

ESTUDO BIBLIOMÉTRICO DA GERAÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTVOLTAICA COM ABORDAGEM DA QUÍMICA

Patrícia Fagundes Góes – patricia.goes@ifba.edu.br

Técnica em Química pelo Instituto Federal da Bahia (IFBA). Graduanda em Engenharia Química - Instituto Federal da Bahia (IFBA)

Armando Hirohumi Tanimoto – armando@ifba.edu.br

Doutor em Política e Gestão Ambiental (CDS/UnB). Professor do Instituto Federal da Bahia (IFBA)

Ângela Maria Ferreira Lima – angelalima@ifba.edu.br

Doutora em Ciência, Energia e Ambiente (CIENAM / UFBA). Professora do Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PROFNIT) – Ponto Focal Instituto Federal da Bahia (IFBA)

Resumo – As produções científicas sobre a geração de energia solar fotovoltaica estão em crescente expansão, muitas vezes sob abordagem da área da Elétrica e da Física, deixando uma lacuna no conhecimento dos fenômenos químicos envolvidos na conversão da energia, por meio do efeito fotovoltaico. O objetivo deste estudo é descrever o cenário das produções científicas dos últimos anos a respeito da geração de energia solar fotovoltaica, sob a análise da Química, através de uma prospecção bibliométrica. A metodologia utilizada foi descritiva, com abordagem quali-quantitativa, na base de dados *Web of Science*. Na pesquisa inicial, obteve-se 2099 trabalhos quantitativos que, após realização de filtros através da leitura dos títulos e resumos, reduziu-se a 53 artigos alinhados ao tema. Por meio dessa pesquisa, identificaram-se aspectos quantitativos através das análises realizadas na ferramenta disponível na base de dados utilizada e da elaboração de redes no *software VOSviewer*. Os resultados mostraram que os Estados Unidos foram o país que mais publicou sobre o tema, apresentando uma concentração de publicações nas áreas de Química, Ciências Tecnológicas, Materiais e Física, tendo cinco publicações mais citadas, duas na *Advanced Materials (AM)*, e M. Gratzel o autor mais citado. De acordo com as referências obtidas, ainda é limitada a quantidade de trabalhos científicos com foco nos aspectos Químicos que norteiam a conversão da energia solar fotovoltaica, sendo identificado somente um artigo com essa característica.

Palavras-chave – Energia solar, Fotovoltaica, Química.

Abstract – The scientific productions on the generation of energy through photovoltaic cells are in increasing expansion, often under the approach of the area of Electricity and Physics, leaving a gap in the knowledge of the chemical phenomena involved in energy conversion, through the photovoltaic effect. The objective of this study is to describe the scenario of scientific production in recent years regarding the generation of photovoltaic solar energy, under the analysis of chemistry, through a bibliometric prospection. The methodology used was descriptive, with a quali-quantitative approach, in the Web of Science database. In the initial search, 2099 papers were obtained, a quantity that, after filtering by reading the titles and abstracts, was reduced to 53 articles aligned to the theme. Through this research, quantitative aspects were identified through the analyses performed in the tool available in the database used and the elaboration of networks in the VOSviewer software. The results showed the United States as the country where most was published on this theme, a concentration of publications in the areas of Chemistry, Technological Sciences, Materials and Physics, the five most cited publications, two were in *Advanced Materials* and M. Gratzel the most cited author. According to the references obtained, the amount of scientific work focusing on the chemical aspects that guide the conversion of photovoltaic solar energy is still limited, with only one article identified with this characteristic.

Keywords – Solar energy, Photovoltaics, Chemistry.

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, a maioria dos países está investindo no estudo da energia solar fotovoltaica (ESF), como uma forma de diversificar a matriz elétrica nacional, reduzindo impactos ambientais e à saúde humana, através da instalação de usinas solares montadas no solo e em larga escala (ROSA *et al.*, 2018).

Realizando-se um panorama das produções acadêmicas a respeito da temática da energia solar fotovoltaica, por intermédio de prospecções bibliométricas, é possível citar ao menos dois trabalhos brasileiros. Em primeiro plano, Sá, Moraes e Santos (2018) realizaram um estudo de revisão bibliométrica a respeito da energia solar fotovoltaica. A partir do estudo, os autores destacaram a importância da pesquisa bibliométrica como potencial ferramenta na construção do embasamento bibliográfico e também como indicador de áreas nas quais as pesquisas em energia solar fotovoltaica ainda são pouco difundidas. Já Albuquerque, Maldonado e Vaz (2017) elaboraram um levantamento bibliométrico da produção intelectual sobre ESF na base de dados *Web of Science (WoS)* para identificar as principais áreas pesquisadas, palavras-chave, periódicos, países, anos de publicação e autores mais relevantes.

