

Geração de energia elétrica por meio de fontes de energia renováveis: uma revisão sistemática

RESUMO

Carlos Alberto Braz

carlosbraz280468@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Reinaldo Luan Rodrigues

rlrodrigues@outlook.com.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Hugo Valadares Siqueira

hugosiqueira@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, Paraná, Brasil

O presente estudo tem como objetivo geral a realização de uma revisão da literatura sobre a geração de energia elétrica por meio de energia eólica, bem como ilustrar as principais vantagens e desvantagens de se gerar tal energia. As fontes renováveis de energia são aquelas inesgotáveis, pois são encontradas na natureza em grande quantidade ou que possuem a capacidade de regeneração por meios naturais. Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade. Assim conclui-se que os estudos sobre geração de energias renováveis, mais especificamente a geração de energia eólica pode se tornar uma alternativa rentável e bem menos impactante do ponto de vista ambiental. Além de ser uma fonte infinita de geração.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Elétrica. Fontes Renováveis. Energia Eólica.

INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo e o gás, são recursos finitos, ou seja, com o decorrer do tempo se esgotarão, e não bastando isso, ainda são combustíveis caros e prejudiciais ao meio ambiente. Desta forma, há uma inspiração para o uso de energias renováveis.

Mundialmente há estudos preocupados em gerar mais energia por meio de recursos renováveis, a fim de minimizar as alterações climáticas e a degradação ambiental. Sendo que fontes renováveis de energia são aquelas sem fim, pois são encontradas facilmente na natureza e em grandes quantidades, ou ainda, aquelas que possuem capacidade de regeneração por meios naturais.

Alguns exemplos de fontes renováveis de energia podem ser citados tais como Energia solar: gerada por meio de painéis fotovoltaicos, os quais transformam luz solar em energia; Energia Hidráulica: que possui sua origem na água, ela gira as turbinas das usinas hidrelétricas, gerando energia; Energia Geotérmica: obtida utilizando o calor do interior da Terra; Energia da Biomassa (agrícola): sua origem é da queima de palha de milho, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, etc., e a Energia do Biogás: que é obtida principalmente nos aterros de lixo orgânico.

Ainda, como fonte de energia renovável e objeto principal de estudo desta pesquisa, cita-se a Energia eólica, a qual basicamente possui origem na força dos ventos que movimentam as pás de cata-ventos que são ligados a geradores de energia.

Este, é um dos grandes desafios que o setor de energia renovável possui, pois há uma variabilidade dos recursos energéticos naturais. Desta forma, torna-se essencial uma avaliação do nível de variabilidade anual deste recurso, sendo extremamente importante desde as primeiras fases do projeto proposto.

A energia eólica vem sendo estudada como alternativa para geração de combustíveis fósseis (IEA, 2015) e (ZHAO et al, 2015). Onde tais estudos ocorrem em várias áreas como na política, no desenvolvimento de tecnologias e nos sistemas completos de energia eólica, bem como ilustram seu real papel na minimização dos impactos ambientais (FOLEY et al, 2015), (XIAO, 2016), (FANT; GUNTURU; SCHLOSSER, 2016), (GIELEM; BOSHELL; SAYGIN, 2016), (YANG et al, 2016) e (FAST et al, 2016). Ou seja, a energia eólica é uma fonte de energia renovável bastante importante, pois ela se faz presente em grandes áreas do mundo, bem como é vista como uma alternativa de diminuir as emissões dos gases de efeito estufa, a fim de evitar o aquecimento global (BARTHELMIE e PRYOR, 2014) e (JACOBSON, 2016).

A energia eólica desta forma, é talvez a mais adequada em relação ao mercado, e a geração eólica vem adquirindo espaço em todo o mundo, sendo considerada um campo em crescimento, visto que muitas empresas de turbinas eólicas estão enfrentando desafios para atender à demanda do mercado.

Porém, com este rápido desenvolvimento da energia eólica, estudiosos afirmam que o grande campo e potencial da energia eólica permanece pouco explorado, especificamente nos países em desenvolvimento do mundo (ABBES e BELHADJ, 2014). Nestes países, a falta de dados fidedignos e dos conhecimentos

especializados na prospecção e análise dos locais de vento, torna-se o principal obstáculo que desacelera o desenvolvimento da energia verde.

