

## O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### THE DEVELOPMENT OF WIND ENERGY IN BRAZIL: A BIBLIOGRAPHIC REVIEW

Priscila Emanuele de Lucena Santos<sup>1</sup>  
Francisco José costa Araújo<sup>2</sup>

**RESUMO:** A utilização de Fontes Renováveis vem crescendo cada vez mais no Brasil devido a inúmeros fatores, entre eles, a globalização, que trouxe consigo o aumento na demanda de energia elétrica através dos avanços tecnológicos e com isso a necessidade de outras fontes de energias serem exploradas cada vez mais, além daquelas já utilizadas habitualmente, para suprir esse crescimento. O fortalecimento das fontes renováveis possibilita o desenvolvimento nacional, tornando o Brasil um dos países pioneiros na geração de energia limpa. A Energia Eólica faz parte dessa gama de energias inesgotáveis presente no Brasil e tem papel fundamental no desenvolvimento do país no âmbito socioeconômico e nas questões ambientais. Este artigo tem por finalidade destacar a importância da Energia Eólica no cenário elétrico brasileiro através de uma revisão Bibliográfica com bases em dados de artigos, revistas publicadas em plataformas como Google Acadêmico e Scielo, apontando as principais vantagens e desvantagens, bem como as perspectivas futuras desse setor.

2978

**Palavras-chaves:** Fontes Renováveis. Energia Eólica. Desenvolvimento.

**ABSTRACT:** The use of Renewable Sources has been growing more and more in Brazil due to numerous factors, among them, globalization, which has brought with it an increase in the demand for electricity through technological advances and with it the need for other sources of energy to be explored every day. more and more, in addition to those already habitually used, to meet this growth. The strengthening of renewable sources enables national development, making Brazil one of the pioneers in the generation of clean energy. Wind Energy is part of this range of inexhaustible energies present in Brazil and plays a fundamental role in the country's development in the socioeconomic scope and in environmental issues. This article aims to highlight the importance of Wind Energy in the Brazilian electricity scenario through a Bibliographic review based on data from articles, magazines published on platforms such as Google Scholar and Scielo, pointing out the main advantages and disadvantages, as well as the future perspectives of this sector.

**Keywords:** Renewable Sources. Wind Energy. Development.

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia Elétrica Eletrotécnica; Universidade de Pernambuco.

<sup>2</sup>Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Atualmente é Professor Adjunto classe IV - nível "C" da Universidade de Pernambuco - UPE, lotado na ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO. Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (1975), graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Pernambuco - UPE. Especialização em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico, as questões voltadas à sustentabilidade e o impacto ambiental causado por fontes de energia não renováveis, são fatores que impulsionam a utilização de energia limpa no Brasil. O uso indiscriminado dos recursos geradores de energia elétricas tradicionais foram se tornando escassos e as consequências causadas por eles acarretam danos questionáveis que potencializam os impactos ambientais negativos, como o efeito estufa e diminuição dos combustíveis fósseis. Devido a isso, as energias renováveis ganharam força nos últimos anos, além de serem fontes inesgotáveis, ocasionam menos danos ao meio ambiente.

A Energia Eólica constitui esse cenário atual e demonstra o potencial energético que possui no Brasil diante de seus Parques Eólicos, proveniente também de incentivos gerados pelo Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), cujo objetivo é aumentar a participação das energias limpas na geração de energia elétrica. Outro fator que favorece a utilização da Energia dos ventos está nas condições climáticas que o país possui, sendo a região Nordeste uma das precursoras na instalação de energia Eólica no Brasil.

### **Energia Eólica**

A energia dos ventos pode ser explicada, em termos físicos, como a energia cinética formada nas massas de ar em movimento. Seu aproveitamento é feito por meio da conversão de energia cinética de translação em energia cinética de rotação. Para a produção de energia elétrica, são utilizadas turbinas eólicas, também conhecidas como aerogeradores, e para a realização de trabalhos mecânicos, cata-ventos de diversos tipos (ALVES, 2006).

