

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DAS INOVAÇÕES EM TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NA BASE SCOPUS.

Marcelo Rocha Braga – marcelorbrg@outlook.com

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Mecânica

William Neves da Silva

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Mecânica

Ana Fabíola Leite Almeida

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Mecânica

Francisco Nivaldo Aguiar Freire

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Mecânica

Paulo Alexandre Costa Rocha

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. *O presente trabalho consiste em um breve estudo bibliométrico da inovação em tecnologias de geração de energia solar e suas aplicações, utilizando a base de dados Scopus. A coleta de dados foi realizada por meio de ferramentas computacionais, e com foco na produção científica mundial da última década. Examinou-se o desempenho científico da energia solar como um todo, e tópicos relacionados à energia fotovoltaica e aplicações dos sistemas de energia solar; verificando a variação do interesse nestes assuntos com o passar dos anos, simbolizado pela quantidade de documentos enviados na base de dados em cada ano. Além disso, foram selecionados, e brevemente discutidos, artigos e patentes relevantes aos termos pesquisados, de modo a contextualizar o panorama científico e tecnológico envolvendo os mesmos. Os resultados foram bastante diversificados, apresentando itens com alta tendência de crescimento, como por exemplo o tópico de células solares de perovskita, que apresentou um aumento de cerca de 850% em envio de publicações em 6 anos na base de dados SCOPUS, e outros com estabilidade ou queda, permitindo uma discussão relevante sobre que futuro aguarda esta modalidade de energia renovável, bem como seu impacto no desenvolvimento humano.*

Palavras-chave: *Energia Solar; Inovação; Bibliometria*

1. INTRODUÇÃO

A contribuição da pesquisa científica é essencial no desenvolvimento de novas tecnologias, e com o acesso facilitado à informação na modernidade, a difusão de conhecimento tem aumentado, resultando em mais domínio sobre um determinado tópico, além de novas ideias oriundas do mesmo. A ciência tem desde sempre sido aliada à inovação, afinal “O empreendimento científico e tecnológico do ser humano ao longo de sua história é, sem dúvida alguma, o principal responsável por tudo que a humanidade construiu até aqui.” (IPEA, 2019).

A análise do progresso científico e tecnológico pode construir caminhos para o desenvolvimento, e além disso, pode garantir que este desenvolvimento ocorra de maneira sustentável, visto que recentemente há um grande incentivo à adesão de medidas ecologicamente corretas quando se trata da criação de novas tecnologias. Pode-se afirmar que a geração de energia por fontes renováveis é um dos tópicos mais discutidos no que se diz respeito a este tipo de pensamento e é cada vez mais necessário investir no estudo das mesmas de modo a acomodar a crescente demanda por energia no mundo.

Porém, o estudo e desenvolvimento de tecnologias nesta área pode proporcionar muito mais que suprir uma demanda ou reduzir a poluição, os métodos de geração de energia por fontes renováveis também chamam atenção por sua acessibilidade e a possibilidade de conceder ainda mais autonomia para o ser humano. A energia solar é um ótimo exemplo deste fato, visto que a luz solar é um recurso totalmente renovável, constante e consistente, e as tecnologias relacionadas à conversão deste recurso em energia já são aplicadas em diversos dispositivos, por exemplo, permitindo-os gerar a própria energia.

Tendo em vista isso, o presente trabalho tem como finalidade uma breve análise do cenário atual da pesquisa científica relacionada a tecnologias de energia solar. De forma mais direta, procura-se focar nos tópicos considerados mais inovadores neste âmbito, utilizando-se do método de pesquisa bibliométrica com auxílio de ferramentas computacionais.

2. METODOLOGIA

Este trabalho teve como finalidade a realização de uma análise bibliométrica, que é uma “técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico” (ARAÚJO, 2006, p.12).

Para isto, diversas ferramentas foram utilizadas, em especial a plataforma de pesquisa da base de dados Scopus, da Elsevier, que se apresenta como o maior banco de dados de resumos e citações da literatura com revisão por pares (BURNHAM, 2006).

A utilização da base de dados Scopus para este trabalho se resume no uso de seu mecanismo de pesquisa Scopus Search, que pode ser acessado por usuários registrados na plataforma. O recurso contém inúmeras ferramentas para refinar a pesquisa, por meio da seção de pesquisa avançada, dentre eles modificadores para especificação de ano de publicação, país de origem, tipo de documento, campo de conhecimento, entre outros.

Para este trabalho, por exemplo, foram empregados os modificadores de pesquisa *TITLE-ABS-KEY*, que especifica a pesquisa das palavras-chave em títulos, resumos e seções de palavras-chave, *PUBYEAR*, para limitar os resultados em certos anos de publicação ou intervalos e *AFFILCOUNTRY*, para limitar os resultados em países de origem específicos, com a finalidade de colocar em evidência cenários distintos do ambiente científico referente ao tema.

Porém, devido ao escopo deste tema, e à necessidade de pesquisar múltiplos tópicos e obter dados quantitativos de publicações com o passar dos anos, foi necessária uma abordagem diferenciada para facilitar a coleta destas informações. Para isto, foi empregado o uso de programação computacional, de modo a produzir um código que automatize a pesquisa e organize os dados desejados para apresentação.

A linguagem Python foi escolhida para este propósito, devido à facilidade de uso, além da existência de uma biblioteca centrada no uso do *Scopus Search*, que foi utilizada neste trabalho, chamada de *Pybliometrics*. O pacote, desenvolvido por Rose e Kitchin (2017), consiste em uma maneira simplificada de extrair dados diversos da base de dados Scopus, por meio do uso de seu mecanismo de pesquisa. No trabalho em questão, foi empregado o comando *ScopusSearch* desta biblioteca, exemplificado na Fig. 1.

```
keya='TITLE-ABS-KEY ( Solar AND energy) '
sa=ScopusSearch(keya, subscriber=False,download=False)
sresa=sa.get_results_size()
```

Figura 1 - Exemplo simples de uso da biblioteca *Pybliometrics*.

