

BIBLIOMETRIA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE ENERGIA SOLAR FOTVOLTAICA

Fabricio Neves de Sá - fabricio.neves@ifpi.edu.br

Instituto Federal do Piauí (IFPI) / Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar do Piauí (GIPES)

Albmerc Moura de Moraes - albmerc@ufpi.edu.br

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar do Piauí (GIPES)

Francisco Francielle Pinheiro dos Santos - pinheiro@ufpi.edu.br

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Centro de Tecnologia (CT)

Resumo. *O crescimento populacional acarreta no aumento da demanda de energia, contribuindo para a escassez dos recursos naturais. O uso das fontes de energias renováveis surge como uma solução para amenizar a pressão sobre esses recursos. A energia solar fotovoltaica (ESF) é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, sendo a menos poluente conhecida até o momento. Existem vários portais de periódicos e bases de pesquisa na web, sendo uma importante ferramenta para a produção e compartilhamento de pesquisas científicas em diversas áreas. O presente trabalho tem como objetivo esboçar o cenário mundial e brasileiro sobre ESF através da análise bibliométrica pela base Web of Science. Foram utilizadas as expressões “solar energy” e “photovoltaic” com o operador booleano “and” a fim de delimitar as pesquisas especificamente em ESF de 2007 a 2017. Foram identificadas 5.498 publicações no total, sendo 115 brasileiras. O Estados Unidos aparece como o país mais atuante e o Brasil ocupa o 16º lugar no ranking de publicações. Percebeu-se que os autores e os periódicos mais efetivos com relação à quantidade não estão presentes nos trabalhos mais citados no mundo. Concluiu-se que a pesquisa em ESF vem crescendo, mas o Brasil ainda não ocupa posição de destaque dentro da temática. Observou-se também a importância da pesquisa bibliométrica, a qual pode auxiliar no embasamento bibliográfico e oportunizar pesquisa em locais onde a ESF ainda é pouco difundida.*

Palavras-chave: *Energia solar fotovoltaica, bibliometria, Web of Science.*

1. INTRODUÇÃO

A energia solar é a fonte de energia menos poluente na geração e menos finita conhecida até o momento. Disponível para a humanidade desde o surgimento da vida na terra, nunca foi aproveitada de forma tão eficiente quanto às demais, considerando-se que outras fontes de energias renováveis sempre apresentam alguma desvantagem. (Lopez, 2012). De acordo com Seiffert (2007), o uso dessas fontes é essencial para a redução de impactos no meio ambiente, mas em contrapartida, é necessário viabilizar o seu uso através de incentivos econômicos.

Pinho e Galdino (2014) conceituam energia solar fotovoltaica (ESF) como sendo a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão.

Sobre os custos, Hinrichs, Kleinbach e Reis (2016), afirmam que as células solares continuam relativamente caras e a sua competitividade no mercado depende da redução dos custos de produção e do aumento da eficiência das células, mas mesmo assim, o mercado da energia fotovoltaica continua a crescer. Poganietz (2015) complementa que o uso da tecnologia elétrica solar está se desenvolvendo rapidamente assim como os custos de sua implantação diminuindo, podendo assim, atender as necessidades humanas de produção e consumo.

No Brasil há diversos grupos de pesquisa e entidades voltadas à pesquisa sobre energia solar. Dentre as entidades, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, de acordo com a sua lei criação nº 10.847 de 2004, tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

A energia fotovoltaica corresponde a somente 0,01% da matriz elétrica brasileira (EPE, 2016). Isto revela que ainda carece de um maior incentivo por parte do poder público como também de divulgação para comunidade em geral sobre a ESF. Segundo Peraza, Gasparin e Krenzinger (2015), os analistas de planejamento concordam que certo grau de diversificação de fontes é muito importante, logo o aumento da utilização da utilização da ESF contribui neste sentido.

Ressalta-se que apesar da energia solar fotovoltaica ser considerada uma energia limpa, como qualquer atividade humana possui pontos negativos relacionados aos impactos ambientais. As emissões de produtos decorrentes do processo de preparação da matéria prima, principalmente a purificação do silício, além das emissões ligadas à produção

de energia nos processos de fabricação, transporte, instalação, operação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos (Rosa e Gasparin, 2016).

