

PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONTEXTO NACIONAL

LIMA, Caio Duarte Souza¹
TEIXEIRA, Wesley Carminat²
SILVA JR., Dalmo Cardoso da³
OLIVEIRA, Deidicler Maique Silveira de⁴

Linha de Pesquisa: Eficiência Energética.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise abrangente do panorama da energia eólica no Brasil, com foco em seus aspectos técnicos, históricos, socioeconômicos e ambientais. Inicialmente, são abordados os marcos históricos da energia eólica, desde o contexto internacional até a sua implementação e evolução no cenário brasileiro. O estudo detalha o funcionamento dos aerogeradores, os tipos de instalações, como onshore e offshore, e suas características estruturais e operacionais. Destaca-se o crescimento expressivo da capacidade instalada no país, principalmente na região Nordeste, que concentra mais de 90% da geração nacional. Além disso, são analisados os custos de geração, a competitividade econômica frente a outras fontes de energia e os incentivos governamentais que impulsionaram o setor. Os impactos ambientais e sociais, tanto positivos quanto negativos, também são discutidos, com ênfase na geração de empregos, no desenvolvimento regional e nas questões de sustentabilidade. A pesquisa adota uma metodologia qualitativa, descritiva e bibliográfica, com base em publicações científicas, relatórios de órgãos oficiais e bases de dados atualizadas. Por fim, o trabalho aborda as perspectivas futuras para o setor, destacando o potencial da energia eólica offshore no Brasil e os desafios regulatórios, tecnológicos e ambientais para a consolidação desta fonte como pilar estratégico da matriz elétrica brasileira.

Palavras-chave: Energia eólica, geração elétrica, matriz energética, desenvolvimento sustentável, Brasil.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia – UniAcademia.

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia – UniAcademia.

³ Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia – UniAcademia.

⁴ Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia – UniAcademia.

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

O crescente destaque da energia eólica na matriz elétrica brasileira reflete uma mudança significativa no cenário energético nacional e global. Em um contexto de intensificação das mudanças climáticas, esgotamento de recursos fósseis e busca por fontes mais limpas e sustentáveis, a energia proveniente dos ventos se apresenta como uma alternativa promissora. Seu potencial técnico elevado, especialmente nas regiões Nordeste e Sul do Brasil, aliado ao avanço das tecnologias de geração, a torna uma das principais apostas para o futuro energético do país.

A relevância do tema se justifica não apenas pelo aspecto ambiental, mas também pelos impactos econômicos e sociais associados à implantação de parques eólicos. O setor tem contribuído para a geração de empregos, o desenvolvimento regional e a diversificação da matriz energética brasileira. Além disso, o surgimento de novas tecnologias, como a energia eólica *offshore*, amplia as possibilidades de expansão e consolidação da fonte no país.

Diante desse cenário, torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre os aspectos técnicos, históricos e regulatórios que envolvem a energia eólica, bem como os desafios e oportunidades que ela representa. O estudo contribui para o entendimento de como essa fonte pode se consolidar de forma sustentável e eficiente, atendendo à crescente demanda por energia e aos compromissos ambientais assumidos pelo Brasil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar o panorama da energia eólica no Brasil, compreender seus aspectos técnicos, socioeconômicos e ambientais, destacando seu papel na transição energética e os desafios enfrentados para sua consolidação como fonte estratégica na matriz elétrica nacional.

1.2.2 Específicos

- I. Compreender o funcionamento dos sistemas de geração eólica e os componentes dos aerogeradores.
- II. Identificar os marcos históricos e os fatores que impulsionaram o crescimento da energia eólica no Brasil.
- III. Avaliar os impactos socioeconômicos e ambientais associados à implantação de parques eólicos.
- IV. Investigar o potencial da energia eólica *offshore* no Brasil e os desafios técnicos e regulatórios para seu desenvolvimento.
- V. Avaliar os custos associados à geração eólica, considerando políticas públicas e leilões de energia.