A variável *keya* contém o que será pesquisado, com a sintaxe usada no mecanismo de pesquisa da base de dados Scopus, a variável *sa* armazena os resultados da pesquisa empregando o comando *ScopusSearch*, que é executado utilizando as palavras-chave contidas em *keya*, além de especificações extras como a existência de inscrição nos serviços da Elsevier e a opção de fazer download dos arquivos. Em seguida, é extraída a quantidade de documentos destes resultados por meio de *get_results_size()*, e guardado em *sresa*.

O exemplo apresentado obterá apenas os resultados gerais do termo pesquisado até o momento da pesquisa. De modo a especificar um intervalo de tempo ou país de origem, foram utilizados tanto modificadores de pesquisa do Scopus Search na string armazenada em *keya*, quanto uma função loop para consultar múltiplos anos de publicação. Além disso, o programa elaborado possibilita a pesquisa de múltiplos tópicos ao mesmo tempo replicando a mesma lógica com mais variáveis, adicionando por exemplo uma *keyb*, *sb* e *sresb*, facilitando a confecção de gráficos e tabelas. Um exemplo desta configuração é mostrado na Fig. 2.

```
keya='TITLE-ABS-KEY ( Solar AND Energy ) AND PUBYEAR = 2009'
keyb='TITLE-ABS-KEY ( Solar AND Cells ) AND PUBYEAR = 2009'

old=['2009','2010','2011','2012','2013','2014','2015','2016','2017',
'2018','2019']
new=['2010','2011','2012','2013','2014','2015','2016','2017','2018',
'2019','2020']

for i in range(len(old)):
    keya=keya.replace(old[i],new[i])
    keyb=keyb.replace(old[i],new[i])
    sa[i] = ScopusSearch(keya,subscriber=False,download=False)
    sb[i] = ScopusSearch(keyb,subscriber=False,download=False)

for x in range(11):
    sresa[x]=sa[x].get_results_size()
    sresb[x]=sb[x].get_results_size()
```

Figura 2 - Código de pesquisa refinada para múltiplos tópicos.

O código executa um loop com o laço *for* para substituir um ano anterior pelo seguinte, armazenar os resultados deste ano e repetir o processo até o final do intervalo. Assim, no exemplo, obtém-se uma lista com os resultados dos anos 2010 a 2020 nas variáveis *sresa* e *sresb* que foram utilizadas para plotar os gráficos necessários, bem como outras estatísticas. Com isso foi estabelecido o método pelo qual a maioria da pesquisa quantitativa presente neste trabalho foi realizada.

Com os mecanismos necessários para efetuar a análise bibliométrica, foi preciso então determinar as palavras-chave que seriam utilizadas baseadas no escopo deste trabalho. A pesquisa realizada neste estudo foi agrupada em três seções distintas, a primeira estabelece uma análise sobre a produção científica acerca de energia solar como um todo, a segunda procura focar na inovação em tecnologias de energia solar, dividindo-se entre tópicos referentes a materiais de células fotovoltaicas e tópicos referentes a aplicações das tecnologias de geração de energia solar. A terceira seção faz uma breve análise de patentes para avaliar o progresso tecnológico dos temas de interesse.

É importante mencionar o emprego do software de visualização de panoramas científicos VOSviewer (VAN ECK, WALTMAN, 2010), que utiliza dados exportados de qualquer base de dados compatível para confeccionar uma rede ou grafo de informações bibliométricas, seja mostrando as palavras-chave com mais co-ocorrências, quanto os autores mais citados. Este programa serviu de auxílio tanto para a definição dos tópicos pesquisados quanto para incrementar a apresentação dos resultados, como está apresentado na seção de resultados.

É válido apontar, porém, que devido a limitações da exportação de dados na base Scopus, apenas os dados dos primeiros 20000 documentos de cada pesquisa puderam ser obtidos. Estes dados contém, para cada documento, informações de citações, bibliografia, resumo, palavras-chave, detalhes de financiamento, entre outros. Todas estas informações foram armazenadas em um arquivo *CSV*, podendo assim ser utilizadas em softwares como VOSviewer.

Adicionalmente, de modo a acrescentar contextualização aos resultados quantitativos, foi examinado e comentado um pouco o conteúdo de artigos diversos relevantes aos tópicos consultados, procurando-se focar nos documentos que mais apresentaram potencial de inovação e englobam bem os assuntos em questão. Para esse fim, foi utilizada ainda a base de dados Scopus juntamente com seus filtros de resultados, e além disso também foi empregado o mecanismo de pesquisa *Google Scholar*, de modo a abranger mais resultados, já que o mesmo possui uma presença maior de documentos em língua portuguesa.

Além do que foi apresentado, foi utilizada a seção de patentes da base Scopus, permitindo um outro olhar sobre o progresso da inovação tecnológica acerca do tema. O propósito deste tipo de pesquisa foi averiguar o quanto um determinado assunto proporciona novas ideias, visto que uma patente “corresponde ao marco legal, mundo afora, no que se refere aos direitos relativos a determinados objetos intangíveis ou criações do intelecto humano.” (FERREIRA; GUIMARÃES; CONTADOR, 2009, p.211). É bom salientar que o pacote *Pybibliometrics* não obtém os dados quantitativos de patentes, portanto esta parte da pesquisa foi feita manualmente no próprio website da base Scopus.

3. RESULTADOS

São apresentados nesta seção os resultados da análise bibliométrica envolvendo energia solar, com um foco em suas tendências e novas tecnologias, utilizando as ferramentas escolhidas.

