



## CONTRIBUIÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DE LITERATURA

## CONTRIBUTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DEVELOPING RENEWABLE ENERGY: A LITERATURE REVIEW

Maria da Vitoria Costa e Silva<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-1753-3351>

Adriano Nascimento da Paixão<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-2717-3716>

Waldecy Rodrigues<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-5584-6586>

João Aparecido Bazzoli<sup>4</sup>

<http://orcid.org/0000-0002-7123-2023>

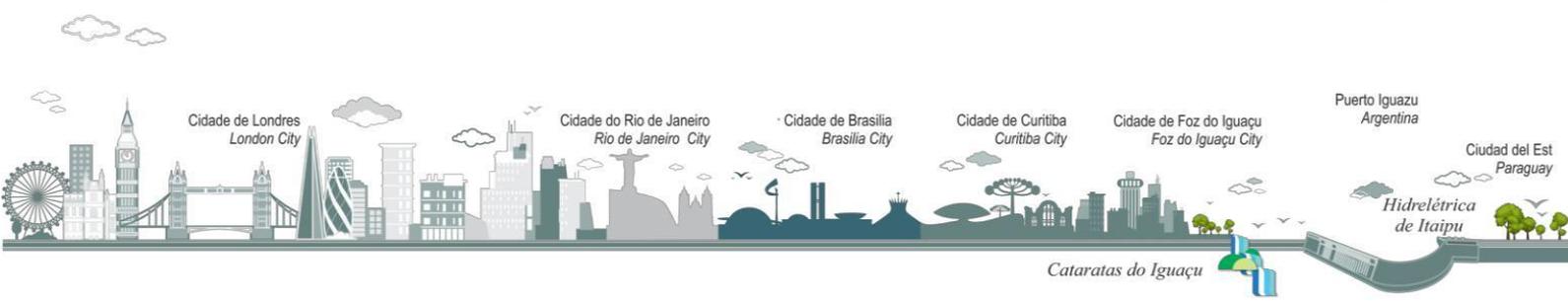
**Resumo:** Este artigo objetivou realizar revisão bibliométrica para verificar contribuições da Inteligência Artificial (AI) para as energias renováveis. A metodologia, quantitativa e qualitativa, ancorou-se nos métodos Bibliométricos e Prisma, pela análise de 197 artigos da base de dados *Web of Science*, desde a publicação inicial em 2011 até novembro 2021. A pesquisa fez uso dos descritores “*Artificial Intelligence*” and “*Renewable Energy*”. Os resultados obtidos revelaram que o periódico *Energies* é o mais relevante (44 artigos), com maior impacto (h-index 11). O autor mais importante é *Yutian Liu* (6 artigos). Os autores com maiores impactos, com h-index 3, são *Sue Ellen Haupt* e *Yan Wang*. A China é o país que mais publica (149 artigos), colabora com 20 países. O Brasil está na vigésima posição (11 artigos), colabora com a Finlândia. Assim, a inteligência artificial apresenta ferramentas tecnológicas de informação e comunicação que contribuem para a implementação de fontes de energias renováveis,

<sup>1</sup> Mestre em Prestação Jurisdicional e Direitos Humanos pela Universidade Federal do Tocantins (UFT) e Doutoranda em Desenvolvimento Regional pela UFT. E-mails: [mavitcs@gmail.com](mailto:mavitcs@gmail.com) e [costavitoria@mail.uft.edu.br](mailto:costavitoria@mail.uft.edu.br)

<sup>2</sup> Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa (2008). Mestre em Economia pelo PPGE-UFPB. Professor Associado III do Departamento de Economia da UFPB. Professor do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da Universidade Federal do Tocantins. E-mail: [anpaixao@gmail.com](mailto:anpaixao@gmail.com)

<sup>3</sup> Professor dos Programas de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Modelagem Computacional de Sistemas, ambos da Universidade Federal do Tocantins. Coordenador Adjunto de Programas Profissionais da Área de Planejamento Urbano e Regional no Brasil CAPES. E-mail: [waldecy@terra.com.br](mailto:waldecy@terra.com.br)

<sup>4</sup> Professor associado na Universidade Federal do Tocantins (UFT) no Curso de Direito. Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR/UFT). Mestre pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Doutor pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e Pós-doutoramento pela Universidade de Lisboa. E-mail: [jbazzoli@mail.uft.edu.br](mailto:jbazzoli@mail.uft.edu.br)





como a solar e eólica, mas requer apoio técnico que oriente a sua utilização com segurança e de forma sustentável.

**Palavras-Chave:** Crises climáticas. Energias renováveis. Inteligência Artificial. Desenvolvimento Sustentável.

**Abstract:** This paper aimed to carry out a literature review to verify the contributions of Artificial Intelligence (AI) for developing renewable energies. The methodology with a quantitative approach was based on Bibliometric and Prism methods by data analysis of 197 articles from the Web of Science database, since the initial publication in 2011 until November 2021. The research used “Artificial Intelligence” and “Renewable Energy” descriptors. Results indicated that the Energies journal is the most relevant (forty-four articles) presenting the greatest impact (h-index 11) and the most relevant author is Yutian Liu (six articles). Sue Ellen Haupt and Yan Wang are the authors with the greatest impact with h-index 3. China is the country with the most publications (149 articles) in collaboration with twenty countries. Brazil occupies the 20<sup>th</sup> position (eleven articles) in collaboration with Finland. Thus, artificial intelligence presents information and communication technology tools that contribute to the implementation of renewable energy sources, such as solar and wind, requiring technical support to guide their use safely and in a sustainably way.

**Keywords:** Artificial intelligence. Climate crisis. Renewable Energies. Sustainable Development.

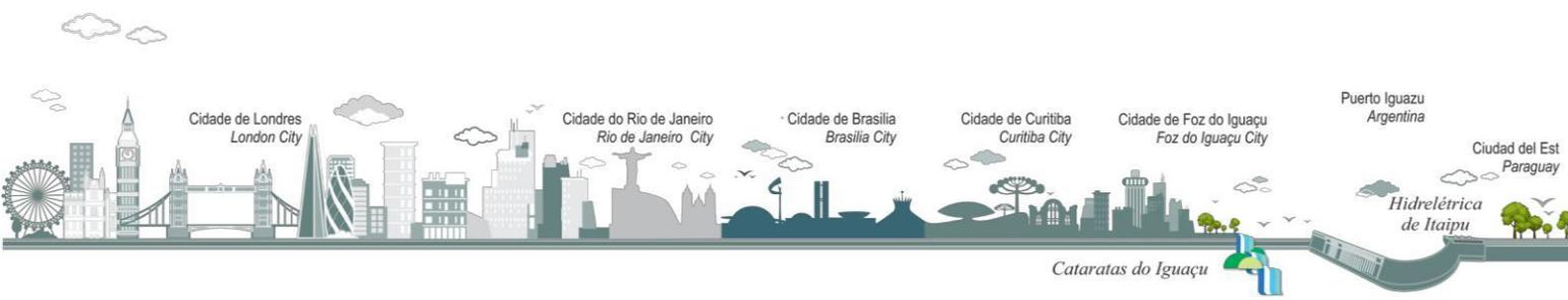
## INTRODUÇÃO

O relatório divulgado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática aponta a influência humana como responsável pelo aquecimento do planeta nos últimos dois mil anos (MASSON-DELMOTTE *et al.*, 2021). As evidências constantes desse relatório das Organizações das Nações Unidas são irrefutáveis de que as emissões de gases, pela queima de combustíveis fósseis e do desmatamento, estão comprometendo o meio ambiente e colocando a humanidade em risco. O que se agrava ainda mais com o consumo acelerado de bens e serviços impulsionado pela globalização neoliberal que tem o crescimento da economia como prioridade no processo de desenvolvimento econômico.

Os efeitos são desastrosos para todo o planeta que convive com fenômenos de calor e inundações fortes, aquecimento global a 1,5 °C, ondas de calor, maior duração de estações quentes e menos frio. As secas serão intensas em várias regiões e as consequências de tudo isso serão mais fome, pobreza e mortes (MASSON-DELMOTTE *et al.*, 2021).

Esse cenário justifica este artigo que objetiva fazer uma revisão bibliométrica de literatura para verificar a contribuição da inteligência artificial na promoção de energias renováveis.

A energia renovável, desde a crise energética de meados dos anos 70, apresenta-se como um recurso poderoso para o futuro do desenvolvimento global, especialmente





considerando o atual contexto de mudanças climáticas e o esgotamento dos recursos naturais (SERBAN; LYTRAS, 2020). Contexto que exige a melhoria da infraestrutura energética, a implantação e a produção de novos recursos de energia renováveis para enfrentar os múltiplos desafios do setor energético e minimizar o aquecimento global.

A utilização de energia fotovoltaica confere potencial de viabilidade econômica para se trabalhar com energia limpa e renovável. O que pode indicar um mecanismo viável ao desenvolvimento sustentável (SOUZA; GIMENES, 2019).

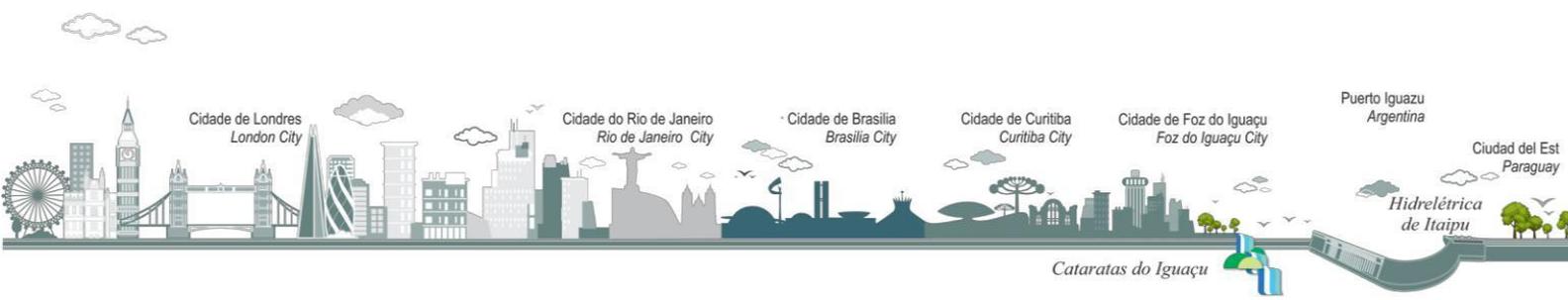
Assim, as questões norteadoras buscam respostas às seguintes indagações: a) a inteligência artificial (IA) constitui ferramenta viável à consecução dos recursos de energia renováveis?; e b) quais as principais fontes de energias renováveis que os referenciais teóricos apontam como significantes e qual o papel da IA a respeito do tema?