Antes da realização da pesquisa principal, foram levantadas publicações de análise bibliométrica sobre ESF com as palavras-chave “*photovoltaic energy*” e “*bibliometric*”, utilizando operador¹ booleano ‘*and*’. Esta consulta encontrou 18 publicações do tipo. Algumas publicações abordavam sobre energias renováveis ou energia solar de forma mais generalizada, mas nenhuma que tratasse especificamente de ESF foi encontrada.

Dentre estas análises bibliométricas encontradas, destaca-se Du et al. (2014), que fizeram um levantamento sobre a literatura relacionada à energia solar entre os anos de 1992 e 2011, utilizando as palavras-chave “*solar energy*” e “*solar energies*”, mas não especificando o operador booleano, encontrando 7.835 documentos. Os autores ressaltam para o valor das técnicas bibliométricas e métodos de análise de palavras-chave para revelar as tendências de pesquisa sobre um determinado tema a nível global.

Outro trabalho em destaque foi o de Casado *et al.* (2014), que utilizando a base de dados do *Web of Science*, realizaram um estudo bibliométrico das publicações científicas na Espanha e Alemanha, e segundo os autores, são os países da União Europeia que possuem a maior capacidade instalada de ESF. Apesar disso, concluíram que os Estados Unidos é o país com o maior número de publicações sobre energia solar, de acordo com a pesquisa.

Dong *et al.* (2012) fez um estudo bibliométrico sobre energia solar entre os anos de 1991 e 2010, utilizando o *Science Citation Index* com as palavras-chave “*Solar cell*”, “*solar energy*”, “*solar power*”, “*solar radiation*” e “*solar thermal*” para sua pesquisa. Foram encontrados 45.559 artigos em 2.924 periódicos. De acordo com este estudo, os EUA mostraram a maior contagem de artigos no mundo sobre energia solar nesse período.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo fazer um levantamento bibliométrico sobre publicações que abordam a temática energia solar fotovoltaica no mundo e no Brasil. A base de dados para utilizada nesta pesquisa foi o *Web of Science* (WoS) através do acesso remoto pelo portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES autorizado para o Instituto Federal do Piauí (IFPI). No estudo bibliométrico de Silva (2016), afirma-se que a WoS é uma base de dados, desenvolvida pela Thomson Reuters, na qual são indexados periódicos do mundo todo.

2. METODOLOGIA

Foram utilizadas as palavras chave “*solar energy*” e “*photovoltaic*” com o operador booleano “*and*”, a fim de especificar energia solar fotovoltaica dentro do escopo da energia solar, na qual se inclui também a energia solar térmica. Foram filtradas as publicações entre os anos de 2007 e a data da pesquisa que foi 17 de novembro de 2017. No filtro “tópico” foram deixadas todas as opções, como título, autor, idioma, dentre outras.

Na consulta geral foram registradas 5.498 publicações no total. Utilizando o filtro “país/território”, foram identificadas 115 publicações no Brasil neste período. A fim de delimitar o escopo da pesquisa, os resultados foram classificados através das seguintes ferramentas de refino: ano de publicação, países/territórios, área de pesquisa, agências financiadoras, autores, idiomas, periódicos e artigos mais citados.

Para uma análise mais detalhada dos temas foi utilizada a ferramenta “analisar resultados” do WoS a fim de conhecer os dados estatísticos e/ou ranking sobre um determinado tema. Especificamente no item “artigos mais citados” foi utilizada a ferramenta “criar relatório de citações” e foi realizada uma breve análise dos cinco artigos mais citados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Anos de publicação

A Fig. 1 demonstra a quantidade de publicações sobre energia solar fotovoltaica no mundo através da base WoS entre os anos de 2007 e 2017. É possível perceber que houve um grande crescimento do número de publicações nesses últimos 10 anos. Até a data da pesquisa (17 de novembro de 2017) já foram registradas 625 publicações, superando o ano de 2012.

¹ É uma palavra que tem o objetivo de definir para o sistema de busca como deve ser feita a combinação entre os termos ou expressões de uma pesquisa, por exemplo “*and*”, “*or*” ou “*not*”.

