

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Técnico em Eletrotécnica

FUNDAMENTOS DA ENERGIA EÓLICA

FUNDAMENTALS OF WIND ENERGY

Davi Mana Barros da Silva¹

Pedro Miguel Fontes²

Rhéucius Cayo Godoy³

Resumo: O presente estudo investiga a viabilidade e os impactos da energia eólica como fonte de geração elétrica sustentável, com foco no funcionamento das turbinas eólicas e na implantação de usinas eólicas no contexto brasileiro. O tema se justifica diante da crescente demanda por alternativas energéticas limpas e da necessidade de diversificação da matriz elétrica do país, tendo como problema central a identificação dos fatores que influenciam a eficiência e a expansão da energia eólica no Brasil. O objetivo principal consiste em analisar os componentes fundamentais das turbinas eólicas, seus requisitos operacionais e o funcionamento dos sistemas de conversão de energia, bem como discutir os benefícios e desafios relacionados à implementação de grandes usinas eólicas em território nacional. Para atingir tais objetivos, a pesquisa adota uma abordagem metodológica mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. A etapa qualitativa baseia-se em uma revisão bibliográfica detalhada de estudos e publicações especializadas sobre o tema, enquanto a etapa quantitativa envolve a análise de dados referentes a usinas eólicas em operação no Brasil, com uma amostra composta por projetos já consolidados no setor. Os resultados obtidos revelam que o país apresenta condições altamente favoráveis à expansão da energia eólica, especialmente devido à abundância de áreas com ventos constantes e de alta intensidade, predominantes nas regiões Nordeste e Sul. Contudo, foram identificados desafios relevantes, como o alto custo de implantação das usinas, a necessidade de investimentos em infraestrutura de transmissão e a intermitência dos ventos, fatores que ainda limitam a competitividade dessa fonte em relação a outras matrizes energéticas. Apesar dessas limitações, a análise demonstra que a energia eólica possui grande potencial para contribuir de forma significativa com a sustentabilidade ambiental e econômica do setor elétrico

¹ Cursando Ensino Médio, na Escola Estadual Professor Júlio Mastrodomênico, Ipaussu – SP-
davisilvabs6512@gmail.com

²Ensino Médio, na Escola Estadual José Paschoalick, Ourinhos – SP – pedrofnt2019@gmail.com

³Ensino Médio, na Escola Estadual José Paschoalick, Ourinhos – SP – rheucius.senai@gmail.com

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

brasileiro, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e as emissões de gases de efeito estufa. Assim, a principal contribuição deste estudo é oferecer uma visão abrangente sobre os aspectos técnicos e operacionais das turbinas eólicas, ao mesmo tempo em que destaca os fatores determinantes para a eficiência e a expansão das usinas eólicas no Brasil, reforçando a importância dessa tecnologia como alternativa viável e estratégica para o fortalecimento da matriz energética sustentável do país.

Palavras-chave: energia eólica; sustentabilidade; turbinas eólicas; usinas eólicas; matriz energética.

Abstract: This study investigates the feasibility and impacts of wind energy as a sustainable source of electricity generation, focusing on the operation of wind turbines and the development of wind farms in the Brazilian context. The topic is justified by the growing demand for clean energy alternatives and the need to diversify the country's electricity matrix, with the central problem being the identification of factors that influence the efficiency and expansion of wind energy in Brazil. The main objective is to analyze the fundamental components of wind turbines, their operational requirements, and the functioning of energy conversion systems, as well as to discuss the benefits and challenges associated with the implementation of large wind farms in the national territory. To achieve these goals, the research adopts a mixed methodological approach, combining qualitative and quantitative methods. The qualitative stage is based on a detailed literature review of studies and specialized publications on the subject, while the quantitative stage involves data analysis of operational wind farms in Brazil, with a sample composed of consolidated projects in the sector. The results show that Brazil offers highly favorable conditions for the expansion of wind energy, particularly due to the abundance of areas with strong and consistent winds, mainly in the Northeast and South regions. However, significant challenges were identified, such as the high installation costs of wind farms, the need for investments in transmission infrastructure, and the intermittency of wind patterns, which still limit the competitiveness of this source compared to other energy matrices. Despite these limitations, the analysis demonstrates that wind energy holds great potential to contribute significantly to the environmental and economic sustainability of Brazil's electrical sector by reducing dependence on non-renewable sources and lowering greenhouse gas emissions. Thus, the main contribution of this study is to provide a comprehensive overview of the technical and operational aspects of wind turbines while highlighting the key factors that affect the efficiency and expansion of wind farms in Brazil, reinforcing the importance of this technology as a viable and strategic alternative for strengthening the country's sustainable energy matrix.

