

Antonio Carlos Franco – Mestrando em Engenharia de Produção (UTFPR)
Cassiano Moro Piekarski – Doutor em Engenharia de Produção (UTFPR)
Luciane Silva Franco – Mestranda em Engenharia de Produção (UTFPR)

A EVOLUÇÃO MUNDIAL DAS APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR

RESUMO

A necessidade do uso de energia está relacionada com questionamentos econômicos e sociais que impactam na evolução para um desenvolvimento sustentável em âmbito mundial. No entanto, o desenvolvimento de tecnologias resulta no aumento da necessidade por energia e os danos ao meio ambiente, retratando em uma busca por fontes renováveis de energia. Este estudo tem como propósito avaliar o uso da energia solar em diversos setores. A metodologia usada foi com base no uso do *Methodi Ordinatio*, com os bancos de dados *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*, retratando em uma avaliação completa de 25 artigos, sem uso de recorte temporal. Dentre os resultados, evidenciou o uso de energia no aquecimento de água para os restaurantes e banheiros, como energia na geração de eletricidade em equipamentos domésticos, industriais, hospitalares entre outras aplicações, como combustível veicular em meios de transportes sustentáveis, como é o exemplo do transporte público já disseminado em países como China na Ásia e Chile na América do Sul, como alternativa na substituição ao gás natural. Dos artigos avaliados, 39,7% mostram vantagens tanto técnicas e ambientais para a utilização de fontes renováveis de energia solar em inúmeros setores e países. 32,8% relatam que uma evolução humana e financeira necessita da disponibilidade de recursos de energia para a produção de energia elétrica renovável próxima ao cliente final, minimizando as perdas em linhas de distribuição. 27,5% a diversificação da matriz energética industrial demonstra várias vantagens financeiras, ambientais e sociais, portanto, reduzindo a dependência dos recursos fósseis. A utilização de fontes renováveis de energia beneficia para um mundo sustentável, resultando em uma conscientização e parcerias entre instituições de ensino, empresas privadas e sistemas governamentais em uma diminuição de custos e agir de maneira ambiental e competitiva. O processo de toda a cadeia de produção de energia renovável demanda de pesquisas e desenvolvimento (P&D), processos industriais de fabricação de equipamentos adequados. Os resultados são demonstrados neste artigo para avançar, incentivar e aumentar o número de estudos científicos no setor das fontes limpas de energia.

Palavras-chave: Meio ambiente. Energia renovável. Energia Solar. Indústria.

1 INTRODUÇÃO

Neste século a energia se tornou uma fonte indispensável em vários países contribuindo no desenvolvimento econômico, crescimento de tecnologias, aumento da população, e assim, atender a elevada demanda de energia no mundo (FAMIGLIETTI et al., 2020). Os países como Austrália, China, Irã, Canadá, Brasil, Estados Unidos, Rússia e a Venezuela, mostram recursos naturais abundantes possibilitando alternativas para minimizar de forma eficiente o uso das fontes fósseis e na redução da emissão de gases poluentes para a atmosfera. O processo de implantação de estratégias energéticas com intuito de reduzir a

dependência na utilização por fontes de energia poluentes é um conceito essencial que necessita de maior atenção (SHEIKH et al., 2018).

O desenvolvimento da economia industrial por meio do uso de energia não renovável contribui negativamente para o meio ambiente, pois este aumenta a degradação de recursos já considerados escassos na natureza. A utilização de recursos tradicionais energéticos impacta negativamente por meio do crescimento na emissão de CO₂ na atmosfera, e assim, resultando como uma barreira em uma transição sustentável (ISHIMINE et al., 2011). A degradação do meio ambiente é incentivada grande número de veículos a base de combustíveis fósseis ocasionando um número elevado de emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa, como metano, CO₂ e óxido de nitrogênio (DISPENZA et al., 2019).

Os grandes impactos negativos no meio ambiente e o valor econômico internacional com a redução do petróleo no mercado, impulsionaram usinas de petróleo na minimização das emissões de gases de efeito estufa, sem impactar os investimentos econômicos nas empresas (JRADI e RIFFAT, 2014). Aproximadamente 65% das emissões de CO₂ são de atividades relacionadas aos sistemas industriais (FAMIGLIETTI et al., 2020). Portanto, os estudos para o desenvolvimento de tecnologias eficientes energeticamente para a otimização destas emissões são fundamentais para a preservação do meio ambiente e na diminuição da dependência energética pelos combustíveis fósseis. A minimização das emissões provocadas pelo CO₂ engloba: a utilização de tecnologias para a geração de energias renováveis e um desempenho energético satisfatório para a produção de energia limpas (SHEIK ISMAIL, VELRAJ e RANGANAYAKULU, 2010).

Pesquisas sobre a qualidade de energia são fundamentais para o entendimento da cadeia de fornecimento na geração e transmissão de energia elétrica. Uma dificuldade identificada nas usinas de distribuição são os altos preços e a mudança constante em redes de distribuição para o fornecimento de energia (FAMIGLIETTI et al., 2020). O processo de produção industrial sofre impacto de constantes interrupções de energia, e assim, influenciando nos seus resultados produtivos finais (MANSOOR et al., 2015). Diversos pesquisadores afirmam que os equipamentos industriais demonstram uma melhora na eficiência energética e ambiental com o uso de fontes limpas de energia. Portanto, o investimento em tecnologias alternativas e renováveis gera resultados positivos tanto socialmente, economicamente e ambientalmente (FAMIGLIETTI et al., 2020; FAN et al., 2017; PIELICHOWSKA e PIELICHOWSKI, 2014; SAHAYM e NORTON, 2008).

A energia solar fotovoltaica é uma oportunidade de geração de energia limpa, gratuita e infinita. O potencial do sistema de geração é atrativo e necessita pouco espaço para sua instalação. Em relação a este estudo foi identificado um número de publicações em energias fotovoltaicas aplicadas às casas, hospitais, empresas, indústria e frigoríficos, totalizando 63 artigos. Este artigo buscou ampliar a literatura que aborda as aplicações de fontes limpas de energia em inúmeros setores. Acredita-se que, nesta pesquisa, obtenha uma contribuição para a literatura, uma vez que não foram encontrados estudos que relacionassem esses tópicos, conforme mostrado no presente estudo. Nesse breve contexto, o objetivo do presente estudo é analisar a evolução e as aplicações das energias fotovoltaicas em vários setores em âmbito mundial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia Fotovoltaica

A necessidade pela demanda mundial por energia e também estimulada pelo crescimento populacional, torna as tecnologias fotovoltaicas solares como adequadas para a utilização em inúmeros países e setores, mesmo situados em lugares remotos. A produção de energia elétrica limpa possibilita atender o consumo local e igualmente de comercializar o excesso de energia para outras nações, favorecendo na economia do país, na redução dos impactos ao meio ambiente e diminuição na emissão de gases de efeito estufa (ISENMANN; BEY; WELTER, 2007). O crescimento na geração de energia por meio de painéis fotovoltaicos em todo o mundo ocorre em paralelo com o desenvolvimento e produção de tecnologias para os sistemas solares, isto resulta em um impacto positivo para o setor de energia e a minimização de custos de geração, favorecendo a evolução desta fonte limpa de forma sustentável (FAMIGLIETTI et al., 2020).

