

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL: MAPEAMENTO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

MARCELO CIZEWSKI BORB

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

IVANETE SCHNEIDER HAHN

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

Introdução

A demanda de energia cresceu rapidamente desde a Revolução Industrial. Os combustíveis fósseis já não têm capacidade de suprimento desta demanda, porque eles estão se esgotando e são prejudiciais ao meio ambiente (AHMED; AMIN; EL BANNA FATH, 2019). As preocupações com os impactos ambientais causados pela geração de energia elétrica através de combustíveis fósseis e da energia nuclear tem fortalecido os investimentos em fontes limpas de energia.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Este artigo visa demonstrar por meio do mapeamento da produção científica um panorama global das pesquisas sobre o tema geração de energia elétrica por fontes renováveis, de modo a prover uma análise geral sobre o tema, destacando tendências nos diversos tipos de geração de energia renovável, como a energia solar, energia eólica, bioenergia e outras. Além disso, buscou-se analisar a relevância de cada categoria de geração e os países líderes em publicações, principais revistas e autores com publicações sobre o tema.

Fundamentação Teórica

Elettricidade é uma forma de energia que representa o fluxo ordenado de elétrons, ou seja, fluxo de energia elétrica. Essencial para acionar uma gama cada vez maior de equipamentos e eletrodomésticos. A energia elétrica, como forma de energia secundária, pode ser gerada através de outras fontes de energia como carvão, gás natural, petróleo, energia nuclear e outros tipos de fontes denominadas fontes de energia primárias. As fontes de energia podem ser classificadas em três categorias: combustíveis fósseis, fontes renováveis e fontes nucleares (BERKTAY et al., 2004).

Metodologia

A revisão sistemática de literatura foi conduzida na base Web of Science, no dia 31 de julho de 2021. Foram encontrados 9.987 artigos, sendo a produção científica iniciada em 1990.

Análise dos Resultados

A partir da análise dos dados, verificou-se que: (1) há uma crescente produção científica sobre geração de energia renovável, com predomínio de pesquisas nas modalidades de geração solar, eólica e bioenergia; (2) verifica-se haver uma concentração das publicações em poucas revistas, autores e países; (3) pela tendência de crescimento de publicações é de se esperar ainda uma década de grandes investimentos e crescimento publicações nas diversas modalidades de geração de energia elétrica renovável, sendo um tema de extrema relevância em diversas frentes da ciência global.

Conclusão

Existe um campo teórico a ser explorado sobre o tema. É um tema que ainda carece de estudos, especialmente relacionado a gestão empresarial.

Referências Bibliográficas

AHMED, M. H.; AMIN, A. M. A.; EL BANNA FATH, H. Modeling of solar power plant for electricity generation and water desalination. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, v. 141, n. 1, 2019. BERKTAY, A. et al. Electrical energy prices and losses respect to Turkish social-economic situations. *Energy Exploration and Exploitation*, v. 22, n. 3, p. 195–206, 2004.

Palavras Chave

Sustentabilidade, Eficiência energética, Matriz Elétrica.

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL: MAPEAMENTO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

1 INTRODUÇÃO

A demanda de energia cresceu rapidamente desde a Revolução Industrial. Os combustíveis fósseis já não têm capacidade de suprimento desta demanda, porque eles estão se esgotando e são prejudiciais ao meio ambiente (AHMED; AMIN; EL BANNA FATH, 2019). As preocupações com os impactos ambientais causados pela geração de energia elétrica através de combustíveis fósseis e da energia nuclear tem fortalecido os investimentos em fontes limpas de energia. As metas resultantes do protocolo de Kyoto, de energia renovável e redução de dióxido de carbono, aliadas aos subsídios e regulamentações associados à geração limpa e renovável tem favorecido um crescente interesse na realização de projetos e em novas tecnologias para viabilização desses modelos de geração (ANDINI; CABRAL; SANTOS, 2019).

Com a retomada da economia mundial, afetada pela pandemia de Covid-19, a demanda por eletricidade encaminha-se para seu aumento ano a ano mais rápido da última década, com uma previsão de incremento de 1000 TWh na demanda, equivalente a 4,5% do contabilizado em 2020. Este impulso no setor elétrico é acompanhado pelas energias renováveis, com um crescimento recorde absoluto de 8% em comparação a 2020, cujo crescimento percentual foi de 3%, em plena pandemia, em relação a 2019. Os combustíveis fósseis, porém, também tem previsões de retomada de crescimento para o ano de 2021, com o carvão liderando para o setor de energia elétrica, com um valor estimado de 4,5% de aumento da demanda, com a geração de energia elétrica a carvão responsável por cerca de 80% deste valor (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

Impactos econômicos e sociais podem ser também relacionados ao desenvolvimento da geração de energia renovável, tendo em perspectiva a relação proporcional entre o crescimento econômico de um país, a demanda de energia elétrica e a qualidade de vida da população (CHENG et al., 2019). Destaca-se, nestas perspectivas ambientais, econômicas e sociais, os investimentos em geração de energia renovável, considerando os dados da *International Energy Agency* (IEA, 2019) que preveem uma parcela de mais de 50% da geração de energia elétrica mundial vindas da geração de energia renovável em 2040, com a energia fotovoltaica, seguida pela energia eólica, com as parcelas mais expressivas no montante gerado das classes de baixo carbono.

Com o objetivo de traçar metas sustentáveis a médio prazo, a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas veio a fortalecer o crescimento das energias renováveis de forma global, desde sua adoção em 2015, visando tomar medidas ousadas para a elevação na eficiência da matriz energética mundial, com uma maior participação das energias renováveis, assistindo a implantação de energias limpas nos países menos desenvolvidos, além de facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa através da cooperação entre países (ONU, 2015).