Este estudo justifica-se para divulgar os mecanismos básicos da conversão fotovoltaica, assim como o desenvolvimento de novas tecnologias mais baratas, eficientes e sustentáveis. Diante desse contexto e da pertinência do tema, a problemática das produções científicas a respeito da alta demanda na energia elétrica em expansão está numa abordagem voltada para a área da Engenharia Elétrica e da Física, deixando uma lacuna na construção do conhecimento dos fenômenos químicos envolvidos no processo de conversão da energia química em elétrica por meio do efeito fotovoltaico.

O objetivo desse estudo é descrever o cenário das produções científicas dos últimos anos a respeito do fenômeno da geração de energia solar fotovoltaica, sob a análise da Química, através de uma prospecção bibliométrica.

O artigo está dividido em seções, a saber: a presente introdução, que norteia o leitor a respeito do tema, problema, justificativa e os objetivos da pesquisa; referencial teórico, o qual inclui a literatura que serviu de base à investigação da pesquisa proposta; metodologia, que descreve a pesquisa sistematizada que permitiu o levantamento bibliométrico e suas etapas; os resultados e discussão a respeito das categorias de análise fornecidas pela *Web of Science*; e, por fim, as conclusões a respeito do estudo realizado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Sousa (2015), o efeito fotovoltaico (FV) pode ser definido como o fenômeno que ocorre quando um material semicondutor é exposto à luz, surgindo uma diferença de potencial. Para explicar esse fenômeno como ocorre, é preciso assumir que a luz solar é composta por ondas eletromagnéticas, as quais têm a capacidade de transportar energia. E, segundo a teoria da dualidade onda-partícula, a luz pode se comportar como onda, ou como partículas, ou seja, como pacotes bem definidos de energia, os chamados fótons (BRADY; RUSSEL; HOLUM, 2003).

Já na estrutura de um material, do ponto de vista atômico, sabe-se que os elétrons são descritos por funções de onda, e que os orbitais atômicos correspondem a regiões em que a probabilidade de se encontrar o elétron é máxima. O orbital atômico mais externo descreve a função dos elétrons de valência (LEE, 1999). Em um composto sólido, os átomos estão mais próximos uns dos outros e se organizam de tal forma que os orbitais atômicos de valência se superpõem, e os níveis de energia existentes são tão próximos que formam uma estrutura de bandas de energia, que consiste em uma região quase contínua de energias, diferentemente dos discretos níveis de energia que os átomos individuais teriam anteriormente (SOUSA, 2015).

Na estrutura de um sólido é possível assumir, conforme a Teoria de Bandas, que as energias possíveis dos elétrons estão agrupadas em bandas permitidas, separadas por bandas proibidas. As bandas de energia mais internas e de menor energia completamente ocupadas por elétrons são chamadas de bandas de valência. Já as bandas parcialmente preenchidas são chamadas de bandas de condução, e são de maior energia quando comparadas às bandas de valência. A diferença de energia entre a banda de valência e a banda de condução é chamado de *gap* eletroquímico, ou de banda proibida (*bandgap*). Para que um elétron da banda de valência “salte” para a banda de condução, é necessário fornecer uma quantidade de energia equivalente ao *gap* eletroquímico (LEE, 1999).

A Teoria de Bandas, portanto, é usada para explicar as propriedades dos materiais condutores, semicondutores ou isolantes. Nos semicondutores, a “banda de valência” está completamente cheia e a “banda de condução” vazia, possibilitando a movimentação de elétrons responsável pela condução de eletricidade (SHRIVER; ATKINS, 2003). Quando a luz é incidida sobre a superfície do material semicondutor, a energia do fóton deve ser maior ou igual à energia do *gap* para que surja uma tensão elétrica.

Geralmente são utilizados materiais semicondutores de silício na fabricação de células solares, pois o *gap* nessa substância é comparável à energia dos fótons na região do vermelho no espectro eletromagnético da luz solar. Com isso, um elétron na banda de valência pode absorver um fóton e passar para a banda de condução, caracterizando-o como um fotocondutor (SOUSA, 2015).

Entretanto, diferentes tipos de células fotovoltaicas estão sendo desenvolvidas com materiais de estruturas químicas diferentes, como as células de filmes finos, constituídas por silício amorfo, semicondutores de CdTe e de Cu(In,Ga)Se₂, além das tecnologias de semicondutores orgânicos, óxidos metálicos, nanocristais e outros compostos químicos como a *perovskita* (LIMA *et al.*, 2020).

3 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho consiste, quanto ao objetivo, em uma pesquisa descritiva, e quanto à abordagem, em uma pesquisa qualitativa-quantitativa. Trata-se de um estudo de prospecção bibliométrica acerca dos fenômenos químicos que fundamentam a geração FV de energia, na base de dados *Web of Science*, acessada por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), entre os meses de novembro de 2020 a janeiro de 2021.