O processo de transição tecnológica para a energia fotovoltaica inclui aspectos sociais e econômicos, estes pesquisam a influência do contexto social para o desenvolvimento dos países (AHSAN et al., 2020). A produção de energia elétrica de origem solar favorece para uma transição verde sustentável. Com tecnologias cada vez mais sofisticadas e uma redução nos valores beneficia a disseminação dos sistemas de geração de energia solar fotovoltaico (FAN et al., 2017). A utilização de energias renováveis em longo prazo, como a energia fotovoltaica impacta na eficiência do rendimento energético e na compreensão como ocorre a transformação climática influenciando na produção de fontes limpas de energia (ALMESHAI EI et al., 2020).

A comercialização de células fotovoltaicas varia conforme os países, mas o seu crescimento global resulta em um aumento no consumo de energia de forma sustentável, assim, mostrando efeitos positivos como: otimização na poluição do ar, minimizando as mudanças climáticas e evitando o aquecimento global. Para alcançar estes resultados, soluções limpas de energia necessitam ser estudadas, geradas e implantadas adequadamente. Os sistemas de geração fotovoltaica são considerados como oportunidades positivas em relação aos combustíveis fósseis, incentivados pelo uso da luz solar, um recurso ilimitado (SHEIKH et al, 2018).

Os maiores rendimentos de sistemas fotovoltaicos no processo de conversão de energia estão entre 14% e 31% da energia total incidente. A propagação de fontes fotovoltaicas depende de aspectos financeiros, retratando em possibilidades atrativas para investidores, com aplicações financeiras relacionadas a qualificação técnica em longo prazo (OGBONNAYA, TURAN e ABEYKOON, 2020). O sistema de geração fotovoltaico usa microgeradores, especificamente em cooperativas rurais e residenciais (FAMIGLIETTI et al., 2020). A produção de células fotovoltaicas em terceira geração com o uso de vários materiais tecnicamente mais baratos, são atrativos economicamente pela alta eficiência e flexibilidade dos materiais. Esta energia renovável se mostra com uma diversidade de aplicações comerciais, como refrigeração e iluminação (YENIYIL, BOGA e ESME, 2019).

Países com abundância marítima podem instalar usinas de energia solar flutuante para os sistemas de geração e distribuição fotovoltaicos, atendendo o potencial de demanda local e costeiro (FILHO et al., 2020). A disseminação da tecnologia fotovoltaica e os investimentos industriais possibilita a quebra de barreiras como a instabilidade econômica dos sistemas de energia (ISHIMINE et al., 2011). O aumento da cadeia produtiva da energia fotovoltaica em

parques industriais demonstra tem resultados satisfatórios por meio dos indicadores de emprego, ensino e financeiro (MÜLLER et al., 2017).

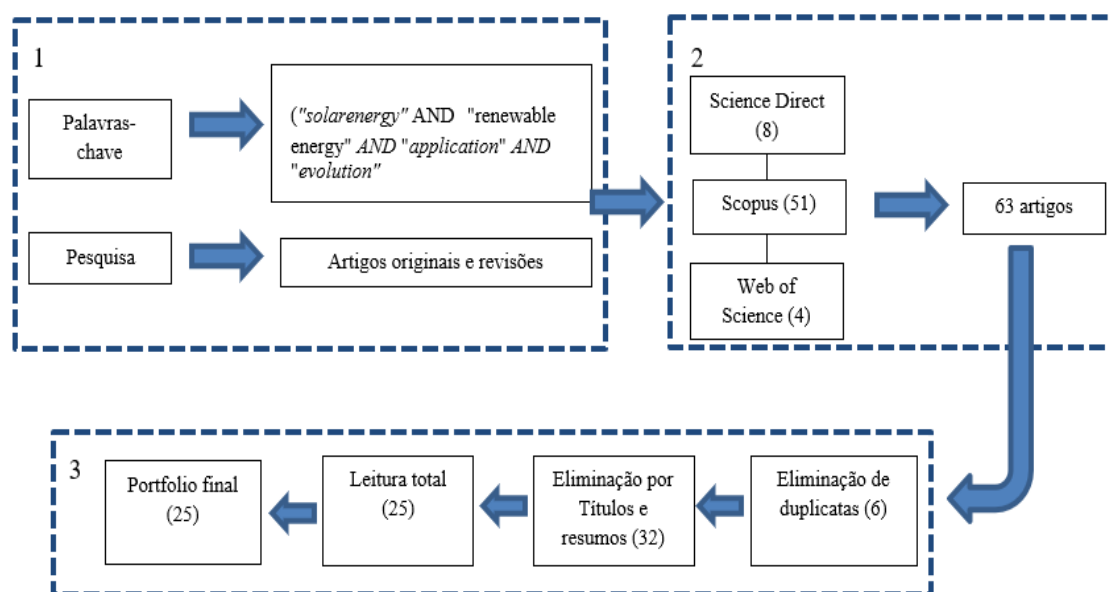
As oportunidades geradas por meio das fontes limpas de energia são interessantes para a implantação nos sistemas de geração e distribuição em hospitais, casas e empresas com resultados interessantes para uma transição sustentável (ISHIMINE et al., 2011). A energia fotovoltaica possibilita a evolução dos pilares do *triple bottom line*: social, econômica e ambiental por meio das células fotovoltaicas como um papel essencial no desempenho do sistema de energia (FAMIGLIETTI et al., 2020). O processo de captura da luz solar em sistemas de conversão de energia elétrica mostra resultados satisfatórios para atender as altas demandas em diversos setores e aplicações (YENIYIL, BOGA e ESME, 2019).

3 MÉTODO

Para este estudo foi adotada a revisão sistemática da literatura baseada na metodologia mencionada por Pagani, Kovaleski e Resende (2015), o *Methodi Ordinatio*, que desempenha uma ordem metodológica de artigos relevantes de alto impacto sobre o título em pesquisa.