Os países que mais geram energia eólica no mundo são: 1º lugar - China (168,7 mil MW), 2º lugar - Estados Unidos (82,2 mil MW), 3º lugar - Alemanha (50 mil MW), 4º lugar – Índia (28,7 mil MW), e em 5º lugar – Espanha (23 mil MW), o Brasil ocupa o 9º lugar com 10,7 mil megawatts gerados. Desta forma, em 2016 a capacidade eólica no mundo totaliza 486,7 mil MW (POLITO, 2017).

Dentro deste contexto, o presente estudo tem como objetivo geral a realização de uma revisão da literatura sobre a geração de energia elétrica por meio de energia eólica, bem como ilustrar as principais vantagens e desvantagens de se gerar tal energia.

ENERGIA EÓLICA

Pode-se definir o vento como uma fonte de energia limpa, renovável e não poluente (TOJA-SILVA et al, 2016), (WANG e GERBER, 2014) e (WANG et al, 2016). Desta forma as turbinas eólicas transformam a energia eólica em eletricidade sem a utilização de combustíveis fósseis, sem a produção de gases para o efeito estufa, sem emissões químicas ou resíduos tóxicos (FU et al, 2013) e (LI e ZHAO, 2016).

A energia eólica é definida como a energia cinética presente no vento, onde o seu aproveitamento irá acontecer através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, utilizando turbinas eólicas ou os chamados aerogeradores, a fim de gerar eletricidade (ANEEL, 2003).

A energia eólica é aproveitada e transformada por meio de diferentes mecanismos físicos. Há uma grande variedade de dispositivos e técnicas de conversão de energia, as quais incluem o uso de magnetoelétricos (GRASLAND-MONGRAIN et al, 2012) e (ZHAO e KHOO, 2013) e piezoelétrico (LIU et al, 2012), (GUAN e LIAO, 2016), (KITIO KWUIMY et al, 2012) e (CLAIR et al, 2010).

Os métodos de coleta de energia eólica utilizando o mecanismo magnetoelétrico são bem desenvolvidos, sendo que a energia eólica exerce papel fundamental na contribuição para a geração de energia renovável global (ZHAO e KHOO, 2013) e (ZHAO et al., 2014).

A fim de reduzir custos, aumentar a performance e a confiabilidade dos equipamentos, estudos na área de desenvolvimento de tecnologias foram realizados como melhorar a aerodinâmica, criação de estratégias de controle e operação das turbinas ou em desenvolver sistemas avançados de transmissão (ANEEL, 2003).

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de ventos. Geralmente, uma avaliação rigorosa requer levantamentos específicos, mas dados coletados em aeroportos, estações meteorológicas e outras aplicações similares podem fornecer uma primeira estimativa do potencial bruto ou teórico de aproveitamento da energia eólica (ANEEL, 2003).

A avaliação dos recursos de energia eólica, a previsão da velocidade do vento e a microlocalização, são necessidades essenciais que devem ser realizadas durante o período de viabilidade técnica. O fator importante que deve ser considerado é a natureza estocástica e imprevisível da velocidade do vento. É realmente preocupante e constatado que uma pequena diferença de velocidade

do vento levará a um erro significativo na produção de energia eólica. Desta maneira, a previsão da velocidade do vento é crucial para avaliar a eficiência da turbina eólica (LAWAN et al., 2017).

A velocidade do vento, ou velocidade do fluxo do vento, é uma taxa atmosférica fundamental. Ela é causada pelo ar que se move da pressão alta para a de baixa pressão, geralmente devido às mudanças na temperatura. Desta forma a velocidade do vento é afetada por vários fatores e contextos, incluindo a variável da pressão e condições climáticas locais. Sendo que dependendo da sua potência nominal, as turbinas eólicas são instaladas em diferentes alturas (DRAGOMIR, 2016).

Para um parque eólico, é recomendado que as turbinas eólicas fiquem o mais perto possível, a fim de maximizar a geração de energia. No entanto, se as turbinas eólicas estiverem muito próximas, os efeitos de interferência podem levar a uma redução considerável da eficiência da geração real bruta de energia, fator esse que deve ser elencado e especificado em um estudo de viabilidade de implantação (FRANSEN, et al., 2006).