A hipótese do trabalho é de que a inteligência artificial, por meio de suas tecnologias inovadoras, pode constituir mecanismo viável ao desenvolvimento das fontes de energia renováveis, como a solar (uso da energia solar) e a eólica (uso da energia do vento), visando a reduzir o aquecimento global e a crise climática no mundo.

O desenvolvimento como liberdade não pode ter como foco somente a economia, que é importante, mas deve caminhar de mãos dadas com o progresso social e ambiental (SEN, 2010). O desenvolvimento que se pretende sustentado requer que sejam removidas as principais fontes de privações de liberdade como a pobreza, a tirania, a carência de oportunidades econômicas e destituição social sistemática, a negligência dos serviços públicos como mínimo essencial à vida com dignidade, a intolerância ou interferência excessiva de Estados repressivos e neoliberais que fomentam o uso desregrado dos recursos naturais, impactando negativamente nas crises climáticas que afetam o planeta e a humanidade (SEN, 2010).

Nesse aspecto, a metodologia ancora-se na revisão bibliométrica, com fundamento no método dedutivo e apoio do protocolo prisma.

Por fim, a estrutura deste estudo consta de cinco tópicos, compreendendo esta introdução, a metodologia, os resultados e discussões, a análise qualitativa dos dados e as considerações finais.





## METODOLOGIA

A presente revisão bibliométrica por intermédio de uma abordagem quantitativa fundamentou-se nos métodos Bibliométrico e Prisma.

O termo bibliometria trata de um estudo quantitativo da produção científica que otimiza a mensuração dos processos da informação registrada por padrões matemáticos e/ou estatísticos, cujos resultados dão maior segurança e credibilidade às tomadas de decisão (MACIAS-CHAPULA, 1998; PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015; VANTI, 2002). Nesse aspecto, a revisão bibliométrica consiste num método planejado de resposta, com base na coleta, seleção e análise crítica de estudos sobre determinado fenômeno.

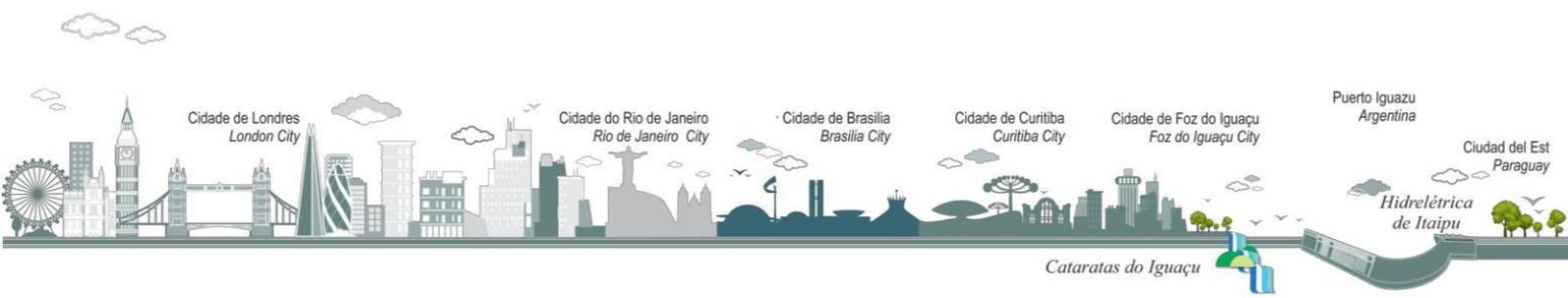
No caso, o procedimento técnico de pesquisa documental utiliza o Bibliometrix, biblioteca da linguagem R, que auxilia a análise abrangente de mapeamento científico (ARIA; CUCCURULLO, 2017), permitindo a verificação de desempenho e a avaliação de dados científicos publicados em bases de dados, cujos resultados apontam os grupos de pesquisadores que publicam sobre determinada temática, como países, periódicos relevantes e colaboração internacional, bem como permite o mapeamento dos estudos científicos com o propósito de revelar a estrutura dinâmica dos dados e representar arranjos cognitivos de uma área da pesquisa (COBO *et al.*, 2011).

Os mapeamentos bibliométricos permitem a análise das principais citações, cocitação, acoplamento bibliográfico, coautoria e copalavras (ZUPIC; ČATER, 2015).

Já o método prisma representa uma lista de verificação com 27 itens que facilitam a preparação e o relato de um protocolo robusto para revisão sistemática (PAGE *et al.*, 2021).

O relatório com base em evidências visa a otimizar as revisões sistemáticas e meta-análises, permitindo aos formuladores de políticas avaliar a aplicabilidade dos resultados e formular recomendações apropriadas para a implementação de políticas públicas (PAGE *et al.*, 2021).

Tendo esse protocolo como referência, no dia 23 de novembro de 2021, foram empreendidas pesquisas a respeito do tema na base de dados *Web of Science* por meio da plataforma Capes Periódicos do Ministério da Educação Brasil, o que possibilitou o acesso à rede Café, via utilização dos descritores “*Artificial Intelligence*” and “*Renewableenergy*”, e a busca por tópico, tendo sido encontrados 500 resultados.





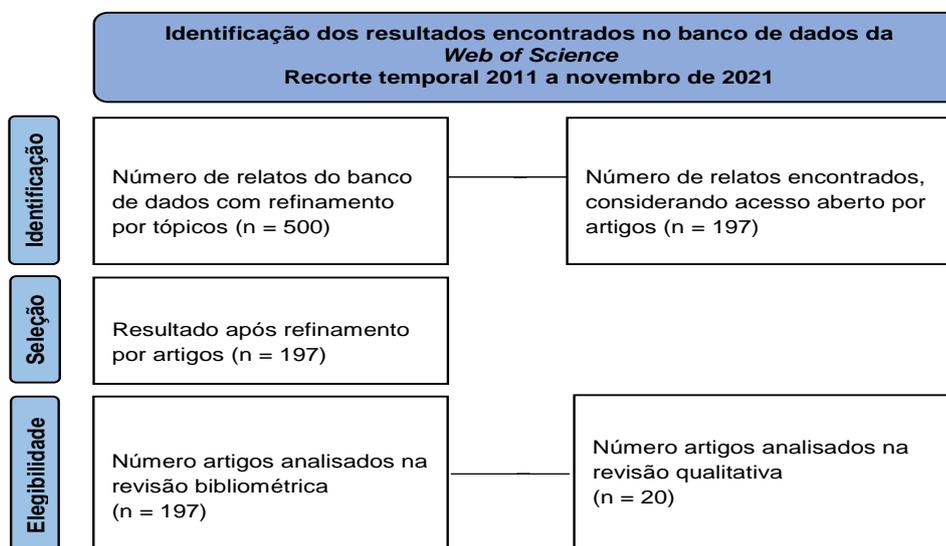
Após a aplicação do refinamento por acesso aberto e artigos, considerando o recorte temporal de 2011 a novembro de 2021, foram localizados 197 artigos, exportados para a plataforma Bibliometrix/Biblioshiny, ferramenta que auxiliou no processamento dos dados e subsidiou a verificação desta revisão bibliométrica, conforme fluxograma prisma (Figura 1).

Na abordagem quantitativa, foram examinados esses 197, cujos resultados constam na primeira parte do tópico 3.

Na segunda parte desse item, na abordagem de conteúdo, foram examinados alguns artigos, os quais representam uma pequena amostra de achados que indicam os benefícios da IA no campo das descobertas de energias renováveis. No caso, foram considerados os estudos relevantes que destacaram os benefícios da Inteligência Artificial para a implementação de fontes de energias renováveis no campo solar e eólico.

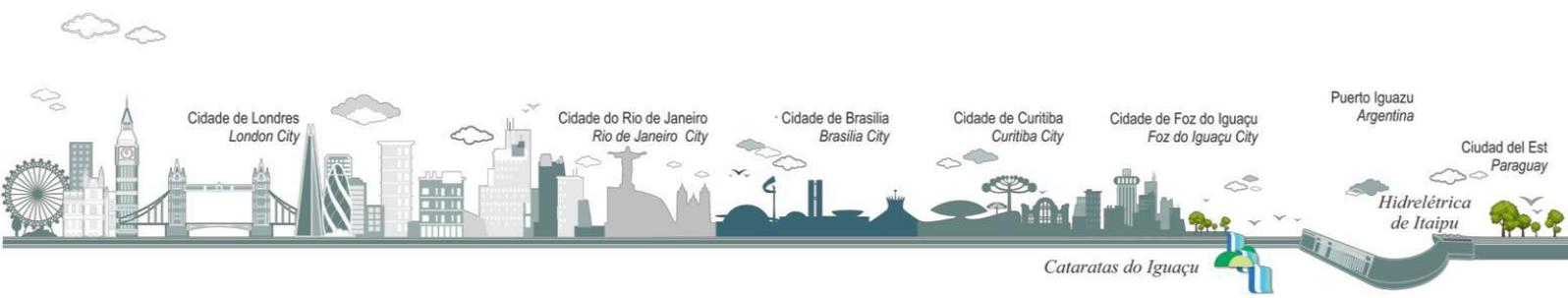
O acesso ao Bibliometrix ocorreu por intermédio do RStudio, com a utilização do pacote biblioshiny, ferramenta de código aberto que permite análises quantitativas de dados<sup>5</sup>, pela execução dos seguintes comandos: *install.packages("bibliometrix")*, *library(bibliometrix)* e *biblioshiny()*. Como vemos na Figura 1:

Figura 1 – Método Prisma



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

<sup>5</sup>Disponível em: <http://www.bibliometrix.org/biblioshiny.html>.





