

GERADORES DE VORTEX (VG) EM TURBINAS EÓLICAS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Carla Freitas de Andrade¹, Jasson Fernandez Gurgel²,
Mona Lisa Moura de Oliveira³, Francisco Olímpio Carneiro⁴,
Paulo Alexandre Costa Rocha⁵, Daniel Serra⁶

Resumo: O presente projeto visou realizar um estudo sobre a utilização de Vortex Generation (VG) em pás de turbinas eólicas que pode ser usado para aumentar a eficiência da turbina eólica, onde realizou-se uma análise bibliométrica para entender como estão as pesquisas nesse campo quando se considera as seguintes palavras-chave na base Scopus, ("*vortex generation*" OR "*Vortex generator*" OR "*generation vortex*" OR "*generator Vortex*") AND ("*wind energy*" OR "*wind power*" or "*wind turbine*"). Posteriormente, usou-se a ferramenta do Bibliometrix para analisar os dados e gerar informações consolidadas. O objetivo foi mapear documentos na área, considerando o contexto mundial e nacional e observar quais as instituições estão pesquisando sobre o assunto, além dos trabalhos mais citados. Esse estudo mostra-se importante no contexto atual de uso de energias renováveis e hidrogênio verde como uma ferramenta complementar ao estudo e análise da energia eólica.

Palavra-chave: geradores de Vortex; energia eólica; Bibliometrix.

1 INTRODUÇÃO

Geradores de vórtices são dispositivos que modificam o comportamento do vento próximo à superfície das pás de turbinas eólicas. A sua utilização permite variar a zona de transição do descolamento da camada limite, e tem

1 Universidade Federal do Ceará.

2 Aluno de Mestrado do Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Ceará.

3 Universidade Estadual do Ceará.

4 Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

5 Universidade Federal do Ceará.

6 Universidade Federal do Ceará.

sido utilizado para melhorar a eficiência de sistemas aerodinâmicos. Esses dispositivos permitem manter um comportamento turbulento estável na esteira do vento, melhorando a transição do regime laminar para o turbulento da camada limite, evitando derramamento abrupto.

As turbinas eólicas tornaram-se cada vez mais populares nos últimos anos como meio de gerar eletricidade a partir de fontes renováveis. No entanto, ainda existem desafios associados às turbinas eólicas, tais como a sua eficiência, fiabilidade e relação custo-eficácia. Uma maneira de enfrentar esses desafios pode ser usando geradores de vórtices, que são dispositivos conectados às pás de uma turbina eólica, onde seu objetivo é aumentar a eficiência da turbina alterando o fluxo de ar ao redor da pá.

Ao criar vórtices, esses geradores podem melhorar a aerodinâmica da pá, resultando em aumento de sustentação e redução de arrasto. Eles têm sido usados na aviação há décadas para melhorar o desempenho das asas das aeronaves. No entanto, a sua aplicação em turbinas eólicas é um desenvolvimento mais recente. Uma das principais vantagens dos geradores de vórtice é que eles podem ser facilmente adaptados às turbinas eólicas existentes. Isto significa que turbinas mais antigas podem ser atualizadas para melhorar seu desempenho, sem a necessidade de substituições dispendiosas.

Sendo assim, este artigo realizou um estudo para analisar como estão as publicações nessa área, considerando a utilização de geradores de vortex em turbinas eólicas, para entender quais as instituições que estão pesquisando sobre o assunto, quais os trabalhos mais citados e que países estão mais na frente nessa linha de pesquisa. Além disso, será analisado o contexto mundial e nacional para ver como está a inserção do Brasil nesse campo.

2 METODOLOGIA

Com a tendência da produção de hidrogênio, pesquisadores têm desenvolvido trabalhos relacionados ao assunto pelo mundo inteiro. E estudos mostram que a utilização de Geradores de Vortex em turbinas eólicas podem gerar certos ganhos. Sendo assim, para contextualizar o tema em estudo, realizou-se uma busca na *Base Scopus* para verificar as publicações relacionadas ao tema em questão contextualizando em nível mundial e nacional. A base de dados da Scopus possui um banco de dados de resumos e citações da literatura, que oferece um panorama das pesquisas do mundo nas diversas áreas.

Para realizar esse estudo, fez-se a busca de dados através da base Scopus, na segunda semana de agosto de 2024, utilizando a metodologia sugerida por Donthu *et al.* (2021), juntamente com os parâmetros discriminados pela Tabela 1, considerando os termos (“*vortex generation*” OR “*Vortex generator*” OR “*generation vortex*” OR “*generator Vortex*”) AND (“*wind energy*” OR “*wind power*” or “*wind turbine*”), onde obteve-se, inicialmente 346 documentos.

Após um refinamento na busca, onde considerou-se apenas artigos científicos e artigos de revisão, língua em inglês, a fonte como sendo *Journal*, trabalho já tendo sido publicado, e as seguintes subáreas Energy (93), Engineering (81), Environmental Science (17), Materials Science (14), Computer Science (12), Chemical Engineering (9), Multidisciplinary (1), ficou-se com 155 documentos, que foram lidos pela ferramenta *Biblioshiny*, onde foram gerados gráficos e figuras que puderam ser analisados, sendo possível verificar os documentos com mais citações, as redes de cooperação, os centros que estão mais pesquisando sobre o assunto, dentre outros pontos, na área de geradores de vórtex e turbina eólica.

Considerando para o contexto nacional, realizou-se uma nova busca na base *Scopus*, onde filtrou-se apenas documentos relacionados ao Brasil, ou seja, documentos que continham pelo menos um de seus autores vinculados às instituições brasileiras, porém apenas 3 artigos foram encontrados.

A base *Scopus* é uma ferramenta aceita para extração de dados e pesquisa científica e que foi utilizada como referência, por conter grande número de artigos. A literatura foi pesquisada considerando todos os anos possíveis, usando as opções de pesquisa avançada “título, resumo e palavras-chave”. A bibliometria ajuda a entender as tradições de pesquisa, empregando citações, refinamentos e a mapear clusters, indicando as redes de pesquisas. Para compilar os dados e fazer uma análise das informações, foi utilizada a ferramenta do *Bibliometrix* (<https://www.bibliometrix.org/>), um software livre escrito em linguagem R (Aria & Cuccurullo, 2017).

