

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DAS PUBLICAÇÕES RELACIONADAS À PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO E FONTE POR CONCENTRADOR SOLAR

Guilherme Moura Fontenele - gfontenele2015@gmail.com

Caio Victor de Sousa Thomás

Francisco Lucas Cruz da Silva

Lara Oliveira Correia

André Valente Bueno

Carla Freitas de Andrade

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. *As energias renováveis têm conquistado cada vez mais espaço nas matrizes energéticas do Brasil e do mundo, visto que são uma alternativa viável para solucionar problemas energéticos que surgem ao redor do globo. O uso do hidrogênio, em conjunto com a energia solar heliotérmica, utilizando concentradores solares, pode fornecer uma nova modalidade energética limpa, contribuindo ainda mais para a solidificação das energias renováveis como principal categoria energética do mundo. O Brasil é um país rico em incidência solar, podendo utilizá-la para produzir esse hidrogênio e exportar para outras regiões. Sendo assim, esse trabalho busca fazer um levantamento dos trabalhos que estão sendo publicados no Brasil e no mundo que relacionam Hidrogênio Verde e a utilização de Concentradores Solares para sua produção, mostrando as instituições que estão desenvolvendo pesquisas, os principais autores e localidades, dentre outras características. O presente trabalho analisa documentos encontrados na base Scopus e utilizando a ferramenta do pacote Bibliometrix R. Foram encontrados cerca de 149 documentos distribuídos em 112 fontes ao redor do mundo, tais como artigos, revistas, livros, etc. Observou-se o crescimento do número de publicações relacionadas ao tema ao redor do mundo entre os anos de 2001 e 2023. Contudo, no Brasil, tendo uma quantidade de publicações mais modesta se comparado com outros países. Logo, o presente trabalho busca mostrar que os temas relacionados ao hidrogênio e a sua produção por meio de concentradores solares à base de energia solar heliotérmica estão ganhando espaço, mas que também há bastante potencial ainda a ser explorado.*

Palavras-chave: *Concentrador solar, Hidrogênio Verde, Revisão Bibliométrica*

1. INTRODUÇÃO

As técnicas e incentivos a descarbonização propõe um planeta eficiente e sustentável a base de potência limpa até 2050, sendo necessário esse desenvolvimento a longo prazo. Muito incentivado desde 2015 pelo acordo de Paris, feito por países em busca da descarbonização por acordos, parcerias e iniciativas (BBC, 2023). Um vetor de grande potencial que se destaca no setor de pesquisa é o hidrogênio, diferenciado pelo seu alto fornecimento de energia, chegando a posições onde algumas outras fontes limpas não alcançam, em processos industriais, produções químicas e transportes pesados, como caminhões e aeronaves, ou seja, alta capacidade de contribuição na matriz energética.

O hidrogênio é obtido a partir da eletrólise da água, ou seja, necessário uma fonte elétrica. Essas fontes variam em relação aos seus fornecimentos, indo de combustíveis fósseis até fotovoltaica. Se não emitir dióxido de carbono, se torna uma energia renovável (Cabral et al. 2014), e dessa forma se denomina o hidrogênio verde. Uma grande ambição para os entusiastas em energia limpa é usufruir do potencial do sol, uma fonte limpa, de alta capacidade e gratuita, porém as vezes inviabilizado pela necessidade de receptores em grande área para pouca energia. Uma solução inteligente é a concentração dos raios solares em um único ponto ou uma área reduzida, captando maiores potências e temperaturas, por meio de estruturas concentradoras (Fig. 1).

Sendo a produção de hidrogênio verde uma área relativamente recente, se torna mais essencial na busca de direcionamento, nessa fase preliminar, uma análise bibliométrica em função de sondar as publicações e pesquisas, e relacionar com as fontes usadas. Essa metodologia de análise pode fornecer a condição do campo de pesquisa em questão, podendo ser limitado por localização e período, e assim descrever padrões por análises estáticas e quantitativas, além de mensurar a contribuição de conhecimento.

Contendo mais de 22 mil títulos, o banco de dados da Scopus é o maior atualmente, em questão de resumos e citações, abrangendo desde áreas de tecnologias até artes e humanas. Tem sua relevância, principalmente pelo seu amplo uso em trabalhos científicos em busca de estudos e resultados bibliométricos (Burnham et al. 2006), evidenciando sua relevância nesse método de estudo.