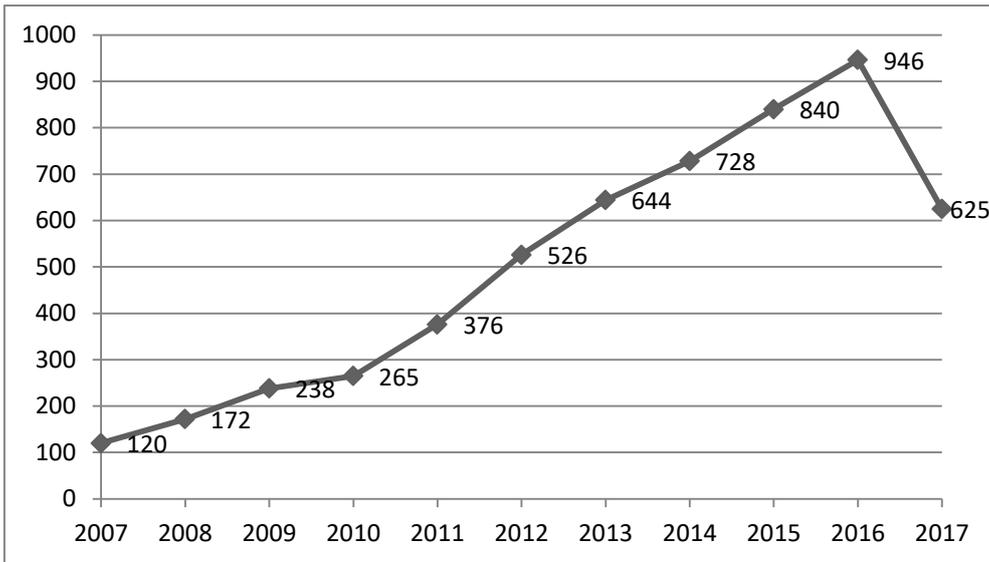


Figura 1 - Quantidade de publicações por ano no mundo

No contexto brasileiro, percebe-se que apesar de ter aumentado o número de publicações no período, o país não segue o mesmo padrão de crescimento do mundial, havendo decréscimo na transição dos anos 2008/2009, 2013/2014 e 2015/2016, conforme apresentado na Fig. 2. Até o momento foram encontradas 13 publicações no ano de 2017, não sendo possível fazer uma previsão se este ano superará o ano passado.

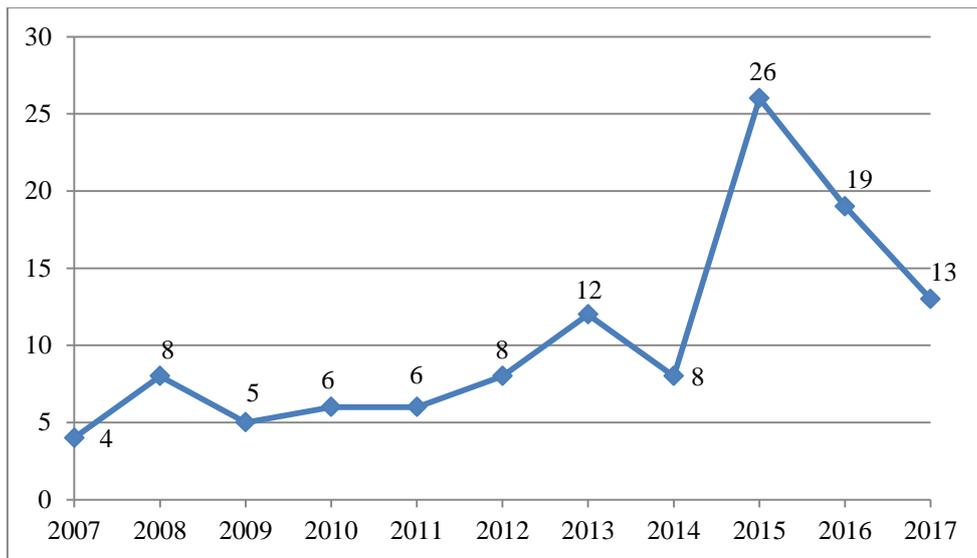


Figura 2 - Quantidade de publicações por ano no Brasil

3.2 Países/territórios

Utilizando o filtro “países/territórios” e em seguida a ferramenta “analisar resultados”, foi encontrado um total de 97 países que já publicaram sobre energia solar fotovoltaica. A Fig. 3 representa a participação dos cinco primeiros países mais o Brasil no ranking de publicações nos últimos dez anos.