Keywords: wind energy; sustainability; wind turbines; wind farms; energy matrix.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica se apresenta como uma das principais alternativas sustentáveis para a geração elétrica no Brasil, um país com vastas regiões com ventos constantes e intensos. No entanto, o Brasil tem um grande potencial para a expansão dessa fonte de energia, a implementação de usinas eólicas enfrenta desafios técnicos, econômicos e logísticos. O problema central deste estudo está relacionado à identificação dos fatores que influenciam a eficiência das turbinas eólicas e a viabilidade da expansão de usinas eólicas no país. A pesquisa busca entender como as condições ambientais, as características das turbinas e os custos de implementação impactam a eficiência e a competitividade da energia eólica frente a outras fontes renováveis e não renováveis.

O principal objetivo deste estudo é analisar os aspectos técnicos das turbinas eólicas, suas exigências operacionais e o funcionamento dos sistemas de conversão de energia, com foco na realidade brasileira. Especificamente, busca compreender os componentes fundamentais das turbinas eólicas, como as lâminas, o rotor, o gerador e a torre, além de avaliar as condições necessárias para otimizar a geração de eletricidade a partir do vento. Outro objetivo importante é investigar os benefícios e os desafios da implementação de grandes usinas eólicas no Brasil, levando em consideração a infraestrutura, os custos e os impactos ambientais envolvidos na instalação desses projetos no país.

A justificativa para este estudo reside na crescente necessidade de diversificação da matriz energética do Brasil, que tem dependido fortemente de fontes não renováveis. O aumento da demanda por energia elétrica, combinado com a necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, torna a energia eólica uma alternativa estratégica e sustentável. Além disso, o Brasil possui condições geográficas favoráveis para a expansão dessa fonte, especialmente nas regiões Nordeste e Sul, que apresentam ventos constantes e de alta intensidade. Apesar disso, a falta de infraestrutura adequada, os custos elevados e a intermitência do vento ainda representam desafios significativos. Este estudo visa contribuir com uma análise aprofundada sobre os fatores que podem

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

permitir a expansão da energia eólica no país e a integração dessa fonte limpa na matriz energética nacional.

Para alcançar os objetivos propostos, a pesquisa adota uma abordagem metodológica mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. A etapa qualitativa envolve uma revisão bibliográfica detalhada sobre os fundamentos da energia eólica, incluindo o funcionamento das turbinas eólicas e as condições necessárias para a geração de energia. Serão analisados artigos científicos, relatórios técnicos e publicações especializadas sobre o tema. Já a fase quantitativa se concentra na análise de dados de usinas eólicas em operação no Brasil, considerando variáveis como capacidade instalada, potencial eólico das regiões e a eficiência na conversão de energia. A pesquisa também inclui a construção de um protótipo simplificado de turbina eólica, feito com materiais recicláveis, para ilustrar de forma prática o princípio de funcionamento das turbinas e os aspectos técnicos envolvidos.