Diante do que foi apresentado, o objetivo do presente trabalho é fornecer uma visão global, e em relação ao Brasil, sobre a situação e evolução dos estudos e pesquisa na produção de Hidrogênio relacionados com concentradores solares, através da base do Scopus (na busca de documentos). Por meio desses dados, e com o auxílio de gráficos e tabelas produzidos pelo Bibliometrix, mostrar informações como os ramos mais iniciais e os mais consolidados, os temas mais relacionados, as afiliações e países que mais realizam pesquisas nessa área, entre outros.



Figura 1 - Concentradores solares

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada tem como base a utilização dos dados do Scopus, em busca de análise de documentos relacionados a hidrogênio verde e a utilização de concentradores solares, para obtê-lo de forma limpa, com um sistema de busca de palavras escolhidas, que aparecem em resumos, nas palavras-chave e títulos. Assim, as escolhidas foram *green hydrogen*, *solar* e *concentration*. Algumas outras abordagens foram utilizadas para obter uma filtragem, sendo elas:

- Análise dos resultados apenas no Brasil, posteriormente mundialmente;
- Tipo de documento: artigo, paper de conferência, capítulos de livro e revisão;
- Língua: inglês e chinês (devido a informação prévia da gama de produções na China e EUA);
- Ano de publicação geral: 2001 até 2023;
- Ano e publicação no Brasil: 2016 até 2023 (devido a prática existente em anos anteriores);

Os resultados, de forma geral, se encontram na Tab. 1 em seguida, apresentando uma quantidade de documentos totais de 149, o que demonstra uma quantidade baixa de publicação em relação a outras energias (em média 5 publicações por ano). Para o Brasil, foram apenas 5 (3,3% das publicações mundiais), demonstrando um potencial a ser explorado, tendo as informações resumidas na Tab. 2. Todos os gráficos e tabelas são obtidos exportando essa base de dados para Excel e Bibliometrix.

Tabela 1 – Informações relevantes dos dados gerais

Descrição	Resultados
Intervalo de tempo	2001:2023
Fontes (Revistas, livros, etc.)	112
Quantidade de documentos	149
Anos médios de publicação	5,17
Média de citações por documentos	31,19

Tabela 2 – Informações relevantes do Brasil

Descrição	Resultados
Intervalo de tempo	2016:2023
Fontes (Revistas, livros, etc.)	6
Quantidade de documentos	6
Média de citações por documentos	24,17

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da base de dados, muitas discussões podem ser obtidas por meio de resumos de informações. Neste capítulo, serão apresentados e analisados alguns gráficos e tabelas, focando em dados específicos, como o período publicado, os autores, relevância, fontes, entre outros.

3.1. Análise anual de publicações

Como já mencionado, a faixa de tempo compreendida é dos anos de 2001 e 2023, e a análise de da quantidade de produção anual, obtida da base de dados, é apresentado na Fig. 2 e na Tab. 3.



Figura 2 - Relação de publicações anualmente no Brasil

Tabela 3 – Quantidade de artigos por ano mundialmente

ANO	ARTIGO
2001	3
2002	1
2003	0
2004	0
2005	1
2006	1
2007	1
2008	2
2009	3
2010	5
2011	2
2012	4
2013	6
2014	9
2015	4
2016	7
2017	9
2018	4
2019	7
2020	12
2021	21
2022	25
2023	23

A partir de 2010, pode-se observar o início de um aumento na quantidade de publicações anuais relacionadas a hidrogênio, sendo mais expressivo entre os anos de 2021 e 2023, demonstrando um interesse recente e uma possível área em crescimento. No geral, a faixa de tempo apresentada possui uma média de 6,5 artigos publicados por ano. Em relação ao Brasil, os resultados são mais distantes da média global (Fig. 3 e Tab. 4).