3.1 Desempenho geral da produção de documentos relacionados a energia solar

Foi realizado um levantamento geral acerca da evolução da produção anual de documentos que contenham as palavras-chave “Solar Energy” em seu título, resumo ou seção de palavras-chave (TITLE-ABS-KEY) na base de dados Scopus. O código executado utiliza o Scopus search para uma pesquisa individual por ano de publicação, dos anos 2000 a 2022, permitindo a confecção da Fig. 3.

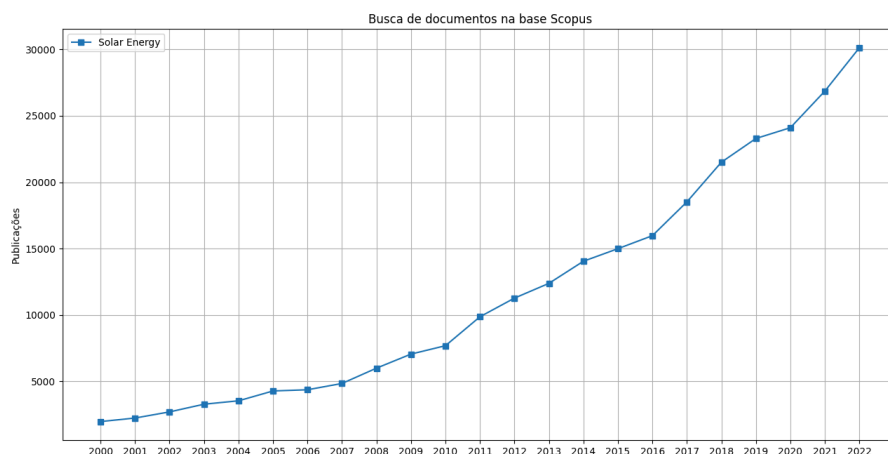


Figura 3 - Publicações anuais no mundo todo sobre energia solar na base Scopus.

Pode-se observar que o número de publicações anuais tem mantido um crescimento estável, chegando ao patamar de mais de 20000 documentos ligados à energia solar na base de dados. A partir dos dados obtidos, também foi calculada a taxa de crescimento médio anual, de 11,45% aproximadamente. A Tabela 1 mostra resumidamente alguns

dados relevantes à pesquisa, incluindo o número de documentos que tem o Brasil como país de origem e patentes relacionadas.

Tabela 1 - Dados bibliométricos resumidos em 12/09/2023

DESCRIÇÃO	RESULTADOS
Número total de documentos até o dia 12/09/2023	331760
Total de documentos de 2000 a 2022	270877
Crescimento médio anual de publicações 2000 a 2022	11.51%
Documentos originados do Brasil	4165
Patentes	540799

Por meio do código desenvolvido em Python que realiza a captação da quantidade de publicações baseados em múltiplos critérios, é viável analisar a produção científica no mundo. A Fig. 4 mostra o desempenho anual dos 10 países aos quais foram mais associados documentos relacionados à energia solar produzidos de 2010 a 2022 (utilizando o modificador “AFFILCOUNTRY” na execução do ScopusSearch) .

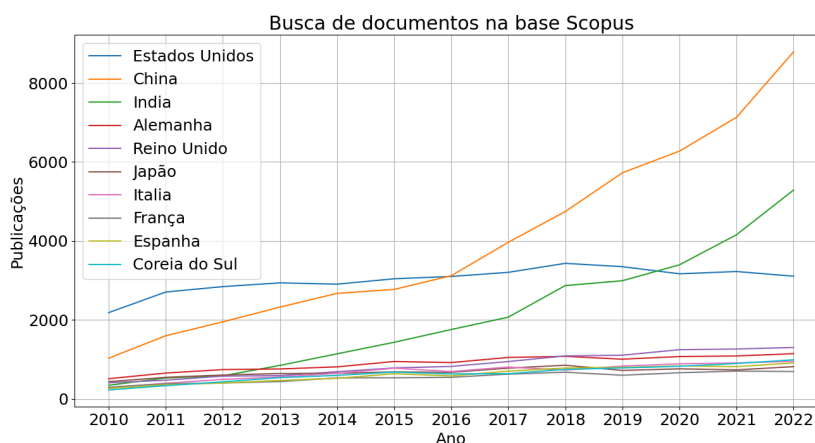


Figura 4 - Produção de documentos por país afiliado.

Nota-se que 3 países dominam os estudos científicos nesta área: China, Índia e Estados Unidos, com os dois primeiros apresentando um rápido crescimento recentemente, enquanto o último se mantém razoavelmente estável. Os demais países mantêm desempenhos semelhantes em comparação, porém ainda apresentando um crescimento relevante. De modo a demonstrar o panorama brasileiro nesta área, também foi efetuada uma análise por meio do mesmo programa de bibliometria geral, gerando a Fig. 5:

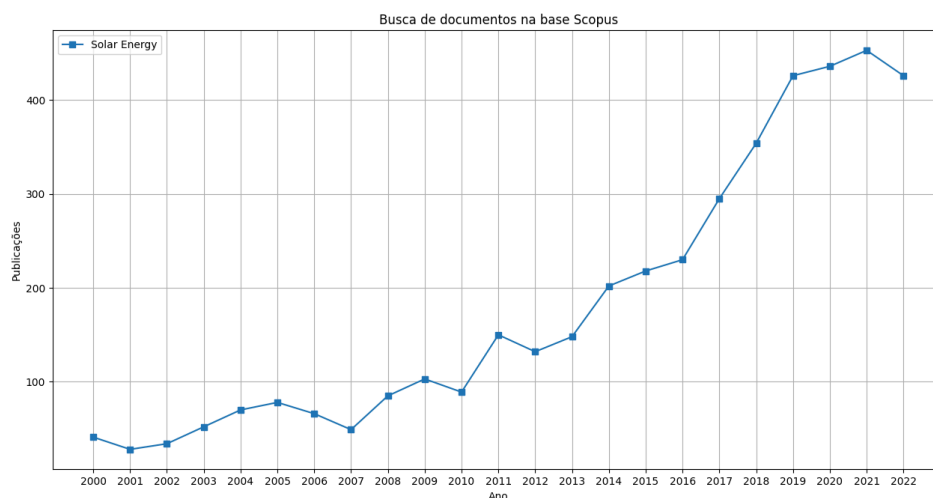


Figura 5 - Documentos relacionados à energia solar tendo o Brasil como país de origem.