De acordo com Wolfram (2017) e Pimenta *et al.* (2017), a bibliometria apresenta como objetivo avaliar e entender o desempenho das atividades de produção científica acadêmica, por meio da análise de uma quantidade de dados extraídos das publicações científicas, em um período definido, para a extração das informações necessárias.

Para Ferenhof e Fernandes (2014), a pesquisa bibliométrica pode ser elaborada partindo-se de algumas etapas fundamentais, sendo elas: determinação dos indicadores de pesquisa, da base de dados utilizada e do modo como os documentos serão selecionados e padronizados (sistematização da pesquisa); a consolidação e a análise das informações obtidas; e, ao final, a síntese e a elaboração de relatórios.

A sistematização da pesquisa consistiu na busca por palavras-chave sustentadas no tema e fundamentadas pela bibliografia na Principal Coleção da *Web of Science*, e em todos os anos de publicação. Utilizaram-se os termos “*Solar energy*”, “*Photovoltaic*” e “*Chemistry*”, conectados pelo operador booleano AND, por representarem de forma significativa o tema da pesquisa, filtrando os resultados por tipo de documento de revisão e de artigo. Nessa etapa, foram obtidos 2099 registros para os termos pesquisados.

As referências resultantes da busca foram importadas para uma planilha, a fim de avaliar a aderência dos títulos ao tema da pesquisa através da leitura dos títulos e dos resumos. Dentre os critérios utilizados para realizar essa classificação, foram observadas palavras-chave relacionadas aos termos que embasam os fenômenos químicos na geração de ESF – os quais foram abordados na seção dois – como “*Chemistry*”, “*Bandgap*”, “*Conduction band*”, “*Valence band*” e “*Photovoltaic conversion*” que significam, respectivamente, “Química”, “Banda proibida”, “Banda de condução”, “Banda de valência” e “Conversão fotovoltaica”.

Após essa etapa, foram considerados apenas os trabalhos cujos títulos (ou resumos) estavam conectados com o tema da pesquisa, totalizando 53 trabalhos. Realizou-se uma análise dos trabalhos selecionados – através da ferramenta de “Análise de Resultados” disponível na *Web of Science* – no que diz respeito às áreas de pesquisa, publicações por ano, países e citações.

De forma a enriquecer o estudo bibliométrico, as 53 referências foram importadas para o *software VOSviewer*, ferramenta utilizada na construção de redes bibliométricas com base em relações de citação, cocitação ou coautoria, oferecendo também a funcionalidade de criação de mapas de cocorrência de termos relevantes retirados das referências (títulos e resumos) (VOSVIEWER, 2021).

Para o constructo da rede de cocitação, selecionou-se a alternativa de criação de mapa baseado em dados bibliográficos por meio da importação de referências, analisando-as por cocitação. Estabeleceu-se um número mínimo de 5 citações, e o número padrão de 20 referências e optou-se pela visualização em redes.

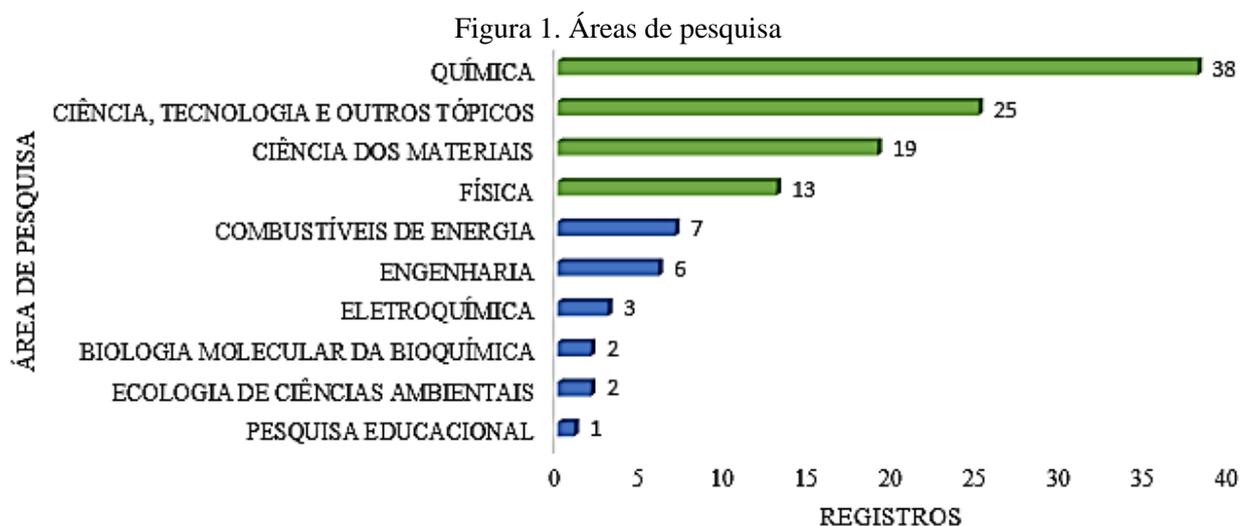
Na construção do mapa de coocorrência, estabeleceu-se um número mínimo de cinco ocorrências por termo, número padrão de 30 termos e a opção de visualização em mapa de sobreposição segundo os anos de publicação foi selecionada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da busca pelas palavras-chave selecionadas, que resultou em 2099 registros, seguida da realização de filtro por tipo de documento *Reviews* e Artigos, e leitura dos títulos e resumos, obteve-se um universo de 53 trabalhos.