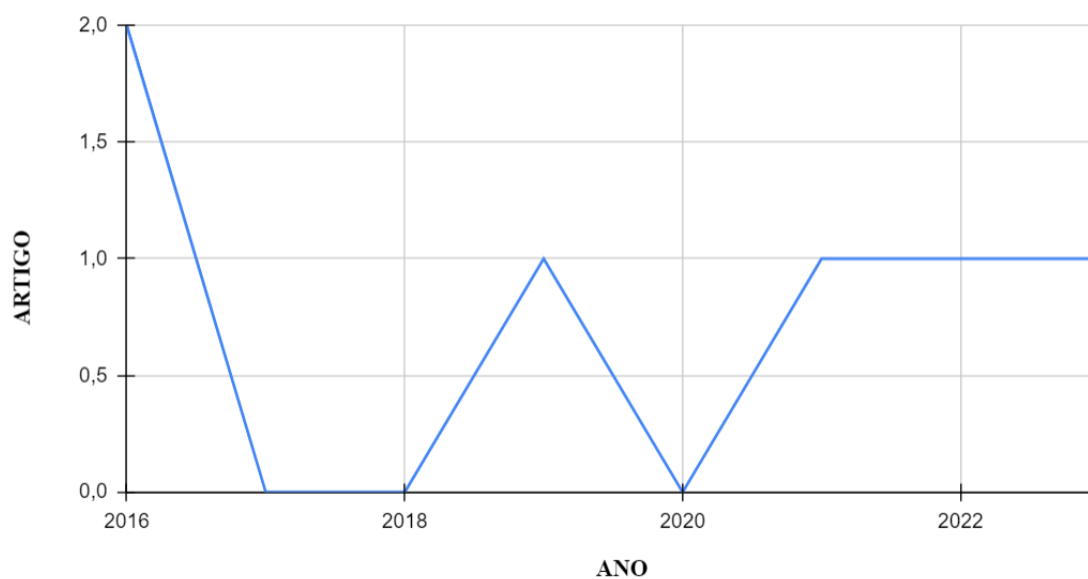


Figura 3 - Relação de publicações anualmente, no Brasil

Tabela 4 – Quantidade de artigos por ano no Brasil

ANO	ARTIGO
2016	2
2017	0
2018	0
2019	1
2020	0
2021	1
2022	1
2023	1

Observa-se que o Brasil ainda não possui um grande acervo de publicações, com uma média de 0,7 artigos por ano em uma faixa de tempo compreendida entre 2016 e 2023.

3.2 Análise de locais publicados

A Tab. 5 demonstra uma tendências de países que mais investiram e tiveram interesse nessa área de pesquisa. A China se destaca em primeiro, com 95 documentos publicados. Segundo o Portal Energia (2023), a China é a maior exportadora de tecnologia solar, buscando uma firme consolidação em alta suficiência na produção de energia, buscando uma competição com países como Estados Unidos e Índia, estando de acordo com a tabela.

Tabela 5 – Produção científica por países

PAÍS	FREQUÊNCIA
CHINA	95
USA	65
INDIA	45
UK	18
BRAZIL	16
GERMANY	15
JAPAN	15
ITALY	13
AUSTRALIA	11
EGYPT	11

3.3 Análise de autores

Tendo as citações como base, podemos ver na Tab. 6 que os autores mais citados mundialmente são *NA* e *PILON L*, com 8 e 4 publicações, respectivamente. Já no Brasil (Tab. 7), se percebe uma quantidade distribuída igualmente.

Tabela 6 – Autores mais relevantes mundialmente

AUTOR	ARTIGO	ARTIGO FRACIONALIZADO
NA NA	8	8,00
BORETTI A	2	2,00
PILON L	4	1,53
BERBEROĞLU H	2	1,00
ORAK C	2	1,00
YÜKSEL A	2	1,00
GIANNAKIS S	1	1,00
ISMAEL M	1	1,00
KHOUYA A	1	1,00
RAZEGHIFARD R	1	1,00

Tabela 7 – Autores mais relevantes no Brasil

AUTOR	ARTIGO	ARTIGO FRACIONALIZADO
ACIÉN FERNÁNDEZ FG	1	0,17
ALMEIDA LC	1	0,10
ALVAREZ LAC	1	0,13
ARAÚJO CM	1	0,10
BARONI S	1	0,11
BERGAMASCO R	1	0,11
BORBA FH	1	0,11
CABRERA LC	1	0,11
DA SILVA AF	1	0,10
DA SILVA AR	1	0,13

3.4 Palavras-chaves associadas

Para uma boa visualização das palavras mais usadas, foi usado o WordCloud e o TreeMap (Fig.s 4 e 5), mostrando bom entendimento sobre as maiores associações nessa área. Se torna muito interessante para aqueles que querem iniciar um estudo na área e entender ramos para onde se pode investir, ou até entender ramos pouco valorizados, e realizar uma tentativa de inovação.