Embora não esteja entre os países com maior produção de conteúdo deste tópico, nota-se pela Fig. 5 um razoável crescimento no interesse em energia solar no Brasil, especialmente a partir de 2016, onde por 3 anos seguidos

apresentou-se um elevado e linear aumento no envio anual de publicações, chegando a mais de 400 documentos por ano em 2019.

Por fim, com a ajuda do software VOSviewer, foi possível realizar uma análise das palavras-chave com co-ocorrência com o termo “Solar Energy”, exportando os dados bibliométricos de vinte mil documentos de 2010 a 2022, ordenados por relevância, da base de dados Scopus em um arquivo CSV. O software produz o grafo presente na Fig. 6, que demonstra o estado da pesquisa científica acerca de energia solar neste período, em forma de "rede", em que palavras-chave são interconectadas baseadas em sua ocorrência.

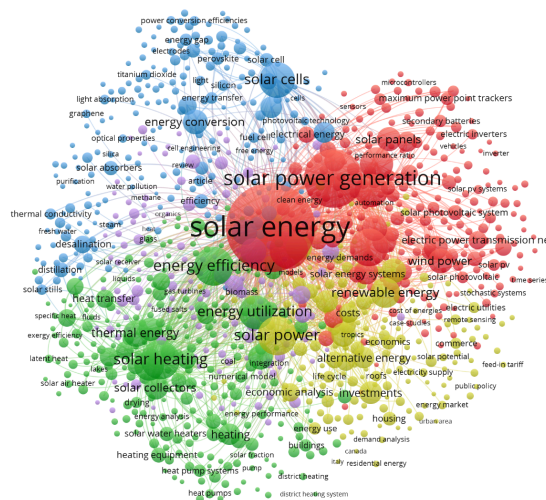


Figura 6 - Grafo de co-ocorrências com as palavras-chave “Solar Energy” (2010-2022).

A Fig. 6 mostra uma visualização superficial desta “rede”, seus itens são agrupados por semelhança e força de conexão (baseado em co-ocorrência) automaticamente em clusters de cores diferentes. O tamanho das esferas é baseado no número de ocorrências de suas respectivas palavras-chave.

Tendo um entendimento geral sobre o estado atual da pesquisa científica sobre energia solar, é possível focar no escopo que este trabalho pretende alcançar: As novidades que envolvem este tipo de energia renovável, suas aplicações, viabilidade e progresso.

Serão mostrados os mais recentes desenvolvimentos tanto na geração de energia quanto na implementação de suas tecnologias em situações diversas, e analisados o desempenho destas inovações bibliométricamente.

3.2 Resultados sobre células solares fotovoltaicas.

Esta seção abordará uma análise das diversas tendências e inovações relacionadas ao processo de geração de energia utilizando painéis fotovoltaicos, permitindo uma noção sobre o caminho que este tipo de tecnologia está seguindo, bem como o que o futuro aguarda para a mesma. Com o auxílio do VOSviewer novamente, o grafo na Fig. 7 foi produzido para ajudar a visualizar os variados desenvolvimentos ligados a células solares. Os dados utilizados na execução do programa foram exportados da base de dados SCOPUS, sendo estes os 20000 primeiros resultados classificados por relevância, dos anos 2010 a 2022.

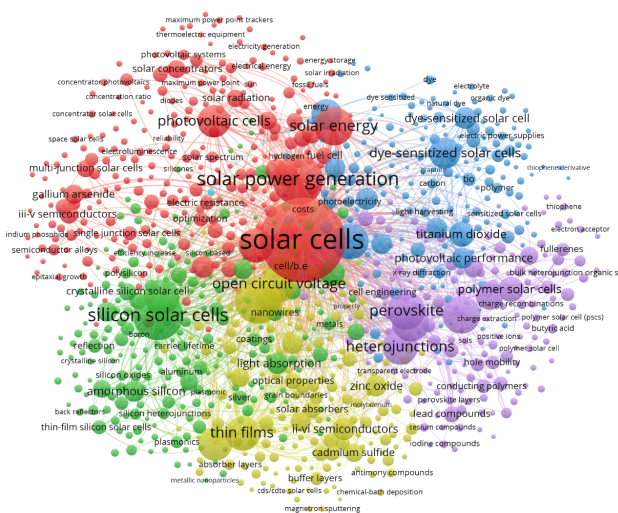


Figura 7 - Grafo de co-ocorrência de palavras-chave envolvendo células solares.

Com o auxílio deste grafo, foram escolhidas 4 variações de palavras-chave envolvendo células solares de painéis fotovoltaicos, baseados em sua relevância e tendências, sendo estas: “Perovskite Solar Cells”, “II-VI Semiconductors Solar Cells”, “Dye Sensitized Solar Cells” e “Organic Solar Cells”. Tratam-se de células solares desenvolvidas utilizando respectivamente Perovskita, Semicondutores II-VI, materiais sensibilizados por corante e materiais orgânicos.

A Fig. 8 demonstra os resultados obtidos ao executar o programa, no dia 13/09/2023, utilizando as palavras-chave mencionadas anteriormente, com o número de publicações anuais de cada tópico de 2010 a 2022.