Esta metodologia baseia-se em onze etapas: 1) identificação de um tema novo para estudo; 2) determinação do objetivo de pesquisa; 3) pesquisa preliminar com palavras-chave nas bases de dados; 4) definição da combinação de palavras-chave e bancos de dados a serem utilizados; 5) busca final em bases de dados; 6) procedimentos de filtragem; 7) identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações; 8) classificação de artigos usando InOrdinatio; 9) localização dos artigos em formato completo; 10) leitura e análise sistemática de artigos; 11) resposta para o objetivo de estudo. As etapas da investigação foram realizadas conforme os bancos de dados usados e os resultados obtidos (FIGURA 1).

Figura 1 – Etapas de investigação



Fonte: Os autores (2020)

A investigação usou os bancos de dados *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science* para artigos de revisão e pesquisa, sem recorte temporal. Justifica-se que a seleção dos bancos de dados *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science* ocorreu por serem bases muito utilizadas com resumos e referências bibliográficas de revisão científica literatura, contribuindo em uma ótica científica de energia renovável em inúmeros setores na produção de energia limpa (ISENMANN; BEY; WELTER, 2007). *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science* mostraram cobertura de alto impacto em periódicos, no entanto, de acordo com os resultados relatados por Archambault (2009), ambas as bases fornecem uma ampla cobertura bibliográfica na área de Engenharia.

Para a determinação do grupo de palavras-chave, foram utilizados operadores booleanos e símbolos de truncamento, como: ("*solar energy*" AND "*renewable energy*" AND "*application**" AND "*evolution*"). Após a procura nas bases de dados, segundo mostrado na Figura 1, foram obtidos 63 artigos. Como resultado, os 6 artigos duplicados foram excluídos, resultando em 57. Foi realizada a filtragem por título e resumo, eliminando os artigos que não se enquadravam nesta investigação, excluindo 32 artigos no total e deixando 25 artigos.

Posteriormente, foi adotada a fórmula *InOrdinatio*, onde todos os artigos foram selecionados. Assim, uma análise completa foi realizada nos 25 artigos. Para este procedimento, a Equação 1 foi utilizada:

$\text{InOrdinatio} = (Fi / 1000) + \alpha * [10 - (\text{AnoPesq} - \text{AnoPub})] + (\sum Ci)$	(Eq. 1)
---	---------

Onde:

- Fi: fator de impacto periódico;
- α : coeficiente atribuído pelo pesquisador;
- Ano Pesq: ano da pesquisa;
- Ano Pub: ano de publicação do artigo;
- Ci: número de citação do artigo em outros estudos.

Foram usados os softwares *Mendeley*, *Microsoft Excel* e *Jabref*. A análise bibliométrica foi realizada por meio do número de citações de artigos definido pelo *Google Scholar*, fator de impacto em que foi considerado o JCR 2018 (*Journal Journal Citation Reports*), estes dados foram coletados em 24 de junho de 2020. No *InOrdinatio*, o coeficiente é considerado o ano de publicação com uma pontuação (a) classificada de 1 a 10, na qual quanto mais próxima de 10 significa que o autor considera a importância dos artigos atualizados em relação ao ano de publicação. A seleção dos autores foi de 5, uma vez que não foi definido recorte de tempo.

Os 25 artigos de alto impacto são mostrados na seção de resultados e discussão. Mapas visuais foram construídos utilizando o software *VOSviewer*. Para avaliação completa da escolha dos artigos, além dos critérios já mencionados como ano de publicação, fator de impacto e número de citações, outros fatores foram analisados como: tema do artigo, principais tópicos (energia fotovoltaica, energias renováveis, aplicações e a evolução) e o país da investigação.

4 ANÁLISE

As classificações dos artigos pelo coeficiente *InOrdinatio* são mostrados em Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da revisão sistemática

ID	Autor	Artigo	Ano	Periódico	Fi	Ci	InOrdinatio
1	Pielichowska, K. and Pielichowski, K.	<i>Phase change materials for thermal energy storage</i>	2014	<i>Progress in Materials Science</i>	23,7	847	867
2	Filho, Mauro Obladen de; Unsihuay-Vila, Clodomiro Silva, Vilson Roiz Gonçalves Rebelo	<i>Technical and economic viability of the installation of a hybrid solar-wind generation system in a Brazilian industry.</i>	2020	<i>Brazilian Archives of Biology and Technology</i>	18,9	403	523
3	Müller, K., Bugnicourt, E., Latorre, M., Jorda, M., Sanz, Y.E., Lagaron, J.M., Miesbauer, O., Bianchin, A., Hankin, S., Bölz, U., Pérez, G., Jesdinszki, M., Lindner, M., Scheuerer, Z., Castelló, S. and Schmid, M.	<i>Review on the processing and properties of polymer nanocomposites and nanocoatings and their applications in the packaging, automotive and solar energy fields</i>	2017	<i>Nanomaterials</i>	4,03	220	255
4	Sahaym, U. and Norton, M.G.	<i>Advances in the application of nanotechnology in enabling a 'hydrogen economy'</i>	2008	<i>Journal of Materials Science</i>	3,44	178	168
5	Babar, H. and Ali, H.M.	<i>Towards hybrid nanofluids: Preparation, thermophysical properties, applications, and challenges</i>	2019	<i>Journal of Molecular Liquids</i>	4,56	55	100

6	Gasia, J., Miró, L. and Cabeza, L.F.	<i>Review on system and materials requirements for high temperature thermal energy storage. Part 1: General requirements</i>	2017	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	10,6	45	80
7	Sheik Ismail, L., Velraj, R. and Ranganayakulu, C.	<i>Studies on pumping power in terms of pressure drop and heat transfer characteristics of compact plate-fin heat exchangers—A review</i>	2010	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	10,6	79	79
8	Fan, X.-c., Wang, W.-q., Shi, R.-j. and Cheng, Z.-j.	<i>Hybrid pluripotent coupling system with wind and photovoltaic-hydrogen energy storage and the coal chemical industry in Hami, Xinjiang</i>	2017	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	10,6	20	56
9	Ogbonnaya, C; Turan, A; Abeykoon, C.	<i>Robust code-based modeling approach for advanced photovoltaics of the future.</i>	2020	<i>Solar Energy</i>	8,16	10	55
10	Dispenza, G., Sergi, F., Napoli, G., Randazzo, N., Di Novo, S., Micari, S., Antonucci, V. and Andaloro, L.	<i>Development of a solar powered hydrogen fueling station in smart cities applications</i>	2017	<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>	4,08	20	55
11	Sukumaran, C., Vivekananthan, V., Mohan, V., Alex, Z.C., Chandrasekhar, A. and Kim, S.-J.	<i>Triboelectric nanogenerators from reused plastic: An approach for vehicle security alarming and tire motion monitoring in rover</i>	2020	<i>Applied Materials Today</i>	8,01	0	50
12	Famiglietti, A., Lecuona-Neumann, A., Nogueira, J. and Rahjoo, M.	<i>Direct solar production of medium temperature hot air for industrial applications in linear</i>	2020	<i>Applied Thermal Engineering</i>	4,03	0	50