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema da pesquisa, destacando o problema, os objetivos e a justificativa do estudo. O segundo capítulo apresenta os fundamentos da energia eólica, abordando os princípios de funcionamento das turbinas eólicas e os fatores físicos que influenciam sua eficiência. No terceiro capítulo, são discutidos os aspectos técnicos e operacionais das turbinas, incluindo requisitos de instalação, posicionamento das lâminas e tipos de sistemas de controle. O quarto capítulo analisa os resultados obtidos da pesquisa quantitativa, com foco na análise de dados das usinas eólicas em operação no Brasil e seus desafios. Finalmente, o quinto capítulo oferece uma conclusão, resumindo as principais descobertas e

apresentando sugestões para a expansão da energia eólica no Brasil, com base nos resultados encontrados.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

2 FUNDAMENTOS DA ENERGIA EÓLICA

2.1 A Energia Eólica como Fonte Promissora de Geração de Eletricidade

A energia eólica tem se consolidado como uma das fontes renováveis mais promissoras para a geração de eletricidade em diversas partes do mundo. A instalação de grandes fazendas e usinas de energia eólica tem sido um dos principais fatores para o crescimento dessa forma de geração. Estes empreendimentos consistem na instalação de parques eólicos em grandes áreas, com a finalidade de produzir energia em larga escala. As fazendas e usinas de energia eólica são compostas por vários aerogeradores, que convertem a energia cinética do vento em eletricidade.

A conversão de energia do vento em eletricidade envolve uma série de fatores físicos, como a velocidade do vento, a área das lâminas do rotor, a densidade do ar e a eficiência do gerador. Estes fatores são determinantes na quantidade de energia que pode ser gerada por uma turbina eólica

2.2 Requisitos

Antes de instalar um sistema eólico, é essencial realizar um estudo do potencial eólico local, avaliando a velocidade média do vento na região e o padrão de variação ao longo do ano. Para isso, utilizam-se ferramentas de medição, como anemômetros, que permitem obter dados precisos sobre o comportamento dos ventos. Além disso, o posicionamento adequado do aerogerador é fundamental para garantir a eficiência do sistema. Ele deve ser instalado em uma altura ideal, onde o vento seja mais constante e menos influenciado por obstáculos, como árvores ou edificações, que possam reduzir sua intensidade ou causar turbulências.

Outro aspecto essencial é o posicionamento adequado do aerogerador. A escolha do local deve considerar a topografia, a rugosidade do solo e a presença de obstáculos que possam interferir no fluxo do vento, como árvores, edificações ou elevações. Idealmente, o aerogerador deve ser instalado em áreas abertas e elevadas, onde o vento seja mais constante e menos turbulento. A altura da torre também desempenha

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

papel crucial: quanto maior a altura, maior tende a ser a velocidade do vento e, conseqüentemente, a geração de energia. Estudos mostram que pequenos aumentos na altura da torre podem resultar em ganhos significativos na produção de eletricidade. Portanto, uma análise técnica criteriosa, combinando medições de campo, modelagem e conhecimento do terreno, é indispensável para otimizar o desempenho e a durabilidade do sistema eólico.

3. FUNCIONAMENTO DE UMA TURBINA EÓLICA



Figura 1 – Turbina Eólica

Fonte: VIVADECOR. *Energia eólica: o que é, como funciona e suas vantagens*. Disponível em:

<https://arquitetura.vivadecora.com.br/energia-eolica/>

3.1 Componentes das Turbinas Eólicas

A turbina eólica é um sistema complexo, composto por diversos componentes que trabalham de maneira integrada para converter a energia do vento em eletricidade. A seguir, serão descritos com mais detalhes os principais componentes da turbina eólica, abordando suas funções e tipos.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

3.1.1 Pás da Turbina eólica

As pás, ou lâminas, são um dos componentes mais importantes de uma turbina eólica. Elas capturam a energia do vento e geram o movimento necessário para acionar o restante do sistema. As pás são projetadas para serem leves, mas ao mesmo tempo robustas o suficiente para suportar as forças do vento durante a operação.