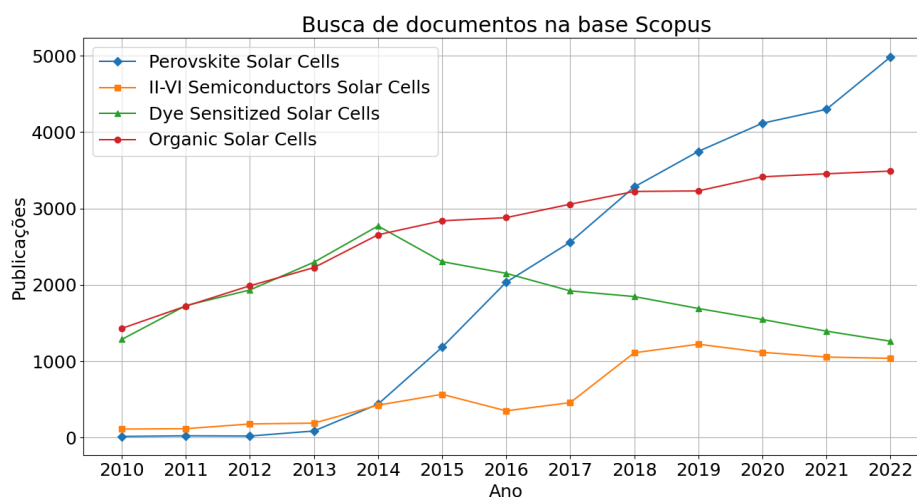


Figura 8 - publicações para múltiplos tipos de células solares.

Uma breve análise do gráfico mostra quatro cenários bem distintos em seus padrões de crescimento. É relevante comentar o aumento do interesse em células solares orgânicas, sendo esta a combinação de palavras-chave que mais obtiveram resultados, a mais popular dentre as quatro em 2010 mantendo um crescimento estável de até 3415 resultados para o ano de 2020, onde a partir deste ponto sofreu uma certa estagnação. Este tipo de tecnologia “apresenta algumas vantagens, como a simples preparação, leveza, baixo custo, flexibilidade e fabricação de grande escala, atraindo muita atenção nos anos recentes” (CHENG, ZHAN, 2016, p. 2544, tradução nossa). Entretanto ainda possui uma eficiência a desejar, chegando a cerca de 11% (ENERGYSAGE, 2021).

No caso das células solares sensibilizadas por corante, ou DSSC, nota-se um padrão curioso no gráfico, onde até 2014 o número de publicações anuais seguia uma tendência crescente, porém, a partir de 2015 a produção científica acerca do tópico tem entrado em declínio, indo de 2767 publicações anuais para a marca de 1500.

Segundo Sharma (2018), células DSSC convertem fótons em eletricidade por meio da injeção de elétrons de moléculas de corante excitadas em uma lacuna de banda de semicondutor. Este tipo de célula pertence ao grupo de células solares de película fina, que tem estado sob extensa pesquisa há décadas devido ao seu baixo custo e facilidade de produção. Porém ainda há muito a ser desenvolvido quanto às células sensibilizadas por corante, visto que os materiais atuais possuem alto custo e em geral providenciam baixa eficiência.

Observando a Fig. 8 novamente, verifica-se um outro padrão peculiar no que se refere ao desempenho das palavras-chave “II-VI Semiconductors Solar Cells”. Para estas, houve um sutil crescimento na publicação de documentos até meados de 2017, onde os resultados dobraram para o patamar de 1000 publicações no ano seguinte, então se mantendo levemente constante nesta marca até 2022.

“Semicondutores II-VI tais como ZnS, CdS, e CdTe são uma classe especial de materiais com propriedades entre aquelas de isoladores e condutores, compreendendo elementos dos Grupos II e VI da Tabela Periódica” (MIAO, 2015, p.3, tradução nossa), embora não sejam uma tecnologia nova, estes materiais têm sido utilizados para compor novas placas fotovoltaicas com desempenho promissor, como as de Telureto de Cádmio, CdTe, em que testes recentes obtiveram eficiência recorde de 20% (ZHANG, 2017). Porém esta tecnologia ainda enfrenta desafios, como a alta toxicidade de alguns dos materiais utilizados.

Finalmente apresenta-se o termo mais promissor a ser discutido, células solares de perovskita, que alcançou um aumento da produção anual de documentos de mais de 850% em 6 anos (de 450 publicações anuais para quase 4000), tornando-se o termo de maior desempenho dentre os quatro escolhidos. Além disso, seu surgimento tem sido relativamente recente, na Fig. 8 percebe-se que o número de publicações só começou a crescer de maneira notável a partir de 2013. Anteriormente a este ano o número de resultados era inferior a 100.

Células solares de perovskita são uma tecnologia fotovoltaica derivada de células solares sensibilizadas por corante, baseada em haletos organometálicos, que tem se mostrado promissora pela sua alta eficiência obtida em poucos anos de estudo, crescendo de aproximadamente 10% para 18% em apenas 2 anos (PARK, 2015).

A performance deste tipo de célula não é seu único atrativo. “Além de terem alta eficiência, as PSCs podem ser preparadas com materiais e técnicas de baixo custo, tornando-se extremamente interessantes para comercialização em larga escala.” (RAPHAEL et al., 2018, p.63). De fato, isto pode explicar o grande incremento na produção científica acerca deste tópico.