Com esse processo metodológico, pretendeu-se dar maior segurança aos resultados deste estudo de forma a identificar como a inteligência artificial pode auxiliar no desenvolvimento de novas interfaces que promovam energias renováveis de modo a contribuir para um planeta mais sustentável.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A organização desta seção examina o desempenho dos resultados bibliométricos, levando em consideração a produção científica anual, a evolução das citações, fontes e autores relevantes, mapa da produção científica mundial e mapa dos países que mais colaboram entre si nas produções científicas sobre o tema. Na segunda parte deste tópico, por meio da análise de conteúdo de alguns artigos publicados em periódicos internacionais, foram encontrados alguns achados que apontam a contribuição da IA para o desenvolvimento das fontes de energias renováveis, como a solar e eólica.

### Análise dos resultados quantitativos

Os estudos a respeito do tema em apreço indicam que as publicações sobre a temática começaram a partir de 2011 (Figura 2), avançando, consideravelmente, nos últimos anos (2019, 2020 e 2021).

A justificativa em analisar a produção científica anual, no período de 2011 a 2021, buscou verificar se houve evolução dos estudos e se aumentou o interesse de pesquisadores a respeito da utilização da inteligência artificial como um recurso viável ao desenvolvimento de energias renováveis, tendo em vista a necessidade de se buscar novas alternativas que minimizem as emissões globais de gases de efeito estufa, que tendem a comprometer a vida no planeta Terra (MASSON-DELMOTTE *et al.*, 2021).

No caso, as evidências apontam que aumentou as publicações de estudos sobre o tema e, por consequência, o interesse de pesquisadores em conhecer as interfaces da inteligência artificial para o desenvolvimento das energias renováveis.

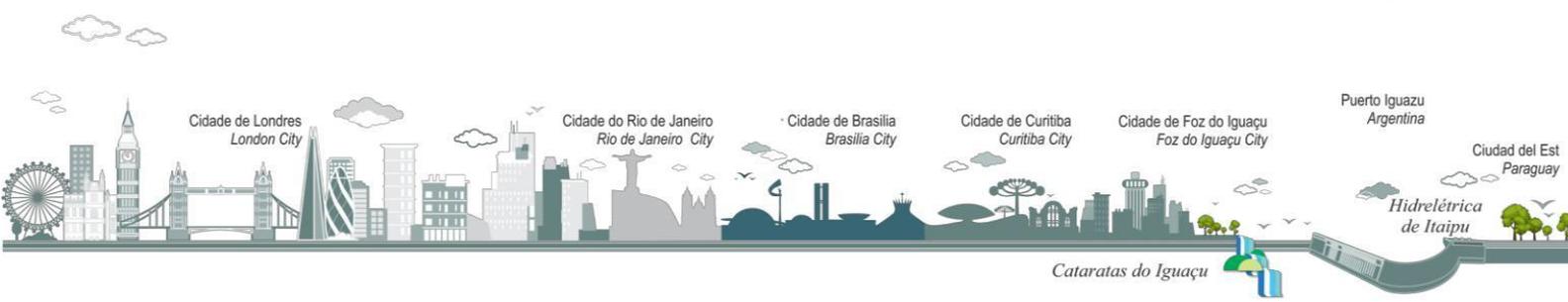
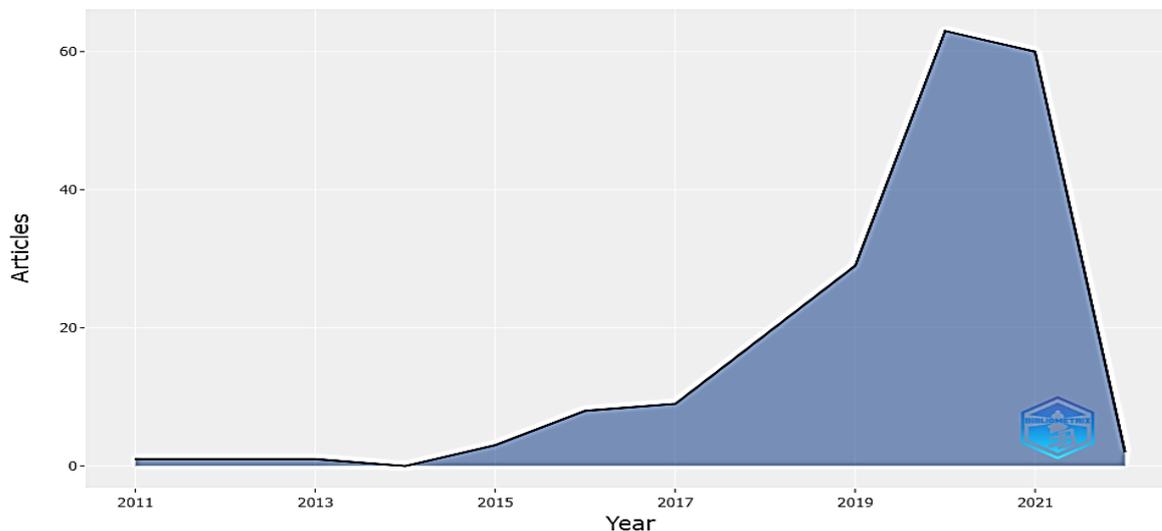




Figura 2 – Produção científica anual, 2011-2021



Fonte: Resultado da pesquisa *Web of Science*, obtido no Bibliometrix, 2021.

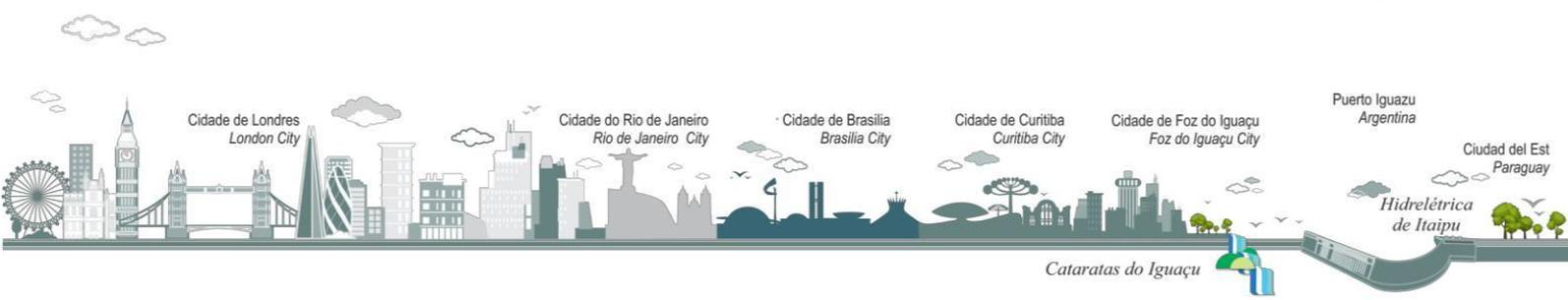
Em 2011, foi publicado o primeiro artigo sobre o tema. De 2017 a 2021, houve evolução na produção de artigos publicados nos periódicos internacionais (Tabela 1). O artigo publicado em 2012 teve a maior média de citação anual (109 pontos).

O intuito de trazer a abordagem da produção científica e a média de citação anual revela-se pertinente por auxiliar na seleção de trabalhos relevantes com vista a consubstanciar o portfólio bibliográfico sumariado neste estudo.

Tabela 1 - Total de produção científica e média de citação anual, 2011-2021

Ano	Total artigos	Média citação anual
2011	1	31
2012	1	109
2013	1	29
2015	3	0
2016	8	57
2017	9	30
2018	19	12
2019	29	20
2020	63	14
2021	60	1

Fonte: Resultado da pesquisa *Web of Science*, obtido no Bibliometrix, 2021.

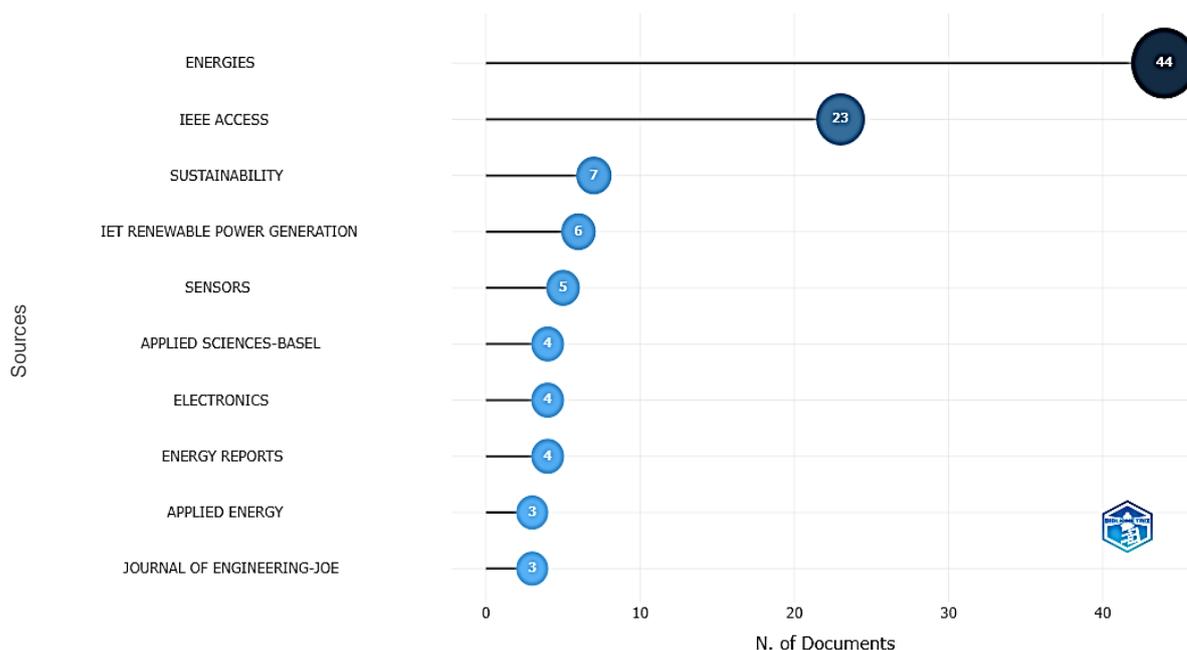




Na Figura 3, constam os dez periódicos mais relevantes que publicaram sobre o tema, com destaque para as revistas *Energies* (44 trabalhos) e *IEEE Access* (23 publicações).