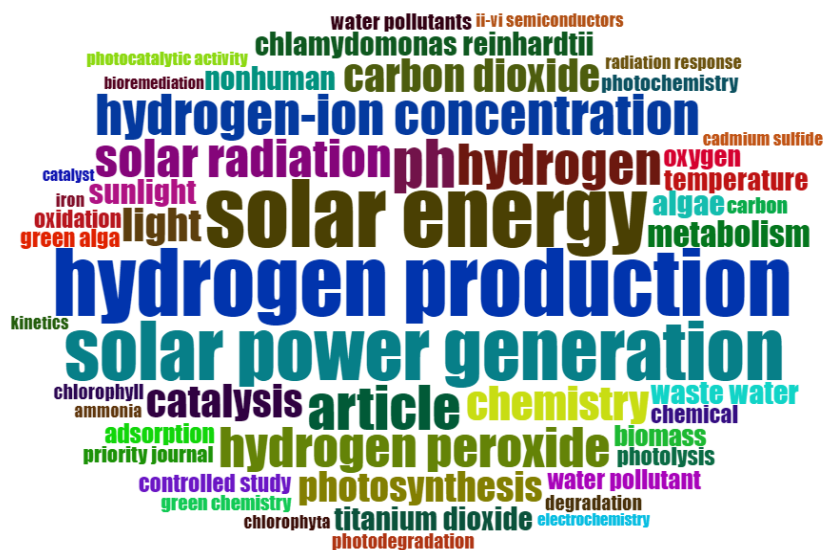


Figura 4 - WordCloud com palavras-chave

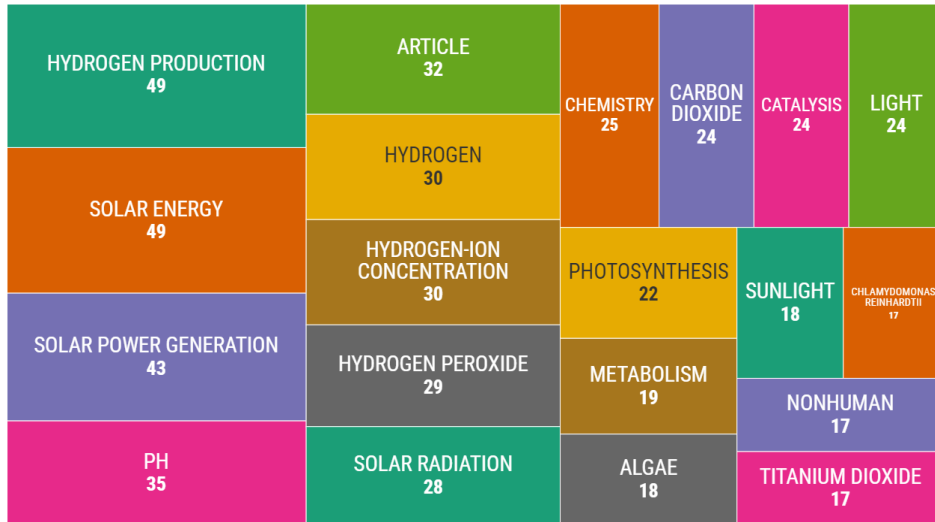


Figura 5 - TreeMap com palavras-chave

Outra boa forma de uma leitura dessas palavras, se encontra no gráfico de co-ocorrência (Fig. 6), que mostra as maiores correlações entre as palavras de interesse (ou seja, concentradores solares e hidrogênio verde). Essa ferramenta é boa para encontrar uma linha de sentido em determinados ramos.