As informações geradas pela base *Scopus*, foram baixadas em um só arquivo *.csv* para ser lido pelo *Biblioshiny*, e cujas informações gerais, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais informações sobre os dados gerados pelo *Bibliometrix*

<i>Descrição</i>	<i>Resultados</i>
INFORMAÇÕES SOBRE OS DADOS	
<i>Intervalo de tempo</i>	1977:2023
<i>Fontes (Revistas, livros, etc.)</i>	63
<i>Quantidade de documentos</i>	145
<i>Anos médios de publicação</i>	6,99
<i>Média de citações por documentos</i>	28,32
TIPOS DE DOCUMENTOS	
<i>Artigos científicos</i>	137
<i>Artigos de revisão</i>	8
<i>Total de autores</i>	405
<i>Co-autores por documentos</i>	3,95

Fonte: Base *Scopus*, ferramenta *Bibliometrix*, Agosto.2024

Diante do conjunto de documentos, pode-se agora analisar esses dados utilizando a ferramenta do Bibliometrix e verificar diversos parâmetros que possam contribuir para um mapeamento científico do assunto, que é a aplicação de Geradores de Vortex na energia eólica, fornecendo uma visão do avanço técnico no campo do hidrogênio produzido por fontes renováveis, compreendendo a natureza das publicações mais citadas, e mostrar a posição do Brasil no cenário mundial.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises bibliométricas são especialidades científicas e um aspecto significativo da avaliação da pesquisa, especialmente nos setores científico e aplicado (Laengle *et al.*, 2017). Este estudo bibliométrico utilizando a base *Scopus* foi realizado na segunda semana de agosto de 2024, onde, após a utilização de filtros para a sub-área considerada, chegou-se a 145 documentos, publicados desde 1977, e todos os documentos foram baseados em artigos de periódicos.

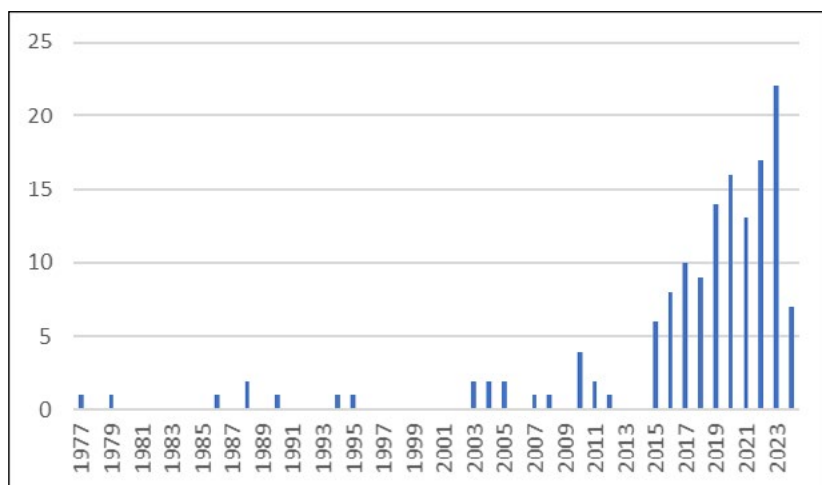
Os resultados do estudo estão apresentados nas seções a seguir, indicando as áreas de pesquisa mais proeminentes, palavras-chave, afiliações, periódicos, autores e países. Cada parte dos resultados foi discutida para revelar o progresso da pesquisa, tendências, atualizações e pontos críticos relacionados ao campo considerado.

O número de citações em um campo é importante para categorizar e compreender as tendências atuais de pesquisa, além de indicar claramente o impacto de um periódico ou de uma publicação específica, com isso, é possível fornecer dados transparentes sobre o campo mais significativo de trabalhos de pesquisa, bem como as tendências atuais.

3.1 Contexto mundial

A Figura 1 mostra a produção científica anual desde 1977, onde percebe-se nitidamente o aumento das publicações nessa área principalmente nos últimos anos.

Figura 1 - Quantidade de artigos ao longo dos anos



Percebe-se, pela Figura 1, que o primeiro documento publicado foi em 1977, (Loth J.L., 1977), na revista *Wind Engineering*, mas teve somente, até agora, 3 citações. A próxima publicação foi em 1979, (J. M. Chen & Tsue, 1979), publicado na revista *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, cujo título é “*Vortex generator affected by the tower aspect ratio*”, e teve, somente, até agora, 3 citações.

Após um período sem publicações considerando esses termos, tem-se em 1986 um documento (Zimmerman & Shipley, 1986), publicado no Jornal “*Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*”, com o título “*Mod-2 wind turbine loads test correlations*” mas que ainda não recebeu nenhuma citação, segundo a base Scopus.

Em 1990, houve a publicação de um documento (Afjeh *et al.*, 1990), na revista “*Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*”, com o título “*Predicted aerodynamic performance of a horizontal-axis wind turbine equipped with vortex generators*”, tendo recebido 11 citações e que aborda sobre o desenvolvimento de um modelo simples para uma turbina eólica com geradores de vórtice.

O documento publicado em 1995 foi de (Wetzel, 1995), publicado na revista “*Wind Engineering*”, com o título “*Influence of vortex generators on NREL S807 airfoil aerodynamic characteristics and wind turbine performance*”, tendo recebido 4 citações onde os autores falam sobre os geradores de vórtice e o desempenho de turbinas eólicas.

Nos anos seguintes não houveram documentos nesse conjunto de dados, voltando a ter publicação somente em 2003, onde ambos os trabalhos foram publicados na revista “*Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the*

ASME”, estando o trabalho de (Timmer & van Rooij, 2003), com 432 citações, e o trabalho de (van Rooij & Timmer, 2003) com 204 citações.

Os trabalhos publicados em 2004 foram dos mesmos autores, mas publicados em revistas diferentes, sendo eles o (Fuglsang *et al.*, 2004), publicado na revista “*Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*”, estando com 88 citações, e o outro (Fuglsang & Bak, 2004), publicado no Jornal “*Wind Energy*”, com 209 citações, onde ambos falam sobre o desempenho com geradores de vórtice e flaps Gurney.

Em 2005, houve a publicação do trabalho de (Nikolaou *et al.*, 2005), publicado na revista “*Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*”, com 21 citações, tendo como título “*Modelling the flow around airfoils equipped with vortex generators using a modified 2D Navier-Stokes solver*”, onde os autores falam da necessidade de desenvolver modelos confiáveis, para projetistas de pás usarem para prever e aprimorar as características aerodinâmicas de perfis aerodinâmicos equipados com VGs. E a publicação do trabalho (Gross A. & Fasel H.F., 2005), na revista “*AIAA Journal*” e estando com 36 citações.

O artigo publicado em 2007 foi o documento de (Khalfallah & Koliub, 2007), publicado na revista “*Desalination*”, tendo recebido 51 citações, com o título “*Suggestions for improving wind turbines power curves*”, onde os autores investigaram vários métodos relacionados com a energia das turbinas, sendo um dos métodos relacionado com geradores de vórtice. Já o documento publicado em 2008 foi de (Velte *et al.*, 2008), na revista “*Environmental Research Letters*”, com 49 citações.