Foi realizada uma classificação dos documentos selecionados conforme a sua abordagem principal, sendo “Tecnologias” a que mais teve artigos publicados (40). Observa-se que apenas um artigo, dentro do universo de trabalhos selecionados, realiza uma abordagem seguindo a perspectiva da Química como proposta principal (identificada a partir do resumo). O estudo dos autores Asim *et al.* (2012), publicado no periódico *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, que tem por objetivo explorar o papel da Ciência dos Materiais no avanço das tecnologias fotovoltaicas.

A Figura 1 representa a quantidade de registros para cada uma das áreas de pesquisa classificadas pela funcionalidade da *WoS*.



Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos resultados da *Web of Science*, (2021)

Observa-se que a área da Química se destaca em quantidade de registros, seguida da área de Ciência, Tecnologia e outros tópicos, Ciência dos Materiais e Física. De fato, ao comparar com a classificação, as Tecnologias estão intimamente relacionadas com as áreas em destaque e, no que se refere aos tipos de células solares, esses campos de estudo se complementam ao abordar aspectos como propriedades semicondutoras dos materiais que compõem os sistemas FV, estrutura do material e suas especificidades mecânicas, elétricas e químicas.

No geral, interpreta-se que artigos classificados nessas áreas são bons indicativos para o propósito do estudo, assim como o trabalho caracterizado no campo da Educação. Este, de autoria de Smith, Crone, Subramanian (2013), publicado no periódico *Journal of Chemical Education*, propõe a construção de uma fotocélula simples usando materiais domésticos. Esse tipo de trabalho tem grande potencial de contribuição para a construção do conhecimento na geração de ESF, tendo em vista a proposta didática de ensino e abordagem de conceitos necessários para o entendimento dos fenômenos observados no experimento.

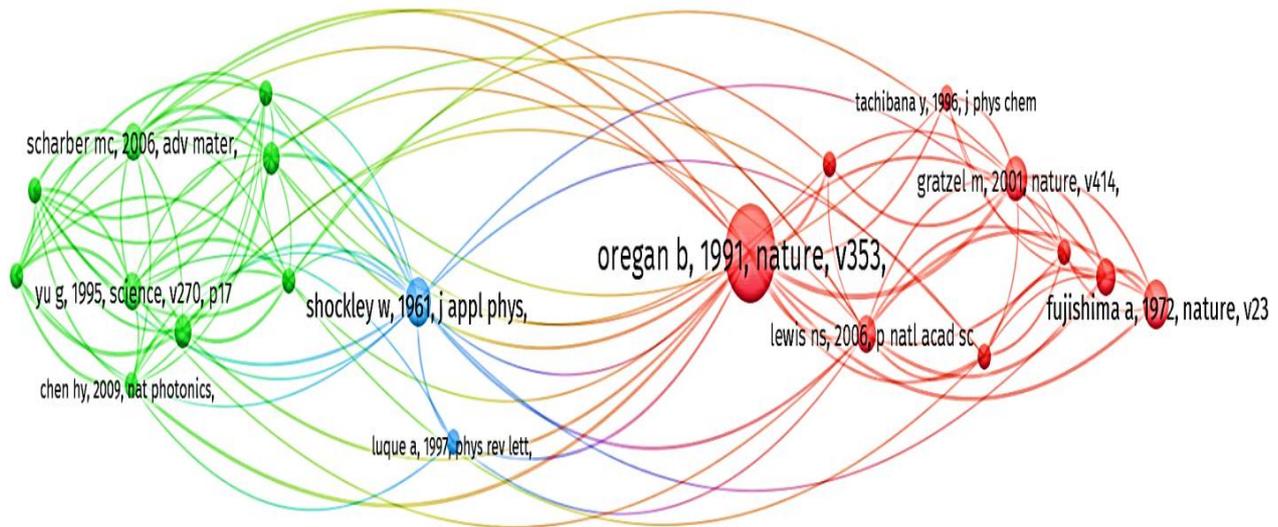
Na Figura 2 apresenta-se uma rede de citações, elaborada no *software VOSviewer*, em que são demonstrados os 20 trabalhos mais citados pelos autores dos 53 artigos selecionados nessa revisão bibliométrica.