Mesmo com o destaque da geração solar e eólica, os holofotes cada vez mais voltados à geração sustentável e eficiente podem favorecer o surgimento de novas tecnologias em modelos já conhecidos de geração limpa e eficiente, como a bioenergia, e aumentar a eficiência de usinas tradicionais como as térmicas, que utilizam predominantemente combustíveis fósseis. A primeira delas, representa o caminho mais econômico para se reduzir as mudanças climáticas, pois a biomassa pode substituir, em grande escala, os combustíveis fósseis na estrutura atual (GADSBØLL et al., 2017). No caso das usinas térmicas, parcela considerável da matriz energética global, a conversão de energia de baixo grau em energia elétrica, tais como o calor residual industrial, energia geotérmica, energia solar, podem reduzir efetivamente a poluição ambiental e

melhorar a eficiência energética (ZHANG et al., 2018).

De modo a compreender como esse movimento sustentável está impactando o desenvolvimento científico sobre o tema “energias renováveis”, o presente artigo buscou mapear as pesquisas desenvolvidas sobre as energias renováveis no setor elétrico, por meio de uma análise bibliométrica, capaz de mensurar os índices de produção e disseminação da produção científica (ARAÚJO, 2006). Assim, buscou-se trazer dados que possam demonstrar a evolução da pesquisa, identificar lacunas, tendências e temas relacionados, capazes de promover a ampliação da matriz energética global com a redução da dependência das fontes não-renováveis e consequente risco de segurança de abastecimento (AHMAD et al., 2017).

A organização deste artigo se dá em cinco seções principais. Nesta primeira, foram apresentadas as motivações do estudo e seus objetivos. Em seguida, são apresentadas as modalidades de geração de energia elétrica renovável e suas características. Em terceiro lugar, é apresentada a metodologia para aquisição e análise dos dados da pesquisa – estes seguidos da apresentação dos resultados. Por fim, apresentam-se as considerações finais deste artigo, apresentando discussões, as limitações e as futuras linhas de pesquisa associadas.

2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL: FONTES E CONCEITOS

Eletricidade é uma forma de energia que representa o fluxo ordenado de elétrons, ou seja, fluxo de energia elétrica. Essencial para acionar uma gama cada vez maior de equipamentos e eletrodomésticos. A energia elétrica, como forma de energia secundária, pode ser gerada através de outras fontes de energia como carvão, gás natural, petróleo, energia nuclear e outros tipos de fontes denominadas fontes de energia primárias. As fontes de energia podem ser classificadas em três categorias: combustíveis fósseis, fontes renováveis e fontes nucleares (BERKTAY et al., 2004).

Outra classificação pertinente à geração de energia elétrica refere-se ao tamanho e posicionamento em relação aos grandes centros de consumo, dividindo-se em geração centralizada e descentralizada. As usinas tradicionais, como as térmicas, hidrelétricas e nucleares possuem uma característica centralizada, com altas capacidades de geração de energia, devendo ser essa transportada por redes de transmissão e distribuição, e tratadas em subestações para seu consumo final na residência, comércio ou indústria. Já as usinas descentralizadas, mais comumente chamadas de geração distribuída, eliminam o custo do transporte por poder serem geradas mais próximas ou no próprio local de consumo. Os sistemas de geração distribuídas geralmente utilizam de fontes renováveis de energia, incluindo pequenas hidrelétricas, biomassa, energia solar, eólica e geotérmica (ANGELUS, 2020).

O funcionamento das usinas **hidrelétricas** é baseado no acionamento de turbinas hidráulicas, que gera eletricidade por indução eletromagnética através da rotação originada da vazão de água criada por uma queda d'água. As usinas térmicas utilizam de fontes de energia como carvão, gás natural e petróleo para o acionamento das turbinas por pressão de vapor criado pela queima das fontes primárias. Usinas nucleares utilizam de combustíveis atômicos como urânio, tório e plutônio, que liberam grandes quantidades de energia quando submetidos à fissão nuclear em reatores atômicos, sendo utilizados para aquecimento de água a vapor para o acionamento de turbinadas de geração. Outros tipos de fontes de energia são a solar, hídrica, biomassa e eólica, que são geralmente consideradas renováveis e sustentáveis (CHENG et al., 2019).

A geração de **energia solar**, uma das indústrias que mais cresce no mundo, tem como princípio a transformação da radiação solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Esse efeito ocorre no material semicondutor presente nos módulos fotovoltaicos, que por meio da

radiação solar é capaz de produzir tensão e corrente elétrica contínuas, conseqüentemente energia elétrica. A energia produzida é regulada por meio de um inversor de frequência, que adapta a energia gerada nos módulos fotovoltaicos a níveis funcionais para a utilização nos equipamentos elétricos de residências, comércio e indústria. Existem usinas de energia solar do tipo autônomas, ou *off grid*, que operam independentemente da rede elétrica pública fornecendo energia a uma ou várias cargas, assim como aquelas usinas integradas a matriz elétrica convencional, as usinas *on grid*, que são ligadas à rede da concessionária de energia elétrica e permitem o fluxo bidirecional de energia entre a usina solar e a rede de energia (MUNDO-HERNÁNDEZ et al., 2014; SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017).