Os outros seis periódicos, com respectivos quantitativos de publicações, foram: *Sustainability* (7), *IET Renewable Power Generation* (6), *Sensors* (5), *Applied Sciences-Basel* (4), *Electronics* (4), *Energy Reports* (4), *Applied Energy* (4) e *Journal of Engineering-Joe* (3).

Figura 3 – Os dez periódicos mais relevantes que publicam sobre o tema.



Fonte: Resultado da pesquisa *Web of Science*, obtido no Bibliometrix, 2021.

Na Figura 4 pretendeu-se verificar quais os autores que mais publicaram sobre o tema. Assim, os autores com mais publicações sobre o tema foram: Liu Yutian (6 artigos) e Wang Yan (4 artigos).

Com 3 artigos publicados temos: Faia R, Haupt SE e Hernandez-Callejo L. Já com 2 artigos publicados temos: Abdussami MR, Adham MI, Ahmad MW, Alahakoon D e Dai C, conforme Figura 4.

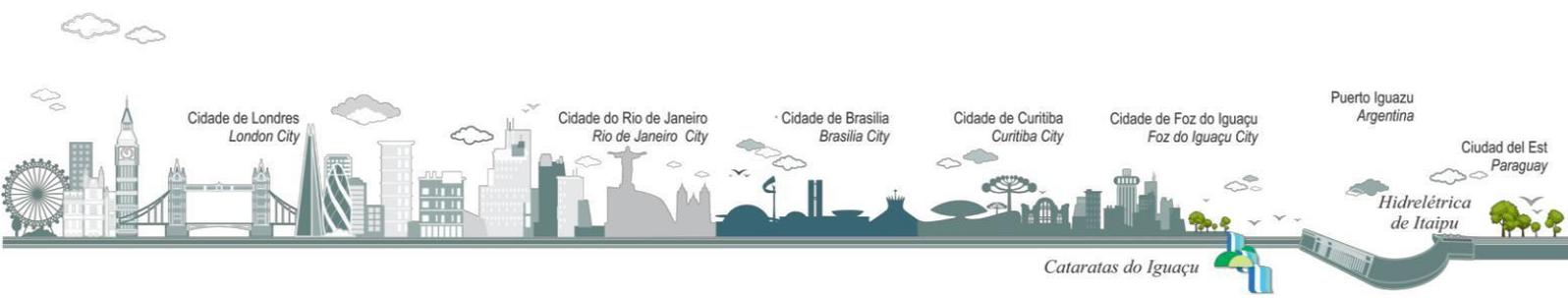
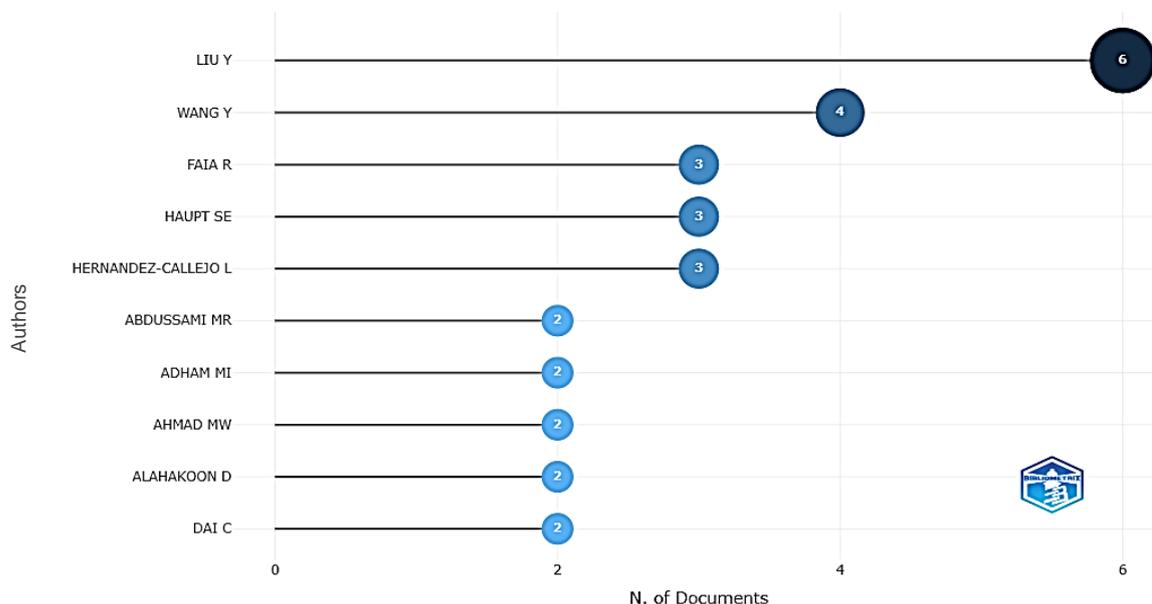




Figura 4 – Os dez autores mais relevantes que publicaram sobre o tema no período examinado.



Fonte: Resultado da pesquisa *Web of Science*, obtido no *Bibliometrix*, 2021.

Nas lições de Pagani, Kovalesk e Resende (2015), o aumento de publicações científicas, nos últimos anos, tornou o trabalho dos pesquisadores complexo, especialmente na seleção dos melhores trabalhos a subsidiar as pesquisas.

Dessa forma, algumas técnicas metodológicas utilizam o fator h-index para quantificar a produção científica considerando as citações que determinado trabalho recebeu, a exemplo do *Methodi Ordinatio* (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015) que cruza três índices para avaliar artigos importantes: o fator de impacto, o ano de publicação e o número de citações.

Nessa lógica, visando contribuir com futuros estudos sobre o tema pretendeu-se destacar os principais autores que apresentaram fator h-index nas produções, com destaque para os trabalhos de Haupt SE e Wang Y com o fator h-index 3; os demais autores tiveram h-index 2, a saber: Ahmad MW, Dettling S, Faia R, Garrido AJ, Ghefiri K, GU W, Hernandez-Calledjo L e Hizam H (Figura 5).

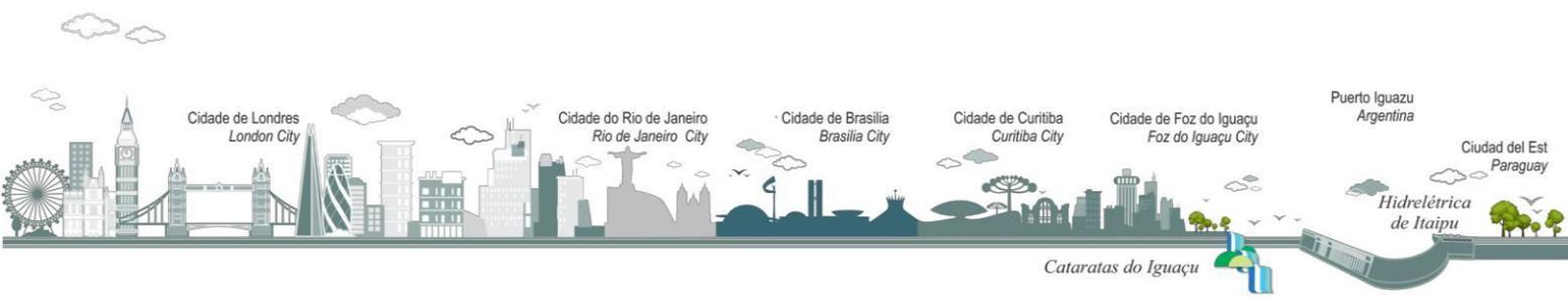
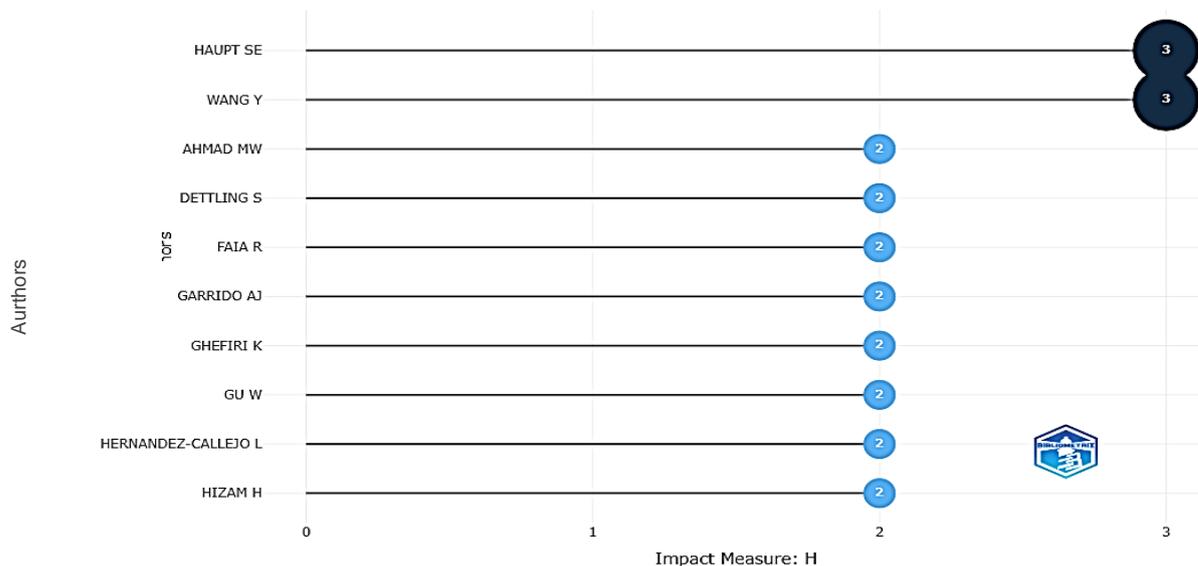




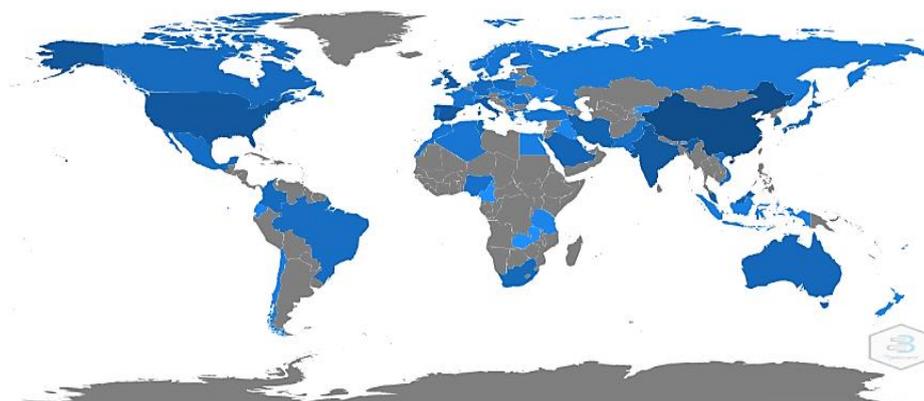
Figura 5 – Impacto dos dez autores mais relevantes que publicaram sobre o tema (H-Index).