A análise de citações é um método utilizado amplamente no âmbito da bibliometria para a análise relacional das citações, visando ao mapeamento das proximidades temáticas entre artigos, periódicos ou autores. Dois trabalhos são ditos cocitados quando um terceiro documento os cita em conjunto, e a relação de

cocitação entre esses dois trabalhos é maior quanto maior o número de trabalhos em que ambos são cocitados (LIMA; LEOCÁDIO, 2017).

Segundo estudiosos da área da bibliometria, a formação dos *clusters* ou “agrupamentos” com diferentes cores representa as referências que normalmente são citadas em conjunto. Então, quando um artigo cita o trabalho de Oregan (1991), geralmente também cita o trabalho de Fujishima (1972), entre outros agrupados no *cluster* de cor vermelha. Esse tipo de relação revela algumas linhas de pesquisa semelhantes e, por isso, são citados juntos em um determinado trabalho (LIMA; LEOCÁDIO, 2017).

Figura 2. Redes de Cocitações

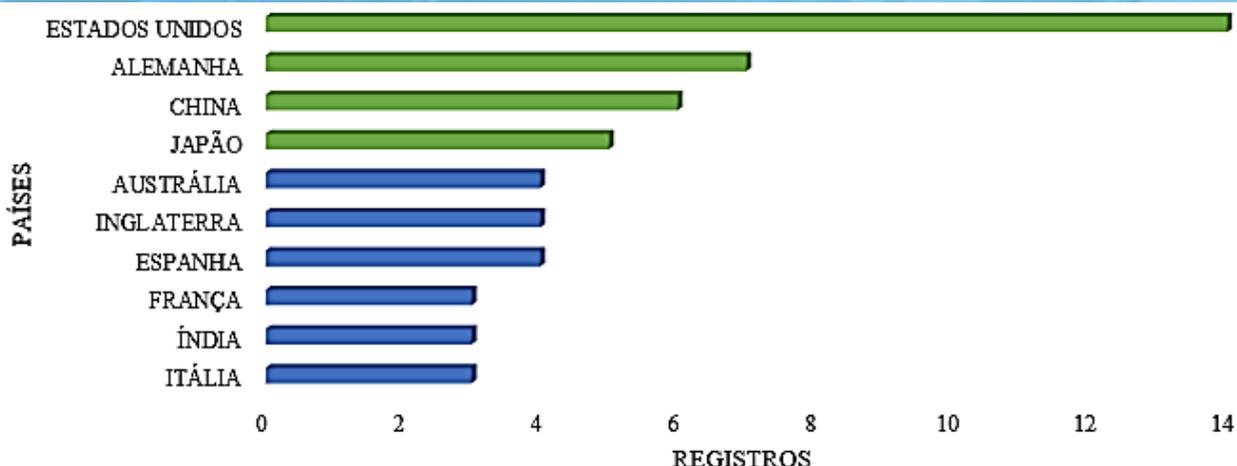


Fonte: Elaborado pelos autores no *VOSviewer*, (2021)

O *cluster* vermelho é composto por 9 artigos das 20 referências mais cocitadas, abrangendo trabalhos das áreas de Química (4) e Ciência e Tecnologias (4), segundo a ferramenta de análise de resultados da *WoS*, sendo células fotovoltaicas, princípios químicos e conversão de energia alguns dos termos mais citados nos títulos e resumos desses trabalhos, de acordo com o *VOSviewer*. O *cluster* azul é formado por 2 artigos, ambos da área da Física, abrangendo tópicos como semicondutores e *bandgap*. O *cluster* verde compreende 9 trabalhos de áreas diversas, sendo a maioria da área da Física, Química e Ciência dos Materiais, os quais tratam de eficiência de conversão de energia, polímeros e dispositivos FV. Percebe-se que as linhas de pesquisa não estão muito distantes umas das outras, apenas abordagens diferentes são identificadas.

A Figura 3 expõe a quantidade de trabalhos publicados por país. Destaca-se que um mesmo trabalho pode ser de autoria de diferentes nacionalidades.