Como forma de utilizar a energia cinética dos ventos, as usinas de **geração eólica** utilizam de turbinas eólicas que produzem energia elétrica por indução eletromagnética a partir do movimento de rotação resultante da força dos ventos em suas pás. As usinas eólicas podem ser classificadas em dois grupos de acordo com a localização, com usinas do tipo *onshore*, instaladas em locais continentais, e do tipo *offshore*, sendo aquelas instaladas em alto mar. Em relação à rede de energia elétrica, as usinas eólicas são classificadas como *off-grid* e *grid-tied*, a primeira representa as usinas não integradas com a rede elétrica, e a segunda representa aquelas integradas a rede elétrica (EERE, 2021).

A geração de eletricidade pela **bioenergia** é uma das diferentes maneiras de transformar a energia existente na biomassa em outros tipos de energia, como também combustíveis e fornecimento de calor. Essa obtenção de energia pode ser realizada através de duas categorias de processos, os de natureza termoquímica, como combustão, gaseificação e pirólise, e os bioquímicos, como por fermentação e por digestão anaeróbica. Os processos realizados na biomassa podem resultar em vapor, calor de processo, biogás e gás metano combustível, carvão e bio-carvão, fontes renováveis para transformação da biomassa em energia elétrica nas turbinas a gás e a vapor (CAPUTO et al., 2005).

A produção de **hidrogênio** para fins de geração de energia através de fontes de energias renováveis, como a água e a própria biomassa, podem auxiliar no aumento da proporção de energia elétrica produzida a partir de energias renováveis, visto que o elemento químico mais abundante do universo, além de ser o mais leve da tabela periódica é também o combustível com maior teor de energia por unidade de massa, e com ampla faixa de inflamabilidade, tanto no ar quanto no oxigênio (URSÚA; GANDÍA; SANCHIS, 2012).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo se pautou numa revisão sistemática de literatura, por meio de um mapeamento da produção científica. Para tal, foi utilizada como base de busca a *Web of Science*, que de acordo com Quevedo-Silva et al. (2016) uma das bases mais indicadas para estudos bibliométricos, sendo pesquisa realizada em duas etapas: geral e específica.

Foram consideradas publicações no formato de artigos científicos, por se tratar de um formato avaliado por pares, escritos na Língua Inglesa, por se tratar da língua internacional de publicação científica.

Para pesquisa geral, o *string* de pesquisa na base de dados, na modalidade tópicos, foi utilizada a expressão “*renewable energ**”, relacionada por uma função lógica AND às seguintes expressões, cada uma relacionada por uma função lógica OR entre si: “*electric sector**”, “*electric industr**”, “*electricity generation*” e “*power generation*”. A lógica de pesquisa objetiva reter os artigos com títulos, resumos ou palavras-chave que contenham a expressão traduzida de “energia renovável”, além de uma das outras quatro expressões, de forma a se relacionar os estudos em

energias renováveis à geração de energia elétrica. O asterisco (*) foi utilizado nas expressões para incluir as flexões gramaticais, incluindo assim as mesmas expressões e possíveis variações associadas.

Na segunda etapa da pesquisa, a partir da identificação dos modelos de geração de energia elétrica renovável obtidos do levantamento das palavras-chave da primeira etapa de pesquisa, foram filtrados da amostra inicial, artigos referentes a cada tipo de energia renovável identificada, e separados nos seguintes grandes conjuntos: energia solar, energia eólica, hidrelétrica, energia a base de hidrogênio, bioenergia, energia das marés, células a combustível, energia geotérmica e geração por gaseificação. Foi realizada a nova filtragem, adicionando-se uma nova linha na pesquisa relacionada pela função AND. A Tabela 1 apresenta as palavras utilizadas, com a lógica OR relacionando-as, todas com perfil tópico (título, resumo, palavras-chave) para aumentar a abrangência.

Tabela 1: Palavras-chave da pesquisa específica

Modalidade	Campo de Pesquisa
Energia Solar	solar OR fotovoltaic*
Energia Eólica	"wind power" OR "wind energ*" OR "wind generation"
Energia Geotérmica	geothermal
Energia a base de Hidrogênio	hydrogen
Energia das Marés	"tidal power" OR "tidal energ*" OR "wave* energ*" OR "wave* power"
Gaseificação	gasification
Células a Combustível	fuel cel*
Bioenergia	bioenerg* OR biomass OR biogas OR biodiesel OR biomethane OR biofuel* OR bioelectricit*
Hidrelétrica	hydroelectric* OR hydropower

Fonte: dados da pesquisa (2021)

A revisão sistemática foi conduzida no dia 31 de julho de 2021. Foram encontrados 9.988 artigos, com uma produção iniciada em 1990. Foi excluído da amostra apenas um artigo, com data de publicação futura de 2022. Nos artigos sem data de publicação disponível foram consideradas as datas de acesso antecipado.

Seguindo a estrutura de mapeamento da produção científica, levantou-se a evolução do número de publicações por ano e por tipo de energia renovável, os países que mais publicam sobre o tema, as palavras-chave mais utilizadas no conjunto e para cada tipo, e os artigos e autores mais citados para cada modalidade de geração de energia renovável. Os dados foram organizados por meio do Microsoft Excel, sendo analisados por meio de estatística descritiva.