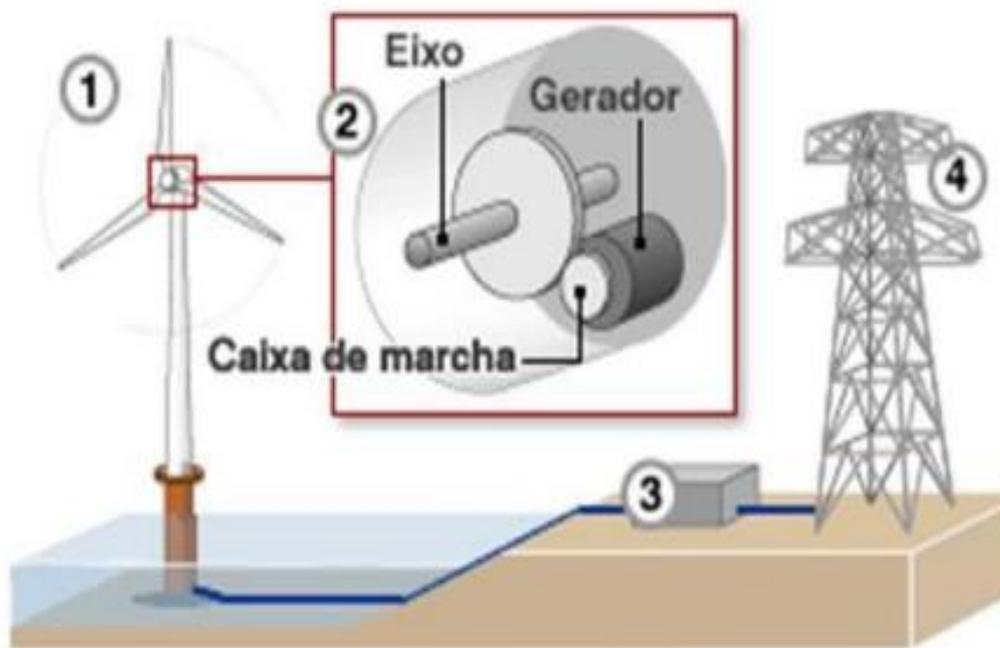
A movimentação das massas de ar ocorre em consequência de dois principais fatores. O primeiro está relacionado com as diferentes densidades e gradientes de pressão devido ao aquecimento não uniforme das camadas de ar pelo sol e o segundo por conta dos movimentos da terra. (REAIS, 2011).

O movimento de translação da terra a expõe de maneiras diferentes ao sol e como consequência tem-se as variações sazonais, isto é, as estações do ano. Tais estações apresentam ventos continentais característicos, denominados monções e brisas. As monções mudam de sentido de acordo com a estação enquanto que as brisas são dependentes do tipo de terreno e a forma como este reage ao calor proveniente do sol. Outro fator que influencia

os ventos em regiões montanhosas é a presença de ventos locais, que variam de acordo com as condições da região. (RIBEIRO, 2017).

Ademais, há outros aspectos naturais que influenciam o comportamento dos ventos. Pode-se citar: Latitude, altitude, rugosidade do solo e topografia do terreno (CAMPOS, 2004).

Na figura 1 está ilustrado de forma resumida como funciona a conversão de energia cinética em energia elétrica. Em 1 as pás da turbina captam a energia cinética dos ventos, fazendo o rotor se movimentar transformando a energia cinética em energia mecânica, em 2 o eixo do rotor movimenta o gerador para transformar parte da energia mecânica em energia elétrica. Em seguida essa energia é convertida em altas voltagens por um transformador de potência em 3, para fazer a transmissão dessa energia para rede elétrica através das linhas de transmissões em 4.



**Figura 1-** Funcionamento de uma Usina Eólica (ANDRADE, 2014).

Os geradores podem ser síncronos, de indução ou de corrente contínua, sendo esse último o menos utilizado. Sabe-se que uma série de geradores independentes compõem uma usina eólica e estão ligadas a uma central de controle responsável por fornecer a energia para rede de distribuição (GUENA, 2007). Além disso é necessário que a usina eólica esteja interligada ao sistema de energia elétrica, visto que sem a ocorrência de ventos a planta não gera energia e requer o abastecimento através de outro meio de geração (PINTO, 2013).