3.3 Resultados sobre aplicações das tecnologias de geração de energia solar.

Nesta seção serão estudadas as diferentes formas nas quais a geração de energia solar fotovoltaica e térmica, pode ser empregada, seja por meio da aplicação da mesma de forma híbrida, no uso de suas tecnologias para produção de algo ou o auxílio dela no desenvolvimento sustentável. Portanto, alguns termos de pesquisa relevantes referentes a estes tópicos foram levados em consideração, e inseridos no programa em Python para análise, resultando na Fig. 9:

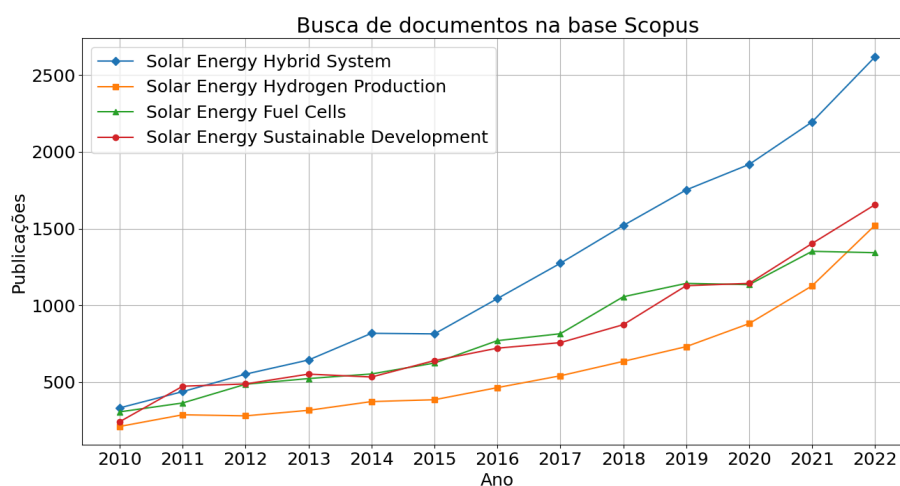


Figura 9 - publicações anuais para aplicações de energia solar.

Os assuntos escolhidos estão expostos na legenda do gráfico e, evidentemente, devido ao foco deste trabalho, todos estão pareados com as palavras “Energia Solar”. De cima para baixo, estes traduzem para: “Sistema Híbrido”, “Produção de Hidrogênio”, “Células de Combustível” e “Desenvolvimento Sustentável”. Inicialmente se pode comentar que todos os termos obtiveram crescimento expressivo em resultados nos últimos 12 anos, e partindo de quantidades de publicações anuais semelhantes.

As palavras-chave “*Solar Energy Fuel Cells*” resultam em conceitos variados, os documentos disponibilizados remetem tanto na produção de células de combustível utilizando energia solar quanto no uso de células de combustível juntamente com tecnologias de painéis fotovoltaicos para geração de energia, entre outras aplicações. Nota-se um crescimento estável neste tópico chegando a cerca de 1340 publicações anuais em 2022. De acordo com a Smithsonian Institution (2017) uma célula de combustível é um dispositivo que gera energia por meio de uma reação química em seus eletrodos, geralmente utilizando hidrogênio e oxigênio.

Um exemplo da fusão entre este conceito e a geração de energia solar fotovoltaica, que também se encaixa no conceito de sistemas híbridos de energia solar, é explorado por Lu, Zhu, Wang, Zhang e Li (2016), com a proposta de um sistema conjunto em que a célula de combustível se manteria em “espera” quando os níveis de radiação solar forem altos, e ativaria caso a geração de energia pelas placas solares não supram os requerimentos.

Seguindo adiante para outros termos de pesquisa, a busca por desenvolvimento sustentável com energia solar também leva a mais de uma linha de pensamento. De fato, a busca por energias renováveis é intrínseca para os objetivos do desenvolvimento sustentável, e o padrão crescente de resultados apresentados no Fig 9 mostra cada vez mais este fato, partindo de 242 documentos por ano em 2010 para 1664 em 2022.

O conceito de desenvolvimento sustentável pode, de acordo com a WWF, ser resumido a “o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações”. Diante disso, os trabalhos disponíveis centrados em energia solar providenciam novas maneiras em que esta tecnologia pode ser utilizada para reduzir o impacto ambiental humano. Um exemplo de estudo que atende a este critério é a proposta dos autores Panchal, Patel e Parmar (2018) de utilizar coletores solares no processo de pasteurização do leite, evitando assim o uso de aquecedores a base de combustíveis fósseis.

No artigo citado os autores mencionam o aumento da necessidade das indústrias de laticínios na Índia, e propõem a substituição de meios convencionais de energia utilizados no processo de tratamento térmico do leite, por aquecedores solares, que devido à pressão mundial pela descarbonização, tem sido bastante populares no mercado (PANCHAL, et al, 2018).

Os últimos dois itens a serem examinados são os que apresentaram uma taxa de crescimento significativa nos últimos anos, em especial o assunto de sistemas híbridos em energia solar, que obteve o maior rendimento. Ambos também apresentaram um crescimento alto e linear repentino a partir de 2015: As palavras-chave “*solar energy hybrid system*” tiveram um aumento de aproximadamente 27,11% em resultados no ano seguinte, e por 5 anos obtiveram um

crescimento anual médio estável de cerca de 18%. Já o tópico de produção de hidrogênio com energia solar passou de 377 documentos em 2015 para 1520 em 2022 e apresenta indícios de um crescimento ainda maior.

O interesse em sistemas híbridos contendo energia solar vem em geral da possibilidade de parear este tipo de tecnologia com outros métodos de geração de energia, comumente também renováveis, de modo a criar um sistema mais eficiente. Exemplificando este panorama, Cao, O’rourke e Lyons (2017) ao proporem um modelo híbrido de pequena escala, mencionam que energia solar e eólica são opções de conversão de energia bastante populares, e sugerem que a diversificação do suprimento de energia por meio de um sistema híbrido utilizando ambos criaria um sistema mais estável e contínuo de fornecimento.

Já o tópico de produção de hidrogênio com energia solar, remete ao emprego deste sistema de geração de energia para induzir uma reação química na água resultando na geração de gás hidrogênio, que é muito valorizado como combustível. Este procedimento pode ocorrer de diversas formas, Koumi Ngoh, e Njomo (2012) fazem uma breve análise sobre alguns dos métodos possíveis, divididos em processos fotoquímicos, que utilizam a luz solar para hidrólise, eletroquímicos, que utilizam a energia elétrica gerada para eletrólise e termoquímicos, que utilizam o calor da luz solar concentrada para o processo de termólise.