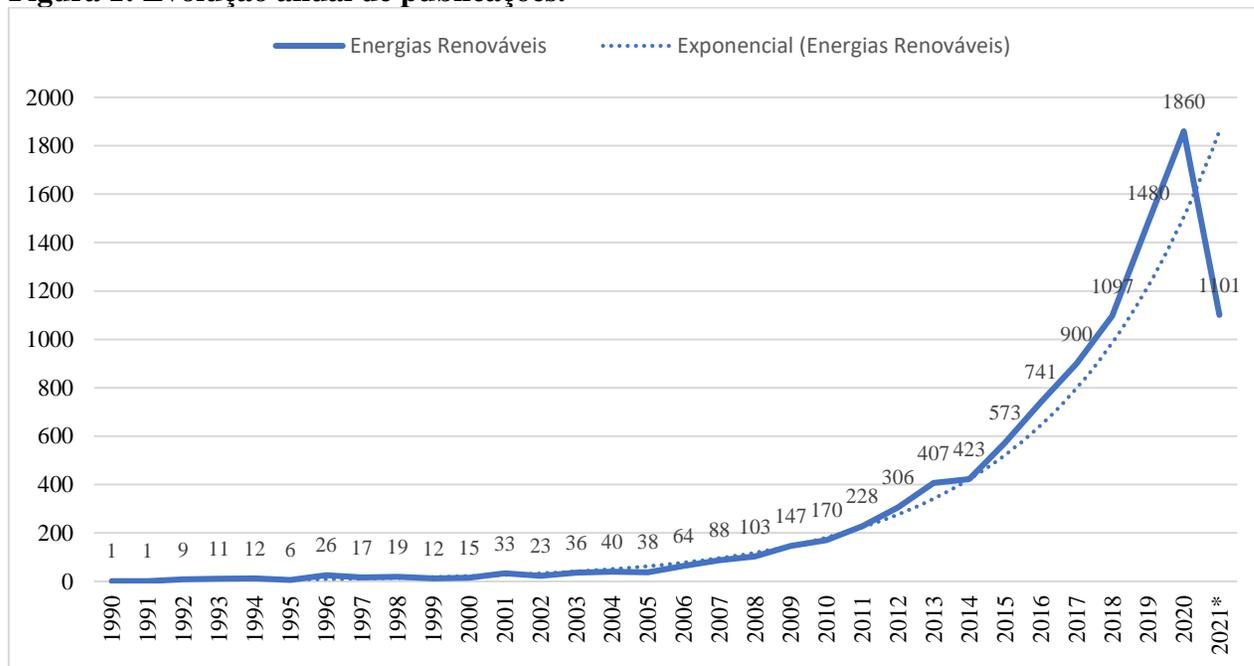
4 RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados da pesquisa. Os resultados sistematizam as informações de 9.987 artigos, com uma produção iniciada em 1990, com Srinivasan, em um artigo publicado na principal revista interdisciplinar Indiana *Current Science*, com título “*Power-generation through renewable sources of energy*”. Este primeiro artigo apresenta de forma básica possíveis aplicações de energia renovável na Índia. O segundo texto básico sobre o tema é do autor Baker, datado de 1991, intitulado “*Tidal power*”, cujo objetivo é analisar o potencial da geração de energia

das marés especialmente no Reino Unido.

A evolução do número de publicações por ano, desde 1990, pode ser visualizada na Figura 1. Na análise, verifica-se um crescimento exponencial no número de publicações anuais em geração de energia elétrica renovável, principalmente se observado o período pós 2005, e com tendência a manter o crescimento no ano de 2021, podendo ultrapassar os 2000 artigos publicados em um ano.

Figura 1: Evolução anual de publicações.



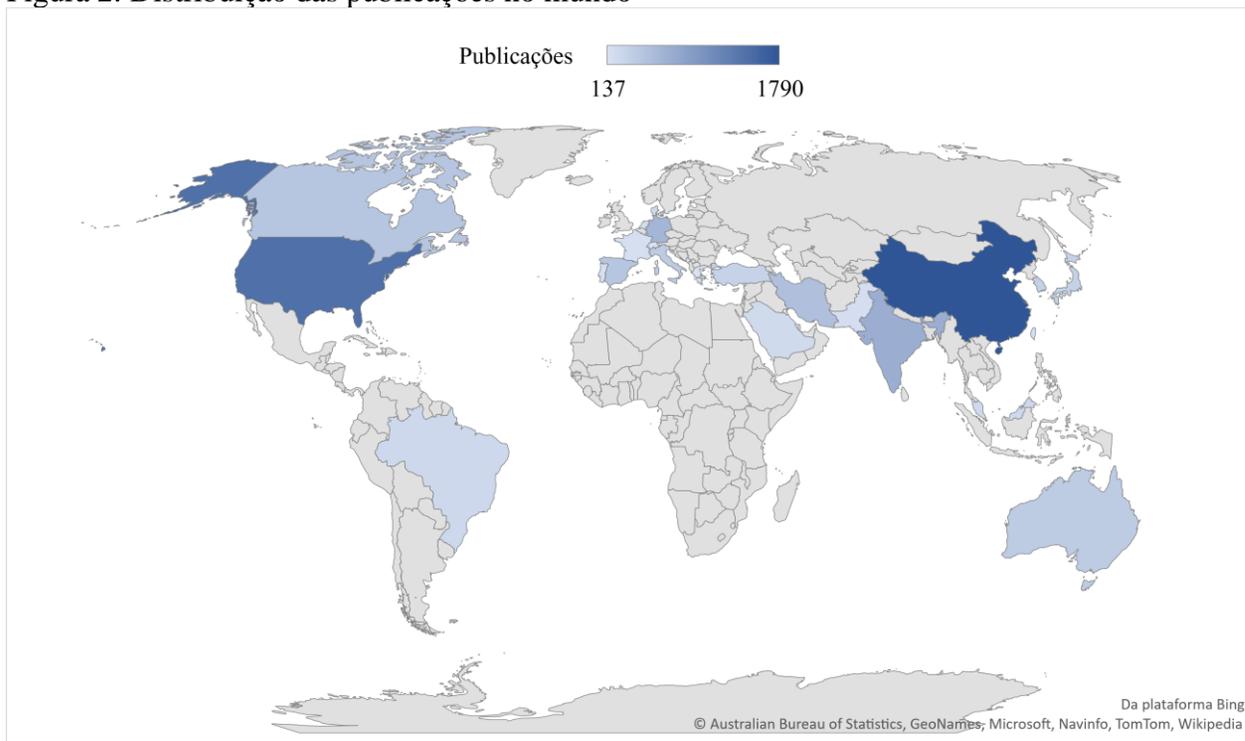
Fonte: dados da pesquisa (2021)