1.3 METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, descritiva e bibliográfica, fundamentada na análise de artigos científicos, relatórios institucionais, livros, monografias e publicações técnicas disponibilizadas por órgãos como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Global Wind Energy Council (GWEC), Banco Mundial, além de bases como Scientific Electronic Library Online (SciELO) e repositórios acadêmicos. O levantamento foi orientado pela busca de fontes atualizadas (até 2025), com ênfase na produção científica brasileira e em documentos oficiais que possibilitam um diagnóstico realista e atual do setor eólico no país. A metodologia compreende a revisão sistemática dos principais conceitos, análise de dados estatísticos, gráficos e tabelas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Na primeira seção, são apresentados o tema da pesquisa, a motivação do estudo, os objetivos, geral e específicos, a metodologia adotada e a estrutura do trabalho.

A segunda seção trata da história da energia eólica no contexto mundial.

Na terceira seção, desenvolve-se o referencial teórico, abordando o funcionamento da energia eólica, seus principais componentes, a evolução dos aerogeradores, os tipos de instalações existentes, bem como seus impactos ambientais e socioeconômicos.

A quarta seção apresenta um panorama da energia eólica no Brasil, abordando sua trajetória histórica, o cenário atual em termos de capacidade instalada e geração, os custos envolvidos, o potencial eólico *offshore* no país e os principais desafios para o futuro.

As considerações finais são apresentadas na quinta seção, seguidas, na sexta seção, pelas referências bibliográficas utilizadas na elaboração do trabalho.

2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ENERGIA EÓLICA

A compreensão do panorama histórico da energia eólica é essencial para contextualizar sua evolução como fonte alternativa e sustentável de geração elétrica. Desde os primeiros registros de uso da força dos ventos em civilizações antigas, passando pela aplicação em moinhos na Europa medieval, até o desenvolvimento de turbinas modernas e a consolidação da energia eólica como elemento estratégico na matriz energética global, essa trajetória é marcada por avanços tecnológicos, transformações econômicas e decisões políticas. Ao longo das décadas, especialmente a partir das crises energéticas do século XX, a energia eólica passou a ocupar um papel de destaque nas políticas energéticas de diversos países. A seguir, serão apresentados os principais marcos históricos dessa fonte energética em duas dimensões complementares: no cenário internacional e, posteriormente, no contexto brasileiro.

2.1 CONTEXTO INTERNACIONAL DA ENERGIA EÓLICA

A trajetória da utilização de energia eólica no mundo está inserida em um contexto de evolução histórica, política e econômica, marcada por altos e baixos que refletem as crises ao longo desse processo, impactando diretamente o uso desse tipo de energia.

De acordo com Martins et al. (2008), há mais de 3.000 anos a geração de energia a partir do vento é utilizada pela humanidade, inicialmente aplicada em moinhos de vento para moer grãos e bombear água. Salino (2011 *apud* CEPEL, 2008), destaca que:

Apesar do primeiro registro histórico de utilização de energia eólica para moagem de grão e bombeamento d'água ser proveniente da Pérsia, por volta de 200 a.C, acredita-se que outras civilizações antigas como a China e o

Império Babilônico já utilizavam esta tecnologia de maneira mais rústica. Após as Cruzadas, os moinhos de vento foram levados e amplamente utilizados por toda a Europa (Salino, 2011 *apud* CEPEL, 2008).

Ao longo dos anos, seu uso se expandiu na Europa, especialmente na Holanda, onde eram aplicados na drenagem de terras. Entretanto, com o advento da Revolução Industrial, no século XIX, e a criação da máquina à vapor, os moinhos de vento entraram gradualmente em desuso.

Segundo Fadigas (2011),

No século 17 a Holanda foi o país da Europa onde os moinhos de vento tiveram uma importância maior. Além da moagem dos grãos, a drenagem de terras foi a segunda aplicação mais importante dos moinhos, tendo em vista que parte das terras holandesas ficavam abaixo do nível do mar. Comparado a outros países europeus, a Holanda teve, durante os séculos 16 e 17, a sua época de ouro: sua economia esteve fortemente aquecida em função da distribuição de grãos, óleos vegetais e outros alimentos importados que eram beneficiados pelo emprego dos moinhos de vento em larga escala (Fadigas, 2011).