3.4 Resultados sobre Patentes.

Uma outra abordagem que pode ser aplicada para avaliação do progresso científico é a análise de patentes, verificando o registro de novas tecnologias e como os conceitos da geração de energia solar têm sido utilizados. Ainda na base de dados Scopus, foi realizada uma pesquisa utilizando as palavras-chave “Solar Energy” e “Solar Cells”, com os critérios de que os resultados contenham estas palavras no título, resumo ou seção de palavras chave, e então obtidos os dados quantitativos dos resultados anuais para estes termos, limitados aos anos de 2010 a 2022. Estes dados foram utilizados para a elaboração da Fig. 10.

Pode-se observar que ambos os tópicos apresentaram padrões semelhantes, analisando o gráfico, houve um aumento expressivo na adição de patentes dos anos 2010 a 2013, para as palavras-chave “Solar Energy” este crescimento foi em média de 15,56% por ano no período delimitado, para “Solar Cells” foi de 15,66% por ano, com uma breve estabilização nos anos seguintes, oscilando em torno da marca de 30000 patentes registradas anualmente.

As patentes relacionadas a estes tópicos são bastante diversificadas, uma rápida pesquisa por relevância de patentes associadas a energia solar resulta em, por exemplo, registros de protótipos de veículos híbridos que utilizam sistemas de energia solar, absorvedores solares, diferentes tipos de mecanismos de geração de energia com configurações únicas, entre outros. Enquanto isso, para células solares, uma grande parte do que se nota para títulos de patentes nos mesmos critérios se refere a composições e diferentes métodos de montagem e materiais de placas solares. Devido a limitações de acesso, não é possível realizar uma análise mais profunda de cada patente.

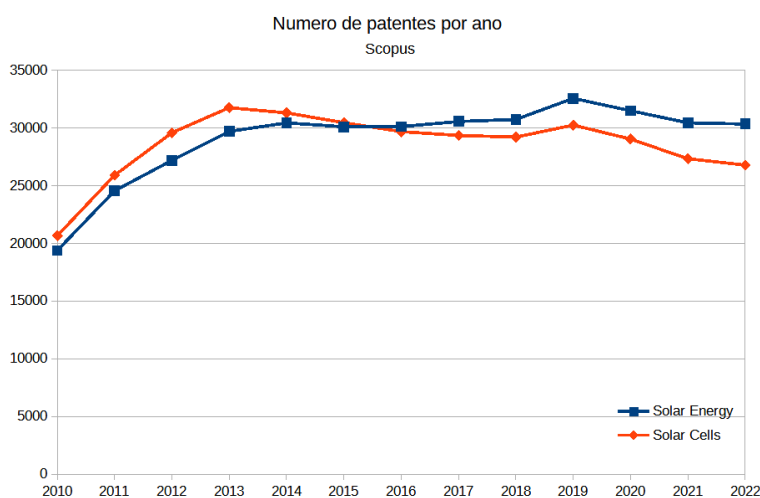


Figura 10 - Número de patentes registradas anualmente na base SCOPUS.

A grande quantidade de registros de novas tecnologias é um ótimo sinal para o futuro, afinal haverá uma maior possibilidade destas tecnologias serem convertidas em invenções que podem trazer mais conveniência e autonomia para muitos, sem falar no desenvolvimento de melhorias para as que já existem. Além disso, demonstra o comprometimento em otimizar os métodos de geração de energia, possibilitando que haja uma maior preferência por fontes renováveis ao invés de fósseis e garantindo um futuro sustentável.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram demonstradas diversas informações acerca do estado-da-arte atual da pesquisa científica acerca de energia solar, tanto fotovoltaica quanto heliotérmica e a importância desta pesquisa para o futuro, constituindo uma oportunidade de aprendizado, nesta seção, algumas considerações podem ser inferidas dos resultados obtidos.

A utilização da biblioteca *pybibliometrics* para análise computacional da base de dados Scopus se mostrou proveitosa, obtendo com agilidade os dados quantitativos dos termos pesquisados, tanto para a análise geral das palavras-chave “Solar Energy” quanto para termos mais específicos derivados. Além disso, as informações obtidas por meio desta exibiram um cenário otimista no desenvolvimento de tecnologias relacionadas à energia solar, de um modo geral, que apresentou uma taxa de crescimento anual médio de 11,45% no período examinado.

A pesquisa referente a tópicos de inovação apresentou resultados notavelmente variados, destacando-se o tema de células solares de perovskita, o tópico que mais apresentou crescimento, partindo de uma quantidade quase nula de resultados em 2010 para quase 5000 publicações por ano na base SCOPUS em 2022. O assunto em questão se mostrou o mais promissor em representar a inovação em geração fotovoltaica quando comparado com palavras-chave da mesma seção.

Apesar da distinção entre os padrões de crescimento dos tópicos, não foi exibida uma diferença tão grande na magnitude dos resultados a ponto de não ser possível representá-los em um mesmo gráfico, proporcionando a visualização dos diferentes caminhos que a inovação pode seguir. A utilização do software VOSviewer foi essencial para obtenção das palavras chave utilizadas na seção em questão, que embora escolhidas em parte de maneira arbitrária, ainda estavam dentre as que apresentaram mais relevância nos grafos.

O estudo de patentes, apesar de breve, colocou uma visão adicional do tema trabalhado, colocando em evidência a produção tecnológica do mesmo, que tem alcançado alto desempenho na base de dados examinada, com cerca de 30000 publicações de patentes por ano para as palavras chave “Solar Energy” a partir de 2013. Houve, porém, entraves quanto à elaboração da pesquisa, visto que a biblioteca *pybibliometrics* não engloba a seção de patentes, portanto, a coleta de informações teve que ser feita de maneira manual. Além disso, a disponibilização de informações de patentes é limitada, não permitindo um discorrimento mais significativo sobre o conteúdo das mesmas.