*publicações até julho/2021

O mapa apresentado na Figura 2 representa a distribuição da produção científica no tema, com destaque acentuado para o continente asiático e norte americano, em especial a China e os Estados Unidos, como líderes da produção mundial em geração renovável de energia elétrica. Outrossim, são listadas informações sobre as 25 regiões/países que mais publicam artigos sobre geração de energia elétrica com fontes renováveis.

Quanto aos periódicos com mais publicações sobre o tema, a revista internacional de pesquisas em energia “*Energy*” ocupa o lugar destaque, com 575 publicações, seguida da revista internacional “*Renewable Energy*”, com 549 publicações, e a revista *Energies* em terceiro lugar com 505 publicações. Ambas apresentam publicações sobre energias renováveis nas diversas áreas de abrangência. Para uma amostra de 9987 artigos, foram encontrados 1202 periódicos distintos, e na Tabela 2 são apresentadas as 20 revistas possuem um número de publicações maior que as 1182 restantes, com uma parcela de 50,24% do total publicado.

Figura 2: Distribuição das publicações no mundo



Fonte: dados da pesquisa (2021)

Tabela 2: Periódicos com mais publicações

Título da Revista	Publicações	% da amostra	Fator de impacto
Energy	575	5,76	7,147
Renewable Energy	549	5,50	8,001
Energies	505	5,06	3,004
Energy Policy	503	5,04	6,142
Applied Energy	492	4,93	9,746
Journal of Cleaner Production	304	3,04	9,297
Energy Conversion and Management	288	2,88	9,709
IET Renewable Power Generation	248	2,48	3,93
IET Generation Transmission & Distribution	218	2,18	2,995
Sustainability	190	1,90	3,251
IEEE Access	183	1,83	3,367
International Journal of Hydrogen Energy	163	1,63	5,816
IEEE Transactions on Sustainable Energy	114	1,14	7,917
IEEE Transactions on Power Systems	112	1,12	6,663
Renewable & Sustainable Energy Reviews	109	1,09	14,982
International Journal of Electrical Power & Energy Systems	101	1,01	4,63
Journal Of Renewable and Sustainable Energy	100	1,00	2,219
Energy Economics	94	0,94	7,042
International Journal of Energy Research	94	0,94	5,164
IEEE Transactions on Smart Grid	75	0,75	8,96

Fonte: dados da pesquisa (2021)

Listando as palavras-chave dos autores, buscou-se identificar as principais formas de geração de energia elétrica renovável, e os temas relevantes associados. Foram contabilizadas 41.648 palavras-chave nos artigos filtrados, sendo 9973 palavras distintas. A Tabela 3 apresenta as 35 palavras-chave mais citadas (listadas pelos próprios autores).

Tabela 3: Palavras-chave mais citadas

	Palavras-chave do autor	Menções	% citações	% artigos
1	Renewable energy	1919	4,61	19,21
2	Renewable energy sources	710	1,70	7,11
3	Distributed power generation	419	1,01	4,20
4	Energy storage	359	0,86	3,59
5	Power generation	327	0,79	3,27
6	Wind energy	324	0,78	3,24
7	Microgrid	310	0,74	3,10
8	Optimization	292	0,70	2,92
9	Wind power	290	0,70	2,90
10	Solar energy	280	0,67	2,80
11	Wind power generation	248	0,60	2,48
12	Photovoltaic	241	0,58	2,41
13	Wind turbines	227	0,55	2,27
14	Electricity generation	222	0,53	2,22
15	Life cycle assessment	220	0,53	2,20
16	Biomass	212	0,51	2,12
17	Power grids	212	0,51	2,12
18	Uncertainty	206	0,49	2,06
19	Smart grid	186	0,45	1,86
20	Power generation control	183	0,44	1,83
21	Electricity	177	0,42	1,77
22	Distributed generation	168	0,40	1,68
23	Power generation economics	162	0,39	1,62
24	Sustainability	155	0,37	1,55
25	Demand response	154	0,37	1,54
26	Energy	150	0,36	1,50
27	Wind power plants	147	0,35	1,47
28	Optimisation	143	0,34	1,43
29	Renewables	138	0,33	1,38
30	Climate change	137	0,33	1,37
31	Hydrogen	125	0,30	1,25
32	Energy policy	124	0,30	1,24
33	Photovoltaic power systems	121	0,29	1,21
34	Biogas	118	0,28	1,18
35	Renewable energy resources	118	0,28	1,18