Desta forma, a quantidade de energia que uma turbina eólica pode vir a gerar é diretamente influenciada pelo recurso eólico disponível no local. Sendo necessário então estudos com a avaliação de recursos eólicos, a fim de quantificar tal disponibilidade. Assim a realização do planejamento e a avaliação dos recursos antecipadamente são essenciais, pois irão auxiliar na compreensão da distribuição dos recursos eólicos (ZHENG et al, 2016).

Estima-se que o potencial eólico bruto mundial seja da ordem de 500.000 TWh por ano. Porém, devido às restrições socioambientais apenas 53.000 TWh (cerca de 10%) podem ser consideradas tecnicamente aproveitáveis (Figura 1). Mesmo com toda essa redução, o potencial líquido corresponde a cerca de quatro vezes o consumo mundial de eletricidade (GRUBB e MEYER, 1993).

Figura 1 – Estimativas do potencial eólico mundial

Região	Porcentagem de Terra Ocupada*	Potencial Bruto (TWh/ano)	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Potencial Líquido (TWh/ano)
África	24	106.000	20	10.600
Austrália	17	30.000	2	3.000
América do Norte	35	139.000	15	14.000
América Latina	18	54.000	15	5.400
Europa Ocidental	42	31.400	102	4.800
Europa Ocidental & ex-URSS	29	106.000	13	10.600
Ásia (excluindo ex-URSS)	9	32.000	100	4.900
Mundo**	23	498.400	-	53.000

Fonte: Grubb e Meyer (1993).

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m², a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (GRUBB e MEYER, 1993).

Desta forma é ilustrado a seguir a distribuição de cada continente segundo a velocidade média do vento (Figura 2).

Região/Continente	Velocidade do Vento (m/s) a 50 m de Altura					
	6,4 a 7,0		7,0 a 7,5		7,5 a 11,9	
	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)
África	3.750	12	3.350	11	200	1
Austrália	850	8	400	4	550	5
América do Norte	2.550	12	1.750	8	3.350	15
América Latina	1.400	8	850	5	950	5
Europa Ocidental	345	8,6	416	10	371	22
Europa Ocidental & ex-URSS	3.377	15	2.260	10	1.146	5
Ásia (excluindo ex-URSS)	1.550	6	450	2	200	5
Mundo	13.650	10	9.550	7	8.350	6

Figura 2 – Distribuição da área de cada continente segundo a velocidade média do vento

Fonte: Grubb e Meyer (1993).

A Figura 3 ilustra a classificação das classes de energias segundo as velocidades do vento e as regiões topográficas presentes no Brasil. Sendo que os valores indicam uma velocidade média anual do vento a 50 m de altura em m/s (V_m) e à densidade média de energia em W/m^2 (E_m). E os valores (E_m) foram coletados para as seguintes condições: altitude igual ao nível do mar, temperatura de 20°C e fator de Weibull de 2,5 (ANEEL, 2003).

Figura 3 – Definição das classes de energia

Classe	Mata		Campo aberto		Zona costeira		Morros		Montanhas	
	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)	V_m (m/s)	E_m (W/m ²)
4	> 6	> 200	> 7	> 300	> 8	> 480	> 9	> 700	> 11	> 1250
3	4,5 – 6	80 - 200	6 – 7	200 - 300	6,5 - 8	250 - 480	7,5 - 9	380 - 700	8,5 - 11	650 - 1250
2	3 - 4,5	25 - 80	4,5 - 6	80 - 200	5 - 6,5	100 - 250	6 - 7,5	200 - 380	7 - 8,5	300 - 650
1	< 3	< 25	< 4,5	< 80	< 5	< 100	< 6	< 200	< 7	< 300

Fonte: Feitosa (2003).

A classe 1 representa as regiões de baixo potencial, de pouco ou nenhum interesse para o aproveitamento da energia eólica. As classes 2 e 3 podem ou não ser favoráveis, dependendo das condições topográficas. Por exemplo: um local de classe 3 na costa do Nordeste (zona costeira) pode apresentar velocidades médias anuais entre 6,5 e 8 m/s, enquanto que um local de classe 3 no interior do Maranhão (mata) apresentará apenas valores entre 4,5 e 6 m/s, por fim a classe 4 corresponde aos melhores locais para aproveitamento dos ventos no Brasil.

