e dispositivos portáteis, contribuindo indiretamente para objetivos como o ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis.

Nesse contexto, a pesquisa e o desenvolvimento contínuo em painéis solares orgânicos não apenas impulsionaram a transição global para fontes de energia mais limpas (JUNIOR, *et al.*, 2023) como também desempenham um papel crucial na realização de múltiplos ODS, destacando a importância da inovação tecnológica para um futuro mais sustentável e equitativo.

O presente estudo verificou os artigos que tratam de inovação em painéis solares nas bases Scopus e Web of Science, buscando responder às seguintes perguntas:

- Quem são os principais autores e como eles estão conectados?;
- Quais os principais periódicos que publicam o tema da pesquisa?;
- Quantos artigos são publicados por ano?; e
- Quais países têm artigos sobre o tema?

Este artigo apresenta os resultados da pesquisa bibliométrica por meio da ferramenta Bibliometrix, proporcionando uma visão geral descritiva da produção científica sobre inovação em painéis solares orgânicos. Foi realizado um estudo bibliométrico no banco de dados da base Scopus e Web of Science para responder às perguntas da pesquisa. Este artigo é organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a Revisão da Literatura; a Seção 3, a Metodologia; a seção 4, analisa o Resultado e Análises bibliométricas; e, finalmente, a Seção 5 conclui este estudo.

2. Revisão da Literatura

A literatura acadêmica sobre inovação em energia solar vem se destacando nos últimos anos conforme menciona Reynaud *et al* (2019) e Van der Kam *et al* (2018).

Tal afirmação também é corroborada por Sampaio *et al* (2018) quando descrevem em sua pesquisa o aumento no número de patentes indicando Estados Unidos, China, Japão, Alemanha e Coreia do Sul como os países com maior número de solicitação de registros de patentes.

Outras inovações em painéis solares podem ser observadas na pesquisa de Kornuta *et al* (2019). Os autores dissertam sobre aplicação de placas solares para geração de água nos polos lunares, áreas estas que estão permanentemente na sombra.

Outra importante aplicação de painéis solares está ligada às estações de energia solar de alta altitude (HAPS). Essas estações são essencialmente painéis solares montados em plataformas flutuantes posicionadas em grandes altitudes, normalmente na estratosfera. De acordo com Karabulut Kurt *et al* (2021), por meio das inovações tecnológicas, materiais mais leves e menos custosos vêm sendo desenvolvidos, o que viabilizaria a criação de mais HAPS. Os autores destacam, ainda, como grande vantagem, o fato de as estações de energia solar de alta altitude poderem operar vinte quatro horas por dia, diferentemente das estações solares instaladas no solo que, necessariamente, operam no binômio dia-noite.

Entre muitas outras aplicações, Tabor *et al* (2018) trazem uma pesquisa sobre Inteligência Autônoma (IA) para aceleração de descobertas de materiais para energia limpa. Os autores mencionam diversas aplicações da IA. A parceria entre humanos e robôs, afirmam eles, pode acelerar descoberta de materiais para produção de energia renovável.

Em 2018, os mesmos autores, Tabor *et al* (2018), estimaram o surgimento, nos próximos cinco a dez anos, de materiais que seriam utilizados para criação de dispositivos fotovoltaicos, tais como os materiais orgânicos já estabelecidos em 2023. Com as mesmas palavras-chave utilizadas para o estudo bibliométrico, esse artigo é o mais citado nas bases Scopus e *Web of Science*.