Fonte: Resultado da pesquisa *Web of Science*, obtido no Bibliometrix, 2021.

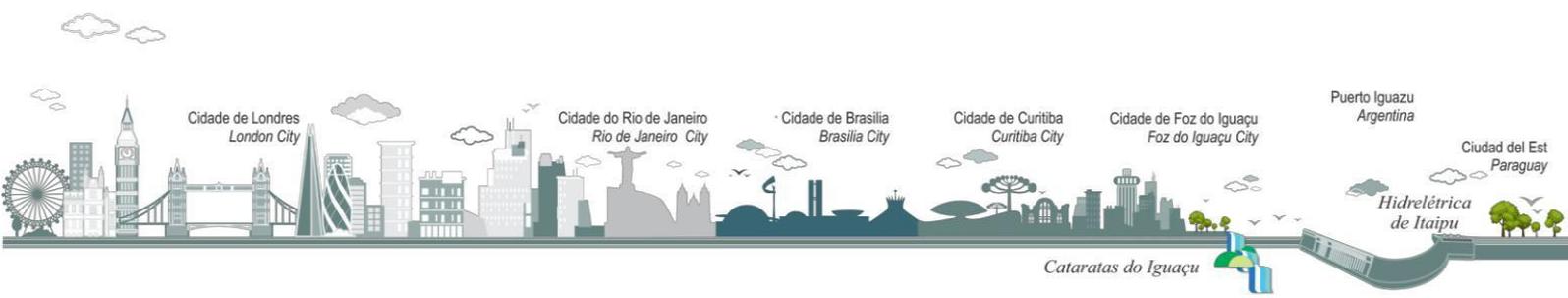
Na Figura 6 consta o mapa da produção científica dos países. No caso, a intenção de trazer as Figuras 6 e 7 foi apontar os principais países que estão com produções científicas sobre o tema e que compartilham entre si.

Figura 6 – Mapa da produção científica dos países que publicaram sobre o tema.



Fonte: Resultado da pesquisa *Web of Science*, obtido no Bibliometrix, 2021.

Assim, informações concernentes aos aspectos geográficos, abordagens qualitativas





a respeito das produções que deveriam constar dos mapas, constituem lacunas a serem abordadas em estudos futuros.

Nesse perfilhar, para auxiliar a compreensão do mapa de produção científica (Figura 6), foi confeccionada a Tabela 2, com os dados quantitativos dos principais países que mais contribuem com a temática. Os países que estão na cor azul escuro são os que mais publicaram artigos a respeito do tema, os países com a cor azul claro estão com publicação mediana e os países na cor cinza não apresentaram publicações. O Brasil está na vigésima posição com a frequência de 11 pontos.

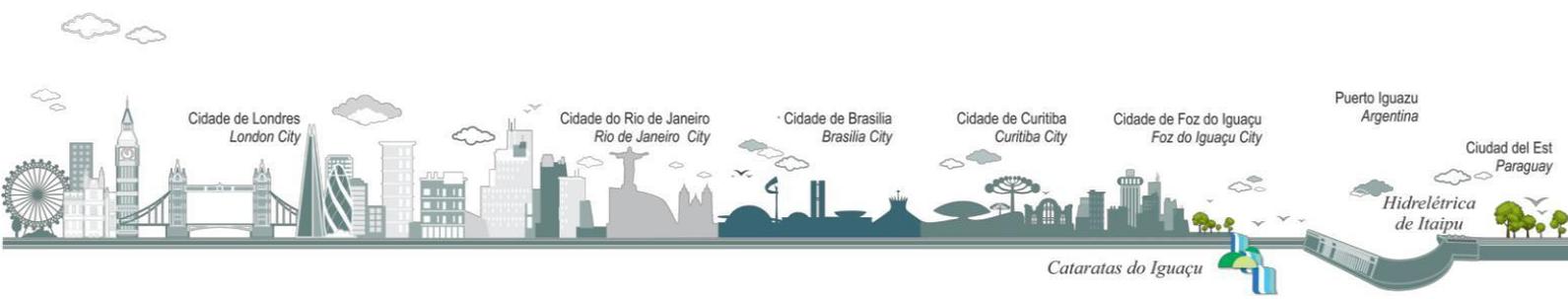
Tabela 2 – Total da produção científica dos vinte países que mais publicaram sobre o tema.

Região	Frequência	Percentual
China	119	22,50
EUA	51	9,64
Índia	45	8,51
Espanha	44	8,32
Reino Unido	28	5,29
Itália	25	4,73
Coreia do Sul	23	4,35
Irã	22	4,16
Malásia	21	3,97
Arábia Saudita	19	3,59
Austrália	16	3,02
Portugal	14	2,65
África do sul	14	2,65
Canadá	13	2,46
Colômbia	13	2,46
Japão	13	2,46
Polônia	13	2,46
Tunísia	13	2,46
Alemanha	12	2,27
Brasil	11	2,08

Fonte: Resultado da pesquisa *Web of Science*, rodado no Bibliometrix, 2021.

No âmbito das pesquisas internacionais a respeito do papel da inteligência artificial para o desenvolvimento de novas interfaces que otimizem a descoberta de energias renováveis, alguns países têm colaborado entre si. Esse compartilhamento científico reforça as parcerias globais como meio de implementação e revitalização da pesquisa global para o desenvolvimento sustentável (ODS17), com vistas à produção de energias limpas.

Nesse sentido, a Organização das Nações Unidas aprovou em 2015 a Agenda 2030,

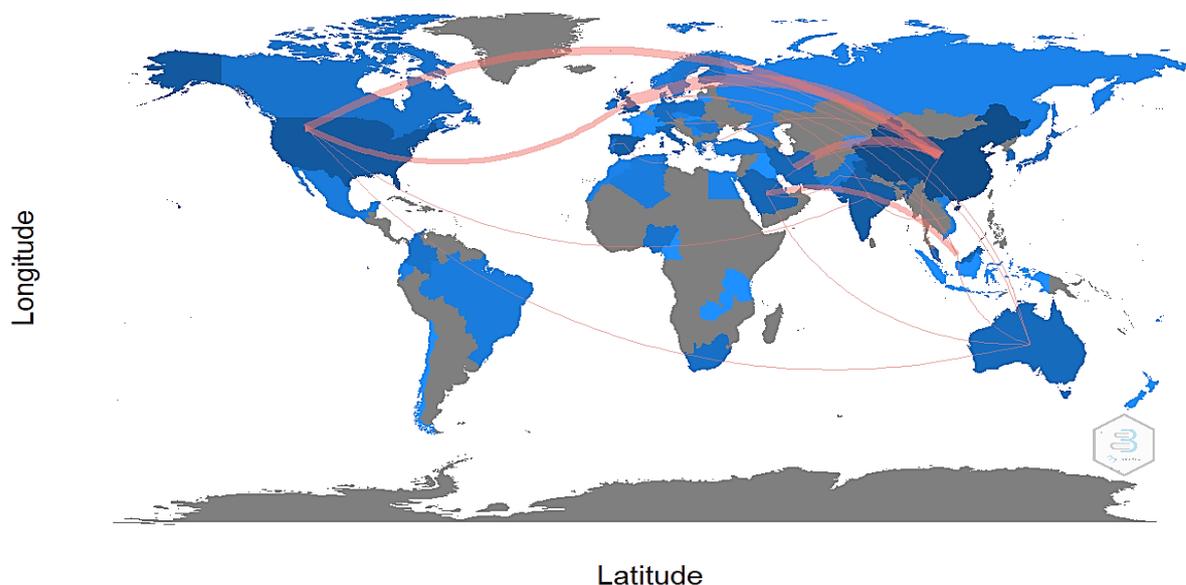




que trata de um plano de ação global com a instituição de 17 objetivos de desenvolvimento sustentável e 169 metas, criados com o propósito de erradicar a pobreza e promover a vida com dignidade universalmente, dentro das condições que o planeta oferece e sem comprometer as gerações futuras. Portanto, o desenvolvimento sustentável requer novas formas de estratégias que trabalhem formas sustentáveis de energias renováveis, favorecendo as pessoas e o meio ambiente.

A Figura 7 traz a relação dos países que mais colaboraram nas publicações que tratam do papel da inteligência artificial no desenvolvimento de novas interfaces de energias renováveis.

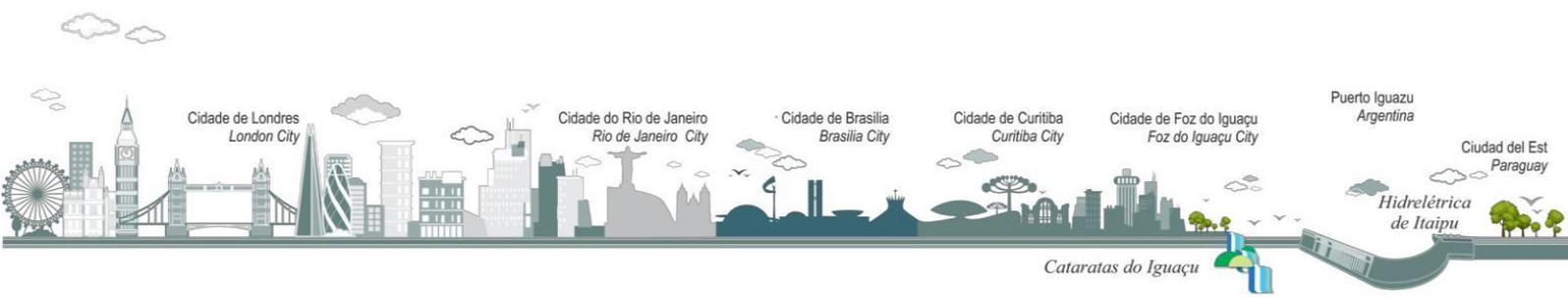
Figura 7 – mapa de colaboração por país.