Baseado nisso em tais classes, foram construídos e são elencados a seguir os principais parques eólicos no Brasil, sendo eles:

- Complexo Eólico Alto Sertão I - localizado no semiárido baiano, considerado o maior parque gerador de energia eólica do Brasil e também da América Latina. Possui a capacidade instalada de 294 MW de energia.
- Parque Eólico de Osório: localizado no município de Osório (RS), considerado o segundo maior gerador de energia eólica no Brasil. Possui a capacidade instalada de 150 MW de energia.
- Usina de Energia Eólica de Praia Formosa: instalada na cidade de Camocim (CE). Possui a capacidade instalada de 104 MW de energia.
- Parque Eólico Delta do Parnaíba - CGE Delta 1 (Piauí) - Possui capacidade instalada de 70 MW de energia.
- Parque Eólico Alegria: instalado na cidade de Guamaré (Rio Grande do Norte). Possui a capacidade instalada de 51 MW de energia.

- Parque Eólico do Rio de Fogo: instalado na cidade de Rio do Fogo (Rio Grande do Norte). Possui capacidade instalada de 41 MW de energia.
- Parque Eólico Eco Energy: instalado na cidade de Beberibe (Ceará). Possui capacidade instalada de 25 MW de energia.

Baseado em todas as informações elencadas pode-se então chegar a grandes vantagens e desvantagens em se utilizar parques eólicos a fim de gerar energia elétrica. Como se pode ver a seguir (Quadro 1).

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens de se utilizar energia eólica

VANTAGENS	DESvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • O local de instalação é compatível com outras utilizações do terreno como agricultura e criação de animais; • Geração de empregos; • Geração de investimentos em zonas desfavorecidas; • Reduz a dependência energética do exterior (combustíveis fósseis); • Cumpre o protocolo de Quioto, assim há uma poupança devido à menor aquisição de direitos de emissão de CO₂; • Uma das fontes mais baratas de energia; • Os aerogeradores não requerem combustível e necessitam de pouca manutenção (em média a cada 6 meses); • Alta rentabilidade do investimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intermitência – vento inconstante, o que pode acarretar em perda de geração de energia; • Impacto visual grande, principalmente para moradores locais; • Impacto sobre as aves locais oferecendo perigo de colisões; • Impacto sonoro, pois as pás geram ruídos constantes.

Fonte: Autora própria (2017)

METODOLOGIA

O presente estudo apoia-se em uma pesquisa que aplica métodos quantitativos, através de um estudo de caso, para a solução de um problema. Assim, pode ser considerada uma pesquisa exploratória de natureza aplicada e abordagem quantitativa (GIL, 2008). A aplicação do estudo de caso ocorre em duas unidades de uma rede de restaurantes localizadas no Sul do Brasil. Cada loja serve, respectivamente, uma média de 16000 e 8000 refeições/mês, e trabalha com o conceito *casual dining*, segundo o qual pratos variados são servidos em um ambiente casual e acolhedor, tornando a qualidade do serviço o ponto chave do negócio.

Trata-se de um estudo do tipo descritivo, de revisão sistemática da literatura, que adotou as seguintes etapas para a seleção da amostra: escolha da questão temática, estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão de artigos, definição das informações a serem extraídas, análise e interpretação dos resultados e apresentação da revisão (ROSA, 2012).

Por meio do portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) foi consultada a base de dados Scopus.

Na consulta de tal plataforma, todas as pesquisas foram realizadas na língua inglesa com os seguintes termos pré-definidos pelos autores.

- "Wind energy";
- "Electric power generation";
- "Renewable energy".

A seguir definiu-se a combinação dos três termos: "Wind Energy" and "Electric power generation" and "Renewable energy", a fim de otimizar e sintetizar apenas os resultados de interesse deste artigo.

Concomitante com estes termos, foram aplicados quatro filtros de seleção. O primeiro, relacionado ao tipo de documento, no qual selecionou-se o tipo "article" ou "journals", uma vez que somente esses passam por processos de avaliação por pares na sua versão completa.

O segundo filtro restringiu a busca, onde procurou-se apenas artigos que ilustrassem de modo claro em seu título, palavras chave ou resumos os termos pré-definidos para este artigo.

O terceiro filtro, selecionou artigos publicados exclusivamente em periódicos da área de engenharias. Bem como o quarto filtro considerou todos os artigos publicados nos últimos três anos (2014-2016), a fim de fornecer dados atualizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta. Inicialmente apresentam-se as variáveis listadas como relevantes pela equipe gerencial. Após, são expostos os resultados da seleção dessas variáveis e a seção 4.3, por sua vez, mostra a aplicação da AED. Na sequência, são apresentados os índices de precificação criados e o impacto dos mesmos na precificação. Por fim, é realizada uma discussão acerca do método de precificação proposto.