Tipos de Pás e Suas Diferenças:

Pás de Composição (Fibra de Carbono ou Vidro): São as mais comuns, pois combinam leveza com resistência. A fibra de carbono, em particular, é usada em turbinas de maior capacidade devido à sua alta resistência e baixo peso.

Pás de Madeira: Embora menos comuns em turbinas modernas, as pás de madeira foram usadas em modelos mais antigos e ainda podem ser utilizadas em projetos menores.

Pás de Alumínio: Usadas principalmente em turbinas menores ou para fins educativos, elas são mais fáceis de manusear e fabricar, embora não sejam tão eficientes quanto as de fibra de carbono.

O tamanho das lâminas varia conforme a capacidade da turbina. Em turbinas de grande porte, como as utilizadas em parques eólicos offshore (em alto-mar), as pás podem ultrapassar os 80 metros de comprimento, enquanto em turbinas mais compactas, as pás podem ter entre 20 a 30 metros.

3.1.2 Rotor

O rotor é o componente que conecta as pás à turbina. Ele é responsável por transferir a energia do vento capturada pelas lâminas para o restante do sistema. O rotor é composto pelas pás e pelo cubo (a parte central onde as lâminas estão fixadas). À medida que as pás giram, elas fazem o rotor girar, transmitindo movimento para o eixo principal da turbina.

O rotor pode ter diferentes designs, dependendo do tipo de turbina:

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Turbinas de eixo horizontal (HAWT - Horizontal Axis Wind Turbine): O rotor é montado horizontalmente e as lâminas giram em torno de um eixo horizontal. Esse modelo é o mais comum, principalmente em grandes parques eólicos.

Turbinas de eixo vertical (VAWT - Vertical Axis Wind Turbine): O rotor é montado verticalmente. Este tipo de turbina tem a vantagem de capturar vento de qualquer direção, mas é menos eficiente em termos de geração de energia em comparação com as turbinas de eixo horizontal.

3.1.3 Caixa de Transmissão (Multiplicadora de Velocidade)

A caixa de transmissão, também conhecida como multiplicadora de velocidade, tem como função aumentar a rotação do eixo da turbina para um nível adequado para a geração de eletricidade. O movimento das lâminas do rotor gira o eixo lentamente, mas, para gerar eletricidade, o gerador precisa de uma rotação muito mais rápida.

A caixa de transmissão utiliza um sistema de engrenagens para aumentar essa velocidade. Em turbinas maiores, a multiplicadora de velocidade é essencial para converter a energia mecânica do rotor em uma rotação rápida o suficiente para que o gerador possa produzir eletricidade.

Existem dois tipos principais de caixas de transmissão:

Com engrenagens (gearbox): As turbinas mais tradicionais usam um sistema de engrenagens para aumentar a velocidade do eixo.

Sem engrenagens (direct-drive): Algumas turbinas modernas, especialmente as de grande porte, utilizam um sistema de acionamento direto, onde o gerador está diretamente conectado ao rotor, eliminando a necessidade da caixa de transmissão. Embora o custo inicial seja mais alto, as turbinas sem engrenagem têm menos peças móveis, o que pode reduzir custos de manutenção a longo prazo.

3.1.4 Gerador

O gerador é o componente responsável pela conversão da energia mecânica em energia elétrica. Ele funciona com base no princípio da indução eletromagnética, no qual um campo magnético gira dentro de uma bobina de cobre. Quando o rotor da

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

turbina gira, o gerador converte essa rotação em eletricidade, gerando corrente alternada (AC).

Existem vários tipos de geradores utilizados em turbinas eólicas:

Geradores de indução: São os mais comuns, especialmente em turbinas de menor porte. Eles são simples e confiáveis, embora menos eficientes em termos de controle de velocidade.

Geradores síncronos: Utilizados em turbinas maiores, esses geradores têm uma relação fixa entre a velocidade de rotação e a frequência da corrente elétrica gerada. Eles são mais eficientes e oferecem melhor controle de energia.