Em 2010, há um pequeno aumento na quantidade de publicações, passando para 4 documentos no ano, sendo eles o trabalho de (Johnson *et al.*, 2010), publicado na revista “*Wind Energy*”, com o título “*An overview of active load control techniques for wind turbines with an emphasis on microtabs*”, tendo já recebido 130 citações, o documento de (Yang *et al.*, 2010), publicado na revista “*Science China Technological Sciences*”, com o título “*Simulation of aerodynamic performance affected by vortex generators on blunt trailing-edge airfoils*”, onde os autores realizaram uma investigação por simulação numérica em um aerofólio de turbina eólica com e sem geradores de vórtice (VGs), o artigo de (Beresh *et al.*, 2010), publicado no Jornal “*Experiments in Fluids*”, com o título “*Meander of a fin trailing vortex and the origin of its turbulence*”, e a publicação de (Stalnov *et al.*, 2010), disponível na revista “*Journal of Renewable and Sustainable Energy*”, com o título de “*Evaluation of active flow control applied to wind turbine blade section*”.

Os trabalhos de 2011 foram (Ovejas & Cuadras, 2011) e (Hansen & Aagaard Madsen, 2011), com o título “*Review paper on wind turbine aerodynamics*”, que incluiu uma discussão sobre o uso de dispositivos aerodinâmicos, como, por exemplo, geradores de vórtices. E em 2012, o trabalho de (Gross & Fasel, 2012),

onde os autores simularam o escoamento sobre um aerofólio de turbina eólica S822 do *National Renewable Energy Laboratory* e fizeram algumas avaliações.

A partir de 2015, a periodicidade dos documentos passou a ser constante e com uma quantidade maior de trabalhos, atingindo o pico em 2023.

Dentre os artigos mais atuais, de 2024, pode-se citar o (K. Wang *et al.*, 2024), com o título de “*Aerodynamic performance analysis of a floating wind turbine with coupled blade rotation and surge motion*”, disponível no Jornal “*Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*”, que já está com 3 citações e aborda sobre o método de dinâmica de fluidos computacional (CFD) para investigar desempenho aerodinâmico. O trabalho de (Yu *et al.*, 2024), com o título “*Modeling dynamic stall of an airfoil with vortex generators using a double-wake panel model with viscous–inviscid interaction*”, onde os autores usam um modelo para simular uma turbina de eixo vertical, com aerofólios equipados com VGs.

Na Tabela 2, estão elencados alguns dos artigos com mais citações, extraindo as seguintes informações: i) Nome do primeiro autor referência do artigo; ii) Título do artigo; iii) Total de citação por artigo; iv) ano em que o artigo foi publicado e v) pequeno do resumo do que trata o trabalho.

Tabela 2 - Os 30 documentos mais citados com a quantidade de citações

RANK	AUTOR / CITAÇÃO	TÍTULO DO ARTIGO	TC	REVISTA	ANO	PAIS
1	W. A. Timmer (Timmer & van Rooij, 2003)	Summary of the Delft University Wind Turbine Dedicated Airfoils	432	J. Sol. Energy Eng.	2003	Netherlands
2	Junlei Wang (J. Wang <i>et al.</i> , 2020)	The state-of-the-art review on energy harvesting from flow-induced vibrations	424	Applied Energy	2020	China
3	Peter Fuglsang (Fuglsang & Bak, 2004)	Development of the Risø wind turbine airfoils	209	Wind Energy	2004	Denmark
4	R. P. J. O. M. van Rooij (van Rooij & Timmer, 2003)	Roughness Sensitivity Considerations for Thick Rotor Blade Airfoils	204	J. Sol. Energy Eng.	2003	R. P. J. O. M. van Rooij
5	Linyue Gao (Gao <i>et al.</i> , 2015)	Effects of vortex generators on a blunt trailing-edge airfoil for wind turbines	137	Renewable Energy	2015	China
6	Scott J. Johnson (Johnson <i>et al.</i> , 2010)	An overview of active load control techniques for wind turbines with an emphasis on microtabs	130	Wind Energy	2010	USA
7	Haipeng Wang (H. Wang <i>et al.</i> , 2017)	Flow control on the NREL S809 wind turbine airfoil using vortex generators	122	Energy	2017	China
8	Marinos Manolesos (Manolesos & Voutsinas, 2015)	Experimental investigation of the flow past passive vortex generators on an airfoil experiencing three-dimensional separation	88	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	2015	Greece
9	Peter Fuglsang (Fuglsang <i>et al.</i> , 2004)	Design and Verification of the Risø-B1 Airfoil Family for Wind Turbines	88	J. Sol. Energy Eng.	2004	Denmark

RANK	AUTOR / CITAÇÃO	TÍTULO DO ARTIGO	TC	REVISTA	ANO	PAIS
10	Amanullah Choudhry (Choudhry <i>et al.</i> , 2016)	Methods to control dynamic stall for wind turbine applications	81	Renewable Energy	2016	Australia
11	Martin O. L. Hansen (Hansen & Aagaard Madsen, 2011)	Review Paper on Wind Turbine Aerodynamics	79	J. Fluids Eng.	2011	Denmark
12	Daniel Baldacchino (Baldacchino <i>et al.</i> , 2018)	Experimental parameter study for passive vortex generators on a 30% thick airfoil	75	Wind Energy	2018	Netherlands
13	Mustafa Serdar GENÇ (Serdar GENÇ <i>et al.</i> , 2019)	Investigation of pre-stall flow control on wind turbine blade airfoil using roughness element	72	Energy	2019	Turkey
14	Zhenzhou Zhao (Zhao, Wang, <i>et al.</i> , 2022)	A review: Approaches for aerodynamic performance improvement of lift-type vertical axis wind turbine	69	Sustainable Energy Technologies and Assessments	2022	China
15	D. De Tavernier (De Tavernier <i>et al.</i> , 2021)	Controlling dynamic stall using vortex generators on a wind turbine airfoil	65	Renewable Energy	2021	Netherlands
16	Chengyong Zhu (Zhu, Chen, <i>et al.</i> , 2019)	Dynamic stall control of the wind turbine airfoil via single-row and double-row passive vortex generators	65	Energy	2019	China
17	Lei Zhang (Zhang <i>et al.</i> , 2016)	Effects of vortex generators on aerodynamic performance of thick wind turbine airfoils	55	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	2016	China
18	Unai Fernandez-Gamiz (Fernandez-Gamiz <i>et al.</i> , 2017)	Five Megawatt Wind Turbine Power Output Improvements by Passive Flow Control Devices	52	Energies	2017	Spain
19	Mohammed G. Khalfallah (Khalfallah & Koliub, 2007)	Suggestions for improving wind turbines power curves	51	Desalination	2007	Egypt
20	C M Velte (Velte <i>et al.</i> , 2008)	Flow analysis of vortex generators on wing sections by stereoscopic particle image velocimetry measurements	49	Environmental Research Letters	2008	Denmark
21	Steven J. Beresh (Beresh <i>et al.</i> , 2010)	Meander of a fin trailing vortex and the origin of its turbulence	49	Experiments in Fluids	2010	USA
22	Hoon Hwangbo (Hwangbo <i>et al.</i> , 2017)	Quantifying the effect of vortex generator installation on wind power production: An academia-industry case study	47	Renewable Energy	2017	USA
23	V J Ovejas (Ovejas & Cuadras, 2011)	Multimodal piezoelectric wind energy harvesters	47	Smart Materials and Structures	2011	USA
24	O. Stalnov (Stalnov <i>et al.</i> , 2010)	Evaluation of active flow control applied to wind turbine blade section	45	Journal of Renewable and Sustainable Energy	2010	Israel