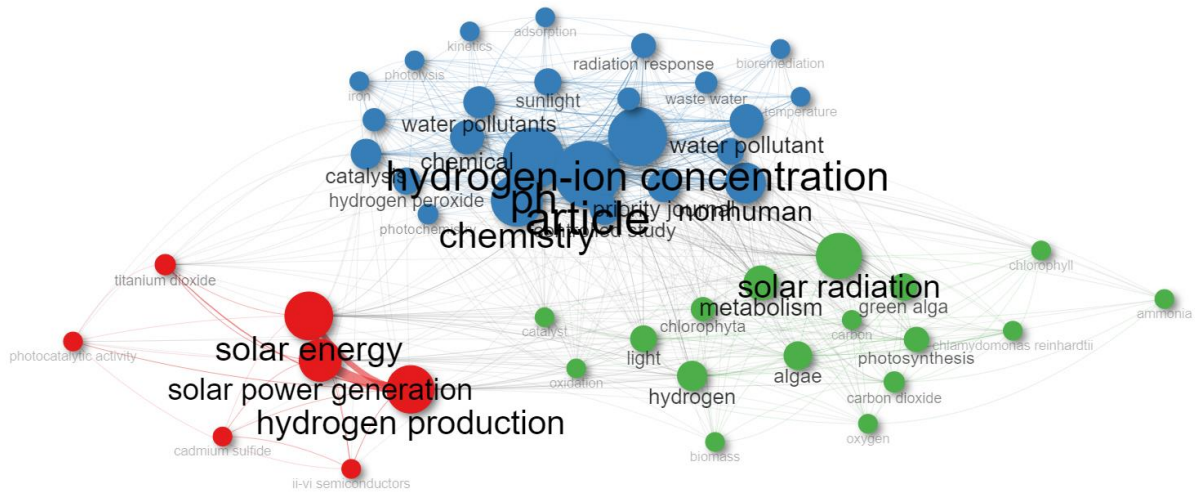


Figura 6 - Gráfico de co-ocorrência das palavras chaves

3.5 Fontes mais importantes

Saber as fontes mais relevantes pode dar uma margem de entendimento e iniciativa para uma boa base de pesquisa e conhecimento. Elas podem indicar mais respaldo e assertividade na revisão bibliográfica, por exemplo. Globalmente está na Fig. 7 e no Brasil na Fig. 8.