Uma planta eólica também possui um sistema de armazenamento composto por diversas baterias que armazenam a energia que não foi consumida. Além disso, uma usina eólica apresenta um sistema de controle constituído por diversos sensores, como o sensor de vento, de rotação do rotor, da carga da bateria, entre outros. Os sensores geram os dados que permitem o funcionamento harmônico de todo o sistema e indicam a melhor forma para aproveitar o vento (REIS, 2011).

Com relação a sua instalação, as plantas eólicas possuem duas configurações: Onshore, quando instaladas em terra e Offshore, quando instalada no mar. A configuração onshore é a utilizada no Brasil. Segundo Silva, 2015, o parque eólico offshore requer projetos mais dificultosos e maiores custos para o seu desenvolvimento. Por outro lado, essa configuração alcança uma velocidade maior e mais constante, devido à inexistência de barreiras.

O Brasil ainda não possui esse tipo de parque eólicos, mas já existem projetos sendo analisados pelo IBAMA. No mundo os países com maior capacidade instaladas são a China e o Reino Unido.

## **Energia Eólica no Brasil**

2981

No Brasil, o emprego da geração eólica teve início tardiamente. As primeiras pesquisas para desenvolvimento da tecnologia nacional são datadas de 1976, nos laboratórios do Centro Técnico Aeroespacial (CTA), com o desenvolvimento de protótipos de aerogeradores de pequeno porte, entre 1 e 2 kW (DUTRA, 2011). Apenas em 1992 foi instalada no arquipélago de Fernando de Noronha, em Pernambuco, a primeira turbina de grande porte em operação comercial da América do Sul. Sua estrutura contava com uma torre de 23m de altura, um gerador assíncrono de 75 kW e pás de 17m de diâmetro (ANEEL, 2002). Gerava cerca de 10% de energia sustentável para Fernando de Noronha, economizando setenta mil litros de óleo diesel por ano que seriam destinados para geração de energia por combustão. No ano de 2000, na Vila do Porto, uma outra turbina foi instalada na Ilha, vindo a funcionar em 2001, gerando 20% da energia, por meio de um projeto entre a CBEE (Centro Brasileiro de Estudos Ecológicos) e o National Laboratory da Dinamarca.

Já o primeiro parque eólico brasileiro conectado ao sistema integrado de energia foi a central do Morro do Camelinho em Gouveia, Minas Gerais, Instalada em 1994, esta central era constituída por quatro turbinas 250kW, com pás de 29 m de diâmetro e torres de 30 m de

altura (ANNEE, 2022; CEMIG, 2013a). As figuras 2 e 3 ilustram a primeira turbina eólica e o primeiro parque eólico, respectivamente.



Figura 2: Primeira Turbina Eólica no Brasil, (ANEEL, 2002).



Figura 3: Primeiro Parque Eólico no Brasil, (CEMIG, 2013b).

Os custos relacionados com a produção de energia elétrica a partir de uma usina eólica são altos e nesse quesito outras fontes geradoras ganham destaque, como a hidrelétrica e termoelétrica. Por tanto, para que uma nação invista em uma fonte limpa e renovável como a eólica é imprescindível uma política nacional de incentivos (GAVINO, 2011). Antes da criação do Programa de Incentivos às Fontes de Energias Renováveis (PROINFA), em 2002, a geração eólica no Brasil era insignificante. O PROINFA foi criado com a finalidade de promover o aumento da energia elétrica proveniente de fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. Juntamente com a criação do programa, o governo criou uma ação que durou até 2009: era permitida a importação de aerogeradores sem nenhum custo relacionado a impostos. Tal medida, por um lado favoreceu o incremento da energia eólica, mas por outro prejudicou o desenvolvimento nacional (LAGE E PROCESSI, 2013).

Um marco importante no setor eólico ocorreu em 2012, quando a fonte eólica se mostrou muito competitiva nos leilões, conquistando a segunda posição e possuindo o preço MWh comparável ao de grandes hidrelétricas (LAGE E PROCESSI, 2013).

Os leilões são conduzidos pela ANEEL e são responsáveis por unir geradores de energia e distribuidoras. Eles ocorrem de maneira contrária ao que normalmente acontece

nos leilão, pois ele é iniciado com o preço máximo e diminui ao longo do processo (PINHO, 2017).