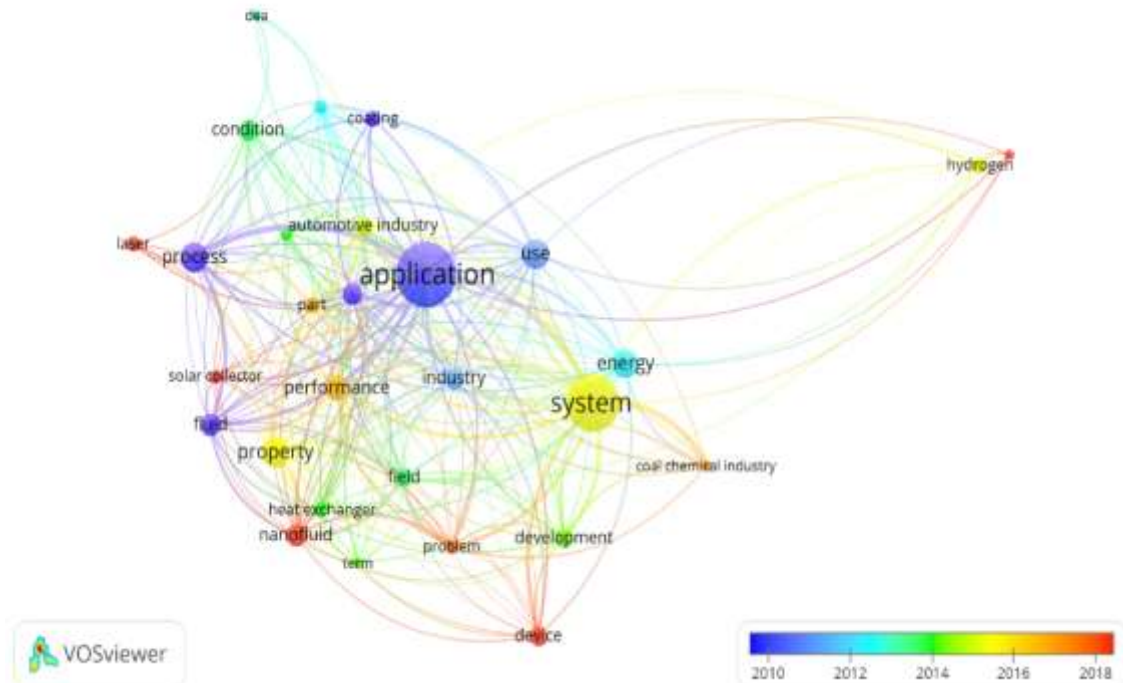
		<i>concentrating solar collectors using an open Brayton cycle. Viability analysis</i>					
13	Almeshaiei, Eisa; Al-Habaibeh, Amin; Shakmak, Bubaker, A. E	<i>Rapid evaluation of micro-scale photovoltaic solar energy systems using empirical methods combined with deep learning neural networks to support systems' manufacturers.</i>	2020	<i>Journal of Cleaner Production</i>	4,02	0	50
14	Bucher, T., Cardenas, S., Verma, R., Li, W. and Lawrence Yao, Y.	<i>Laser forming of sandwich panels with metal foam cores</i>	2019	<i>Journal of Laser Applications</i>	0	4	49
15	Jradi, M. and Riffat, S.	<i>Modelling and testing of a hybrid solar-biomass ORC-based micro-CHP system</i>	2014	<i>International Journal of Energy Research</i>	3,34	28	48
16	Sheikh, N.A., Ali, F., Khan, I. and Gohar, M.	<i>A theoretical study on the performance of a solar collector using CeO₂ and Al₂O₃ water based nanofluids with inclined plate: Atangana–Baleanu fractional model</i>	2018	<i>Chaos, Solitons and Fractals</i>	3,06	6	46
17	Dispenza, G., Sergi, F., Napoli, G., Antonucci, V. and Andaloro, L.	<i>Evaluation of hydrogen production cost in different real case studies</i>	2019	<i>Journal of Energy Storage</i>	3,52	0	45
18	Yeniyil, E., Boga, C. and Esme, U.	<i>Effects of ultrasonic welding parameters for solar collector applications</i>	2019	<i>Material pruefung/ Materials Testing</i>	0	0	45
19	Kasti, N.A.	<i>Ranges of applicability of a solar-battery car with single and double solar-trailers</i>	2017	<i>Solar Energy</i>	4,67	5	40

20	Ahsan, Syed M; Khan, Hassan A; Hassan, Naveed-ul; Arif, Syed M; Lie, Tek-Tjing	<i>Optimized power dispatch for solar photovoltaic-storage system with multiple buildings in bilateral contracts.</i>	2020	<i>Applied Energy</i>	3,55	4	38
21	Patrusheva, T.N., Fedyaev, V.A., Kirik, S.D., Rudenko, R.Y. and Khol'kin, A.I.	<i>The application of titanium dioxide coatings by the extraction-pyrolysis method</i>	2017	<i>Theoretical Foundations of Chemical Engineering</i>	0,52	1	36
22	Mansoor, B., Nassar, H., Shunmugasamy, V.C. and Khraisheish, M.K.	<i>Three dimensional forming of compressed open-cell metallic foams at elevated temperatures</i>	2015	<i>Materials Science and Engineering A</i>	4,08	10	35
23	Karaca, G. and Tasdemir, Y.	<i>Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from industrial sludges in the ambient air conditions: Automotive Industry</i>	2013	<i>Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering</i>	1,54	15	30
24	Ishimine, T., Watanabe, A., Ueno, T., Maeda, T. and Tokuoka, T.	<i>Development of low- iron-loss powder magnetic core material for high- frequency applications</i>	2011	<i>SEI Technical Review</i>	1,62	12	17
25	Finley, J.J.	<i>Heat treatment and bending of low-E glass</i>	1999	<i>Thin Solid Films</i>	1,89	58	3

Fonte: Os autores (2020)

Os resultados são mostrados conforme o portfólio final de 21 artigos, após avaliados e aprovados segundo os critérios do processo de escolha descrito na metodologia. O tema apresenta representatividade e está em constante desenvolvimento. Usando dados de texto, construiu-se um mapa considerando títulos e resumos, método de contagem completa com um número mínimo de ocorrências de 5, sendo assim 29 termos de um total de 1008 atenderam aos critérios, com um total de 266 links de ligação, conforme apresentado na Figura 2.