RANK	AUTOR / CITAÇÃO	TÍTULO DO ARTIGO	TC	REVISTA	ANO	PAIS
25	Zhenzhou Zhao (Zhao, Jiang, <i>et al.</i> , 2022)	Researches on vortex generators applied to wind turbines: A review	43	Ocean Engineering	2022	China
26	Davide Astolfi (Astolfi <i>et al.</i> , 2018)	Wind Turbine Power Curve Upgrades	43	Energies	2018	Italy
27	Xinkai Li (Li <i>et al.</i> , 2019)	Experimental and Numerical Analysis of the Effect of Vortex Generator Height on Vortex Characteristics and Airfoil Aerodynamic Performance	38	Energies	2019	China
28	Fernández-Gámiz U (Fernández-Gámiz <i>et al.</i> , 2016)	Testing of a self-similarity and helical symmetry in vortex generator flow simulations	38	Wind Energy	2016	Spain
29	Matheus M. Nunes (Nunes <i>et al.</i> , 2020)	Systematic review of diffuser-augmented horizontal-axis turbines	37	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2020	Brazil
30	Ke Yang (Yang <i>et al.</i> , 2010)	Simulation of aerodynamic performance affected by vortex generators on blunt trailing-edge airfoils	37	Science in China Series E: Technological Sciences	2010	China

Dentre os autores que mais tem publicação considerando esse conjunto de dados, pode-se citar os 3 que mais estão vinculados a publicações, sendo eles Wang, Tongguang, da University of Aeronautics and Astronautics, China, que tem 15 documentos relacionados nesse conjunto de dados, o autor Zhao, Zhenzhou do College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, China, que tem 9 publicações, e o autor Fernandez-Gamiz, Unai da University of the Basque Country, Spain, com 8 documentos associados.

A Tabela 3 mostra todos os documentos que aparecem nesse conjunto de dados trabalhos desses 3 autores, com o título, ano de publicação, revista e total de citações de cada um deles. O autor Wang T, recebeu ao todo 365 citações, o autor Zhao Z, recebeu 196 citações e já Fernandez-Gamiz U recebeu 176 citações.

Tabela 3 - Publicações dos 3 autores com mais trabalhos relacionados ao tema

AUTOR	ANO	TÍTULO / CITAÇÃO	REVISTA	TC
WANG T	2023	EFFECTS OF THE HEIGHT AND CHORDWISE INSTALLATION OF THE VANE-TYPE VORTEX GENERATORS ON THE UNSTEADY AERODYNAMICS OF A WIND TURBINE AIRFOIL UNDERGOING DYNAMIC STALL (Zhu <i>et al.</i> , 2023)	ENERGY	13
	2023	EFFECT OF VORTEX GENERATOR ORIENTATION ON WIND TURBINES CONSIDERING THE THREE-DIMENSIONAL ROTATIONAL EFFECT (Jiang <i>et al.</i> , 2023)	OCEAN ENGINEERING	6
	2022	A REVIEW: APPROACHES FOR AERODYNAMIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF LIFT-TYPE VERTICAL AXIS WIND TURBINE (Zhao, Wang, <i>et al.</i> , 2022)	SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES AND ASSESSMENTS	69
	2022	RESEARCHES ON VORTEX GENERATORS APPLIED TO WIND TURBINES: A REVIEW (Zhao, Jiang, <i>et al.</i> , 2022)	OCEAN ENGINEERING	43
	2022	COMBINED EFFECT OF PASSIVE VORTEX GENERATORS AND LEADING-EDGE ROUGHNESS ON DYNAMIC STALL OF THE WIND TURBINE AIRFOIL (Zhu <i>et al.</i> , 2022)	ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT	30
	2022	NUMERICAL STUDY ON THE INFLUENCE OF VORTEX GENERATORS ON WIND TURBINE AERODYNAMIC PERFORMANCE CONSIDERING ROTATIONAL EFFECT (Jiang <i>et al.</i> , 2022)	RENEWABLE ENERGY	19
	2021	RESEARCH ON PARAMETRIC MODELING METHODS FOR VORTEX GENERATORS ON FLAT PLATE (Zhao <i>et al.</i> , 2021)	JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY	5
	2021	RESEARCH ON THE PARAMETRIC MODELLING APPROACH OF VORTEX GENERATOR ON WIND TURBINE AIRFOIL (M. Chen <i>et al.</i> , 2021)	FRONTIERS IN ENERGY RESEARCH	7
	2021	NUMERICAL INVESTIGATION INTO ROTATIONAL AUGMENTATION WITH PASSIVE VORTEX GENERATORS ON THE NREL PHASE VI BLADE (Zhu <i>et al.</i> , 2021)	ENERGY	23
	2020	EFFECT OF SINGLE-ROW AND DOUBLE-ROW PASSIVE VORTEX GENERATORS ON THE DEEP DYNAMIC STALL OF A WIND TURBINE AIRFOIL (Zhu <i>et al.</i> , 2020)	ENERGIES	14
	2019	NUMERICAL INVESTIGATION OF PASSIVE VORTEX GENERATORS ON A WIND TURBINE AIRFOIL UNDERGOING PITCH OSCILLATIONS (Zhu, Wang, <i>et al.</i> , 2019)	ENERGIES	24
	2019	DYNAMIC STALL CONTROL OF THE WIND TURBINE AIRFOIL VIA SINGLE-ROW AND DOUBLE-ROW PASSIVE VORTEX GENERATORS (Zhu, Chen, <i>et al.</i> , 2019)	ENERGY	65
	2017	MODELING OF WIND TURBINE VORTEX GENERATORS IN CONSIDERING THE INTER-EFFECTS BETWEEN ARRAYS (Zhao <i>et al.</i> , 2017)	JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY	20
	2016	NUMERICAL RESEARCH ON EFFECT OF TRANSITION ON AERODYNAMIC PERFORMANCE OF WIND TURBINE BLADE WITH VORTEX GENERATORS (Zhao <i>et al.</i> , 2016)	JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY	17
2015	NUMERICAL INVESTIGATION ON WIND TURBINE VORTEX GENERATORS EMPLOYING TRANSITION MODELS (Zhao <i>et al.</i> , 2015)	JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY	10	