Lagoa dos Ventos é o maior complexo eólico em operação no Brasil, localizada no estado do Piauí, possui capacidade instalada de 716,5 MW distribuídas em 21 parques que ficam localizados nas cidades Lagoa do Barro, Queimada Nova e Dom Inocêncio, inaugurada em 2021 (EKKO GREEN, 2023).

Em seguida vem Campo Largo, Sento Sé, na Bahia, com capacidade instalada de 687,9MW, distribuídos em 22 parques eólicos, com operação iniciada em 2018 (EKKO GREEN, 2023).

Em terceiro lugar está o Parque eólico de Chuí, localizada em Chuí e Santa Clara do Palmar, no Rio Grande do Sul, com capacidade instalada de 582,8MW em 28 parques, inaugurado em 2015 e 2016 (EKKO GREEN, 2023).

### Capacidade Instalada no Brasil

Segundo a ABEEólica (Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias) a energia eólica terminou o ano de 2022 com 904 usinas e 25,63 GW de potência eólica instalada, o que representou um crescimento de 18,85% em relação a dezembro de 2021 quando a capacidade instalada era de 21,57GW.

2983

Em 2022 foram instalados 109 novos parques eólicos, um total de 4,06GW de nova capacidade, um recorde de instalação para a eólica no Brasil (ABEEólica, 2022). De acordo com os dados do GWEC (Global Wind Energy Council), o Brasil foi o terceiro país que mais instalou parques eólicos no ano de 2022.

O que foi gerado em 2022 é equivalente a abastecer, mensalmente, em média 41,5 milhões de residências, o que representa cerca de 124 milhões de habitantes. Como base de comparação vale ressaltar que as regiões Sudeste e Sul somam 120 milhões de habitantes (ABEEólica, 2022).

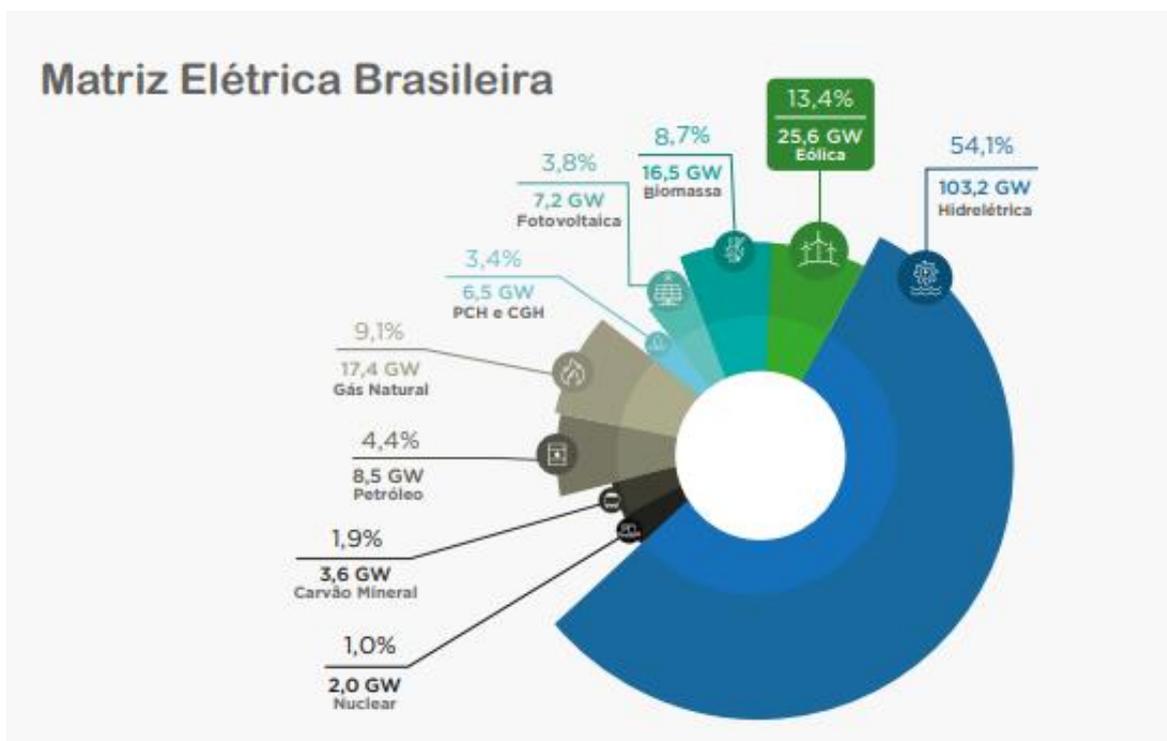
De acordo com os dados da BNEF (BloombergNEF) o país encerrou o ano de 2022 com um investimento do setor eólico de US\$ 6,20 bilhões (R\$ 31,86 bilhões), representando 42% dos investimentos realizados em renováveis (solar, eólica, biocombustíveis, biomassa, resíduos PCH e outros).