Por fim, os resultados obtidos foram dissertados, e complementam os dados quantitativos expostos; isso permitiu uma visualização completa do escopo que o trabalho pretendia alcançar. Muito se foi reunido de artigos promissores produzidos tanto nacionalmente quanto de outras partes do mundo, e ainda assim, são apenas uma amostra do grande potencial que a energia solar possui em termos de inovação científica.

Os objetivos propostos foram atingidos, porém ainda há espaço para aprimoramento. Trabalhos futuros podem, por exemplo, abranger mais bases de dados, de modo mais eficiente, ou mesmo explorar mais a fundo outros tópicos pertinentes à energia solar com capacidade de trazer tecnologias que podem mudar completamente o rumo deste método de geração de energia.

Espera-se que o presente documento possa contribuir para o aprendizado e reconhecimento da importância da pesquisa científica, além de proporcionar motivos para um melhor investimento em energia solar.

Agradecimentos

Agradecimento a Universidade Federal do Ceará por proporcionar o estudo e os recursos necessários para elaboração deste trabalho, assim como o Laboratório de Filmes Finos (LAFFER) e a bolsa de estudo para pós graduação CAPES.

REFERÊNCIAS

- A Basic Overview of Fuel Cell Technology, Smithsonian Institution, disponível em: <<https://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm>>. acesso em: 24 set. 2021.
- Araújo, Carlos Alberto. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. Em *Questão*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p.11-32, jan./jul. 2006. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/EmQuestao/article/view/16>. Acesso em: 5 out. 2021.
- Burnham, Judy F, Scopus database: a review, *Biomedical Digital Libraries*, v. 3, n. 1, p. 1, 2006.
- Cao, Zhongnan; O’ROURKE, Fergal; LYONS, William, Performance modelling of a small-scale wind and solar energy hybrid system, in: 2017 28th Irish Signals and Systems Conference (ISSC), Killarney, Co Kerry, Ireland: IEEE, 2017, p. 1–6.
- Cheng, Pei; ZHAN, Xiaowei, Stability of organic solar cells: challenges and strategies, *Chemical Society Reviews*, v. 45, n. 9, p. 2544–2582, 2016.
- Ferreira, Ademir Antônio; GUIMARÃES, Edilson Rodrigues; CONTADOR, José Celso, Patente como instrumento competitivo e como fonte de informação tecnológica, *Gestão & Produção*, v. 16, n. 2, p. 209–221, 2009.
- Karoline, Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade, IPEA, disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/116-a-ciencia-e-a-tecnologia-como-estrategia-d-e-desenvolvimento>>. acesso em: 2 dez. 2021.
- Koumi Ngoh, Simon; NJOMO, Donatien, An overview of hydrogen gas production from solar energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 9, p. 6782–6792, 2012.

- Lu, Yuzheng et al, Hybrid power generation system of solar energy and fuel cells: Hybrid power generation system, International Journal of Energy Research, v. 40, n. 6, p. 717–725, 2016.
- Miao, J.; LIU, B., II–VI semiconductor nanowires, in: Semiconductor Nanowires, School of Chemical and Biomedical Engineering, Nanyang Technological University, Singapore, Elsevier, 2015, p. 3–28.
- Organic Solar Cells: What You Need To Know | EnergySage. Disponível em: <<https://69.25.154.9/organic-solar-cells-what-you-need-to-know/>>. Acesso em: 17 set. 2021.
- Panchal, Hitesh; PATEL, Romil; PARMAR, K. D., Application of solar energy for milk pasteurisation: a comprehensive review for sustainable development, International Journal of Ambient Energy, v. 41, n. 1, p. 117–120, 2020.
- Park, Nam-Gyu, Perovskite solar cells: an emerging photovoltaic technology, Materials Today, v. 18, n. 2, p. 65–72, 2015.
- Raphael, Ellen et al, CÉLULAS SOLARES DE PEROVSKITAS: UMA NOVA TECNOLOGIA EMERGENTE, Química Nova, v. 41, n. 1, p. 61-74, 2018.
- Rose, Michael E.; KITCHIN, John R., pybliometrics: Scriptable bibliometrics using a Python interface to Scopus, SoftwareX, v. 10, p. 100263, 2019.
- Sharma, Khushboo; SHARMA, Vinay; SHARMA, S. S., Dye-Sensitized Solar Cells: Fundamentals and Current Status, Nanoscale Research Letters, v. 13, n. 1, p. 381, 2018.
- Van Eck, Nees Jan; WALTMAN, Ludo, Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping, Scientometrics, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.
- Zhang, Yong-Hang, Heterovalent II-VI and III-V semiconductor integration: A platform for solar cell and other optoelectronic device applications, in: 2017 IEEE Photonics Conference (IPC), Orlando, FL: IEEE, 2017, p. 421–421.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE TECHNOLOGIC INNOVATIONS IN SOLAR ENERGY GENERATION UTILIZING SCOPUS DATABASE.

Resumo. *The present work consists of a brief bibliometric study about the innovation in solar energy generation technologies and their applications, using the Scopus database. Data were collected using computational tools, and focusing on the worldwide scientific production of the last decade. The scientific performance of solar energy as a whole, and topics related to photovoltaic energy and applications of solar energy systems were examined, verifying the variation of interest on these subjects over the years, symbolized by the number of documents present in the database each year. In addition, articles and patents relevant to the investigated terms were selected, and briefly discussed, in order to contextualize the scientific and technological panorama involving them. The results were quite diverse, with items presenting a high growth trend, such as the topic of perovskite solar cells, which showed an increase of about 850% in the submission of publications in 6 years in the SCOPUS database, and others presenting stability or decline, allowing a relevant discussion about what future this modality of renewable energy awaits, as well as its impact on human development.*

Keywords: *Solar energy; Innovation; Bibliometrics.*