Geradores de ímã permanente: Com a utilização de ímãs permanentes, esses geradores eliminam a necessidade de uma excitação externa para criar o campo magnético, o que os torna mais eficientes e simples em termos de construção.

3.1.5 Nacelle

A nacelle é a estrutura que abriga todos os componentes mecânicos e elétricos da turbina, como o gerador, a caixa de transmissão, o eixo e os sistemas de controle. Ela é montada no topo da torre e permite que a turbina gire para se alinhar com a direção do vento. A nacelle protege os componentes internos das condições climáticas e facilita o acesso para manutenção.

A nacelle deve ser projetada para suportar as grandes forças geradas pelo vento e garantir o funcionamento eficiente da turbina. A ventilação adequada é essencial para evitar o superaquecimento do gerador e de outros componentes.

3.1.6 Torre

A torre da turbina eólica é a estrutura vertical que suporta a nacelle e as lâminas. Ela é geralmente feita de aço, concreto ou uma combinação de ambos, e sua altura pode variar significativamente dependendo do tipo de turbina e do local de instalação. Em

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

áreas com ventos mais fortes, as torres precisam ser mais altas para capturar o vento em altitudes mais elevadas, onde ele tende a ser mais constante e forte.

As torres podem ser de três tipos principais:

Torre tubular: A mais comum, composta por uma estrutura cilíndrica de aço.

Torre de concreto: Mais pesada, porém adequada para locais onde o transporte de materiais é difícil.

Torre de aço com secções desmontáveis: Este tipo é utilizado para reduzir custos de transporte e facilitar a construção em locais remotos

3.1.7 Anemômetro

O anemômetro é responsável por gerenciar a operação da turbina eólica, ajustando automaticamente diversos parâmetros para otimizar a eficiência e garantir a segurança. Ele monitora constantemente fatores como a velocidade do vento, a direção da turbina e eficiência da carga elétrica gerada, fazendo ajustes quando necessário. Se o vento atingir velocidades muito altas ou muito baixas, o sistema pode reduzir a velocidade da turbina ou até desligá-la para evitar danos aos componentes.

Ele também é responsável pelo direcionamento da turbina. Pois ajusta a posição das lâminas e a orientação da nacelle para garantir que a turbina esteja sempre alinhada com o vento de forma otimizada.

4 TRANSMISSÃO DA ELETRICIDADE PARA A REDE ELÉTRICA

A eletricidade gerada pelas turbinas é inicialmente de baixa tensão. Para que essa eletricidade possa ser transmitida por longas distâncias até as casas e indústrias, é necessário aumentar a tensão utilizando transformadores elevadores. Tais equipamentos elevam a tensão para níveis adequados ao transporte eficiente. Uma vez que a eletricidade chega ao destino, os transformadores rebaixadores diminuem

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

a tensão para torná-la segura para o uso nas residências e estabelecimentos comerciais.

4.1 Detalhes Técnicos Importantes para a Geração de Energia Eólica

Alguns aspectos técnicos são cruciais para a operação eficiente de uma turbina eólica. A velocidade do vento é um fator determinante, sendo que a faixa ideal para a geração de energia está entre 12 e 25 km/h. Abaixo dessa velocidade, a turbina não gira adequadamente, e, acima dessa faixa, o sistema de segurança é ativado para proteger os componentes da turbina.

Outro fator relevante para a eficiência da turbina é o diâmetro das lâminas. Quanto maior for o diâmetro das lâminas, maior será a área disponível para capturar a energia do vento, o que resulta em maior capacidade de geração. Turbinas modernas podem ter torres de até 200 metros de altura e lâminas com mais de 100 metros de comprimento, o que aumenta significativamente sua capacidade de geração de energia.