A tabela a seguir apresenta resumidamente os novos parques eólicos distribuídos no Brasil:

ESTADO	SOMA DE POTÊNCIA (MW)	NÚMERO DE PARQUES
BA	1.674,06	52
PI	1.086,80	24
RN	963,89	26
PE	164,40	4
PB	93,50	2
CE	71,40	1
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>4.054,05</b>	<b>109</b>

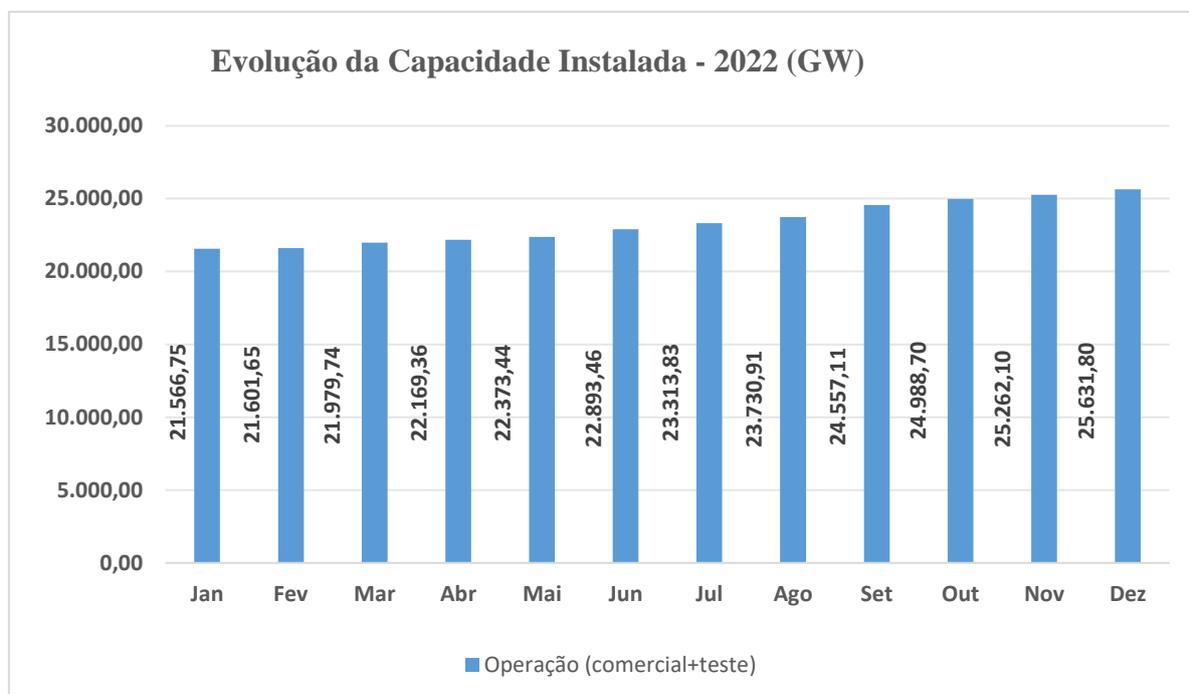
**Tabela 1** Novos Parques eólicos (ABEEólica, 2022).

Considerando todas as fontes de geração de energia elétrica em 2022, foram instalados 7,92GW de potência e a eólica foi a fonte que mais cresceu, representando 51,03%, da nova capacidade instalada no ano. A nova capacidade eólica instalada fez a fonte eólica atingir uma participação de 13,4% da matriz elétrica brasileira (ABEEólica, 2022). Através do gráfico a seguir é possível analisar a participação de todas as fontes de geração na matriz elétrica brasileira no ano de 2022.