AUTOR	ANO	TÍTULO / CITAÇÃO	REVISTA	TC
ZHAO Z	2023	EFFECT OF VORTEX GENERATOR ORIENTATION ON WIND TURBINES CONSIDERING THE THREE-DIMENSIONAL ROTATIONAL EFFECT (Jiang <i>et al.</i> , 2023)	OCEAN ENGINEERING	6
	2022	A REVIEW: APPROACHES FOR AERODYNAMIC PERFORMANCE IMPROVEMENT OF LIFT-TYPE VERTICAL AXIS WIND TURBINE (Zhao, Wang, <i>et al.</i> , 2022)	SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES AND ASSESSMENTS	69
	2022	RESEARCHES ON VORTEX GENERATORS APPLIED TO WIND TURBINES: A REVIEW (Zhao, Jiang, <i>et al.</i> , 2022)	OCEAN ENGINEERING	43
	2022	NUMERICAL STUDY ON THE INFLUENCE OF VORTEX GENERATORS ON WIND TURBINE AERODYNAMIC PERFORMANCE CONSIDERING ROTATIONAL EFFECT (Jiang <i>et al.</i> , 2022)	RENEWABLE ENERGY	19
	2021	RESEARCH ON PARAMETRIC MODELING METHODS FOR VORTEX GENERATORS ON FLAT PLATE (Zhao <i>et al.</i> , 2021)	JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY	5
	2021	RESEARCH ON THE PARAMETRIC MODELLING APPROACH OF VORTEX GENERATOR ON WIND TURBINE AIRFOIL (M. Chen <i>et al.</i> , 2021)	FRONTIERS IN ENERGY RESEARCH	7
	2017	MODELING OF WIND TURBINE VORTEX GENERATORS IN CONSIDERING THE INTER-EFFECTS BETWEEN ARRAYS (Zhao <i>et al.</i> , 2017)	JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY	20
	2016	NUMERICAL RESEARCH ON EFFECT OF TRANSITION ON AERODYNAMIC PERFORMANCE OF WIND TURBINE BLADE WITH VORTEX GENERATORS (Zhao <i>et al.</i> , 2016)	JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY	17
	2015	NUMERICAL INVESTIGATION ON WIND TURBINE VORTEX GENERATORS EMPLOYING TRANSITION MODELS (Zhao <i>et al.</i> , 2015)	JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY	10
FERNANDEZ-GAMIZ U	2022	FLOW CONTROL BASED 5 MW WIND TURBINE ENHANCED ENERGY PRODUCTION FOR HYDROGEN GENERATION COST REDUCTION (Saenz-Aguirre <i>et al.</i> , 2022)	INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY	11
	2020	COMPUTATIONAL METHODS FOR MODELLING AND OPTIMIZATION OF FLOW CONTROL DEVICES (Ballesteros-Coll <i>et al.</i> , 2020)	ENERGIES	8
	2020	JBAY MODELING OF VANE-TYPE VORTEX GENERATORS AND STUDY ON AIRFOIL AERODYNAMIC PERFORMANCE (Chillon <i>et al.</i> , 2020)	ENERGIES	16
	2020	ACCURACY OF THE CELL-SET MODEL ON A SINGLE VANE-TYPE VORTEX GENERATOR IN NEGLIGIBLE STREAMWISE PRESSURE GRADIENT FLOW WITH RANS AND LES (Ibarra-Udaeta <i>et al.</i> , 2020)	JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING	5
	2018	COMPUTATIONAL MODELLING OF THREE DIFFERENT SUB-BOUNDARY LAYER VORTEX GENERATORS ON A FLAT PLATE (Gutierrez-Amo <i>et al.</i> , 2018)	ENERGIES	22
	2018	COMPUTATIONAL MODELLING OF RECTANGULAR SUB-BOUNDARY LAYER VORTEX GENERATORS (Fernandez-Gamiz <i>et al.</i> , 2018)	APPLIED SCIENCES (SWITZERLAND)	30
	2017	COMPUTATIONAL CHARACTERIZATION OF THE VORTEX GENERATED BY A VORTEX GENERATOR ON A FLAT PLATE FOR DIFFERENT VANE ANGLES (Urkiola <i>et al.</i> , 2017)	AEROSPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY	32
	2017	FIVE MEGAWATT WIND TURBINE POWER OUTPUT IMPROVEMENTS BY PASSIVE FLOW CONTROL DEVICES (Fernandez-Gamiz <i>et al.</i> , 2017)	ENERGIES	52

Com relação às revistas que mais receberam publicações nesse tema, a Tabela 4 mostra os 10 periódicos que mais receberam publicação relacionada ao tema, juntamente com seus dados, tais como o índice h e índice g da revista, total de citações, e o fator de impacto da referida revista, conforme página de cada uma delas.

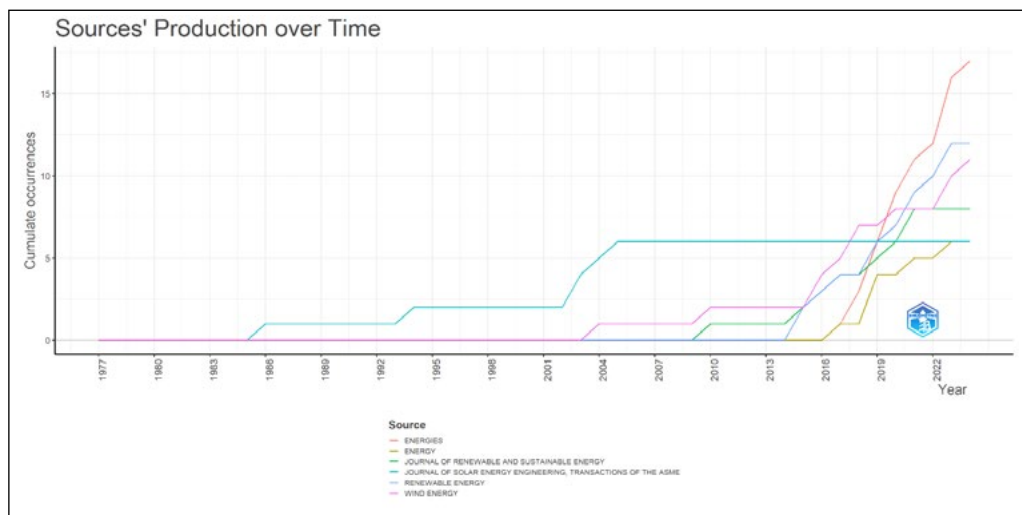
Tabela 4 - Os 10 periódicos com mais artigos publicados

FONTES	Artigos	h_ index	g_ index	TC	Fator de Impacto
ENERGIES	17	10	16	268	3
RENEWABLE ENERGY	12	9	12	443	9
WIND ENERGY	11	8	11	549	4
JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY	8	6	8	152	2,1
ENERGY	6	6	6	318	9
JOURNAL OF SOLAR ENERGY ENGINEERING, TRANSACTIONS OF THE ASME	6	4	6	743	2,3
WIND ENERGY SCIENCE	5	3	5	26	3,6
WIND ENGINEERING	5	3	4	19	1,5
APPLIED SCIENCES (SWITZERLAND)	4	4	4	59	2,5
JOURNAL OF WIND ENGINEERING AND INDUSTRIAL AERODYNAMICS	4	3	4	157	4,2

A revista “ENERGIES” é a que mais recebeu artigos, contudo a que mais recebeu citações foi a revista “JOURNAL OF SOLAR ENERGY ENGINEERING, TRANSACTIONS OF THE ASME”, e a de maior fator de impacto é a revista são as revistas “RENEWABLE ENERGY” e “ENERGY”, ambas com fator de impacto 9.