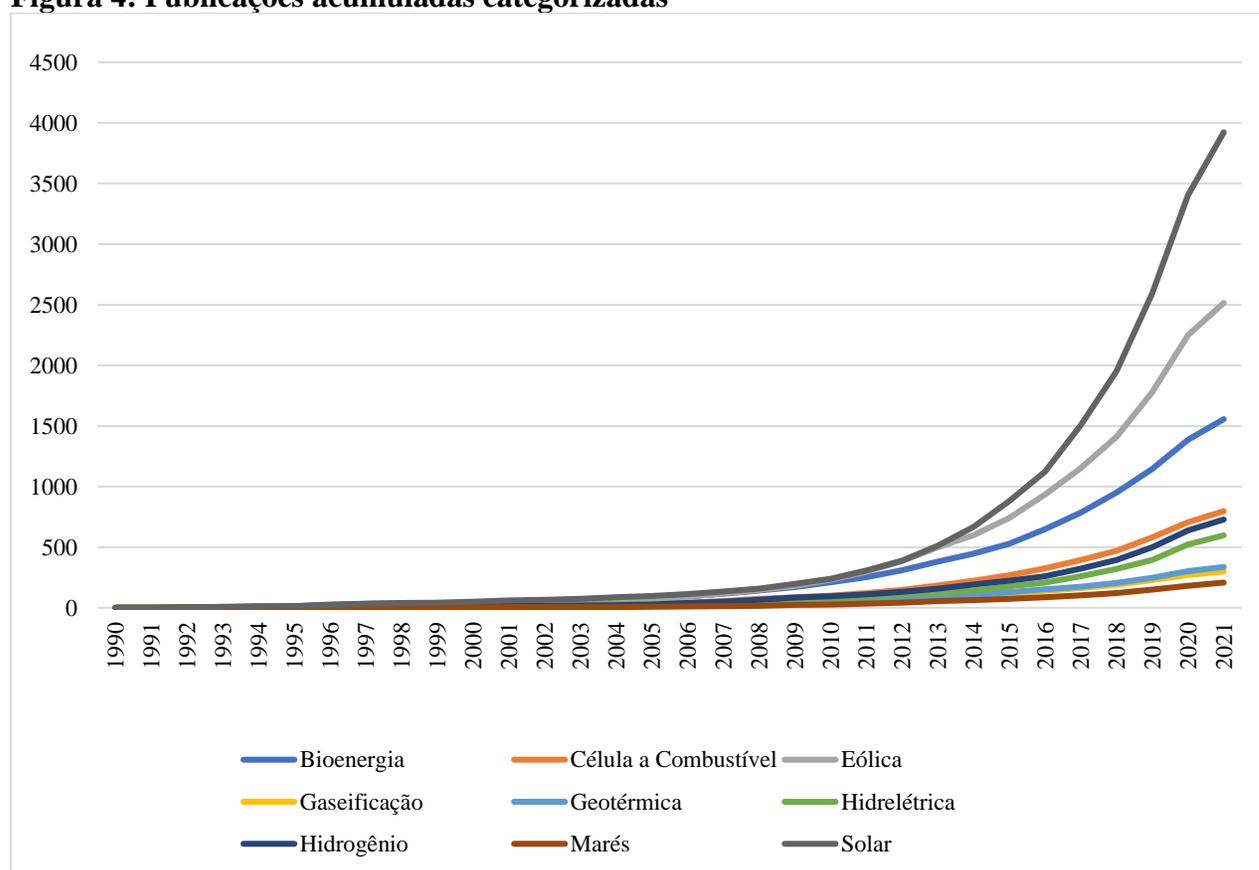
Fonte: dados da pesquisa (2021)

É possível compreender a alta visibilidade do tema chave da pesquisa “*renewable energy*” juntamente com “*power generation*”, mas também temas relevantes associados às características

técnicas de geração como “*energy storage*”, “*distributed power generation*”, “*optimization*”, “*uncertainty*” e “*microgrid*”. Fatores climáticos e ambientais são frequentemente abordados nas pesquisas em geração de energia renovável, podendo-se destacar “*climate change*”, e “*sustainability*”, temas em constante crescimento nas preocupações em políticas ambientais globais.

Analisando as palavras-chave do autor, é possível listar os modelos de geração de energia elétrica renovável existentes mais relevantes na produção científica mundial. As gerações de energia solar e eólica, apesar de menos expressivas na matriz elétrica mundial em relação à energia hidrelétrica, demonstram-se ainda em amadurecimento enquanto o modelo hidráulico, por ser mais antigo e muito mais empregado no Século XX, e afetado por questões políticas e ambientais, não representa grande parcela das pesquisas atualmente, ainda que apresente notável crescimento.

Figura 4: Publicações acumuladas categorizadas



Fonte: dados da pesquisa (2021)

Os dados de publicações obtidos pela filtragem por categoria podem refletir para qual modalidade de geração de energia elétrica renovável a comunidade científica tem focado seu trabalho (Figura 4). A energia solar, sozinha, possui um número total de publicações, em todo o período pesquisado, de 3.922 artigos, valor esse superior a soma das seis modalidades menos expressivas de geração, que são publicações referentes a geração por células a combustível (797), hidrogênio (728), hidrelétrica (598), geotérmica (337) e gaseificação (300). A geração por energia eólica é a segunda mais expressiva, com 2.515 artigos publicados até a data de pesquisa, seguida pela bioenergia, também em crescimento relevante, com 1.556 artigos publicados.

Tabela 4: Autores com mais publicações sobre o assunto

Autores	Publicações	%	Universidade / Centro de Pesquisa de vínculo
Huang, GH	49	0,39	North China Electric Power University
Breyer, C	32	0,26	Lappeenranta University of Technology
Catalao, JPS	31	0,25	Universidade do Porto and INESC
Dincer, I	26	0,21	Ontario Tech University
Guerrero, JM	25	0,20	Aalborg University
Rosen, MA	25	0,20	Ontario Tech University
Senjyu, T	25	0,20	University of the Ryukyus
Li, YP	22	0,18	North China Electric Power University *
Kaldellis, JK	21	0,17	University of West Attica
Bogdanov, D	20	0,16	Lappeenranta University of Technology

Fonte: dados da pesquisa (2021)

* Provável instituição do autor.