**Figura 4** - Matriz energética brasileira (ABEEólica, ANEEL 2022).

A capacidade instalada de 25,63GW do final de dezembro de 2022 é composta por 24,12GW de parques em operação comercial (94,213%) e 1,50 GW de operação em teste (5,97%) (ABEEólica, 2022). O gráfico abaixo apresenta a evolução da capacidade instalada durante o ano de 2022.



**Figura 5** Capacidade instalada em 2022(ABEEólica ANEEL, 2022).

Em termos de representatividade e abastecimento, a geração verificada pela fonte eólica em 2022 foi responsável por 13,52% na média de toda a geração injetada no Sistema Interligado Nacional (SIN). Já no período de melhores ventos, que ocorre no segundo semestre, a representatividade da eólica aumentou e teve seu ápice em setembro, com 19,18% da geração do SIN (ABEEólica, 2022).

De acordo com o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), 120,51% da energia consumida no subsistema Nordeste veio das eólicas, com fator de capacidade de 71,18% e geração de 14722MWmed (11/10/2022). 6,70% da energia consumida no subsistema Norte veio das eólicas, com fator de capacidade de 96,97% e geração de 413MWmed (04/09/2021). 16,96% da energia consumida no subsistema Sul veio das eólicas, com fator de capacidade de 92,29% e geração de 1796 MWmed (07/09/2021). 24,48% energia consumida no SIN veio da eólica com fator de capacidade de 69,56% e geração de 16045 MWmed (15/10/2021).

O fator capacidade da fonte eólica representa a proporção entre a geração efetiva da usina em um intervalo de tempo e a capacidade total no mesmo íterim. O valor médio para 2022, foi de 41,5%, tendo atingido valor máximo em setembro, com 56,5% (ABEEólica, 2022).

Através da tabela a seguir é possível observar a representatividade dos estados brasileiros com relação a sua geração de energia eólica no país e inferir que o subsistema Nordeste representa a maior parte dessa geração, ficando com 90,3% em 2022.

Região	Geração (TWH)	Representatividade (%)	Crescimento (%)
Suldeste	0,06	0,1	16
Sul	5,95	7,6	-4
Nordeste	70,48	90,3	12
Norte	1,59	2	-10
Total	78,08	100	9,6

**Tabela 2** Geração e Representatividade da Fonte Eólica (ABEEolica, 2022).

### Impactos ambientais de uma Usina Eólica.

Apesar de possuir muitos benefícios para a sociedade, as usinas eólicas causam alguns danos ambientais importantes de ser analisados e assim, combatidos.

A emissão de ruídos pelas turbinas é originadas do funcionamento mecânico e efeitos aerodinâmicos. Próximo aos geradores o ruído é em torno de 50 decibéis (dB) e a uma distância de 300 metros esse valor se reduz a 40 db. Sabe –se que a partir de 60 dB os ruídos podem causar danos ao sistema auditivos, prejuízos em diversas funções orgânicas. Diante disso, é recomendável que localidades residenciais estejam a uma distância mínima de 300 metros dos parques eólicos (CUSTÓDIO,2009).

Segundo Pinho, 2013, o ruído de um escritório é em torno de 70dB enquanto que o ruído de um trânsito intenso é de 90dB. Diante disso, conclui-se que as pessoas estão expostas a ruídos mais altos do que o que é observado em usinas eólicas.

É valido ressaltar que no brasil grande parte as usinas eólicas estão localizadas em regiões pouco povoadas (SILVA, 2015).

Outro fator que é preciso ser estudado é o impacto visual decorrente dos parques eólico.

É complicado analisar o impacto visual, pois este é subjetivo. Enquanto muitas pessoas classificam a turbina eólica como resultado do avanço tecnológico e a energia limpa, outras reagem em desacordo com o novo cenário. Com o intuito de reduzir o efeito nas paisagens, é comum pintar os aregeradores com as cores que já estão presentes na paisagem (CUSTÓDIO, 2009).