A Figura 2 mostra a evolução das 5 revistas com mais publicações, onde é possível verificar a data do primeiro documento publicado na revista relacionado ao tema.

Figura 2 - Produção das fontes ao longo do tempo



Com relação as instituições, as dez instituições que mais aparecem com trabalhos relacionados estão listadas na Tabela 5, onde mostra o país da instituição e o ano da publicação.

Tabela 5 - As 10 instituições mais relacionadas com publicações com o tema

INSTITUIÇÕES	NÚMERO DE DOCUMENTOS	PAIS	ANO DA 1ª PUBLICAÇÃO
HOHAI UNIVERSITY	49	China	2015
UNIVERSITY OF THE BASQUE COUNTRY (UPV/EHU)	43	Espanha	2016
NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS	24	China	2015
DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	21	Holanda	2016
TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK	21	Dinamarca	2008
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN	15	Alemanha	2015
ABU DHABI UNIVERSITY	13	Emirados Árabes Unidos	5
INSTITUTE OF ENGINEERING THERMOPHYSICS	10	China	2010
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	10	China	2015
KYUSHU UNIVERSITY	8	Japão	2020

O mapeamento da rede de países e territórios, juntamente com suas publicações e análises de citações, são exibidos na Tabela 6. A Tabela 6 mostra a quantidade de documentos por países levando em conta não somente os autores correspondentes, mas também qualquer autor que esteja na publicação.

O *Bibliometrix* analisa também a quantidade de publicações considerando somente o autor correspondente e observando se as publicações tiveram contribuição de autores de outros países, e essa informação pode ser analisada pela Tabela 5, onde as maiores publicações de um único país (SCP) e publicações de vários países (MCP) mostram que os pesquisadores têm trabalhado em estreita colaboração com outros países.

Tabela 6 - Quantidade de artigos por país e a quantidade de citações dos países

PAÍSES	Artigo considerando somente o país do autor correspondente	SCP	MCP	Artigo considerando o país de qualquer autor que esteja na publicação	TC
CHINA	37	32	5	177	1163
SPAIN	11	9	2	54	235
NETHERLANDS	8	7	1	35	721
DENMARK	7	5	2	30	447
UNITED KINGDOM	7	3	4	26	102
GERMANY	5	4	1	31	21
KOREA	5	5	0	17	31
INDIA	4	3	1	19	20
POLAND	4	3	1	15	42

3.2 Contexto Nacional

Considerando o contexto nacional, quando se seleciona apenas o Brasil na Base Scopus, aparecem apenas 3 documentos, sendo eles os trabalhos (Parra *et al.*, 2023a), publicado na revista “*Energies*”, estando com 2 citações, e tendo como título “*Experimental Analysis of Bio-Inspired Vortex Generators on a Blade with S822 Airfoil*” o outro trabalho é do (Parra *et al.*, 2023b), publicado também na revista “*Energies*”, com o título “*Experimental Analysis of Oscillatory Vortex Generators in Wind Turbine Blade*”. Ambos os trabalhos tem o mesmo autor brasileiro, sendo ele Ceron, Hernan D., da Universidade de São Paulo, em São Carlos.

Já o terceiro trabalho com autor brasileiro foi (Nunes *et al.*, 2020), publicado no Jornal “*Renewable and Sustainable Energy Reviews*”, estando com 37 citações, cujo título é “*Systematic review of diffuser-augmented horizontal-axis*

turbines", vinculado a Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica.

Essa análise mostra que são poucos os trabalhos que estão sendo pesquisado nesse campo das palavras-chave consideradas, justificando a importância e pioneirismo do estudo relacionado com a análise dos *vortex generation* em turbinas eólicas, principalmente no Brasil.

REFERÊNCIAS

AFJEH, A. A., KEITH, T. G., & FATEH, A. (1990). Predicted aerodynamic performance of a horizontal-axis wind turbine equipped with vortex generators. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 33(3), 515–529. [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(90\)90005-W](https://doi.org/10.1016/0167-6105(90)90005-W)

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

ASTOLFI, D., CASTELLANI, F., & TERZI, L. (2018). Wind Turbine Power Curve Upgrades. **Energies**, 11(5), 1300. <https://doi.org/10.3390/en11051300>

BALDACCHINO, D., FERREIRA, C., TAVERNIER, D. DE, TIMMER, W. A., & VAN BUSSEL, G. J. W. (2018). Experimental parameter study for passive vortex generators on a 30% thick airfoil. **Wind Energy**, 21(9), 745–765. <https://doi.org/10.1002/we.2191>

BALLESTEROS-COLL, A., FERNANDEZ-GAMIZ, U., ARAMENDIA, I., ZULUETA, E., & LOPEZ-GUEDE, J. M. (2020). Computational Methods for Modelling and Optimization of Flow Control Devices. **Energies**, 13(14), 3710. <https://doi.org/10.3390/en13143710>

BERESH, S. J., HENFLING, J. F., & SPILLERS, R. W. (2010). Meander of a fin trailing vortex and the origin of its turbulence. **Experiments in Fluids**, 49(3), 599–611. <https://doi.org/10.1007/s00348-010-0825-0>

CHEN, J. M., & TSUE, C. K. (1979). Vortex generator affected by the tower aspect ratio. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 4(2), 101–112. [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(79\)90039-4](https://doi.org/10.1016/0167-6105(79)90039-4)

CHEN, M., ZHAO, Z., LIU, H., WANG, T., MENG, L., FENG, J., JIANG, R., & WANG, D. (2021). Research on the Parametric Modelling Approach of Vortex Generator on Wind Turbine Airfoil. **Frontiers in Energy Research**, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.726721>

CHILLON, S., URIARTE-URIARTE, A., ARAMENDIA, I., MARTÍNEZ-FILGUEIRA, P., FERNANDEZ-GAMIZ, U., & IBARRA-UDAETA, I. (2020). jBAY Modeling of Vane-Type Vortex Generators and Study on Airfoil Aerodynamic Performance. **Energies**, 13(10), 2423. <https://doi.org/10.3390/en13102423>

CHOUDHRY, A., ARJOMANDI, M., & KELSO, R. (2016). Methods to control dynamic stall for wind turbine applications. **Renewable Energy**, *86*, 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.097>