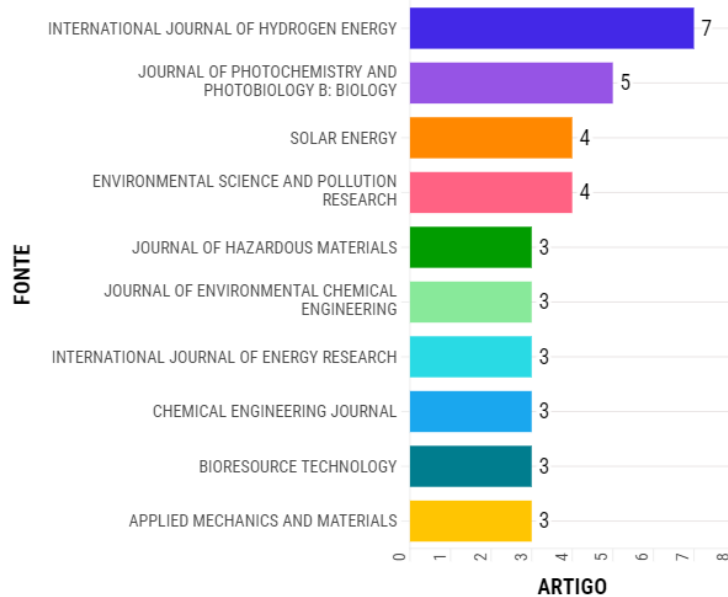


Figura 7 - Fontes mais usadas mundialmente

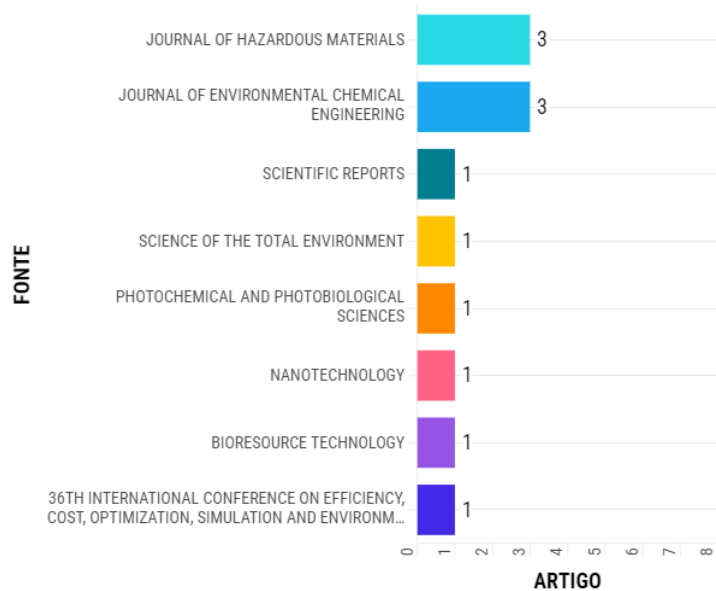


Figura 8 - Fontes mais usadas no Brasil

3.6 Afiliações mais importantes

A utilização de concentradores para produção de hidrogênio teve como precursor a Universidade da Califórnia, investindo desde 2006, e se tornando atualmente a afiliação com o maior número de publicação na área. Vemos que muitas outras universidades (maioria chinesa) e institutos começaram a trabalhar em publicações de forma mais recente, demonstrando um interesse inicial e uma possível justificativa da relativa baixa de quantidade de publicações, porém pode ser indício de um interesse mais amplo futuramente.

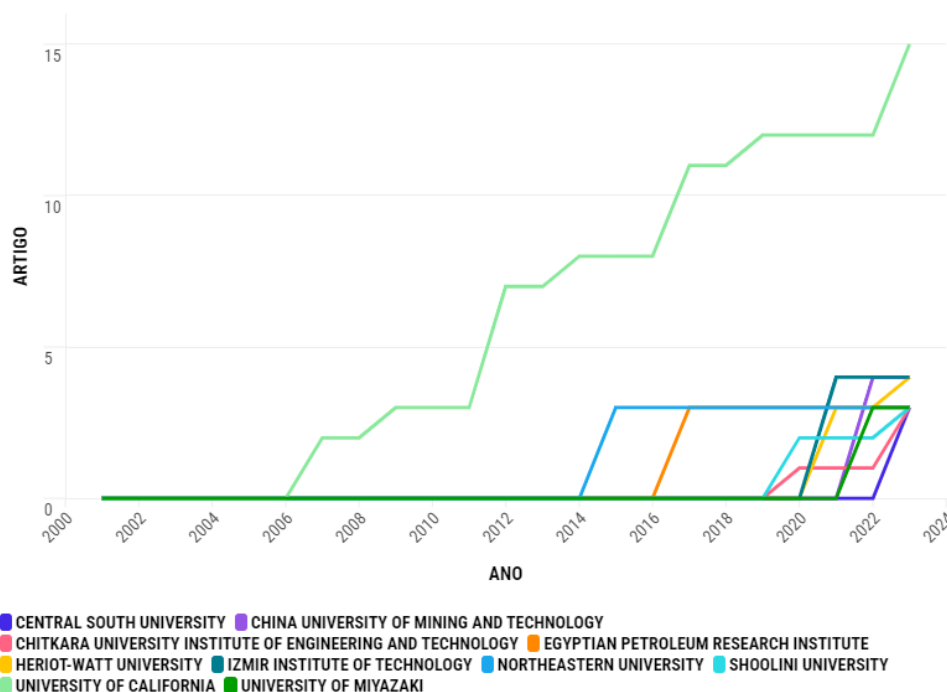


Figura 9 - Crescimento anual das afiliações

4. CONCLUSÕES

A busca por essa fonte de energia está relacionada à necessidade da diminuição das emissões de carbono e a busca por um processo de transição energética, diversificando as matrizes energéticas e descentralizando a produção de energia. Além disso, o uso do hidrogênio verde contribui para diminuir a dependência do carvão, que tem sido muito utilizado como matriz energética desde a revolução industrial.

A partir do exposto, pode-se concluir que as pesquisas na área de produção de hidrogênio verde a partir da energia solar têm apresentado um constante crescimento nos últimos 20 anos, sendo a China o país que tem liderado com o maior número de produções científicas, seguido pelos Estados Unidos e pela Índia.