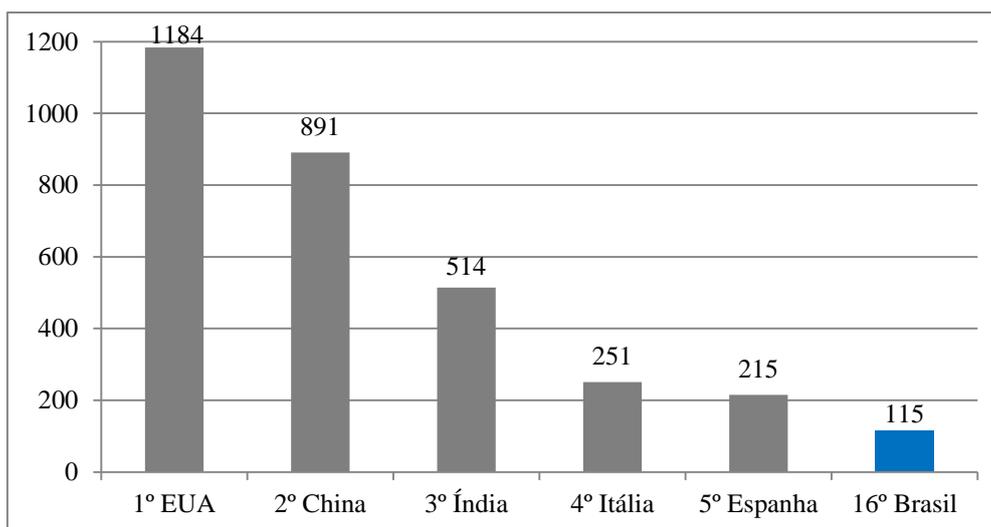


Figura 3 - Ranking mundial de publicações

De acordo com o gráfico, os Estados Unidos lidera o ranking com o total de 1.184 publicações, seguido da China (891) e Índia (514). O Brasil figura na 16ª colocação no ranking com o total de 115 publicações nos últimos dez anos.

3.3 Áreas de pesquisa

O total de 5.498 trabalhos encontrados se enquadram nas mais diversas áreas de pesquisa, como: energia e combustíveis, engenharia, ciência e tecnologia, ciências dos materiais, física, química, ciências da computação, ciências ambientais e tecnologia, óptica, mecânica, dentre outras. O maior destaque vai para a área de energia e combustíveis com 2.618 publicações, o que equivale a 48% do total. Energia e combustíveis também é a principal área das pesquisas brasileiras, mas tem ainda como destaque áreas como: engenharia elétrica e eletrônica, e ciência da tecnologia verde e sustentável.

3.4 Agências financiadoras

Mais de 200 agências financeiras fomentaram pesquisas na área de energia solar fotovoltaica nos últimos dez anos. Apesar dos EUA possuir mais agências de fomento, a que mais tem contribuído é a chinesa National Natural Science Foundation of China (NSFC) com um total de 352 publicações promovidas. A NSFC é uma instituição diretamente sob jurisdição do Conselho de Estado com o objetivo de administrar o Fundo Nacional de Ciências Naturais e tecnologia e apoiar e estimular a pesquisa científica. (NSFC, 2017). No Brasil a instituição que mais tem contribuído é o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com o fomento de 19 publicações sobre a ESF.

O CNPq é uma agência do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e tem como finalidade fomentar a ciência, tecnologia e inovação e atuar na formulação de suas políticas, contribuindo para o avanço das fronteiras do conhecimento, o desenvolvimento sustentável e a soberania nacional. (CNPq, 2017).