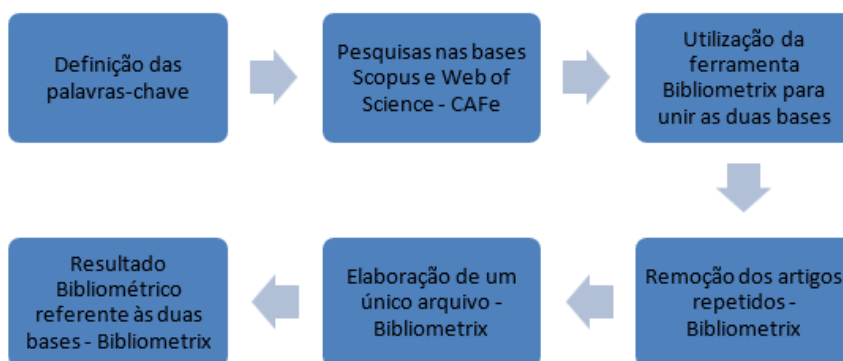
3. Metodologia

Para elaboração deste artigo, foram realizadas buscas nas bases de dados Scopus e Web of Science, com as seguintes *strings* de busca (“*innovation*”) AND (“*organic solar panel*” OR

"solar panel") para artigos entre 2018-2023 publicados em *journals* e em inglês no dia 22 de novembro de 2023.

Por meio da ferramenta Bibliometrix, foram gerados dois arquivos em Excel: um com a pesquisa realizada na base Scopus e outro com a pesquisa realizada na base Web of Science. Após realizar tratamento dos dados, foram identificadas e removidas 47 (quarenta e sete) publicações repetidas.

Figura 1 - Metodologia



Fonte: Bibliometrix (2023)

4. Resultado e Análises

Como resultado da metodologia aplicada, seguem as seguintes informações:

Figura 2 - Quadro de Informações principais

Intervalo de tempo 2018:2023	Fontes 322	Documentos 456	Taxa de crescimento anual 17,61%
Autores 1775	Autores de documentos de autoria 30	Coautoria Internacional 15,35%	Coautores por documento 4,25
Palavras-chave do autor (DE) 1671	Referências 7114	Idade Média do Documento 2.05	Média de citações por documento 8.39

Fonte: Bibliometrix (2023)

Em uma continuação das análises, procede-se ao gráfico de produção científica anual:

Tabela 1: Produção científica anual

Ano	Artigos por ano
2018	48
2019	73
2020	54
2021	70
2022	103
2023	108

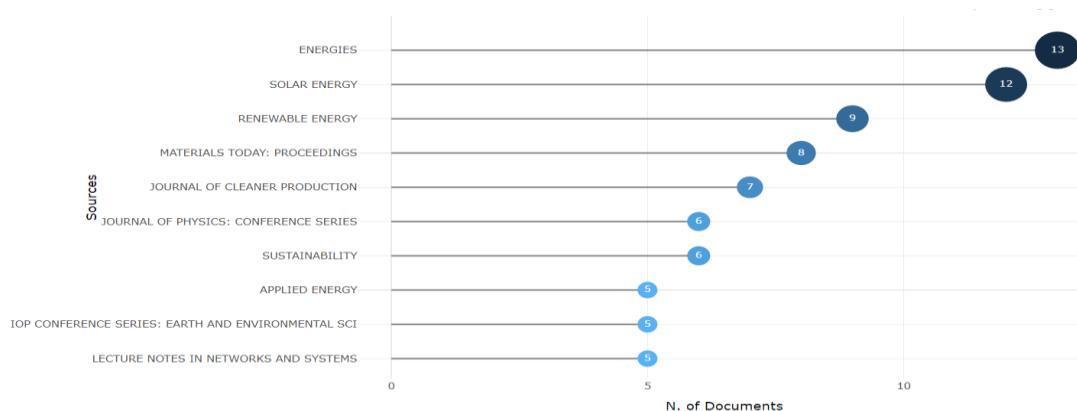
Fonte: Bibliometrix (2023)

Embora em 2020 tenha ocorrido uma queda no número de artigos publicados nessas bases - possivelmente pelo impacto do início da pandemia da COVID-19-, percebe-se claramente uma crescente nos demais anos. As pesquisas realizadas até 22 de novembro de 2023 já demonstram um número maior de publicações se comparadas ao ano de 2022.

Tal constatação evidencia o aumento no número de pesquisas em inovação de materiais orgânicos para composição de dispositivos fotovoltaicos, a fim de atender às demandas por energia renovável, seja para atendimento às questões ambientais - ODS -, seja para atendimento às demandas antropológicas.