No âmbito da fauna, de acordo com Ribeiro, 2017, os parques eólicos são responsáveis por causarem alguns danos na vida das aves. Esses animais sofrem com a redução de seu habitat com a necessidade de modificar sua rota migratória e seus hábitos alimentícios. O efeito mais danoso ocorre quando depara-se com a mortalidade diante das colisões com as estruturas. No que se refere a animais terrestres, as preocupações se restringem a perdas de áreas usadas como refúgio, locais de caça ou rota utilizada com frequência (SALINO, 2011).

Com o intuito de amenizar os efeitos causados aos animais, faz-se necessário um bom planejamento. Além da escolha adequada, quanto a localização da usina eólica, algumas medidas devem ser avaliadas como (SALINO, 2011):

- Evitar áreas de conservação;
- Possuir um monitoramento ambiental, tanto durante a construção da usina quanto no período de operação;
- Facilitar a visibilidade das pás e rotores;
- Interromper o funcionamento da usina em períodos migratórios e
- Utilizar redes de transmissão subterrâneas.

Por outro lado, os impactos ambientais positivos causados pela energia renovável são destacados diante de seus resultados promissores.

A instalação de parques eólicos contribui para o aumento do Produto Interno Bruto (PIB) e o índice de Desenvolvimento Humano do Município (IDHM), conforme estudo da GO associado (ABEEólica, 2022).

Além de ser uma fonte com reduzido impacto ao longo de sua implantação, a eólica não emite dióxido de carbono em sua operação, substituindo, por tanto, outras fontes de geração de energia elétrica que emitem dióxido de carbono. O total de emissões de dióxido de carbono evitadas 2022 foi de 26,88 milhões de toneladas, o equivalente à emissão anual de cerca de 22 milhões de automóveis de passeio. Como base de comparação vale informar que a cidade de São Paulo tem uma frota de cerca de 10,2 milhões de automóveis de passeio (ABEEólica, 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia Eólica é uma energia renovável proveniente da energia gerada pelos ventos. Ela é uma energia limpa e por tanto, sustentável. Sua adesão vem crescendo cada ano que passa e está se tornando um ramo de energia promissor e competitivo. No Brasil, ganhou força nos últimos anos após a criação dos incentivos gerados pelo PROINFA.

Sua representatividade no país pode ser notada por órgão e associações que monitoram seu desempenho anual, entre regiões, fazendo um comparativo com as demais fontes de energia utilizada no Brasil. É importante essa análise para balizar os fatores essenciais que contribuem significativamente para a decisão da utilização dessa fonte energética.

As questões ambientais perpassam por essa esfera de análise, onde são questionados pontos relevantes que afetam o meio social e a fauna, de modo a serem criados meios alternativos que venham mitigar ou até mesmo cessar os impactos negativos gerados pelas usinas eólicas.

Vale salientar que o matriz energética do Brasil é predominantemente hídrica e essa dependência causa insegurança devido as condições climáticas que acometem o país em algumas estações do ano. Em contra partida, a energia eólica apresenta crescimento significativo ano após ano, apontando uma participação cada vez mais sólida. Além disso, as usinas hidrelétricas demoram cerca de seis anos para sua construção, enquanto que as usinas eólicas gastam em média um ano e meio.

Para que haja uma consolidação da energia eólica no Brasil é necessário que os incentivos sejam contínuos não só nas instalações de novos parques eólicos com os leilões promovidos pela ANEEL como também na área da tecnologia, tomando como referência países desenvolvidos como China e estados Unidos que possuem resultados excelentes nesse contexto.

## REFERERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica – Boletim anual de geração eólica. 2022. 17 f. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Boletim-de-Geracao-Eolica-2022.pdf> Acesso em: 12/07/2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acesso em: 15/07/2022.

CUSTÓDIO, R. S. **Energia Eólica Para Produção de Energia Elétrica**. 1<sup>a</sup> Ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2009.

SALINO, P. J. **Energia eólica no Brasil: uma comparação do PROINFA e dos novos leilões**. 2011. 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

<https://ekkgreen.com.br/maiores-parques-eolicos-do-brasil/> - 17/07/2023

<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/geracao-eolica-ultrapassa-os-20-gw-de-capacidade-instalada-no-brasil> -17/07/2023