Fonte: Resultado da pesquisa *Web of Science*, obtido no Bibliometrix, 2021.

A China está em primeiro lugar a nível de colaboração mundial sobre o tema. Desta forma, colabora com frequência 1 com os seguintes países: Argélia, Austrália, Fiji, Finlândia, Alemanha, Hungria, Iraque, Noruega, Paquistão, Eslováquia, África do Sul e Zâmbia; com frequência 2 colabora com Grécia, Arábia Saudita e Cingapura.

Com frequência 5 a China colabora com Irã e Reino Unido e Estados Unidos; e com frequência 9 colabora com o Reino Unido.





Os Estados Unidos colaboram na frequência 1 com os seguintes países: Canadá, Egito, Alemanha, Hungria, Irã, Coreia, Kuwait, Noruega, Arábia Saudita, Eslováquia e Vietnã; com frequência 2, publicam com a Austrália e a Índia. Com frequência 3, os Estados Unidos publicam com o Reino Unido. Nesse sentido, a Austrália colabora na frequência 1 com Egito, Grécia, Paquistão, Fiji, Turquia; com frequência 2, colabora com Finlândia e Suécia. O Brasil colabora com frequência 1 com a Finlândia. O Canadá colabora na frequência 1 com Chile, Equador e Alemanha. Assim, vários países têm colaborado entre si, o que demonstra a preocupação global sobre a temática.

## **Análise de conteúdo de alguns resultados**

Neste tópico, foi examinado o conteúdo dos resumos de alguns artigos relevantes constantes desta revisão, tendo a maioria dos achados identificado tendência recente do uso da inteligência artificial para potencializar o desenvolvimento da energia solar e eólica (BAND *et al.*, 2021; HAUPT *et al.*, 1979; HUANG; KUO, 2018; KOSOVIC *et al.*, 2020).

Nas amostras examinadas, observou-se que os pesquisadores utilizaram a estatística e os modelos de análises de dados para fundamentar seus estudos, o que contribuiu para aumentar a confiança e a segurança dos resultados apresentados.

Nestes termos, com o propósito de verificar quais os artigos, publicados em periódicos internacionais, despertaram o interesse dos pesquisadores, na Tabela 3 constam os dez artigos mais citados, com respectivos títulos e DOI, os quais evidenciaram ser a inteligência artificial benéfica para o campo das energias renováveis como um todo, especialmente com ampla aplicação no campo da energia solar e eólica que, além de reduzir os custos das atividades industriais, agrícolas etc., constituem fonte de energia limpa, que pode minimizar as queimadas, o desmatamento, etc., evitando maiores impactos negativos ao meio ambiente (BHANDARI *et al.*, 2015; MANDAL *et al.*, 2012; AKHTER *et al.*, 2019).

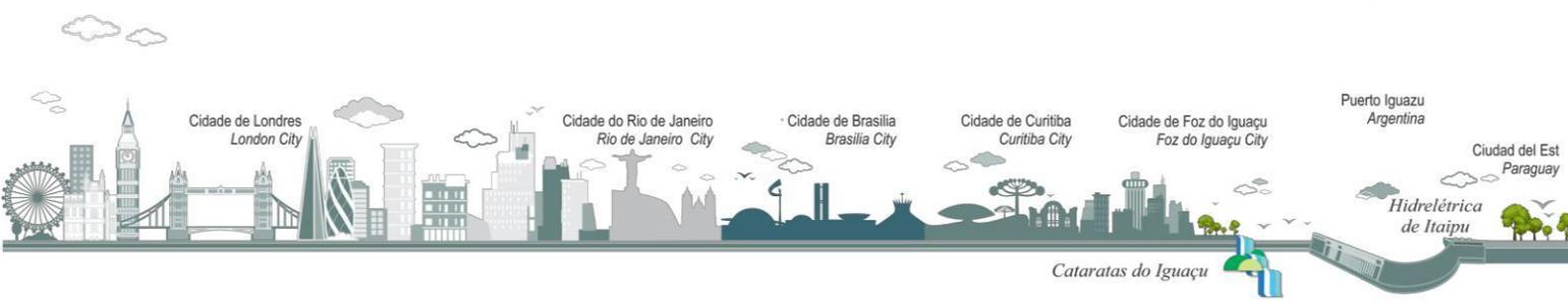
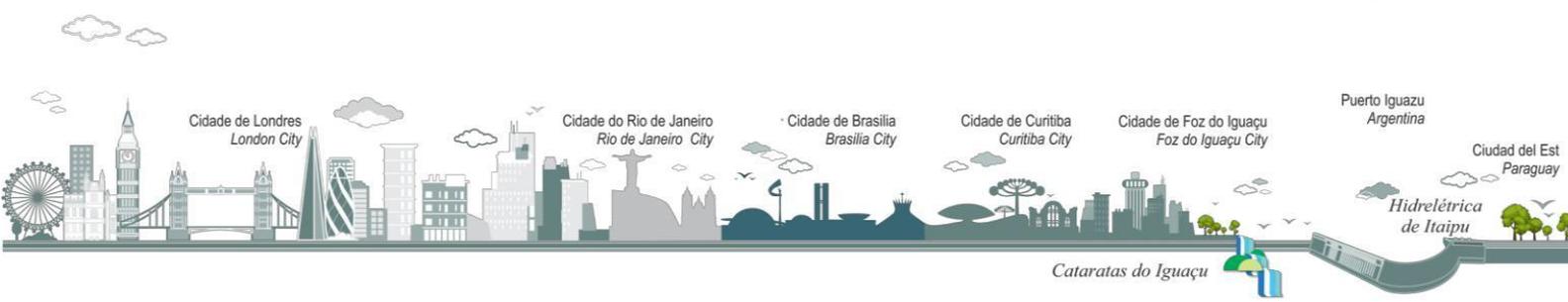




Tabela 3 – Artigos mais citados sobre o papel da inteligência artificial no desenvolvimento renováveis

AUTORIA/ANO	TÍTULO/ANO	DOI	NÚMERO CITAÇÕES
Bhandari <i>et al.</i> (2015)	Optimization of hybrid renewable energy power systems: A review	10.1007/ s40684-015-0013-z	147
Mandal <i>et al.</i> (2012)	Forecasting Power Output of Solar Photovoltaic System Using Wavelet Transform and Artificial Intelligence Techniques	10.1016/ j.procs.2012.09.080	109
Akhter <i>et al.</i> (2019)	Review on forecasting of photovoltaic power generation based on machine learning and metaheuristic techniques	10.1049/iet?rpg.2018.5649	89
Liu, Fan e Terzija (2016)	Power system restoration: a literature review from 2006 to 2016	10.1007/ s40565-016-0219-2	87
Ahmad, Reynolds e Rezgui (2018)	Predictive modelling for solar thermal energy systems: A comparison of support vector regression, random forest, extra trees and regression trees	10.1016/ j.jclepro.2018.08.207	67
Poizot, Dolhem e Gaubicher (2018)	Progress in all-organic rechargeable batteries using cationic and anionic configurations: Toward low-cost and greener storage solutions?	10.1016/ j.coelec.2018.04.003	66
Khosravani <i>et al.</i> (2016)	A Comparison of Energy Consumption Prediction Models Based on Neural Networks of a Bioclimatic Building	10.3390/en9010057	60
Ahmad, Mourshed e Rezgui (2018)	Tree-based ensemble methods for predicting PV power generation and their comparison with support vector regression	10.1016/ j.energy.2018.08.207	56
Olowu <i>et al.</i> (2018)	Future Challenges and Mitigation Methods for High Photovoltaic Penetration: A Survey	10.3390/en11071782	53
Bermejo <i>et al.</i> (2019)	A Review of the Use of Artificial Neural Network Models for Energy and Reliability Prediction. A Study of the Solar PV, Hydraulic and Wind Energy Sources	10.3390/app9091844	47

Fonte: Resultado da pesquisa *Web of Science*, rodado no Bibliometrix, 2021.





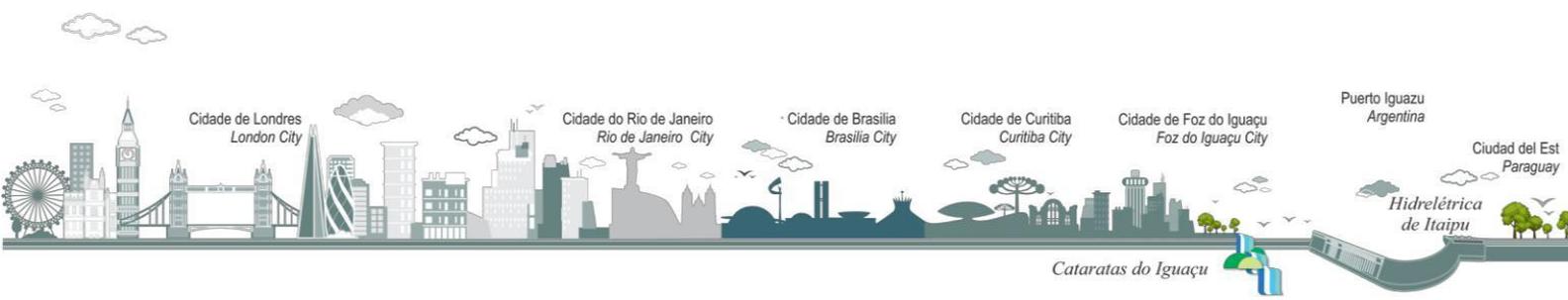
Estudos conduzidos por Bhandari *et al.* (2015) afirmam que as características da energia produzida a partir dos sistemas fotovoltaicos e eólicos, baseados nas condições climáticas, não são confiáveis por si só, sem dispositivos de armazenamento de capacidade suficiente, como baterias ou sistema de backup, como geradores convencionais de motor. Contudo a confiabilidade do sistema aumenta com a utilização das metodologias do Sistema Híbrido de Energia Renovável (HRE), apresentando, no caso, a inteligência artificial como um mecanismo potencial de segurança e otimização do sistema, sem extensos dados meteorológicos de longo prazo.