Após o desenvolvimento da geração de energia elétrica, em 1888, Charles F. Brush desenvolveu o primeiro cata-vento destinado à geração de energia elétrica nos Estados Unidos. Era um aerogerador que fornecia 12kW em corrente contínua para carregar baterias, utilizadas, principalmente, como fonte para lâmpadas incandescentes.

Na década de 1970, a crise do petróleo impulsionou a busca por fontes alternativas, aumentando os investimentos em energia eólica. Essa mudança foi motivada por estratégias adotadas pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), por recomendação da Agência Internacional de Energia (IEA), visando à substituição do petróleo oriundo da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) por outras fontes de energia. Os sucessivos choques do petróleo não apenas incentivaram o desenvolvimento de tecnologias eólicas em países como Estados Unidos, Alemanha e Suécia, mas também resultaram em importantes avanços, como o início da produção de turbinas modernas na Dinamarca na década de 1980 e a construção do primeiro parque eólico *offshore* em 1991.

No entanto, com a estabilização do preço do petróleo na década de 1980 e o fim de incentivos fiscais às energias renováveis, o ritmo de crescimento da energia

eólica foi reduzido. Esse cenário mudou no final da década de 1990, quando o setor voltou a crescer expressivamente, alcançando taxas de 15% em 1998 e 38% em 1999. Em 2003, havia mais de 30 mil turbinas em operação no mundo, com a expectativa de que a energia eólica pudesse suprir de 5% a 15% das demandas de eletricidade nos Estados Unidos até 2020 (Fadigas, 2011).

2.2 TRAJETÓRIA DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

O desenvolvimento da energia eólica no Brasil teve início efetivo na década de 1990, quando o país começou a acompanhar a tendência internacional de diversificação da matriz elétrica. A primeira turbina eólica foi instalada em 1992 no arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. Dois anos depois, em 1994, foi inaugurada a Central Experimental do Morro do Camelinho, em Gouveia (MG), com potência de 1.000 kW, tornando-se a primeira usina eólica interligada ao Sistema Elétrico Nacional (Silva; Vieira, 2016).

Em 1999, o país deu mais um passo importante com a inauguração do primeiro parque eólico em escala comercial em São Gonçalo do Amarante, no Ceará. O parque contava com dez aerogeradores de 44 metros de altura e capacidade unitária de 500 kW (Silva; Vieira, 2016). Apesar desses avanços, o crescimento inicial da energia eólica no Brasil foi modesto, devido aos altos custos tecnológicos e à ausência de políticas públicas eficazes.

A crise energética de 2001 foi um marco que evidenciou a vulnerabilidade da matriz elétrica brasileira, fortemente dependente da geração hidrelétrica. Como resposta, foi lançado o Programa Emergencial de Energia Eólica (Proeólica), com a meta de instalar 1.050 MW até 2003. No entanto, os resultados foram limitados e o programa acabou sendo substituído pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), instituído pela Lei nº 10.438/2002 (Ferreira *et al.*, 2014).

O PROINFA representou um ponto de inflexão ao promover o desenvolvimento de fontes alternativas no país, com a previsão inicial de contratar 3.300 MW de energia proveniente de usinas eólicas, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e biomassa. Além de fomentar a diversificação da matriz elétrica, o programa impulsionou a indústria nacional de equipamentos eólicos, uma vez que exigia um conteúdo mínimo de nacionalização para acesso ao financiamento público (Ferreira *et al.*, 2014).