3.5 Autores

Os autores mais atuantes na pesquisa sobre ESF são Ibrahim Dincer, do Instituto de Tecnologia da Universidade de Ontário, Canadá, com 26 publicações, seguido por Tiwari G. (24), do Instituto de Tecnologia de Nova Délhi, Índia. O brasileiro mais efetivo foi Ricardo Ruther, professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com um total de 10 publicações. Outro brasileiro em destaque é Arno Krenzinger, professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com 7 publicações. Os trabalhos dos referidos autores, tanto brasileiros como estrangeiros, estão relacionadas principalmente à área de combustíveis e energia, e engenharia.

3.6 Periódicos

Os periódicos em maior destaque na pesquisa foram: *Renewable Sustainable Energy Reviews* com 281 publicações; *Solar Energy* (188); *Energy Procedia* (142). Estes periódicos foram analisados na Plataforma Sucupira da CAPES a fim de conhecer o Qualis nos quais estão enquadrados. Foi selecionada a classificação no quadriênio mais atual que é de 2013-2016..

O Qualis afere a qualidade dos artigos e de outros tipos de produção, a partir da análise da qualidade dos veículos de divulgação, ou seja, periódicos científicos. A classificação de periódicos é realizada pelas áreas de avaliação e passa por processo anual de atualização. Esses veículos são enquadrados em estratos indicativos da qualidade - A1, o mais elevado; A2; B1; B2; B3; B4; B5; C - com peso zero. (CAPES, 2017).

Os periódicos com melhores classificações do Qualis-Capes foram o *Renewable Sustainable Energy Reviews* (A1), seguido por *Solar Energy* (A1 e A2), *Energy Procedia* (B5 e C).

3.7 Artigos mais citados

Após a consulta geral com as palavras-chave foi utilizada a ferramenta “criar relatório de citações” do WoS a fim de levantar os trabalhos mais citados. Esta ferramenta traz dados estatísticos dos trabalhos, sendo possível exportar as informações para uma planilha do programa Excel. A tab. 1 apresenta os cinco trabalhos mais citados e o brasileiro mais citado no período.

Tabela 1 - Trabalhos mais citados no período de 2007-2017

TÍTULO	PERIÓDICO	ANO DA PUBLICAÇÃO	AUTORES	TOTAL DE CITAÇÕES
Organometal Halide Perovskites as Visible-Light Sensitizers for Photovoltaic Cells	Journal of the American Chemical Society	2009	Kojima, Akihiro; Teshima, Kenjiro; Shirai, Yasuo; Miyasaka, Tsutomu.	3.763
Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition	Nature	2013	Liu, Mingzhen; Johnston, Michael B.; Snaith, Henry J.	2.988
Polymer solar cells	Nature Photonics	2012	Li, Gang; Zhu, Rui; Yang, Yang	2.112
Recent Advances in Sensitized Mesoscopic Solar Cells	Accounts of Chemical Research	2009	Graetzel, Michael	1.664
Small Molecule Organic Semiconductors on the Move: Promises for Future Solar Energy Technology	Angewandte Chemie-International Edition	2012	Mishra, Amaresh; Baeuerle, Peter	978
A maximum power point tracking system with parallel connection for PV stand-alone applications	IEEE Transactions on Industrial Electronics	2008	Gules, Roger; Pacheco, Juliano De Pellegrin; Hey, Helio Laes;	123

De acordo com o quadro 1 percebe-se que na lista das publicações mais citadas, tanto mundial como a brasileira, não foram publicadas pelos autores e nem pelos periódicos mais produtivos. A publicação brasileira intitulada “A maximum power point tracking system with parallel connection for PV stand-alone applications” de Gules et al. (2008) ocupa a posição de número 118 do ranking de citações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho foi possível perceber que a quantidade de publicações tem aumentando nos últimos dez anos no mundo, mas o Brasil não segue o mesmo padrão mundial, ocupando ainda a 16ª colocação no ranking. A área de pesquisa “energia e combustíveis” teve maior destaque tanto no Brasil como no mundo.

Apesar dos Estados Unidos liderar o ranking de publicações, a agência financiadora mais atuante é chinesa. O inglês é o idioma dominante nas produções em ESF, com quase a totalidade e o periódico mais efetivo quanto à quantidade de trabalhos é a *Renewable Sustainable Energy Reviews*, mesmo não estando presente no ranking dos trabalhos mais citados.