No mesmo sentido, Mandal *et al.* (2012) reforçam o entendimento de que a previsão de energia fotovoltaica pode desempenhar um papel importante no enfrentamento das crises de energias e a IA pode auxiliar nesse processo.

Os problemas globais afetos ao clima têm sido uma preocupação mundial há um longo tempo, tendo a modernização do mundo reduzido significativamente as fontes primárias de energia, como carvão, diesel e gás, substituindo-as por fontes alternativas de energia baseadas em energias renováveis para atender a demanda energética mundial e ao mesmo tempo reduzir o aquecimento global (AKHTER *et al.*, 2019).

Para Zheng *et al.* (2011), os recursos de energia renováveis têm sido apontados como a principal abordagem para soluções para a crise energética. As fontes de energia renováveis, como a eólica e a solar, ganharam mais importância globalmente nos últimos anos à medida que produzir energia limpa e globalmente aceita são as melhores soluções para fontes alternativas de energia, requerendo mais pesquisas a respeito. Desta forma, a IA apresenta novas interfaces tecnológicas que têm auxiliado os estudos científicos em busca da descoberta de novas energias renováveis (ALEEM; HUSSAIN; USTUN, 2020; LIU; FAN; TERZIJA, 2016; MANDAL *et al.*, 2012;).

Nesse aspecto, nos últimos anos, a Inteligência Artificial, por meio de suas inovações tecnológicas, tem fornecido boa solução para melhorar a precisão de previsão da velocidade do vento, otimizando as pesquisas no campo da energia eólica e da energia solar fotovoltaica. A inteligência artificial (IA), como a rede neural (NN), ganhou mais importância no campo da previsão devido à sua capacidade de lidar com problemas complexos (MANDAL *et al.*, 2012; ZHENG *et al.*, 2011).



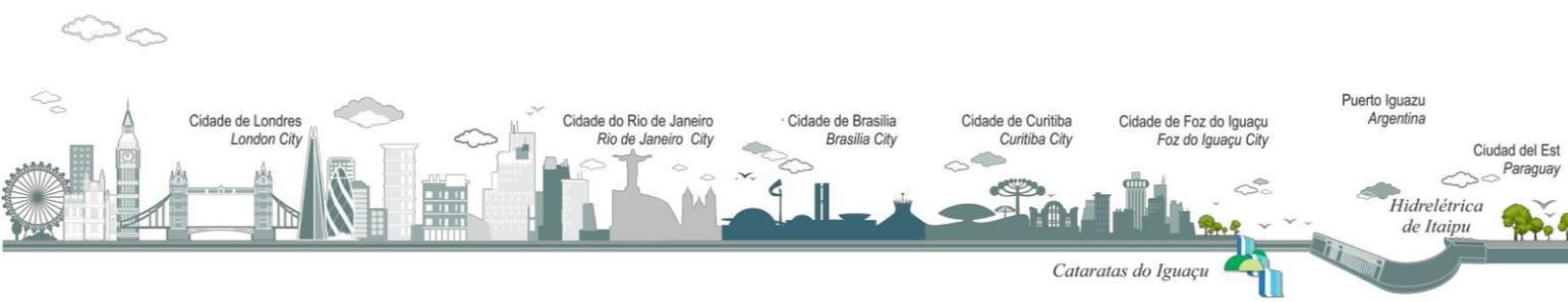


Segundo Stanelyte e Radziukynas (2020), para melhor integrar o uso de recursos de energia renovável na rede e aprimorar a estabilidade da tensão das redes de distribuição, é necessário selecionar e controlar dispositivos com potência reativa ajustável (baterias de capacitores, transformadores e reatores), que forneçam certas soluções para que os conversores fotovoltaicos (PV) se mantenham em razão da tensão. Com isso, ressaltam que, comparados aos métodos centralizados, os métodos de inteligência artificial (heurísticos) apresentam-se como capazes de distribuir tarefas de computação e comunicação entre os dispositivos de controle (STANELYTE; RADZIUKYNAS, 2020), otimizando os resultados.

Para Poizot, Dolhem e Gaubicher (2018), a entrada na Quarta Revolução Industrial desde a virada do século deverá revolucionar os novos tempos, principalmente com o boom das tecnologias digitais, como as comunicações, a inteligência artificial, a *internet* das coisas, a impressão 3-D ou nano/biotecnologias. Tudo isso requer nova mudança de paradigma em que as metas e as ações sejam conduzidas com foco no desenvolvimento sustentável para conseguir superar os dados críticos causados pelas revoluções industriais anteriores, especialmente a ameaça do aquecimento global.

Nos últimos vinte anos, o consumo de energia tem aumentado constantemente devido à industrialização e à globalização. Os estudos, inclusive, têm demonstrado que os edifícios são responsáveis pela maior proporção do consumo de energia. Nos países da União Europeia, o consumo de energia em edifícios representa cerca de 40% do consumo total de energia. Nestes termos, as técnicas de inteligência artificial são ferramentas promissoras, inclusive, para prever o consumo de energia em edifícios, o que tem auxiliado o controle e a distribuição do consumo de energia com o uso das novas fontes de energia renováveis (KHOSRAVANI *et al.*, 2016).

Pesquisas conduzidas por Puri *et al.* (2019) também mostram que o mundo está consumindo grandes quantidades de energia sob várias formas. Com isso, ao desenvolver um sistema baseado na Internet das Coisas (IoT) para gerar energia elétrica a partir de vários sensores para eletrodomésticos e áreas industriais, conseguiram demonstrar que a Inteligência Artificial, por meio do modelo de desempenho da Rede Neural Artificial (ANN), apresentou melhor resultado que o Sistema de Inferência Fuzzy baseado em Rede Adaptável (ANFIS) para a energia total gerada a partir de recursos de energia renovável.





Já as pesquisas de Dumitru, Gligor e Enachescu (2016) afirmaram que as técnicas de inteligência artificial, no âmbito da gestão de recursos de energia renovável, oferecem solução viável para corrigir o comportamento de fatores externos e internos. No caso, o algoritmo de aprendizagem de propagação traseira pode ser usado em diferentes configurações das redes neurais para encontrar uma solução adequada para os conjuntos de dados específicos da disponibilidade de recursos de energia renovável solar fotovoltaica.

A respeito dos achados concernentes ao exame de conteúdo, nas amostras tratadas neste tópico, foi possível evidenciar que a IA, por meio de suas inovações tecnológicas, apresenta-se como instrumento otimizador do desenvolvimento das energias renováveis, principalmente no âmbito da energia solar e eólica. Contudo, sugere-se a realização de novos estudos para verificar os principais métodos que os pesquisadores estão desenvolvendo com vistas à eficiência no campo de energias renováveis pela utilização da IA.

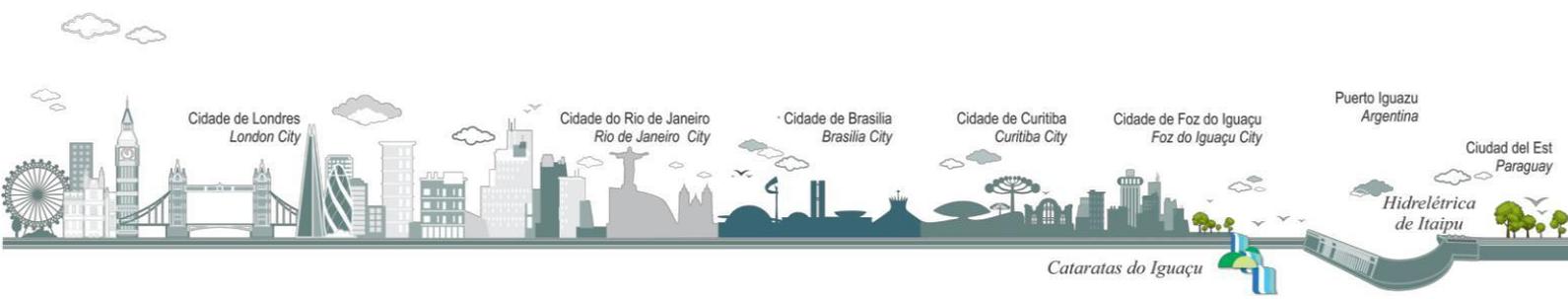
## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo fazer uma revisão bibliométrica de literatura para verificar as contribuições da Inteligência Artificial (AI) para o desenvolvimento de energias renováveis, com vistas a minimizar os efeitos deletérios da crise climática sobre a humanidade e o planeta.

Os resultados do exame bibliométrico constataram que a partir de 2011 foram iniciadas as publicações sobre o tema, com um artigo publicado. Porém de 2017 a 2021 houve evolução na produção de artigos publicados nos periódicos internacionais, tendo os anos 2020 e 2021 assumido a dianteira das publicações, com 63 e 60 artigos, respectivamente.

Em relação à média de citação anual dos artigos publicados nas fontes encontradas, Tabela 1, o artigo publicado em 2012 teve a maior média de citação anual (109 pontos). Os anos de 2011, 2016 e 2017 também chamaram atenção dos pesquisadores por terem registrado uma média de citação anual considerável, em torno de 31, 57 e 30 pontos, respectivamente.

O periódico *Energies* foi identificado como o mais relevante em decorrência do número de publicações (44 artigos) e do fator impacto (h-index 11). O autor mais relevante, segundo





os achados, foi *Yutian Liu* (6 artigos). Já os autores com maior fator de impacto nas produções científicas, com h-index 3, foram *Sue Ellen Haupt* e *Yan Wang*.

A China destacou-se como o país que mais publica a respeito da temática (149 artigos), colaborando com 20 países nas referidas pesquisas. O Brasil ocupa a vigésima posição (11 artigos) e colabora com a Finlândia. Os achados evidenciaram também que a utilização da estatística e dos métodos de análise de dados consubstanciou as produções examinadas, conferindo mais segurança e confiabilidade às produções científicas.