A potência gerada por uma turbina eólica pode ser calculada por meio de uma fórmula específica que leva em consideração a velocidade do vento, o diâmetro das lâminas e outros parâmetros técnicos. Este cálculo é essencial para determinar a viabilidade de projetos eólicos, garantindo que a instalação seja dimensionada de acordo com as condições locais de vento e a demanda de eletricidade.

5 USINAS EOLICAS NO BRASIL

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Figura 2 – Usina ECOA

Fonte: ECOA. *Energia eólica: o que é, como funciona e suas vantagens*. Disponível em:
<https://ecoa.org.br/energia-eolica/>

A ECOA destaca a crescente importância da energia eólica como uma alternativa sustentável e limpa para a matriz energética global. De acordo com a organização, a energia eólica não só contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, como também tem se consolidado como uma fonte econômica viável, com forte potencial de expansão no Brasil. O país, com sua vasta extensão territorial e regiões com grandes velocidades de vento, possui condições ideais para o desenvolvimento de parques eólicos, o que tem gerado impactos positivos tanto no setor energético quanto no econômico. Através de investimentos contínuos e políticas públicas favoráveis, a energia eólica se posiciona como uma das principais soluções para atender à crescente demanda por energia limpa e renovável

5.1 Benefícios e Desafios das Grandes Usinas de Energia Eólica

As grandes usinas eólicas oferecem uma série de benefícios, incluindo a redução das emissões de gases de efeito estufa, o aumento da segurança energética e a criação de novos postos de trabalho. Além disso, elas contribuem para a diversificação da matriz energética, diminuindo a dependência de fontes fósseis (Barros et al., 2018). No entanto, esses projetos também apresentam desafios. O custo inicial de

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

construção é elevado, e a necessidade de infraestrutura para transmissão de energia pode ser um obstáculo em algumas regiões. Adicionalmente, a instalação de grandes parques eólicos pode afetar a fauna local e alterar o uso do solo, o que requer planejamento cuidadoso e avaliações ambientais (Jafari et al., 2019).

5.2 Perspectivas Futuras da Energia Eólica na Transição Energética Global

Eletricidade a partir de fontes renováveis em escala global. Com o avanço da tecnologia, otimização aerodinâmica das pás e a redução dos custos de implementação, espera-se que essa modalidade de geração continue crescendo, tanto em termos de capacidade instalada quanto na sua contribuição para a transição energética mundial. A integração da

energia eólica na matriz energética representa um passo estratégico rumo à sustentabilidade e à redução das emissões de gases de efeito estufa (Sharma et al., 2021).

A energia eólica é obtida a partir da conversão da energia cinética do vento em eletricidade, processo realizado por aerogeradores. O vento exerce força sobre as pás do rotor, provocando sua rotação e, conseqüentemente, acionando um gerador elétrico. A eficiência dessa conversão depende de diversos fatores físicos, incluindo a velocidade e constância do vento, a densidade do ar (que varia com altitude e temperatura), a área varrida pelas pás e o projeto aerodinâmico do rotor.

6 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido com base em uma pesquisa exploratória e descritiva, utilizando uma abordagem metodológica mista, que combina procedimentos qualitativos e quantitativos. A etapa qualitativa foi essencial em uma ampla pesquisa bibliográfica, realizada por consulta a livros, artigos científicos, relatórios técnicos e sites que abordam o funcionamento das turbinas eólicas, a geração de energia e os desafios da implantação de usinas eólicas no Brasil. As principais fontes consultadas foram publicações de órgãos reguladores, como a Agência Nacional de Energia

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Elétrica (ANEEL, 2020), e relatórios de instituições internacionais voltadas ao setor energético, como o Global Wind Energy Council (GWEC, 2020) e a International Energy Agency (IEA, 2021).