Figure 2 - Co-ocorrência de termos - final portfolio

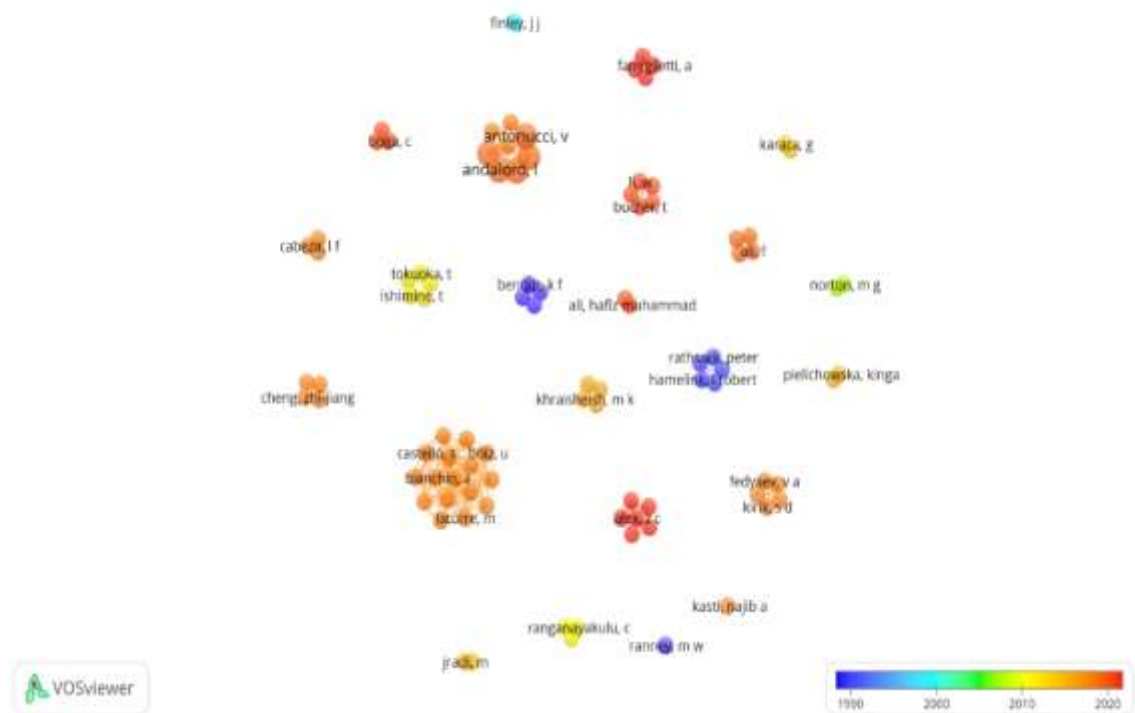


Fonte: Os autores (2020)

Na co-ocorrência de termos e suas inter-relações, vários tópicos foram abordados no tema “Aplicações” com energia em diversos setores a partir da energia fotovoltaica. Na Figura 2 mostra os termos ao longo dos anos, é possível concluir que os termos em azul (progresso, fluido, treinamento, aplicação, uso e energia) estão sujeitos aos primeiros estudos de alto impacto, de acordo com os filtros aplicados neste estudo. Além disso, os termos em verde e tons de amarelo, laranja e vermelho compreendem abordagens mais recentes, uma vez que aparecem apenas nos últimos anos. Portanto, percebe-se que pesquisas de alto impacto vêm sendo realizadas em vários países e utilizações. Entre as utilizações no setor industrial estão como o uso do trocador de calor em 1999 (FINLEY, 1999); uso como combustível veicular em frotas internas de veículos entre 2000 a 2008 (SAHAYM e NORTON, 2008). Os termos desempenho, parte e indústria química de carvão (em toneladas de laranja) aparecem em 2017. Os termos laser, coleta solar, nanofluido, dispositivo e problema (em toneladas de vermelho) aparecem em 2018 essas pesquisas, além do tema Produção solar direta de temperatura média para aplicações industriais (ALMESHAEI et al., 2020); Impactos da soldagem industrial ultrassônica para aplicações em coletores solares (FILHO et al., 2020); Pesquisa teórica do desempenho de um coletor solar utilizando fluidos (SHEIKH et al., 2018); Uso de baterias solares em veículos (OGBONNAYA, TURAN e ABEYKOON, 2020); Análise das propriedades de nanocompósitos poliméricos e suas aplicações automotivas e de energia solar (MÜLLER et al., 2017); Sistema de armazenamento de vento e hidrogênio fotovoltaico na indústria (FAN et al., 2017); Desenvolvimento de uma estação de hidrogênio

alimentada por energia solar em várias aplicações (DISPENZA et al., 2017); Estudo modelo de um micro híbrido de biomassa solar baseado no ciclo Rankine, sistema combinado de energia e calor (FILHO et al., 2020); Estudo sobre as possibilidades de energia renovável para a indústria (AHSAN et al., 2020). Pode observar que uma pesquisa de alto impacto em 2017 e 2020 foi direcionada para o setor fotovoltaico. Um mapa de cooperação foi preparado com base em dados bibliográficos, de acordo com a Figura 3.

Figure 3 - Co-authorship - final portfolio

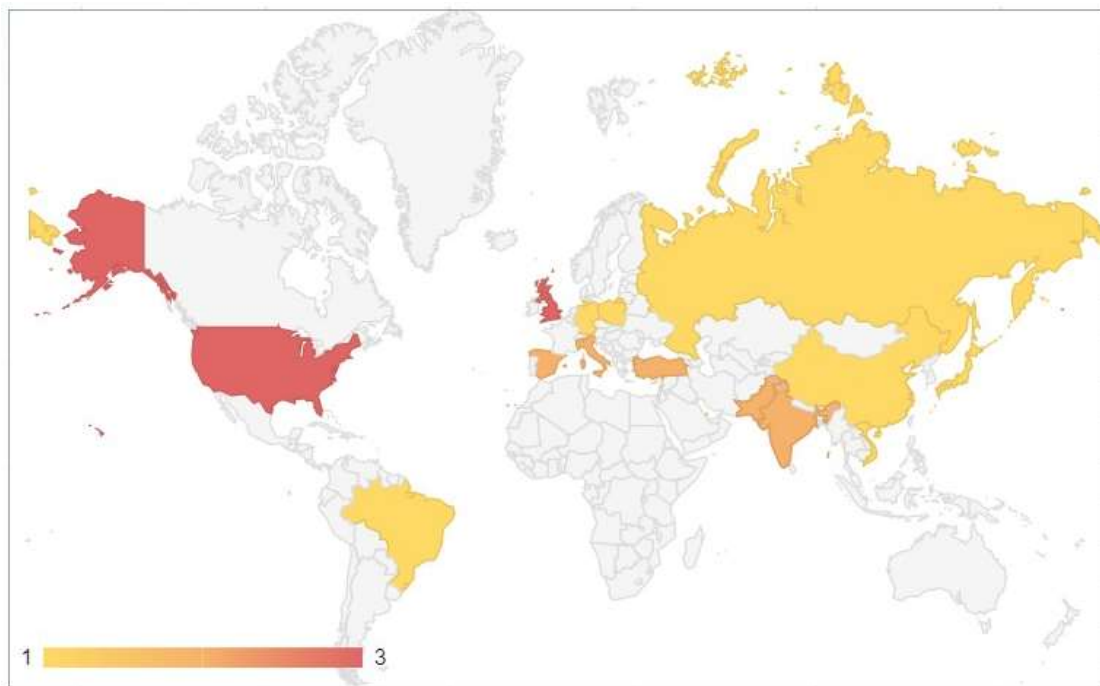


Fonte: Os autores (2020)