Os autores que mais produzem (Tabela 4) sobre o tema são Huang, G. H., Breyer, C., Catalao J. P. S., Dincer, I e Guerrero, JM, com um total de 163 participações em publicações somadas. Foram contabilizados na pesquisa 12.453 autores diferentes, sendo que os 1.449 (11,64%) autores que mais publicam são responsáveis por 50% das participações em publicações sobre geração de energia renovável. Neste, dado, é importante destacar que um artigo contabiliza para todos os autores a que a publicação está atribuída, resultando em uma contagem total de 12.453, porém para o cálculo percentual foi utilizado o valor amostral de 9.987 artigos.

Por fim, a tabela 5 apresenta os 20 artigos mais citados da amostra. As publicações mais relevantes da pesquisa foram classificadas pelo número de citações pontuadas dentro da base de dados da *Web of Science*, sendo o artigo de Blaabjerg et al. (2006), intitulado “*Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems*” o mais citado com 2.869 ocorrências. O segundo artigo mais citado, de autoria de Luo et al. (2015), intitula-se “*Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation*”.

Tabela 5: Publicações com mais citações

Autores	Título do Artigo	Citações	Ano
BLAABJERG et al.	Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems.	2869	2006
LUO et al.	Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation.	1553	2015
BLAABJERG; CHEN; KJAER	Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems.	1473	2004
MCCARTY; BAE; KIM	Domestic Wastewater Treatment as a Net Energy Producer-Can This be Achieved?	973	2011
HUSKINSON et al.	A metal-free organic-inorganic aqueous flow battery.	799	2014
BARTON; INFIELD	Energy storage and its use with intermittent renewable energy.	776	2004
LUND	Renewable energy strategies for sustainable development.	718	2007
LISERRE et al.	Overview of Multi-MW Wind Turbines and Wind Parks.	567	2011
URSÚA; GANDÍA; SANCHIS	Hydrogen Production from Water Electrolysis: Current Status and Future Trends.	556	2012
TENDER et al.	Harnessing microbially generated power on the seafloor.	518	2002
ACHILLI; CATH; CHILDRESS	Power generation with pressure retarded osmosis: An experimental and theoretical investigation.	497	2009
BAXTER et al.	The behavior of inorganic material in biomass-fired power boilers: field and laboratory experiences.	456	1998
SENSFUSS; RAGWITZ; GENOESE	The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany.	454	2008
DENHOLM; HAND	Grid flexibility and storage required to achieve very high penetration of variable renewable electricity.	453	2011
SHAHEEN et al.	Organic-based photovoltaics. toward low-cost power Generation.	447	2005
YANG; LU; ZHOU	A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system.	432	2007
ŠÚRI et al.	Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries.	430	2007
CHENG; LOGAN	Sustainable and efficient biohydrogen production via electrohydrogenesis.	420	2007
FENG et al.	Single-layer MoS ₂ nanopores as nanopower generators	419	2016
CAPUTO et al.	Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables	414	2005

Fonte: dados da pesquisa (2021)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados obtidos pode-se obter um panorama de produções sobre o tema. A confirmação de que o tema já é há alguns anos um *hot topic* mundial é representada pela disparada nos números de publicações na área, com destaque para a energia solar, eólica e as do tipo bioenergia. A causa potencial da escalada das pesquisas pode ter relação com o crescimento das políticas globais de preservação ambiental e fomento às energias originadas de fontes renováveis, como os acordos de Kyoto (1997) e Paris (2016), porém não há nesta pesquisa dados relevantes para relacionar causa e efeito mencionados.

A presença da China e Estados Unidos como maiores pesquisadores em energias renováveis

pode ser considerada contraditória (ou não), levando em conta que também representam os maiores emissores de gases poluentes originados de usinas de energias não renováveis, porém, com as taxas crescentes de desenvolvimento do PIB desses países ano a ano, relacionadas a demanda proporcionalmente crescente em energia elétrica, entende-se que as energias renováveis ainda não tem a capacidade, seja técnica ou econômica, de acompanhar o crescimento da demanda mundial aos níveis atuais.

Apesar da grande quantidade de periódicos publicando sobre o tema, 1,66% das 1.202 revistas com publicações sobre o tema concentram mais da metade das pesquisas em geração de energia elétrica renovável e uma pequena parcela de 11,64% dos 12.453 autores são responsáveis por metade das participações em publicações no tema. Sendo um tema de abrangência e interesse mundial, a concentração da ciência produzida em determinada área pode atrasar o processo de inovação e dificultar o acesso as novas tecnologias principalmente em países mais subdesenvolvidos, que pelo acesso mais fácil, acabam baseando sua matriz energética em fontes não renováveis e poluentes. Uma pesquisa futura com a análise de citações e de cocitações em uma rede de coautoria poderia identificar um grupo ainda mais restrito sobre a pesquisa científica neste tema.

A partir dos artigos mais relevantes encontrados é possível identificar temas potenciais de pesquisa, tais como: eficiência em geração renovável, armazenamento de energia elétrica, controle e sincronismo, além de diferentes modos de utilização da biomassa para produção de eletricidade. É necessário, porém uma análise do crescimento de cada tópico para confirmação da tendência na atualidade.