Um dos motivos que justificam esse aumento são os acordos assinados por diversos países. O acordo de Paris, assinado por países de todo o mundo em 2015, juntamente com a Iniciativa da Energia do Hidrogênio do G20, têm estabelecido metas para diminuir a emissão de carbono além de acordos de cooperação para acelerar a transição energética dos países, diversificando as matrizes energéticas e descentralizando a produção de energia. Além disso, o uso do hidrogênio verde contribui para diminuir a dependência do carvão, que tem sido muito utilizado como matriz energética desde a revolução industrial.

A participação do Brasil, comparada com outros países, tem ocorrido de forma pouco expressiva, embora o país possua um alto potencial para geração de energia solar, devido a sua proximidade com a linha do equador e o seu clima tropical, que juntos resultam em uma alta incidência de raios solares o ano todo.

A baixa quantidade de publicações no Brasil não significa que essa área tem baixo potencial, mas sim que é uma área que começou a ser explorada recentemente e que tem uma grande chance de ser mais explorada nos próximos anos devido ao seu grande potencial.

Agradecimentos

As gratificações deste artigo irão às fundações FUNCAP e CNPQ. Não menos importante, agradecemos também à GIZ e ao H2 Brasil pelo apoio financeiro prestado através do projeto: Sistema Híbrido de Produção de Hidrogênio Verde utilizando Células de Dessalinização e Eletrólise Microbiana acopladas à Reforma a Vapor do Glicerol com Força Solar.

REFERÊNCIAS

- O hidrogênio verde: uma alternativa para reduzir as emissões e cuidar do nosso planeta. Iberdrola, [2020?]. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/hidrogenio-verde>. Acesso em: 26 out. 2023.
- What is a solar concentrator?. Atria, 13 jan. 2022. Disponível em: <https://atriaenergia.com/que-es-un-concentrador-solar/?lang=en> . Acesso em: 26 out. 2023.
- SCHREIBER, Mariana. De ‘vira-lata’ a aliança global no G20: biocombustível ganha força e deve gerar negócios para Brasil. **BBC News Brasil**, 09 set. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cg31l7zre1go>. Acesso em: 28 out. 2023.
- REIS, Pedro. China quer proibir a exportação de tecnologia solar fotovoltaica. **Portal Energia**, 01 mar. 2023. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/china-proibir-exportacao-tecnologia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 30 out. 2023.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, [2017?]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html> . Acesso em: 29 out. 2023.
- Rawat, K. S., & Kumar, R. (2023). Insight into the novel low cost green air pollution monitoring and control systems: A technological solution from concept to market. *Journal of Cleaner Production*, 427, 139218.
- Zhang, Y., Wang, Z., Du, Z., Li, Y., Qian, M., & Wang, L. (2023). Techno-economic analysis of solar hydrogen production via PV power/concentrated solar heat driven solid oxide electrolysis with electrical/thermal energy storage. *Journal of Energy Storage*, 72, 107986.
- Abbasi, S., Roushani, M., Haeri, S. A., & Heydarzadeh, S. (2023). Solar energy-based electromembrane extraction using agarose gel for the determination of nonsteroidal anti-inflammatory drugs from biological samples: An environmentally friendly strategy. *Journal of Chromatography A*, 1706, 464233.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF PUBLICATIONS RELATED TO HYDROGEN PRODUCTION AND SOURCE BY SOLAR CONCENTRATOR

Abstract. *Renewable energies have been gaining more and more ground in Brazil's and the world's energy matrices, as they are a viable alternative for solving energy problems around the globe. The use of hydrogen in conjunction with heliothermal solar energy, using solar concentrators, can provide a new clean energy modality, further contributing to the solidification of renewable energies as the world's main energy category. Brazil is a country rich in solar incidence and can use it to produce this hydrogen and export it to other regions. Therefore, this work seeks to survey the work being published in Brazil and around the world that relates to Green Hydrogen and the use of Solar Concentrators for its production, showing the institutions that are developing research, the main authors and locations, among other characteristics. This paper analyzes documents found in the Scopus database using the Bibliometrix R package tool. 149 documents were found distributed in 112 sources around the world, such as articles, journals, books, etc. The number of publications on the subject grew around the world between 2001 and 2023. However, in Brazil, the number of publications is more modest compared to other countries. Therefore, this work seeks to show that issues related to hydrogen and its production through solar concentrators based on heliothermal solar energy are gaining ground, but that there is also a lot of potential yet to be explored.*

Keywords: *Solar Concentrator, Green Hydrogen, Bibliometric Review*