O mapa de coautoria, no entanto, foi baseado em dados bibliográficos, coautoria como tipo de análise e autores como unidade de análise, método de contagem completa e agrupamentos conforme com o número de documentos por autor. A rede encontrada foi de 92 autores e co-autores, com a formação de 23 clusters (autores que realizaram estudos em conjunto), totalizando 247 laços de ligação. Diversos países como Estados Unidos, Espanha, Paquistão e Itália mostram um elevado potencial para a diversificação de forma sustentável da matriz energética por meio do uso desta fonte renovável de energia. O desenvolvimento de tecnologias fotovoltaicas por meio da redução nos custos em sistemas de instalação e armazenamento necessita de uma parceria entre instituições de pesquisa, empresas privadas e os sistemas políticos (FAMIGLIETTI et al., 2020; FILHO et al., 2020; DISPENZA et al.,

2019; SHEIKH et al., 2018). A Figura 4 apresenta a quantidade de publicações classificadas por países.

Figura 4 – Quantidade de publicações classificadas por países

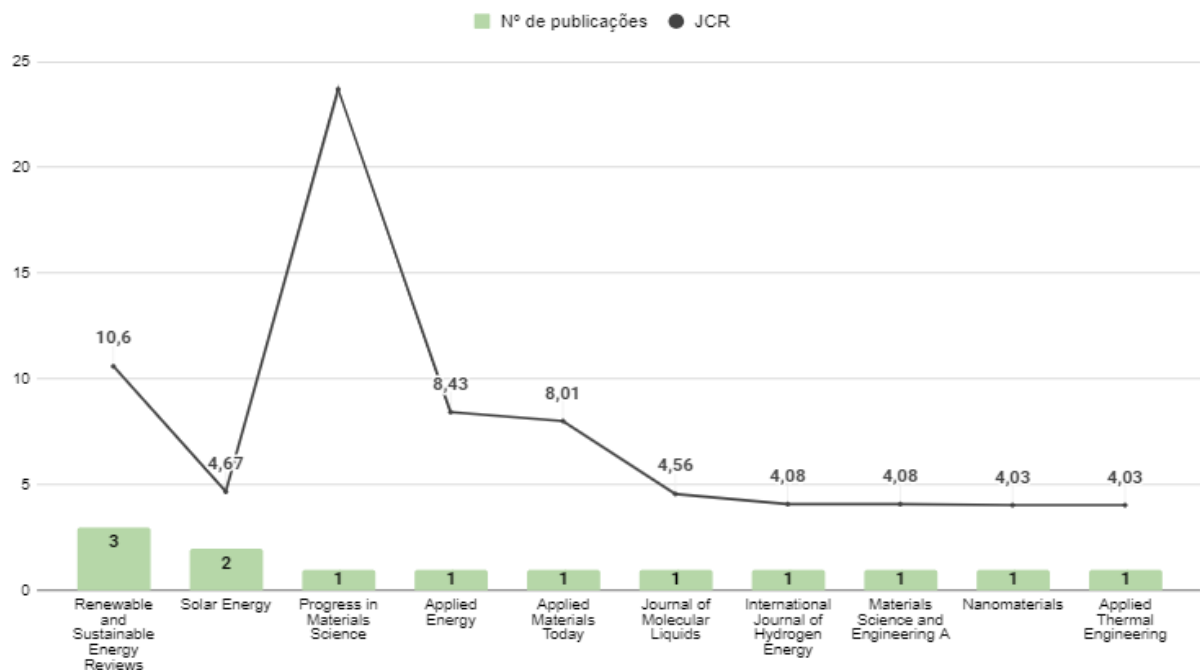


Fonte: Os autores (2020)

Estados Unidos, Reino Unido, Espanha e Paquistão são países com artigos de maior impacto sobre o tema (com InOrdinatio > 100). Os países mostram preocupação com a questão relacionados com a evolução e aplicações dos sistemas de energia fotovoltaicos em âmbito mundial. Países como Índia e Turquia, no entanto, são destaques em materiais alternativos para uso e placar fotovoltaicas com publicações de alto impacto. Sheik Ismail, Velraj, Ranganayakulu (2010) relatam o uso do trocador de calor com objetivo de transferência de energia em fluido para dispositivos relacionados ao setor industrial automotivo. Segundo Sukumaran et al., (2020) aplicações como energia alternativa para uso em dispositivos e equipamentos de hospitais do setor público e privado, assim, reduzindo a necessidade por energia de fontes fósseis e a dependência de energia de sistemas tradicionais de geração e distribuição. Yenyil, Boga e Esme, (2019) descrevendo com o desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos como energia contribui na diversificação da matriz energética e na conscientização para sociedade com perspectivas sustentáveis com o uso de coletores solares em propriedades rurais de difícil acesso. Ogbonnaya, Turan e Abeykoon, (2020) as fontes solares como energia retratam na segurança energética de cidades e países, necessitam de pesquisas como alternativas econômicas na diminuição dos valores e acessos dos materiais e instalações nas residências e em empresas.

Em relação aos periódicos, os dez com maiores fator de impacto (JCR), foram selecionados e classificados conforme o número de publicações (FIGURA 5).

Figura 5 – Relação dos periódicos *versus* JCR



Fonte: Os autores (2020)

Artigos com alto fator de impacto foram publicados em inúmeros periódicos descrevendo a evolução e o uso da energia fotovoltaica, no entanto, ainda é cedo para se chegar a conclusões conclusivas sobre as novas tendências de desenvolvimentos, uma vez que não há histórico extenso ainda. O tema demanda de desenvolvimento, sendo uma área favorável para o aprimoramento da pesquisa de alto impacto nos próximos anos, devido a sua relevância demonstrada nos dados e autores mencionados.