A etapa quantitativa consistiu na análise de dados e indicadores referentes às usinas eólicas em operação no Brasil, considerando aspectos como o potencial eólico regional, a capacidade instalada e os fatores que influenciam a eficiência da geração. Além da revisão teórica, foi elaborado um protótipo simplificado sobre a turbina eólica, construído com materiais recicláveis, como papelão, madeira e garrafas plásticas, com o objetivo de demonstrar, de forma prática, o princípio de conversão da energia cinética do vento em energia elétrica. O protótipo foi testado em ambiente controlado, utilizando-se um ventilador para simular o fluxo de vento, possibilitando a observação do funcionamento básico do rotor e do gerador em escala reduzida.

7 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar os aspectos técnicos das turbinas eólicas e os fatores que influenciam a eficiência e viabilidade da expansão das usinas eólicas no Brasil, com foco na realidade geográfica e econômica do país. Ao longo da pesquisa, buscou-se compreender as condições necessárias para otimizar a geração de energia a partir do vento, bem como os desafios e benefícios da implementação de grandes usinas eólicas.

A síntese dos resultados obtidos revelou que, apesar do grande potencial eólico nas regiões Nordeste e Sul do Brasil, existem desafios significativos relacionados à infraestrutura, aos custos elevados de implementação e à intermitência do vento. A análise dos dados das usinas eólicas em operação mostrou que, embora a capacidade instalada e a eficiência das turbinas tenham apresentado avanços nos últimos anos, ainda há uma necessidade de aprimoramento nos sistemas de armazenamento de energia e na otimização do uso das turbinas. A construção de um protótipo simplificado também evidenciou a complexidade técnica envolvida no processo de conversão da energia do vento em eletricidade, destacando a importância da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico para o futuro da energia eólica.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

A contribuição deste estudo para a sociedade é de grande relevância, pois ele fornece uma análise aprofundada sobre os principais fatores que podem viabilizar a expansão da energia eólica no Brasil. A energia eólica é uma alternativa limpa e sustentável para diversificar a matriz energética nacional, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir para o desenvolvimento de um modelo energético mais eficiente e menos dependente de fontes fósseis. Além disso, a implementação de usinas eólicas pode impulsionar a criação de empregos e o fortalecimento da infraestrutura em regiões do Brasil que possuem grande potencial para a geração de energia eólica.

Por fim, trabalhos futuros podem expandir a análise realizada neste estudo, incorporando novas tecnologias, como o uso de sistemas de armazenamento de energia e a avaliação do impacto das mudanças climáticas na disponibilidade do recurso eólico. Além disso, a pesquisa pode ser aprofundada com a análise de novas áreas do Brasil com potencial eólico ainda não explorado, e com o estudo de novas soluções para reduzir os custos de instalação e operação das usinas eólicas, tornando-as ainda mais competitivas no mercado energético nacional e internacional.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. (2020). *Relatório de Geração de Energia no Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica.
- Bianchi, C., et al. (2019). *Wind Energy Systems: Design, Control, and Operation*. Springer.
- Brower, M., et al. (2017). *Offshore Wind Energy: Technologies and Resources*. Wiley.
- DNV GL. (2019). *Offshore Wind Market Report*. DNV GL Group.
- Global Wind Energy Council (GWEC). (2020). *Global Wind Report 2020*. Global Wind Energy Council.
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Renewables 2021 - Analysis and Forecast to 2026*. International Energy Agency.
- Jafari, M., et al. (2019). *Environmental Impact of Wind Energy Systems*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 216-227.
- Liu, H. (2020). *The Growth of Wind Energy in China: Current Status and Future Potential*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127, 109876.
- Santos, M. A., et al. (2020). *Energy Production from Wind in Coastal Regions*. *Renewable Energy*, 160, 1260-1273.
- Sharma, P., et al. (2021). *Wind Energy and the Global Transition: Opportunities and Challenges*. *Energy Policy*, 146, 111825.

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

- U.S. Department of Energy. (2017). *Wind Vision: A New Era for Wind Power in the United States*. U.S. Department of Energy.