A primeira consulta para a seleção dos artigos é ilustrada a seguir na (Tabela XX), onde buscou-se o termo "Wind energy".

Tabela 1 – Artigos com a palavra "Wind energy"

Base de Dados	Número de Artigos
Scopus	1490

Fonte: Autoria própria (2017).

Na segunda consulta de seleção dos artigos foi utilizado o termo "Electric power generation", ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Artigos com a palavra "Electric power generation"

Base de Dados	Número de Artigos
Scopus	1055

Fonte: Autoria própria (2017).

Na terceira etapa de seleção foram pesquisados artigos com o termo "Renewable energy", como ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Artigos com a palavra “Renewable energy”

Base de Dados	Número de Artigos
Scopus	1055

Fonte: Autoria própria (2017).

Por fim, na quarta etapa onde foram combinados os termos “Wind energy”, “Electric power generation” e “Renewable energy”, houve uma redução significativa, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Artigos combinando as palavras “Wind energy” e “Electric power generation” e “Renewable energy”

Base de Dados	Número de Artigos
Scopus	24

Fonte: Autoria própria (2017).

Com isso o Quadro 2 ilustra os 24 artigos disponíveis na base de dados Scopus, elencando algumas informações importantes para identificação dos mesmos.

Quadro 2 – Artigos encontrados com os três termos chave

TÍTULO DO ARTIGO	ANO	PERIÓDICO	OBJETIVO DO ARTIGO
1. The impacts of wind technology advancement on future global energy	2016	<u>Applied Energy</u>	O objetivo deste artigo foi explorar os potenciais avanços da tecnologia da energia eólica nas futuras gerações globais da eletricidade, nos custos e na segurança energética.
2. Optimizing the wind power generation in low wind speed areas using an advanced hybrid RBF neural network coupled with the HGA-GSA optimization method	2016	Journal of Mechanical Science and Technology	O primeiro objetivo deste artigo foi realizar uma investigação inicial a fim de avaliar o potencial do vento no sudoeste do Irã. Bem como o segundo objetivo foi apresentar um modelo avançado de otimização para regular o torque nos geradores eólicos estudados.
3. Performance evaluation of 3D printed miniature electromagnetic energy harvesters driven by air flow	2016	<u>Applied Energy</u>	O objetivo deste artigo foi fabricar colheitadeiras eletromagnética de energia utilizando tecnologia de impressão 3D. Onde são realizadas medições paramétricas a fim de estudar os efeitos de (1) o número da lâmina, (2) seu tamanho geométrico, (3) relação de aspecto, presença ou ausência de (4) eixo central sólido, (5) Orientação da lâmina.
4. Offshore wind power resource assessment using Oceansat-2 scatterometer data at a regional scale	2016	<u>Applied Energy</u>	O estudo pretende avaliar o recurso de energia eólica offshore do estado de Karnataka, que está localizado na costa oeste da Índia.
5. Investigating the techno-economic perspectives of high wind energy production in remote vs	2016	<u>Applied Energy</u>	O principal objetivo do presente estudo é investigar a viabilidade tecnoeconômica da alta energia eólica (WE) no nível local (ilhas gregas), de