DE TAVERNIER, D., FERREIRA, C., VIRÉ, A., LEBLANC, B., & BERNARDY, S. (2021). Controlling dynamic stall using vortex generators on a wind turbine airfoil. **Renewable Energy**, *172*, 1194–1211. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.019>

DONTHU, N., KUMAR, S., MUKHERJEE, D., PANDEY, N., & LIM, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, *133*, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

FERNANDEZ-GAMIZ, U., ERRASTI, I., GUTIERREZ-AMO, R., BOYANO, A., & BARAMBONES, O. (2018). Computational Modelling of Rectangular Sub-Boundary Layer Vortex Generators. **Applied Sciences**, *8*(1), 138. <https://doi.org/10.3390/app8010138>

FERNÁNDEZ-GÁMIZ, U., MARIKA VELTE, C., RÉTHORÉ, P., SØRENSEN, N. N., & EGUSQUIZA, E. (2016). Testing of self-similarity and helical symmetry in vortex generator flow simulations. **Wind Energy**, *19*(6), 1043–1052. <https://doi.org/10.1002/we.1882>

FERNANDEZ-GAMIZ, U., ZULUETA, E., BOYANO, A., ANSOATEGUI, I., & URIARTE, I. (2017). Five Megawatt Wind Turbine Power Output Improvements by Passive Flow Control Devices. **Energies**, *10*(6), 742. <https://doi.org/10.3390/en10060742>

FUGLSANG, P., & BAK, C. (2004). Development of the Risø wind turbine airfoils. **Wind Energy**, *7*(2), 145–162. <https://doi.org/10.1002/we.117>

FUGLSANG, P., BAK, C., GAUNAA, M., & ANTONIOU, I. (2004). Design and Verification of the Risø-B1 Airfoil Family for Wind Turbines. **Journal of Solar Energy Engineering**, *126*(4), 1002–1010. <https://doi.org/10.1115/1.1766024>

GAO, L., ZHANG, H., LIU, Y., & HAN, S. (2015). Effects of vortex generators on a blunt trailing-edge airfoil for wind turbines. **Renewable Energy**, *76*, 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.043>

GROSS, A., & FASEL, H. F. (2012). Flow Control for NREL S822 Wind Turbine Airfoil. **AIAA Journal**, *50*(12), 2779–2790. <https://doi.org/10.2514/1.J051628>

GROSS A., & FASEL H.F. (2005). Numerical investigation of low-pressure turbine blade separation control. **AIAA Journal**, *43*(12), 2514–2525.

GUTIERREZ-AMO, R., FERNANDEZ-GAMIZ, U., ERRASTI, I., & ZULUETA, E. (2018). Computational Modelling of Three Different Sub-Boundary Layer Vortex Generators on a Flat Plate. **Energies**, *11*(11), 3107. <https://doi.org/10.3390/en11113107>

- HANSEN, M. O. L., & AAGAARD MADSEN, H. (2011). Review Paper on Wind Turbine Aerodynamics. **Journal of Fluids Engineering**, 133(11). <https://doi.org/10.1115/1.4005031>
- HWANGBO, H., DING, Y., EISELE, O., WEINZIERL, G., LANG, U., & PECHLIVANOGLU, G. (2017). Quantifying the effect of vortex generator installation on wind power production: An academia-industry case study. **Renewable Energy**, 113, 1589–1597. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.009>
- IBARRA-UDAETA, I., PORTAL-PORRAS, K., BALLESTEROS-COLL, A., FERNANDEZ-GAMIZ, U., & SANCHO, J. (2020). Accuracy of the Cell-Set Model on a Single Vane-Type Vortex Generator in Negligible Streamwise Pressure Gradient Flow with RANS and LES. **Journal of Marine Science and Engineering**, 8(12), 982. <https://doi.org/10.3390/jmse8120982>
- JIANG, R., ZHAO, Z., LIU, H., WANG, T., CHEN, M., FENG, J., & WANG, D. (2022). Numerical study on the influence of vortex generators on wind turbine aerodynamic performance considering rotational effect. **Renewable Energy**, 186, 730–741. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.026>
- JIANG, R., ZHAO, Z., LIU, Y., LIU, H., MA, Y., WANG, T., FENG, J., WANG, D., LI, S., & LUO, Q. (2023). Effect of vortex generator orientation on wind turbines considering the three-dimensional rotational effect. **Ocean Engineering**, 267, 113307. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113307>
- JOHNSON, S. J., BAKER, J. P., VAN DAM, C. P., & BERG, D. (2010). An overview of active load control techniques for wind turbines with an emphasis on microtabs. **Wind Energy**, 13(2–3), 239–253. <https://doi.org/10.1002/we.356>
- KHALFALLAH, M. G., & KOLIUB, A. M. (2007). Suggestions for improving wind turbines power curves. **Desalination**, 209(1–3), 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.04.031>
- LAENGLE, S., MERIGÓ, J. M., MIRANDA, J., SŁOWIŃSKI, R., BOMZE, I., BORGONOVO, E., DYSON, R. G., OLIVEIRA, J. F., & TEUNTER, R. (2017). Forty years of the European Journal of Operational Research: A bibliometric overview. **European Journal of Operational Research**, 262(3), 803–816. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.027>
- LI, X., YANG, K., & WANG, X. (2019). Experimental and Numerical Analysis of the Effect of Vortex Generator Height on Vortex Characteristics and Airfoil Aerodynamic Performance. **Energies**, 12(5), 959. <https://doi.org/10.3390/en12050959>
- LOTH J.L. (1977). Betz type limitation of vortex wind machines. **Wind Engineering**, 1(3), 169–185.

MANOLESOS, M., & VOUTSINAS, S. G. (2015). Experimental investigation of the flow past passive vortex generators on an airfoil experiencing three-dimensional separation. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, *142*, 130–148. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.03.020>

NIKOLAOU, I. G., POLITIS, E. S., & CHAVIAROPOULOS, P. K. (2005). Modelling the Flow Around Airfoils Equipped with Vortex Generators Using a Modified 2D Navier–Stokes Solver. **Journal of Solar Energy Engineering**, *127*(2), 223–233. <https://doi.org/10.1115/1.1850486>

NUNES, M. M., BRASIL JUNIOR, A. C. P., & OLIVEIRA, T. F. (2020). Systematic review of diffuser-augmented horizontal-axis turbines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, *133*, 110075. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110075>

OVEJAS, V. J., & CUADRAS, A. (2011). Multimodal piezoelectric wind energy harvesters. **Smart Materials and Structures**, *20*(8), 085030. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/20/8/085030>

PARRA, H. G., CERON, H. D., GOMEZ, W., & GAONA, E. E. (2023a). Experimental Analysis of Bio-Inspired Vortex Generators on a Blade with S822 Airfoil. **Energies**, *16*(12), 4538. <https://doi.org/10.3390/en16124538>

PARRA, H. G., CERON, H. D., GOMEZ, W., & GAONA, E. E. (2023b). Experimental Analysis of Oscillatory Vortex Generators in Wind Turbine Blade. **Energies**, *16*(11), 4343. <https://doi.org/10.3390/en16114343>