A seguir, apresenta-se a figura com as dez fontes mais relevantes encontradas na pesquisa:

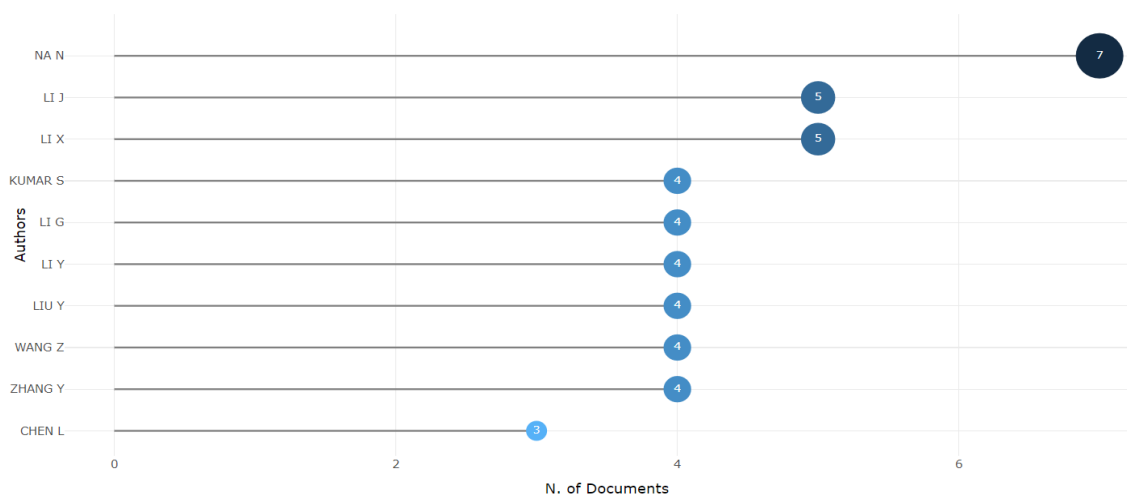
Figura 3 - Fontes mais relevantes



Fonte: Bibliometrix (2023)

É possível identificar o *journal Energies* como o 1º colocado e em segundo lugar, o *journal Solar Energy*, com treze e doze publicações, respectivamente. Prosseguindo as análises, apresenta-se, em ordem decrescente, o gráfico referente aos principais autores:

Figura 4 - Principais autores



Fonte: Bibliometrix (2023)

Do gráfico acima, pode-se evidenciar os três principais autores do tema sendo composto por Na N. (7 artigos), Li J. (5 artigos) e Li X. (5 artigos). Dentre as principais unidades acadêmicas, cita-se as dez principais afiliações:

Figura 5 - As dez principais afiliações

Affiliation	Articles
BEIHANG UNIV	8
UNIV POLITECN MADRID	8
UNIV TEKN MALAYSIA MELAKA	8
HERIOT WATT UNIV	7
UNIV BOLOGNA	7
UNIV CASTILLA LA MANCHA	7
UNIV EDINBURGH	7
UNIV SCI AND TECHNOL BEIJING	7
UNIV STRATHCLYDE	7
UNIVERSITY OF CALIFORNIA	7

Fonte: Bibliometrix (2023)

A universidade brasileira melhor listada é a Universidade Federal Fluminense na 94ª posição com três artigos. Já a ordenação de produção por países, tem-se a tabela abaixo:

Tabela 2: Produção por País



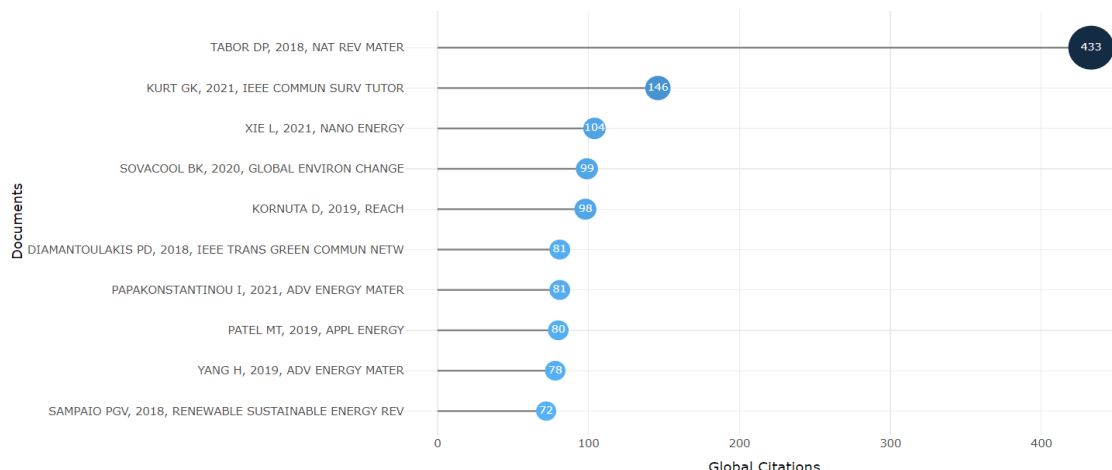
País	Frequência
CHINA	189
UK	92
INDIA	88
USA	61
SAUDI ARABIA	48
SPAIN	42
MALAYSIA	39
ITALY	36
INDONESIA	35
EGYPT	23
BRAZIL	6

Fonte: Bibliometrix (2023)

A China e o Reino Unido destacam-se como os países com mais publicações na área. Por outro lado, constatamos que apenas 30% dos países possuem artigos na área. Essas aplicações parecem ser diretamente influenciadas por fatores econômicos. Entre os continentes, África e América do Sul apresentam as menores proporções de países com aplicações na área.

Nessa rubrica, o Brasil aparece na lista em 33º lugar, com a frequência de seis trabalhos. Em relação aos principais trabalhos, segue a relação dos dez mais citados:

Figura 6 - Principais trabalhos



Fonte: Bibliometrix (2023)

Tabor *et al* (2018) é o mais citado (quase o triplo do segundo colocado) e relata que o desenvolvimento de novos materiais é fundamental para a aceleração da transição energética. Já em relação à interatividade das palavras, tem-se a seguinte nuvem de palavras:

Figura 7 - Nuvem de palavras



Fonte: Bibliometrix (2023)

A figura abaixo relaciona as palavras às suas ocorrências. Enquanto as palavras “Painéis Solares” encontram-se na primeira colocação, a palavra “Inovação” encontra-se em oitavo lugar, demonstrando a importância da Inovação no contexto da produção da energia solar.

Figura 8 - Palavras mais comuns

Words	Occurrences
solar panels	117
solar energy	69
solar power generation	69
solar concentrators	45
energy	37
performance	34
photovoltaics	29
innovation	28
renewable energies	28
photovoltaic system	23

Fonte: Bibliometrix

5. Considerações Finais

O estudo bibliométrico proporcionou um panorama descritivo da produção científica sobre as inovações de painéis solares orgânicos. A pesquisa nas bases de dados Scopus e Web of Science mostrou resultados com diversas inovações e descoberta de materiais menos custosos, que prometem tornar os painéis solares mais acessíveis. O atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável é outro êxito alcançado com a aplicação de materiais orgânicos nos dispositivos fotovoltaicos. À medida que mais usuários passarem a consumir energia renovável, o índice de poluição tende a diminuir, contendo, então, o avanço do aquecimento global.

Ademais, cabe evidenciar a importância do meio acadêmico nesse processo de inovação de painéis solares. Pode-se observar que as Universidades são responsáveis pelas principais pesquisas sobre o assunto apresentado, o que denota o protagonismo acadêmico no processo de transição energética estabelecido pela ONU até 2030 por meio dos ODS.

Por fim, trabalhos futuros poderão explorar mais especificamente outros materiais orgânicos, a fim de que as limitações ora observadas ante os painéis solares sejam superadas e o acesso a essa tecnologia seja disponibilizado o mais breve possível.

REFERÊNCIAS

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>.