interconnected island networks			acordo com a Energia e mudança climática assumidos pelo país.
6. Probabilistic power quality indices for electric grids with increased penetration level of wind power generation	2016	International Journal of Electrical Power and Energy Systems	O objetivo principal deste trabalho é propor novos índices probabilísticos de qualidade de energia para redes elétricas, incluindo sistemas de energia eólica.
7. Technical evaluation of the wind resource in Venezuela	2016	ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences	O objetivo deste artigo foi realizar uma análise do fluxo do vento com base em diferentes fontes de dados climáticos, bem como uma avaliação técnica preliminar do recurso eólico, com o intuito de identificar as áreas suscetíveis ao desenvolvimento e implementação de energia eólica.
8. Robust computational framework for mid-term techno-economical assessment of energy storage	2016	IET Generation, Transmission and Distribution	Este estudo propôs um quadro tecnoeconômico para a avaliação do armazenamento de energia com base na teoria da decisão do gap de informação para lidar com a incerteza da geração eólica.
9. Variations and relations of meteorological parameters between upwind and downwind small-scale wind turbine rotor area	2016	Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences	Este trabalho foi baseado em dados obtidos de uma turbina eólica de 1,5 kW construída no parque meteorológico da Universidade Técnica de Istambul, na Turquia.
10. The impact of climate change on wind and solar resources in southern Africa	2016	Applied Energy	Este artigo apresenta um método baseado em estudos anteriores, que estima o risco de mudança climática no potencial de recursos eólicos e solares.
11. Analysis of AC-shunted grid interfaced hybrid photovoltaic/wind energy system using dynamic simulation model	2016	Journal of Electrical Engineering	O objetivo deste trabalho foi criar um modelo e simular um sistema híbrido fotovoltaico/eólico acoplado à rede, ac-shunt, interconectado através de modelos eletrônicos de potência usando MATLAB/Simulink.
12. Impact of wind power uncertainty forecasting on the market integration of wind energy in Spain	2015	Applied Energy	Este estudo fornece uma nova abordagem para determinar os erros de previsão de geração de energia eólica no período entre o fechamento do dia seguinte e a abertura da primeira sessão intradiária usando a Espanha como exemplo.
13. WWS hybrid tri-renewable power system to generate electricity	2015	Advanced Science Letters	Este artigo discute o desenvolvimento de um sistema híbrido de energia renovável que explora três recursos renováveis de energia de onda, eólica e solar.
14. An Adaptive Wind Turbine Controller Considering Both the System Performance and Fatigue Loading	2015	Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of	Neste artigo, é apresentado um novo controlador de torque ótimo modificado por ganho adaptativo (AGMOTC) para operação de carga parcial de turbina eólica.

		the ASME	
15. Power-to-gas plants and gas turbines for improved wind energy dispatchability: Energy and economic assessment	2015	Applied Energy	Este estudo analisou o potencial de um sistema de balanceamento de grade, baseado em diferentes combinações de usinas de turbinas a gás tradicionais com plantas inovadoras de "power-to-gas".
16. Wind resource potential in Los Taques-Venezuela	2015	IEEE Latin America Transactions	O objetivo deste trabalho é apresentar uma avaliação abrangente dos recursos eólicos em Los Taques, Venezuela, com base na anemometria de observação no local.
17. Voltage stabilization of combined electric generator and wind mill using electric spring	2015	International Journal of Applied Engineering Research	Um novo conceito de mola elétrica é proposto para estabilizar a futura rede elétrica com fontes de energias renováveis.
18. A probabilistic economic dispatch model and methodology considering renewable energy, demand and generator uncertainties	2015	Electric Power Systems Research	Este trabalho propôs um modelo probabilístico de despacho econômico considerando unidades térmicas (geradores de combustível), matrizes fotovoltaicas e sistemas de conversão de energia eólica.
19. Conceptualising multi-regime interactions: The role of the agriculture sector in renewable energy transitions	2015	Research Policy	Este artigo desenvolveu uma perspectiva em vários níveis em relação as transições das energias renováveis, conceitualizando as transições para a produção de eletricidade renovável como exemplos de interação multi-regime entre os regimes agrícolas e elétricos a nível nacional.
20. Phenotypic evolutionary programming for economic operation of thermal-wind coordination	2015	Lecture Notes in Electrical Engineering	Este trabalho tem como objetivo resolver o problema de Envio Econômico (ED) envolvendo geradores térmicos convencionais com geração eólica.
21. Mitigation of source current harmonics for wind generating system using STATCOM	2015	International Journal of Applied Engineering Research	Este artigo introduziu um dispositivo de compensação, que injeta energia de compensação na rede. O sistema de geração de energia eólica conectado à rede e ao STATCOM é modelado em MATLAB/SIMULINK e seu desempenho é analisado.
22. A stochastic programming to volt/VAR/total harmonic distortion control in distribution networks including wind turbines	2015	Electric Power Components and Systems	Este artigo apresenta uma metodologia estocástica para o controle de distorção harmônica de volt/VAR/total para reduzir as perdas de energia, esta gerada a partir de energia eólica.
23. A proposal for a site location planning model of environmentally friendly urban energy supply plants using an	2014	Applied Energy	Este estudo propõe um modelo de potencial de localização de locais para plantas de fornecimento de energia urbana e disponibilidade de energia renovável usando uma base de dados do

environment and energy geographical information system (E-GIS) database (DB) and an artificial neural network (ANN)			sistema de informação geográfica (E-GIS) e uma rede neural artificial (ANN).
24. Current status of research on hybrid power generation systems	2014	Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology	O principal objetivo deste artigo é um estudo detalhado de desenvolvimentos recentes em sistemas de geração de energia híbrida.