SAENZ-AGUIRRE, A., FERNANDEZ-GAMIZ, U., ZULUETA, E., ARAMENDIA, I., & TESO-FZ-BETONO, D. (2022). Flow control based 5 MW wind turbine enhanced energy production for hydrogen generation cost reduction. **International Journal of Hydrogen Energy**, *47*(11), 7049–7061. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.022>

SERDAR GENÇ, M., KOCA, K., & AÇIKEL, H. H. (2019). Investigation of pre-stall flow control on wind turbine blade airfoil using roughness element. **Energy**, *176*, 320–334. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.179>

STALNOV, O., KRIBUS, A., & SEIFERT, A. (2010). Evaluation of active flow control applied to wind turbine blade section. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, *2*(6). <https://doi.org/10.1063/1.3518467>

TIMMER, W. A., & VAN ROOIJ, R. P. J. O. M. (2003). Summary of the Delft University Wind Turbine Dedicated Airfoils. **Journal of Solar Energy Engineering**, *125*(4), 488–496. <https://doi.org/10.1115/1.1626129>

URKIOLA, A., FERNANDEZ-GAMIZ, U., ERRASTI, I., & ZULUETA, E. (2017). Computational characterization of the vortex generated by a Vortex Generator on a flat plate for different vane angles. **Aerospace Science and Technology**, *65*, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.02.008>

- VAN ROOIJ, R. P. J. O. M., & TIMMER, W. A. (2003). Roughness Sensitivity Considerations for Thick Rotor Blade Airfoils. **Journal of Solar Energy Engineering**, 125(4), 468–478. <https://doi.org/10.1115/1.1624614>
- VELTE, C. M., HANSEN, M. O. L., & CAVAR, D. (2008). Flow analysis of vortex generators on wing sections by stereoscopic particle image velocimetry measurements. **Environmental Research Letters**, 3(1), 015006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/1/015006>
- WANG, H., ZHANG, B., QIU, Q., & XU, X. (2017). Flow control on the NREL S809 wind turbine airfoil using vortex generators. **Energy**, 118, 1210–1221. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.003>
- WANG, J., GENG, L., DING, L., ZHU, H., & YURCHENKO, D. (2020). The state-of-the-art review on energy harvesting from flow-induced vibrations. **Applied Energy**, 267, 114902. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114902>
- WANG, K., ZHAO, M., CHEN, S., & ZHA, R. (2024). Aerodynamic performance analysis of a floating wind turbine with coupled blade rotation and surge motion. **Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics**, 18(1). <https://doi.org/10.1080/19942060.2023.2301524>
- WETZEL, K. K. , F. S. (1995). Influence of vortex generators on NREL S807 airfoil aerodynamic characteristics and wind turbine performance. **Wind Engineering**, 157–165.
- YANG, K., ZHANG, L., & XU, J. (2010). Simulation of aerodynamic performance affected by vortex generators on blunt trailing-edge airfoils. **Science in China Series E: Technological Sciences**, 53(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s11431-009-0425-5>
- YU, W., BAJARŪNAS, L. K., ZANON, A., & FERREIRA, C. J. S. (2024). Modeling dynamic stall of an airfoil with vortex generators using a double-wake panel model with viscous–inviscid interaction. **Wind Energy**, 27(3), 277–297. <https://doi.org/10.1002/we.2889>
- ZHANG, L., LI, X., YANG, K., & XUE, D. (2016). Effects of vortex generators on aerodynamic performance of thick wind turbine airfoils. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 156, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.07.013>
- ZHAO, Z., CHEN, M., LIU, H., WANG, T., & XU, B. (2021). Research on parametric modeling methods for vortex generators on flat plate. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, 13(3). <https://doi.org/10.1063/5.0030143>
- ZHAO, Z., JIANG, R., FENG, J., LIU, H., WANG, T., SHEN, W., CHEN, M., WANG, D., & LIU, Y. (2022). Researches on vortex generators applied to wind turbines: A review. **Ocean Engineering**, 253, 111266. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111266>

ZHAO, Z., LI, T., WANG, T., LIU, X., & ZHENG, Y. (2015). Numerical investigation on wind turbine vortex generators employing transition models. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, 7(6). <https://doi.org/10.1063/1.4938122>

ZHAO, Z., SHEN, W., WANG, R., WANG, T., XU, B., ZHENG, Y., & QIAN, S. (2017). Modeling of wind turbine vortex generators in considering the inter-effects between arrays. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, 9(5). <https://doi.org/10.1063/1.4997039>

ZHAO, Z., WANG, D., WANG, T., SHEN, W., LIU, H., & CHEN, M. (2022). A review: Approaches for aerodynamic performance improvement of lift-type vertical axis wind turbine. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 49, 101789. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101789>

ZHAO, Z., ZENG, G., WANG, T., XU, B., & ZHENG, Y. (2016). Numerical research on effect of transition on aerodynamic performance of wind turbine blade with vortex generators. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, 8(6). <https://doi.org/10.1063/1.4972888>

ZHU, C., CHEN, J., QIU, Y., & WANG, T. (2021). Numerical investigation into rotational augmentation with passive vortex generators on the NREL Phase VI blade. **Energy**, 223, 120089. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120089>

ZHU, C., CHEN, J., WU, J., & WANG, T. (2019). Dynamic stall control of the wind turbine airfoil via single-row and double-row passive vortex generators. **Energy**, 189, 116272. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116272>

ZHU, C., FENG, Y., SHEN, X., DANG, Z., CHEN, J., QIU, Y., FENG, Y., & WANG, T. (2023). Effects of the height and chordwise installation of the vane-type vortex generators on the unsteady aerodynamics of a wind turbine airfoil undergoing dynamic stall. **Energy**, 266, 126418. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126418>

ZHU, C., QIU, Y., FENG, Y., WANG, T., & LI, H. (2022). Combined effect of passive vortex generators and leading-edge roughness on dynamic stall of the wind turbine airfoil. **Energy Conversion and Management**, 251, 115015. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.115015>

ZHU, C., WANG, T., CHEN, J., & ZHONG, W. (2020). Effect of Single-Row and Double-Row Passive Vortex Generators on the Deep Dynamic Stall of a Wind Turbine Airfoil. **Energies**, 13(10), 2535. <https://doi.org/10.3390/en13102535>

ZHU, C., WANG, T., & WU, J. (2019). Numerical Investigation of Passive Vortex Generators on a Wind Turbine Airfoil Undergoing Pitch Oscillations. **Energies**, 12(4), 654. <https://doi.org/10.3390/en12040654>

ZIMMERMAN, D. K., & SHIPLEY, S. A. (1986). Mod-2 Wind Turbine Loads Test Correlations. **Journal of Solar Energy Engineering**, 108(1), 26–30. <https://doi.org/10.1115/1.3268058>