Existem autores que afirmam aplicações de energias renováveis no setor industrial. Outras pesquisas demonstram a análise de viabilidade na produção de energia solar em setores industriais (FAMIGLIETTI et al., 2020); desempenho de um coletor solar à base de água (SHEIKH et al., 2018); processo para armazenamento de vento e hidrogênio fotovoltaico para o aquecimento de água em restaurantes e banheiros em substituição do gás natural na China (FAN et al., 2017); eficiência energética em cooperativas rurais consideradas de difícil acesso (OGBONNAYA, TURAN e ABEYKOON, 2020).

Alguns autores afirmam que os sistemas fotovoltaicos são ótimas oportunidades de investimentos com taxas para o retorno similares aos investimentos de alta rentabilidade. A dificuldade em sistemas de geração e distribuição de energia mostram em longo prazo um *payback* variando entre 8 a 15 anos dependendo do tamanho da infraestrutura desejada no projeto.

Normalmente os investimentos neste tipo de projeto mostram uma baixa liquidez e dependem de fatores técnicos como manutenção, equipamentos, instalação e profissionais qualificados e treinados (FAMIGLIETTI et al., 2020; YENIYIL, BOGA e ESME, 2019). A inserção dos sistemas fotovoltaicos de energia nas comunidades promove a geração de empregos especializados e com tendência de crescimento constante.

Outras pesquisas, no entanto, mostram pouco incentivo do sistema de governo para incentivar e promover a adoção desta tecnologia solar e sustentável para o processo de geração e distribuição de energias renováveis, e assim, diminuindo os custos em inúmeros setores e com uma taxa de financiamento interessante energeticamente (SUKUMARAN et al. 2020; BUCHER et al. 2019; YENIYIL, MÜLLER et al., 2017).

A Tabela 3 se encontram as evoluções e principais aplicações fotovoltaicas como alternativas renováveis.

Tabela 3 – Principais evoluções e aplicações fotovoltaicas

Aplicações fotovoltaicas	Autores
Aquecimento de água para restaurantes e banheiros	Filho et al., 2020; Karaca and Tasdemir, 2013.
Aquecedores de ar dos ambientes	Müller et al., 2017; Jradi and Riffat, 2014.
Energia na geração de eletricidade de equipamentos domésticos, hospitalares e industriais	Sheikh et al., 2018; Fan et al. 2017.
Combustível veicular	Famiglietti et al., 2020; Ogbonnaya, Turan e Abeykoon, 2020; Yeniyil, Boga e Esme, 2019; Kasti, 2017.
Geração de empregos	Almeshaiei et al., 2020; Dispenza et al. 2019; Dispenza et al. 2017; Karaca e Tasdemir, 2013.
Combustível veicular para frota interna industrial	Ogbonnaya, Turan e Abeykoon, 2020.
Redução econômica	Almeshaiei et al., 2020; Fan et al., 2017; Ishimine et al., 2011
Diversificação da matriz energética	Ahsan et al., 2020; Müller et al., 2017 ; Sheik Ismail, Velraj, Ranganayakulu, 2010.
Segurança energética	Ahsan et al., 2020; Filho et al. 2020; Dispenza et al. 2017; Karaca e Tasdemir, 2013.
Uso alternativo como substituição ao gás natural	Almeshaiei et al., 2020; Dispenza et al. 2019; Dispenza et al. 2017.

Fonte: Os autores (2020)

Entre as aplicações em cooperativas rurais, restaurantes, indústrias e hospitais da energia solar fotovoltaica encontrada na revisão sistemática de literatura foram: o aquecimento de água em inúmeros setores, aquecedores de ambientes, como energia na

geração de eletricidade, como combustível veicular na frota interna industrial e substituição ao gás natural. O uso de fontes limpas de energia favorece os setores mencionados, resultando em aumento de produção, redução de custos e atuação de forma sustentável e competitiva (ALMESHAI EI ET AL., 2020; AHSAN ET AL., 2020; FAMIGLIETTI et al., 2020; DISPENZA et al., 2019; SHEIKH et al., 2018; FAN et al., 2017; KASTI, 2017; MÜLLER et al., 2017; JRADI e RIFFAT, 2014).

Entre os periódicos analisados, 39,7% encontraram benefícios técnicos para o uso de fontes limpas de energia fotovoltaica. 32,8% afirmam o desenvolvimento humano e econômico necessita da disponibilidade de recursos energia para a produção de energia elétrica renovável próxima ao cliente final minimizando as perdas em linhas de distribuição. 27,5% a diversificação da matriz energética demonstra várias vantagens financeiras, ambientais e sociais, portanto, reduzindo a dependência dos recursos fósseis.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi analisar a evolução e as aplicações da energia fotovoltaica em diversos setores, sem um período temporal. O objetivo foi alcançado explicando os principais estudos de alto impacto com os elementos que influenciam na evolução dos sistemas de energia solar e o seu respectivo impacto econômico, social e ambiental.

Foi realizado um mapeamento de 25 periódicos que analisaram o uso e os benefícios desta fonte limpa de energia. Segundo a pesquisa, os resultados desta pesquisa concluem que o desenvolvimento de fontes limpas de energia como é o caso da energia fotovoltaica, sendo inserida na matriz energética dos países é indispensável para um caminho sustentável. O crescimento com os impactos no meio ambiente como é o exemplo do aumento das emissões de gases de efeito estufa, as mudanças climáticas e o aquecimento global do planeta por meio da demanda por energia de fontes fósseis necessita diminuir, visto que estes recursos são finitos. Portanto, a energia fotovoltaica é uma oportunidade relevante de geração de energia com características inesgotável e possibilidade de geração próxima ao cliente final, não produzindo ruídos em sua geração e necessitando apenas de áreas adicionais para a implantação de painéis e possibilitar inserção em ambientes rurais ou urbanos.

Os incentivos de alguns países importantes neste setor como Estados Unidos, Espanha, Reino Unido, Turquia e Itália, são essenciais para o mercado solar fotovoltaico se desenvolver nos próximos anos. O surgimento de programas do governo para redução de impostos para a aquisição de eletricidade desta fonte sustentável de energia limpa é fundamental por meio do aumento no número de investidores e na redução nos valores de componentes como placas e sistemas de geração.

A energia fotovoltaica tem um potencial promissor com tecnologias eficientes para aproveitar a energia solar, os sistemas de geração e distribuição fotovoltaicos são geralmente independentes, podendo ser instalado em lugares afastados.

Como estudos futuros se sugerem a análise de viabilidade técnica e econômica para o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico em redes de eletricidade. O desenvolvimento de parcerias em longo prazo entre universidades, sistema de governo e empresas privadas, possibilitam uma produção de energia solar fotovoltaica mais eficiente e barata para os sistemas de geração e distribuição com baixos investimentos para a instalação.