Fonte: Autoria própria (2017).

Desta forma, analisando as informações apresentadas pelos 24 artigos, é possível identificar uma variedade de aplicações, tecnologias e estudos sobre geração de energia por meio de energia eólica. Comprovando que as gerações de energia através de energias renováveis estão sendo cada vez mais estudadas, deixando clara a importância do tema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo objetivou a realização de uma revisão da literatura sobre a geração de energia elétrica por meio de energia eólica, bem como ilustrou as principais vantagens e desvantagens de se gerar tal energia.

Com relação a avaliação dos artigos encontrados, a mesma permite deduzir que a combinação dos três temas utilizados que foram "*Wind energy*", "*Electric power generation*" e "*Renewable energy*" precisa ser mais estudada e aprofundada, visto que apenas vinte e quatro artigos elencaram a combinação dos três temas e que atuam na produção de energia, existindo de tal maneira uma lacuna relacionada a estudos prescritivos.

Assim conclui-se que os estudos sobre geração de energias renováveis, mais especificamente a geração de energia eólica que é objeto de estudo deste artigo, pode se tornar uma alternativa rentável e bem menos impactante do ponto de vista ambiental. Além de ser uma fonte infinita de geração.

Sendo que a utilização de energias renováveis, mais especificamente a energia eólica, com o intuito de produzir energia elétrica, é uma forma limpa e que não agride o meio ambiente, devendo desta forma, ser muito incentivada e encorajada, a fim de avançar de modo sustentável em um futuro próximo.

Generation of electrical energy through renewable energy sources: a systematic review of the literature on wind energy

ABSTRACT

The present study has the general objective of a review of the literature on the generation of electric energy through wind energy, as well as illustrate the main advantages and disadvantages of generating such energy. Renewable energy sources are those that are inexhaustible because they are found in nature in great quantity or that have the capacity of regeneration by natural means. Wind energy is the kinetic energy contained in the moving air masses (wind). Its utilization occurs through the conversion of the kinetic energy of translation into kinetic energy of rotation, with the use of wind turbines, also denominated wind turbines, for the generation of electricity. Thus, it is concluded that studies on the generation of renewable energies, more specifically the generation of wind energy can become a profitable alternative and much less impact from the environmental point of view. Besides being an infinite source of generation.

KEYWORDS: Electric Power. Renewable sources. Wind Energy.

REFERÊNCIAS

ABBES, M.; BELHADJ, J. Desenvolvimento de metodologia para estimativa de energia eólica e parques eólicos J. **Renew. Sustentar. Energy**, 6 (2014), p. 053103.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)>. Acesso em 14 de dezembro de 2016.

BARTHELMIE, R. J.; PRYOR, S. C. Potencial contribuição da energia eólica para a mitigação das alterações climáticas. **Nat Clim Change**, 4 (2014), pp. 684-688.

BISPO, J. D. K.; AMARATUNGA, G. A. J. Avaliação de pequenas turbinas eólicas em arranjo distribuído como opção de energia eólica sustentável para Barbados. **Energy Converse Manage**, 49 (2008), pp. 1652-1661.

DRAGOMIR, G. et al. Wind energy in Romania: A review from 2009 to 2016. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 64 (2016), pp. 129–143.

FANT, C.; GUNTURU, B.; SCHLOSSER, A. Caracterização da confiabilidade dos recursos de energia eólica na África Austral. **Appl Energy**, 161 (2016), pp. 565-573.

FAST, S. et al. Lições aprendidas com as disputas de energia eólica no Ontário. **Nat Energy**, 1 (2016), pág. 15028.

FEITOSA, E. A. N. et al. Panorama do Potencial Eólico no Brasil. Brasília: Dupligráfica, 2003.

FOLEY, A. M. et al. Uma análise a longo prazo do armazenamento hidráulico bombeado para energia eólica. **Appl Energy**, 137 (2015), pp. 638-648.