GHOSH, Aritra. 2020. **“Potential of Building Integrated and Attached/Applied Photovoltaic (BIPV/BAPV) for Adaptive Less Energy-Hungry Building’s Skin: A Comprehensive Review.”** Journal of Cleaner Production 276: 123343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123343>.

JUNIOR, C. M. de A., Júnior, E. L. P., Araujo, T. M. P. de C., DOS SANTOS, M., GOMES, C. F. S., & PEREIRA, D. A. de M. (2023). **Ordering of solar photovoltaic panels using the MEREC-SPOTIS hybrid analytical model.** Procedia Computer Science, 230, 808–818. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.052>.

KARABULUT KURT, G., KHOSHKHOLGH, M. G., ALFATTANI, S., IBRAHIM, A., DARWISH, T. S. J., ALAM, M. S., YANIKOMEROGLU, H., & YONGACOGLU, A. (2021). **A vision and framework for the high-altitude platform station (HAPS) networks of the future.** IEEE Communications Surveys & Tutorials, 23(2), 729–779. <https://doi.org/10.1109/comst.2021.3066905>.

KORNUA, D., ABBUD-MADRID, A., ATKINSON, J., BARR, J., BARNHARD, G., BIENHOFF, D., BLAIR, B., Clark, V., Cyrus, J., DeWitt, B., Dreyer, C., Finger, B., Goff, J., Ho, K., Kelsey, L., KERAVALA, J., Kutter, B., Metzger, P., Montgomery, L., ... Zhu, G. (2019). **Commercial lunar propellant architecture: A collaborative study of lunar propellant production.** REACH, 13(100026), 100026. <https://doi.org/10.1016/j.reach.2019.100026>.

REYNAUD, Clément Antoine et al. 2019. **“Evaluation of Indoor Photovoltaic Power Production under Directional and Diffuse Lighting Conditions.”** Solar Energy Materials and Solar Cells 200(June): 110010. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.110010>.

SAMPAIO, P. G. V., GONZÁLEZ, M. O. A., DE VASCONCELOS, R. M., DOS SANTOS, M. A. T., DE TOLEDO, J. C., & PEREIRA, J. P. P. (2018). **Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 93, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.033>.

SOVACOO, B. K., NEWELL, P., CARLEY, S., & FANZO, J. (2022). **Equity, technological innovation, and sustainable behaviour in a low-carbon future.** Nature Human Behaviour, 6(3), 326–337. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01257-8>.

TABOR, D. P., ROCH, L. M., SAIKIN, S. K., KREISBECK, C., SHEBERLA, D., MONTOYA, J. H., DWARAKNATH, S., AYKOL, M., Ortiz, C., TRIBUKAIT, H., AMADOR-BEDOLLA, C., BRABEC, C. J., MARUYAMA, B., PERSSON, K. A., & ASPURU-GUZI, A. (2018). **Accelerating the discovery of materials for clean energy in the era of smart automation.** Nature Reviews. Materials, 3(5), 5–20. <https://doi.org/10.1038/s41578-018-0005-z>

VAN DER KAM, M. J., MEELEN, A. A. H., VAN SARK, W. G. J. H. M., & ALKEMADE, F. (2018). **Diffusion of solar photovoltaic systems and electric vehicles among Dutch consumers: Implications for the energy transition.** Energy Research & Social Science, 46, 68–85. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.003>.

VAN DER STAAL, Floris Max, ISABELLE Masala van Keulen, and ELIZABETH von Hauff. 2021. **“Organic Photovoltaics – Where Are We Headed?”** Solar RRL 2100167: 1–8.

WANG, P., TIAN, X., LU, W., HU, Z., & LUO, Y. (2019). **Dynamic modeling and simulations of the wave glider.** Applied Mathematical Modelling, 66, 77–96. Cleaner Production, 290(125208), 125208. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125208>.

XIE, L., SONG, W., GE, J., TANG, B., ZHANG, X., WU, T., & GE, Z. (2021). **Recent progress of organic photovoltaics for indoor energy harvesting.** Nano Energy, 82(105770), 105770.