Figura 3. Países que mais publicaram na temática



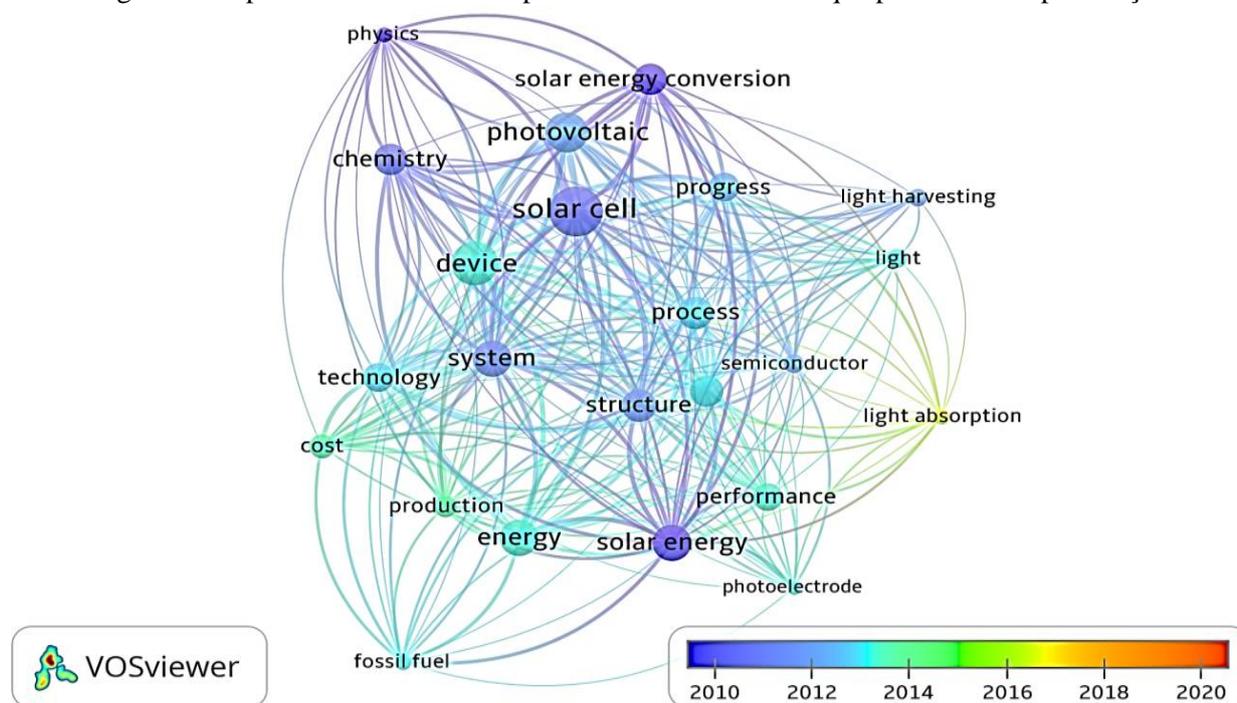
Fonte: Elaborado pelos autores, com base na *Web of Science*, (2021)

Verifica-se que os Estados Unidos lideram a quantidade de publicações na área, seguido da Alemanha, China e Japão, que são os países como os maiores mercados do setor de energia, detendo cerca de 63,5% de toda a capacidade instalada no mundo, no ano de 2019 (IRENA, 2019).

No que se refere aos anos de publicação, constatou-se que nos anos de 2011 e 2013 houve o maior número de publicações no tema, e após esse período houve um declínio da produção científica, atingindo um total de três artigos em 2019. Em dez anos, a média é de 3,9 artigos publicados por ano no tema pesquisado.

O mapa de coocorrências de palavras-chave, com destaque para os últimos dez anos de publicação (2010 a 2020), é apresentado na Figura 4. Os *clusters* são organizados em cores mais frias para artigos publicados a partir de 2010, e em cores mais quentes para trabalhos publicados até 2020.

Figura 4. Mapa de coocorrências de palavras-chave com destaque para o ano de publicação



Fonte: Elaborado pelos autores no *VOSviewer*, (2021)

Nos anos de 2010 a 2012, correspondentes ao *cluster* de cores violeta e de azul, observa-se a predominância de pesquisas relacionadas a aspectos teóricos da temática da energia solar, evidenciada pela ocorrência dos termos “*chemistry*”, “*physics*”, “*solar energy conversion*”, “*semiconductor*” e “*structure*”. No

período que corresponde aos anos de 2012 a 2016, cujo *cluster* é representado por tons mais claros de azul e de verde, percebe-se a influência de aspectos relacionados às características do sistema FV, através de termos como “*performance*”, “*cost*”, “*device*” e “*technology*”. Entre os anos de 2016 a 2020 praticamente não são observados indícios de emergência de termos, evidenciados pela presença de *clusters* de cores amarelo a vermelho, com exceção do termo “*light absorption*”, que se relaciona com palavras-chave de outros *clusters*.

As médias de citações por ano para as cinco principais publicações no universo dos trabalhos selecionados são apresentadas na Tabela 1. Observa-se que dentre os cinco trabalhos mais citados, dois foram publicados na *Advanced Materials (AM)*, que corresponde a uma das revistas que mais publicou no universo dos artigos selecionados nessa revisão bibliométrica.

Além disso, destaca-se que o autor M. Gratzel participou do processo de escrita dos dois artigos mais citados. No primeiro artigo, Gratzel (2005) propõe o desenvolvimento de células solares baseadas na sensibilização de filmes de óxido por corantes ou pontos quânticos, os quais já alcançaram eficiências de conversão acima de 11%. São discutidos aspectos químicos no que se refere aos processos fundamentais da transferência de elétrons heterogênea do cromóforo (grupo de átomos responsável pela cor de um composto) eletronicamente excitado para a banda de condução do óxido semiconductor. Ademais, são descritos exemplos para a primeira aplicação externa de tais células solares. Esse trabalho revela potencial contribuição para a proposta do tema dessa revisão bibliométrica, abordando os fenômenos inerentes à conversão fotovoltaica de energia.