A pesquisa bibliométrica em ESF ainda é escassa, estando mais presente em análises sobre energia solar de forma geral, as quais incluem também a energia solar térmica. Este tipo de pesquisa pode auxiliar no embasamento bibliográfico e oportunizar pesquisa em locais onde a ESF é relativamente pouco difundida.

REFERÊNCIAS

- Brasil. Lei nº 10847, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá Outras Providências. Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004/2006/2004/lei/110.847.htm>. Acesso em: 1 nov. 2017.
- Casado, E. S., Sánchez, M. L. L., Lopez, A. E. S., Larsen B., Ingwersen, P. 2014. Production, consumption and research on solar energy: The spanish and german case, *Renewable Energy*, v. 68, p.733-744.
- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). 2017. Qualis. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/index.jsf;jsessionid=S+H4RXpwflNzTx2a3c6hUM7Q.sucupira-213#>. Acesso em 3 jul. 2017.
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ). 2017. Apresentação institucional. Disponível em: <http://cnpq.br/apresentacao_institucional>. Acesso em: 10 nov. 2017.
- Dong, B., Xu G., Luo, X., Cai, Y., Gao, W. 2012. A bibliometric analysis of solar power research from 1991 to 2010, *Scientometrics*, v. 93, n. 3, p.1101-1117.
- Du, H., Li, N., Brown, M. A., Peng, Y., Shuai, Y. 2014. A bibliographic analysis of recent solar energy literatures: The expansion and evolution of a research field, *Renewable Energy*, v. 66, p.696-706.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). 2016. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético Nacional 2016: Relatório síntese ano base 2015. 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese do Relatório Final_2016_Web.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017
- Hinrichs, R. A., Kleinbach, M., Reis, L. B. 2016. Energia e meio ambiente, Cengage Learning.
- Lopez, R. A. 2012. Energia solar para a produção de eletricidade, Artliber.
- National Natural Science Foundation of China (NSFC). 2017. Disponível em: <<http://www.nsf.gov.cn>>. Acesso em: 18 nov. 2017.
- Peraza, D. G., Gasparin, F. P., Krenzinger, A. 2015. Estudo de viabilidade da instalação de usinas solares fotovoltaicas no estado do Rio Grande do Sul, *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 6, n. 1, p.47-56.
- Pinho, J. T., Galdino, M. A. 2014. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, CRESEB. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 5 out. 2017.
- Plataforma Sucupira. 2017. Qualis Periódicos. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>. Acesso em 17 nov. 2017.
- Pogonietz, W R. 2015. Frameworks for understanding and promoting solar energy technology development, *Resources*, v. 4, p.55-69.
- Rosa, A. R. O., Gasparin, F. P. 2016. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil, *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 7, n. 2, p. 140-147.
- Seiffert, M. A. B. 2007. Gestão ambiental: Instrumentos, esferas de ação e educação ambiental, Atlas.
- Silva, E. A. 2016. Produção brasileira ‘visível’ em Avaliação do Ciclo de Vida. V CBGCV – V Congresso Brasileiro Em Gestão do Ciclo de Vida, Fortaleza.

Abstract: Population growth leads to increased energy demand, contributing to the scarcity of natural resources. The use of renewable energy sources appears as a solution to ease the pressure on these resources. Photovoltaic solar energy (PSE) is the energy obtained through the direct conversion of light and electricity. There are several journal portals and web search databases, being an important tool for the production and sharing of scientific research in various areas. The present paper aims to sketch an world and Brazilian escenario on PSE through bibliometric analysis by the Web of Science database. The expressions "solar energy" and "photovoltaic" were used with the operator "and" in order to delimit the research specifically in ESF from 2007 to 2017. A total of 5,498 publications were identified, of which 115 were Brazilian. The United States appears as the most active country and Brazil ranks 16th in the ranking of publications. It was noticed that the authors and the most effective journals with respect to quantity are not present in the most cited paper in the world. It was concluded that the PSE research has been growing, but Brazil still does not occupy an important position within the theme. It was also realized the importance of bibliometric research, which can help in the bibliographic base and offer research in places where the PSE is still not widespread.

Keywords: Photovoltaic solar energy, bibliometric analysis, Web of Science.