Mesmo com menor relevância em comparação às energias solar e eólicas, as modalidades em células a combustível e a hidrogênio demonstram considerável crescimento nos últimos anos, talvez demonstrando um início de uma década de fortes investimentos em pesquisas nestes dois tipos de geração. Já a geração geotérmica, por gaseificação e pelas marés, por estarem mais estagnadas se comparadas às demais, não conseguem projetar uma melhora substancial nos próximos anos, sem que haja um evento novo importante para uma revolução nas pesquisas nessas áreas.

REFERÊNCIAS

ACHILLI, A.; CATH, T. Y.; CHILDRESS, A. E. Power generation with pressure retarded osmosis: An experimental and theoretical investigation. **Journal of Membrane Science**, v. 343, n. 1–2, p. 42–52, 2009.

AHMAD, S. et al. Multi-criteria evaluation of renewable and nuclear resources for electricity generation in Kazakhstan. **Energy**, v. 141, p. 1880–1891, 2017.

AHMED, M. H.; AMIN, A. M. A.; EL BANNA FATH, H. Modeling of solar power plant for electricity generation and water desalination. **Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME**, v. 141, n. 1, 2019.

ANDINI, C.; CABRAL, R.; SANTOS, J. E. The macroeconomic impact of renewable electricity power generation projects. **Renewable Energy**, v. 131, p. 1047–1059, 2019.

ANGELUS, A. Distributed Renewable Power Generation and Implications for Capacity Investment and Electricity Prices. **Production and Operations Management**, v. 0, n. 0, p. 1–21,

2020.

ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em questão**, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006.

BAXTER, L. L. et al. The behavior of inorganic material in biomass-fired power boilers: Field and laboratory experiences. **Fuel Processing Technology**, v. 54, n. 1–3, p. 47–78, 1998.

BERKTAY, A. et al. Electrical energy prices and losses respect to Turkish social-economic situations. **Energy Exploration and Exploitation**, v. 22, n. 3, p. 195–206, 2004.

BLAABJERG, F. et al. Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 53, n. 5, p. 1398–1409, 2006.

BLAABJERG, F.; CHEN, Z.; KJAER, S. B. Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 19, n. 5, p. 1184–1194, 2004.

CAPUTO, A. C. et al. Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: Effects of logistic variables. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, n. 1, p. 35–51, 2005.

CHENG, S. et al. Determinants of changes in electricity generation intensity among different power sectors. **Energy Policy**, v. 130, p. 389–408, 2019.

CHENG, S.; LOGAN, B. E. Sustainable and efficient biohydrogen production via electrohydrogenesis SCIENCE. v. 104, n. 47, p. 18871–18873, 2007.

DENHOLM, P.; HAND, M. Grid flexibility and storage required to achieve very high penetration of variable renewable electricity. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1817–1830, 2011.

EERE. **How Do Wind Turbines Work? | Department of Energy**. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

FENG, J. et al. Single-layer MoS₂ nanopores as nanopower generators. **Nature**, v. 536, n. 7615, p. 197–200, 2016.

GADSBØLL, R. Ø. et al. Solid oxide fuel cells powered by biomass gasification for high efficiency power generation. **Energy**, v. 131, p. 198–206, 2017.

HUSKINSON, B. et al. A metal-free organic-inorganic aqueous flow battery. **Nature**, v. 505, n. 7482, p. 195–198, 2014.

IEA. World Energy Outlook 2019 - Sumário Executivo - Brazilian Portuguese. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global Energy Review 2021. **Global Energy Review 2020**, 2021.

LISERRE, M. et al. Overview of multi-MW wind turbines and wind parks. **IEEE Transactions**

on **Industrial Electronics**, v. 58, n. 4, p. 1081–1095, 2011.

LUND, H. Renewable energy strategies for sustainable development. **Energy**, v. 32, n. 6, p. 912–919, 2007.

LUO, X. et al. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. **Applied Energy**, v. 137, p. 511–536, 2015.

MCCARTY, P. L.; BAE, J.; KIM, J. Domestic wastewater treatment as a net energy producer—can this be achieved? **Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 17, p. 7100–7106, 2011.

MUNDO-HERNÁNDEZ, J. et al. An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 639–649, 2014.

ONU. Resolução 70/1 da Assembleia Geral - Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. **Assembleia Geral da ONU**, p. 1–49, 2015.

QUEVEDO-SILVA, F. et al. Bibliometric study: Guidelines on its application. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 15, n. 2, p. 246–262, 2016.

SAMPAIO, P. G. V.; GONZÁLEZ, M. O. A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, n. June 2016, p. 590–601, 2017.

SENSFUSS, F.; RAGWITZ, M.; GENOESE, M. The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. **Energy Policy**, v. 36, n. 8, p. 3086–3094, 2008.

SHAHEEN, S. E. et al. Organic-Based Photovoltaics : Toward Low-Cost Power Generation. v. 30, n. January, p. 10–19, 2005.

ŠÚRI, M. et al. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. **Solar Energy**, v. 81, n. 10, p. 1295–1305, 2007.

TENDER, L. M. et al. Harnessing microbially generated power on the seafloor. **Nature Biotechnology**, v. 20, n. 8, p. 821–825, 2002.

URSÚA, A.; GANDÍA, L. M.; SANCHIS, P. Hydrogen production from water electrolysis: Current status and future trends. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. 2, p. 410–426, 2012.

YANG, H.; LU, L.; ZHOU, W. A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system. **Solar Energy**, v. 81, n. 1, p. 76–84, 2007.

ZHANG, H. et al. Energy analysis of Organic Rankine Cycle (ORC) for waste heat power generation. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 1207–1215, 2018.