Nessa lógica, considerando as questões norteadoras levantadas na parte introdutória deste estudo, as evidências constataram que a Inteligência Artificial, por meio de suas inovações tecnológicas, apresenta-se como mecanismo otimizador do desenvolvimento das energias renováveis, principalmente no âmbito da energia solar e eólica.

Assim, os achados preliminares deste artigo apontam para a confirmação da premissa inicial de que a inteligência artificial configura como mecanismo viável e com potencial ao aprimoramento do desenvolvimento sustentável no campo da pesquisa que busca fontes de energia renováveis, como a solar (uso da energia solar) e a eólica (uso da energia do vento), visando a reduzir o aquecimento global e a crise climática no mundo.

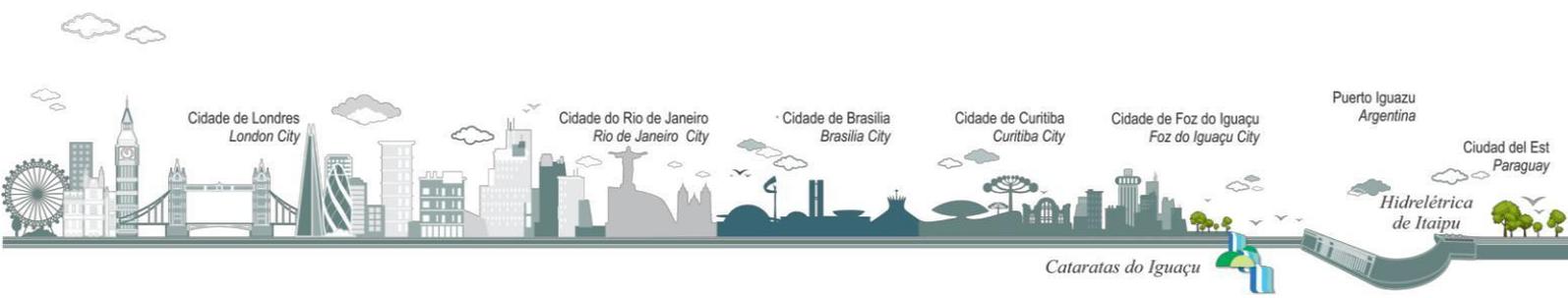
Dessa forma, é importante destacar que estudos futuros têm o potencial para identificar novos resultados, tendentes ao aprimoramento das fontes de energias renováveis, o que contribuirá para que no futuro próximo o planeta possa desfrutar de fontes de energias limpas e sustentáveis.

Por fim, a inteligência artificial apresenta sistemas de computador e tecnologias de informação e comunicação que podem contribuir para a implementação de fontes de energias renováveis, como a solar e eólica, mas tais mudanças dependem também de um apoio técnico que oriente a utilização dessas máquinas, da segurança na proteção de dados, prevenção dos crimes de invasões cibernéticas e colaboração mundial, permitindo desenvolvimento social, econômico e ambiental de forma sustentável.

## REFERÊNCIAS

ALEEM, S. A.; HUSSAIN, S. M. S.; USTUN, T. S. A Review of Strategies to Increase PV Penetration Level in Smart Grids. **Energies**, v. 13, n.3, p.636-643, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13030636>.

AHMAD, M. W.; MOURSHED, M.; REZGUI, Y. Tree-based ensemble methods for predicting PV





power generation and their comparison with support vector regression. **Energy**, v.164, n.1, p.465-474, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.207>.

AHMAD, M. W.; REYNOLDS, J.; REZGUI, Y. Predictive modelling for solar thermal energy systems: A comparison of support vector regression, random forest, extra trees and regression trees. **Journal of Cleaner Production**, v.203, p.810-821, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.207>.

AKHTER, M. N. *et al.* Review on forecasting of photovoltaic power generation based on machine learning and metaheuristic techniques. **IET Renewable Power Generation**, v.13, p.1009-1023, 2019. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.5649>.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v.11, n. 4, p.959-975, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.

BAND, S. S. *et al.* Evaluating the potential of offshore wind energy in the Gulf of Oman using the MENA-CORDEX wind speed data simulations. **Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics**, v.15, n.1 p.613-626, 2021. <https://doi.org/10.1080/19942060.2021.1893225>.

BERMEJO, J. F. *et al.* Review of the Use of Artificial Neural Network Models for Energy and Reliability Prediction: A Study of the Solar PV, Hydraulic and Wind Energy Sources. **Appl. Sci.** v.9, n.9, p. 18-44, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9091844>.

BHANDARI, B. *et al.* Otimização de sistemas híbridos de energia renovável: uma revisão. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v.2, p.99-112, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40684-015-0013-z>.

COBO, M. J. *et al.* An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. **Journal of Informetrics**, v.5, n.1, p.146-166, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>.

DUMITRU, C.-D.; GLIGOR, A.; ENACHESCU, C. Solar Photovoltaic Energy Production Forecast Using Neural Networks. **Procedia Technology**, v.1, n. 22, p. 808-815, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.053>.

HAUPT, S. E. *et al.* Combining Artificial Intelligence with Physics-Based Methods for Probabilistic Renewable. **Energies** v. 13, n.8, p.1-8, 1979. <https://doi.org/10.3390/en13081979>.

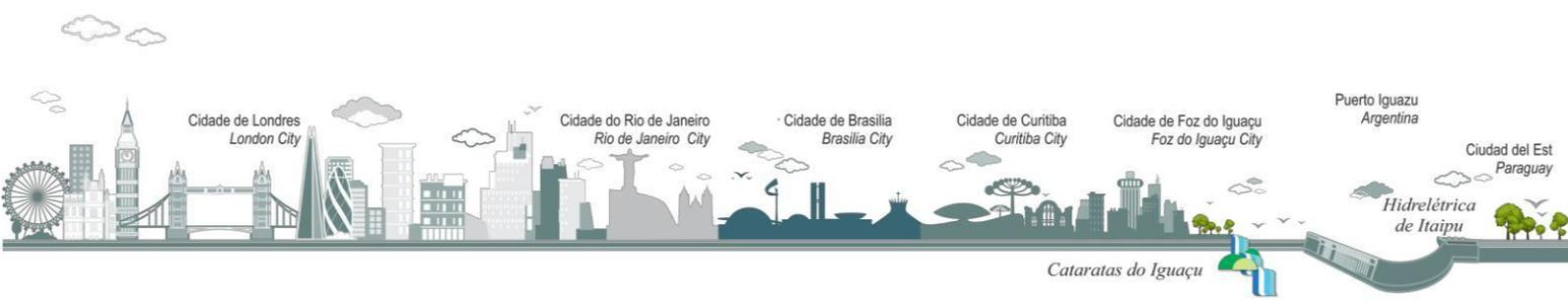
HUANG, C.-J.; KUO, P.-H. A Short-Term Wind Speed Forecasting Model by Using Artificial Neural Networks with Stochastic Optimization for Renewable Energy Systems. **Energies**, v.11, n.10, p. 27-77, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11102777>.

KHOSRAVANI, H. R. *et al.* Comparison of Energy Consumption Prediction Models Based on Neural Networks of a Bioclimatic Building. **Energies**, v.9, n.1, p.49-57, 2016. <https://doi.org/10.3390/en9010057>.

KOSOVIC, B. *et al.* A Comprehensive Wind Power Forecasting System Integrating Artificial Intelligence and Numerical Weather Prediction. **Energies**, v.13, n.6, p. 13-72, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13061372>.

LIU, Y.; FAN, R.; TERZIJA, V. Power system restoration: a literature review from 2006 to 2016. **J. Mod. Power Syst. Clean Energy**, v.4, p.332-341, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40565-016-0219-2>.

MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciência da Informação**, v. 27, n. 2, 1998. <https://doi.org/10.1590/s0100-19651998000200005>.





MANDAL, P. *et al.* Forecasting Power Output of Solar Photovoltaic System Using Wavelet Transform and Artificial Intelligence Techniques. **Procedia Computer Science**, v.12, n.1, p.332-337, 2012.

MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* (ed.). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Working Group, I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. In Press. ISBN 978-92-9169-158-6.

LOWU, T. O. *et al.* Future Challenges and Mitigation Methods for High Photovoltaic Penetration: A Survey. **Energies**, v.11, n.7, p.17-82, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11071782>.

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 citations, and year of publication. **Scientometrics**, v.5, n.3, p.2109-2135, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. **The BMJ**, v.372, n.71, 2021. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.

POIZOT, P.; DOLHEM, F.; GAUBICHER, J. Progress in all-organic rechargeable batteries using cationic and anionic configurations: Toward low-cost and greener storage solutions? **Current Opinion in Electrochemistry**, v.9, p.70-80, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2018.04.003>.

PURI, V. *et al.* A Hybrid Artificial Intelligence and Internet of Things Model for Generation of Renewable Resource of Energy. **IEEE Access**, v.7, p.111181-111191, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934228>

SEN, A. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo. Companhia das Letras, 2010. 461p.

SERBAN, A. C.; LYTRAS, M. D. Artificial Intelligence for Smart Renewable Energy Sector in Europe - Smart Energy Infrastructures for Next Generation Smart Cities. **IEEE Access**, v.8, p.77364-77377, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990123>.

SOUZA, S. V.; GIMENES, R. M. T. Viabilidade econômica da utilização de energia solar em sistemas de produção hidroponica. **Informe GEPEC**, v. 22, n. 2, p.27-45, 2019. DOI: <https://doi.org/10.48075/igepec.v22i2.19901>.

STANELYTE, D.; RADZIUKYNAS, V. Review of Voltage and Reactive Power Control Algorithms in Electrical Distribution Networks. **Energies**, v.13, n.1, 58p., 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13010058>. Acesso em: 18 nov. 2021.

VANTI, N. A. P. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da Informação**, v.31, n.2, p.369-379, 2002. <https://doi.org/10.1590/s0100-19652002000200016>.

ZHENG, Z. W. *et al.* An Overview: the Development of Prediction Technology of Wind and Photovoltaic Power Generation. **Energy Procedia**, v.12, p.601-608, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.081>.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>.