Tabela 1. Trabalhos mais citados

Título	Autor	Ano	Título da Fonte	Média de citações por ano ¹
<i>Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells</i>	GRATZEL, M.	2005	<i>INORGANIC CHEMISTRY ACCOUNTS OF CHEMICAL RESEARCH</i>	168,41
<i>Molecular photovoltaics</i>	HAGFELDT, A.; GRATZEL, M.	2000	<i>ADVANCED MATERIALS</i>	114,41
<i>25th Anniversary Article: A Decade of Organic/Polymeric Photovoltaic Research</i>	DOU, L.; YOU, J.; HONG, Z. et al.	2013	<i>CATALYSIS SCIENCE & TECHNOLOGY</i>	101,78
<i>Semiconductor-based photocatalysts and photoelectrochemical cells for solar fuel generation: a review</i>	LI, J.; WU, N.	2015	<i>ADVANCED MATERIALS</i>	70,29
<i>Role of the Charge Transfer State in Organic Donor-Acceptor Solar Cells</i>	DEIBEL, C.; STROBEL, T.; DYAKONO, V.	2010		42,00

¹ Médias calculadas considerando o ano de publicação até janeiro de 2021.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos resultados da *Web of Science*, (2021)

Já no segundo artigo, Hagfeldt e Gratzel (2000) trazem aspectos da Engenharia Molecular para dar embasamento teórico à célula solar de injeção nanocristalina sensibilizada por corante, que emprega complexos de metal de transição para a sensibilização espectral de filmes de TiO₂ mesoporosos juntamente com eletrólitos redox adequados ou condutores de orifícios orgânicos amorfos.

Verifica-se, portanto, a relevância desses trabalhos na comunidade acadêmica, tendo em vista o número de citações. Entretanto, concernente aos resultados obtidos no decorrer dessa pesquisa, grande parte desses estudos carecem de uma abordagem voltada para a descrição dos fenômenos químicos da geração de energia solar fotovoltaica, evidenciando a importância de produções científicas na temática.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho alcançou o objetivo ao descrever o cenário das produções científicas dos últimos anos a respeito do fenômeno da geração de energia solar fotovoltaica, sob a análise da Química, identificando-se aspectos quantitativos inerentes ao universo dos 53 artigos alinhados ao tema, mediante análises realizadas na *Web of Science*, bem como por meio da funcionalidade de elaboração de redes do *software VOSviewer*.

Esses tópicos consistiram nas principais áreas de pesquisa, redes de cocitação de referências, quantidade de publicações por ano e por país, assim como nos artigos mais citados e nas principais coocorrências de palavras-chave por ano.

Verificou-se que a área da Química se destaca em quantidade de registros na esfera dos artigos selecionados, o que está respectivo com a grande quantidade de trabalhos abrangidos pela palavra-chave “*chemistry*”, abordando aspectos como tecnologias e conversão FV de energia. Entretanto, foi identificado, a partir da leitura dos resumos, apenas um artigo, dentro do universo de trabalhos selecionados. A rede de cocitações de referências permitiu visualizar três linhas de pesquisa relacionadas ao tema, sendo a primeira alusiva aos princípios químicos e à aplicação em células FV; a segunda, a respeito da Física, abordando aspectos concernentes à dinâmica dos elétrons em semicondutores; e a terceira, que une as áreas da Física, Química e Ciência dos Materiais no estudo de dispositivos FV, conversão de energia e suas tecnologias.

Os anos de 2011 e de 2013 foram os com maior produtividade e foi calculada uma média de 3,9 trabalhos publicados por ano no tema pesquisado, porém os dois mais citados estão fora desse período (GRATZEL, 2005; HAGFELDT; GRATZEL, 2000). No período de 2010 a 2012, observou-se a predominância dos termos relacionados aos aspectos teóricos da temática da energia solar. De 2012 a 2016, há dominância dos termos vinculados às características de sistemas FV, como eficiência de conversão e custo, o que pode revelar a consolidação de tecnologias já existentes e expansão das pesquisas na área.

Estados Unidos, Alemanha, China e Japão lideram a quantidade de publicações no âmbito do universo de artigos selecionados. Ademais, verificou-se que os periódicos que mais publicaram trabalhos no tema foram a *Chemsuschem* e a *Advanced Materials (AM)*, ambas da área de Química e Ciência dos Materiais. Além disso, observou-se que dentre os cinco trabalhos mais citados, dois foram publicados na *AM*, o que demonstra a relevância da revista para a área estudada.