FRANSEN, S, et al. Modelagem analítica do déficit de velocidade do vento em grandes parques eólicos offshore. **Wind Energy**, 9 (2006), pp. 39-53.

FU, J. Q. et al. Análise de energia e exergia no motor a gasolina com base em experimento de características de mapeamento. **Appl Energy**, 102 (2013), pp. 622-630.

FU, J. Q. et al. Um ciclo termodinâmico combinado baseado na dissociação do metanol para a recuperação do calor da exaustão do motor do IC (combustão interna). **Energy**, 55 (2013), pp. 778-786.

GIELEN, D; BOSHELL, F; SAYGIN, D. Desafios climáticos e energéticos para a ciência dos materiais. **Nat Mater**, 15 (2016), pp. 117-120.

GRASLAND-MONGRAIN, P. et al. Hidrofone eletromagnético com sistema tomográfico para mapeamento de campo de velocidade absoluta. **Appl Phys Lett**, 100 (2012), p. 243502.

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

IEA. Tecnologia roadmap de energia eólica. IEA Technology Roadmaps, publicações da OCDE, Paris (2015).

JACOBSON, M. Z. Modelagem energética: rede limpa com tecnologia atual. **Nat Clim Mudança** (2016).

KUMBERNUSS, J. et al. Um novo sistema de mancais levitantes magnéticos para turbinas eólicas de eixo vertical (VAWT). **Appl Energy**, 90 (2012), pp. 148-153.

LAWAN, S. M., et al. Wind power generation via ground wind station and topographical feedforward neural network (T-FFNN) model for small-scale applications. **Journal of Cleaner Production**, 143 (2017), pp. 1246–1259.

LI, X. Y; ZHAO, D. Crescimento transitório da energia acústica associado à atenuação das oscilações termo-acústicas. **Appl Energy**, 169 (2016), pp. 481-490.

OZGENER, O. Uma pequena aplicação de sistema de turbinas eólicas (SWTS) e sua análise de desempenho. **Energy Convers Manage**, 47 (2006), pp. 1326-1337.

POLITO, R. Brasil assume o 9º lugar em ranking mundial de energia eólica. Disponível em < <http://www.valor.com.br/empresas/4867058/brasil-assume-o-9-lugar-em-ranking-mundial-de-energia-eolica>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2017.

TOJA-SILVA, F. et al. Uma otimização empírico-heurística da geometria do telhado de construção para a exploração de energia eólica urbana em prédios altos. **Appl Energy**, 164 (2016), pp. 769-794.

WANG, R.; GERBER, S. Tecnologias de geradores eólicos com engrenagens magnéticas: oportunidades e desafios. **Appl Energy**, 136 (2014), pp. 817-826.

XIAO, Y. et al. Análise do comportamento do produtor de energia eólica no mercado de eletricidade. **Appl Energy**, 171 (2016), pp. 325-335.

YANG, C. et al. Estimativa da geração de energia eólica em área urbana densa. **Appl Energy**, 171 (2016), pp. 213-230.

ZHAO, D. et al. Desempenho de colheitadeiras eletromagnéticas em pequena escala, sem eletrodo, movidas por água ou ar. **Energy**, 74 (2014), pp. 99-108.

ZHAO, D.; KHOO, J. Máquina de colheita de energia eletromagnética de 40 mm sem chumbo e ar-driven. **Appl Phys Lett** (2013), p. 103.

ZHAO, H. et al. Revisão do sistema de armazenamento de energia para suporte à integração de energia eólica. **Appl Energy**, 137 (2015), pp. 545-553.

ZHENG, C. W. et al. Uma visão geral das avaliações globais de recursos de energia eólica oceânica. **Renew Sustain Energy Rev**, 53 (2016), pp. 1240-1251.

Recebido: 14 fev. 2017

Aprovado: 06 mar. 2017

DOI: 10.3895/gi.v13n1.5547

Como citar:

BRAZ, C. A.; RODRIGUES, R. L.; SIQUEIRA, H. V. Geração de energia elétrica por meio de fontes de energias renováveis: uma revisão sistemática da literatura sobre energia eólica. **R. Gest. Industr.**, Ponta Grossa, v. 13, n. 1, p. 228-242, jan./mar. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rgi>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Carlos Alberto Braz

Av. Monteiro Lobato, s/n - Jardim Carvalho, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