REFERÊNCIAS

AHSAN, SYED M; KHAN, HASSAN A; HASSAN, NAVEED-UL; ARIF, SYED M; LIE, TEK-TJING. Optimized power dispatch for solar photovoltaic-storage system with multiple buildings in bilateral contracts. **Applied Energy**, v. 273, n.2, p.115-132, 2020.

ALMESHAI EI, EISA; AL-HABAIBEH, AMIN; SHAKMAK, BUBAKER, A. E. Rapid evaluation of micro-scale photovoltaic solar energy systems using empirical methods combined with deep learning neural networks to support systems' manufacturers. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, n. 1 p. 118-130, 2020.

ARCHAMBAULT, E. Comparing Bibliometric Statistics Obtained From the Web of Science and Scopus. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 60, n. 7, p. 1320-1326, 2009

BABAR, H.; ALI, H. M. Towards hybrid nanofluids: Preparation, thermophysical properties, applications, and challenges. **Journal of Molecular Liquids**, v. 281, p. 598–633, 2019.

BUCHER, T., CARDENAS, S., VERMA, R., LI, W., LAWRENCE YAO, Y. Laser forming of sandwich panels with metal foam cores. **Journal of Laser Applications**, v. 31, n. 2, 2019.

DISPENZA, G., SERGI, F., NAPOLI, G., RANDAZZO, N., DI NOVO, S., MICARI, S., ANTONUCCI, V., ANDALORO, L. Development of a solar powered hydrogen fueling station in smart cities applications. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, n. 46, p. 27884–27893, 2017.

DISPENZA, G., SERGI, F., NAPOLI, G., ANTONUCCI, V., ANDALORO, L. Evaluation of hydrogen production cost in different real case studies. **Journal of Energy Storage**, v. 24, 2019.

FAMIGLIETTI, A., LECUONA-NEUMANN, A., NOGUEIRA, J., RAHJOO, M. Direct solar production of medium temperature hot air for industrial applications in linear concentrating solar collectors using an open Brayton cycle. Viability analysis. **Applied Thermal Engineering**, v. 169, 2020.

FAN, X. C., WANG, W. Q., SHI, R. J., CHENG, Z. J. Hybrid pluripotent coupling system with wind and photovoltaic-hydrogen energy storage and the coal chemical industry in Hami, Xinjiang. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 950–960, 2017.

FILHO, M. O.; UNSIHUAY-VILA, C. S., VILSON R. G. R. Technical and economic viability of the installation of a hybrid solar-wind generation system in a Brazilian industry. **Brazilian Archives of Biology and Technology** v. 62, n.1 p.1-12, 2020.

FINLEY, J. J. Heat treatment and bending of low-E glass. **Thin Solid Films**, v. 351, n. 1, p. 264–273, 1999.

GASIA, J.; MIRÓ, L.; CABEZA, L. F. Review on system and materials requirements for high temperature thermal energy storage. Part 1: General requirements. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 1320–1338, 2017.

ISENMANN, R.; BEY, C.; WELTER, M. Online reporting for sustainability issues. **Business Strategy and the Environment**, v. 16, p. 487-501, 2007

ISHIMINE, T., WATANABE, A., UENO, T., MAEDA, T. TOKUOKA, T. Development of low-iron-loss powder magnetic core material for high-frequency applications. **SEI Technical Review**, n. 72, p. 117–123, 2011.

JRADI, M.; RIFFAT, S. Modelling and testing of a hybrid solar-biomass ORC-based micro-CHP system. **International Journal of Energy Research**, v. 38, n. 8, p. 1039–1052, 2014.

KARACA, G.; TASDEMIR, Y. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from industrial sludges in the ambient air conditions: Automotive Industry. **Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**, v. 48, n. 8, p. 855–861, 2013.

KASTI, N. A. Ranges of applicability of a solar-battery car with single and double solar-trailers. **Solar Energy**, v. 144, p. 619–628, 2017.

MANSOOR, B., NASSAR, H., SHUNMUGASAMY, V.C. AND KHRAISHEISH, M. K. Three dimensional forming of compressed open-cell metallic foams at elevated temperatures. **Materials Science and Engineering A**, v. 628, p. 433–441, 2015.

MÜLLER, K., BUGNICOURT, E., LATORRE, M., JORDA, M., SANZ, Y.E., LAGARON, J.M., MIESBAUER, O., BIANCHIN, A., HANKIN, S., BÖLZ, U., PÉREZ, G., JESDINSZKI, M., LINDNER, M., SCHEUERER, Z., CASTELLÓ, S., SCHMID, M. Review on the processing and properties of polymer nanocomposites and nanocoatings and their applications in the packaging, automotive and solar energy fields. **Nanomaterials**, v. 7, n. 4, 2017.

OGBONNAYA, C; TURAN, A; ABEYKOON, C. ROBUST code-based modeling approach for advanced photovoltaics of the future. **Solar Energy**, v. 199, n. 1 p. 521-529, 2020.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109—2135, 2015.

PATRUSHEVA, T. N., FEDYAEV, V. A., KIRIK, S. D., RUDENKO, R. Y., KHOL'KIN, A. I. The application of titanium dioxide coatings by the extraction-pyrolysis method. **Theoretical Foundations of Chemical Engineering**, v. 51, n. 5, p. 759–762, 2017.

PIELICHOWSKA, K.; PIELICHOWSKI, K. Phase change materials for thermal energy storage. **Progress in Materials Science**, v. 65, p. 67–123, 2014.

SAHAYM, U.; NORTON, M. G. Advances in the application of nanotechnology in enabling a “hydrogen economy”. **Journal of Materials Science**, v. 43, n. 16, p. 5395–5429, 2008.

SHEIK ISMAIL, L.; VELRAJ, R.; RANGANAYAKULU, C. Studies on pumping power in terms of pressure drop and heat transfer characteristics of compact plate-fin heat exchangers—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 478–485, 2010.

SHEIKH, N. A., ALI, F., KHAN, I., GOHAR, M. A theoretical study on the performance of a solar collector using CeO_2 and Al_2O_3 water based nanofluids with inclined plate: Atangana–Baleanu fractional model. **Chaos, Solitons and Fractals**, v. 115, p. 135–142, 2018.

SUKUMARAN, C., VIVEKANANTHAN, V., MOHAN, V., ALEX, Z. C., CHANDRASEKHAR, A., KIM, S. J. Triboelectric nanogenerators from reused plastic: An approach for vehicle security alarming and tire motion monitoring in rover. **Applied Materials Today**, v. 19, 2020.

YENIYIL, E.; BOGA, C.; ESME, U. Effects of ultrasonic welding parameters for solar collector applications. **Materialpruefung/Materials Testing**, v. 61, n. 4, p. 344–348, 2019.