De forma geral, essa pesquisa demonstrou que, de acordo com as referências obtidas na busca pelas palavras-chave selecionadas, ainda é escassa a quantidade de trabalhos científicos com foco na exploração dos aspectos Químicos que norteiam o processo de conversão de ESF. Esse fato foi demonstrado pela redução de 2099 artigos obtidos, inicialmente, para 53 após realização de filtros de leitura dos títulos e resumos, e a identificação de apenas um artigo com esse propósito, o que revela a pertinência do estudo.

Sabe-se que essa pesquisa realizada não contempla o universo geral das produções acadêmicas por se limitar à base de dados *Web of Science*. Portanto, uma sugestão de trabalhos futuros é o estudo das produções acadêmicas na área em outras bases de dados, como a *Scopus*, *Science Direct* ou a *ACS Publications*, por meio de prospecções bibliométricas, utilizando *softwares* de análise adequados. Além disso, é relevante a busca por produções nacionais a respeito do tema, em repositórios de instituições brasileiras, bem como no motor de busca Google Acadêmico, a fim de enriquecer os resultados obtidos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo apoio financeiro na bolsa do Programa de Iniciação Científica para uma das autoras; ao Grupo de Pesquisa em Ecologia Industrial (ECOIN) e ao Instituto Federal da Bahia (IFBA), pelo apoio em todas as etapas no processo dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, T. C.; MALDONADO, M. U.; VAZ, C. R. Um levantamento da produção intelectual sobre energia solar fotovoltaica. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba/PR, v. 6, n. 5, p. 915-939, 2017. DOI: 10.5380/rber.v6i5.51334. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/51334>. Acesso em: 10 fev. 2021.
- ASIM, N. *et al.* A review on the role of materials science in solar cells. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 16, n. 8, p. 5834-5847, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.004>. Acesso em: 15 fev. 2021.
- BRADY, J. E.; RUSSEL, J. E.; HOLUM, J. R. **Química: a matéria e suas transformações**. Vol. 1-2. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. **Passos para construção da revisão sistemática e bibliometria**. Instituto de Gestão do Conhecimento e Inovação (IGC), versão 03.06, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6994688-Passo-a-passo-para-construcao-da-revisao-sistemica-e-bibliometria.html>. Acesso em: 27 jan. 2021.

- GRATZEL, M. Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells. **Inorg. Chem.**, Washington, v. 44, n. 20, p. 6841-6851, Sept. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ic0508371>. Acesso em: 7 jan. 2021.
- HAGFELDT, A.; GRATZEL, M. Molecular photovoltaics. **Accounts of Chem. Res.**, Washington, v. 33, n. 5, p. 269-277, May, 2000. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ar980112j>. Acesso em: 25 jan. 2021.
- IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Solar Energy Data**. Abu Dhabi, 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/solar>. Acesso em: 24 fev. 2021.
- LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa**. 5. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 2003. 528p.
- LIMA, A. A. *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 42, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2019-0191>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- LIMA, S. H. O.; LEOCÁDIO, A. L. Mapeando a produção científica internacional sobre inovação aberta. **Rev. Bras. de Gestão e Inovação**, Caxias do Sul, v. 5, n. 2, jan./abr. 2018. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/RBGI/article/view/5437>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- PIMENTA, A. A. *et al.* A bibliometria nas pesquisas acadêmicas. **Scientia**, Ceará, v. 4, n. 7, 2017.
- ROSA, C. B. *et al.* A gestão da energia solar fotovoltaica sob a ótica da bibliometria. **Revista Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 2, p. 113-119, jul.-dez. 2018.
- SÁ, F. N.; MORAES, A. M.; SANTOS, F. F. P. Bibliometria da produção científica sobre energia solar fotovoltaica. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Gramado, abr. 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/465/465>. Acesso em: 18 fev. 2021.
- SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química inorgânica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- SMITH, Y. R.; CRONE, E.; SUBRAMANIAN, V. R. A simple photocell to demonstrate solar energy using benign household ingredients. **Journal of Chem. Educ.**, Washington, v. 90, n.10, p. 1358-1361, Sept. 2013. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed3001232>. Acesso em: 8 fev. 2021.
- SOUSA, F. E. B. **Princípios quânticos no ensino médio: Energia solar como ferramenta de ensino**. 2015. 47 f. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Disponível em: <https://bit.ly/2NK1kMX>. Acesso em: 25 nov. 2021.
- VOSVIEWER: Visualizing scientific landscapes. Version 1.6.16. **Centre for Science and Technology Studies**, Leiden University, The Netherlands, 2020. Disponível em: <https://www.vosviewer.com/>. Acesso em: 22 fev. 2021.
- WEB OF SCIENCE. **Clarivate Analytics**, 2019. Disponível em: <http://www.webofknowledge.com>. Acesso em: 25 jan. 2021.
- WOLFRAM, D. **Bibliometrics research in the era of big data: Challenges and Opportunities**. Escola de Comunicação e Artes (USP), São Paulo, p. 91-101, 2017. Disponível em: <https://bityli.com/Y26h4>. Acesso em: 27 jan. 2021.