Em 2003, a participação da energia eólica na matriz brasileira ainda era tímida, com apenas seis parques em operação, somando 22 MW de capacidade instalada, sendo os principais os parques de Taíba e Prainha, no estado do Ceará (Silva; Vieira, 2016). A partir de 2009, no entanto, com a realização do primeiro leilão exclusivo para fonte eólica, o setor passou a crescer de forma acelerada. A capacidade instalada passou de 0,9 GW em 2010 para 6 GW em 2014, 15,4 GW em 2019 e atingiu 25,6 GW em 2022 (Pinto; Santos, 2019).

Esse avanço está diretamente relacionado a uma combinação de fatores: os incentivos governamentais implementados a partir da década de 2000, os avanços tecnológicos no setor, a ampliação do mercado nacional de fabricantes e o elevado potencial eólico brasileiro, sobretudo na região Nordeste, que apresenta ventos constantes e estáveis (Simas; Pacca, 2013).

Como destaca Cunha *et al.* (2024), a energia eólica no Brasil está fortemente alinhada com os princípios do desenvolvimento sustentável, promovendo a redução da dependência de combustíveis fósseis e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, o setor tem fortalecido a economia nacional, ao gerar empregos, atrair investimentos e promover maior segurança energética. Nesse sentido, a energia eólica se consolida não apenas como uma fonte relevante para atender à crescente demanda energética, mas também como instrumento estratégico na construção de um futuro mais sustentável e justo para o país.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nos últimos 30 anos houve uma grande evolução nas tecnologias para a geração eólica. As turbinas eólicas evoluíram de algumas dezenas de quilowatts até a casa dos megawatts atualmente. Este capítulo tem como objetivo apresentar seus princípios de funcionamento, os elementos e evolução de um aerogerador, suas funções, os tipos de instalações e seus impactos ambientais e socioeconômicos.

3.1. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

A força motriz da geração eólica são os ventos, fruto dos fenômenos físico-químicos da atmosfera que acontecem de forma espontânea. É obtida através da conversão da energia cinética dos deslocamentos de ar em energia elétrica. Esse processo é viabilizado pelas turbinas eólicas que capturam parte da energia do vento

que passa pela área varrida por suas pás (Tavares, 2016). Quando o vento movimentava as pás, o rotor transmite esse movimento ao eixo, que, por sua vez, aciona um gerador elétrico. Assim, a energia mecânica do vento é convertida em eletricidade. De acordo com Tavares (2016), a potência elétrica gerada por uma turbina eólica pode ser expressa pela seguinte equação:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A_r \times v^3 \times C_p \times \eta \quad (1)$$

Onde ρ é a densidade do ar, A_r é o diâmetro do rotor, v é a velocidade do vento, C_p é o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor e η é a eficiência do conjunto gerador transmissão. Com base na equação, percebe-se que a potência gerada é proporcional ao cubo da velocidade do vento, evidenciando a importância da escolha de locais com ventos fortes e constantes para a instalação de parques eólicos.

3.2 CARACTERÍSTICAS DO VENTO

A fim de compreender seu funcionamento, é necessário conhecer a origem de sua força motriz: o vento. Ferreira (2011), destaca que:

A energia eólica provém da radiação solar, uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre. As regiões tropicais, sendo as mais próximas do sol, são mais aquecidas que as regiões polares. Consequentemente, o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir, sendo substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares. O deslocamento de massas de ar determina a formação dos ventos. (Ferreira, 2011).

Para a geração de energia elétrica a partir do vento, é fundamental localizar e avaliar um local apropriado para a instalação de uma usina eólica. Essa avaliação baseia-se em medições de vento realizadas por anemômetro (equipamento responsável pela medição da velocidade de um fluido). Normalmente, o período mínimo necessário para determinar o potencial eólico de uma área é de cerca de três anos.

Devido à inclinação do eixo terrestre em relação ao plano da órbita solar, a Terra apresenta variações sazonais na intensidade e duração dos ventos,

influenciadas pela distribuição desigual da radiação solar. Essas variações classificam os ventos em diferentes categorias: monções, brisas, ciclones, tufões, tornados, furacões, vendavais e *willy-willy*. As monções correspondem a ventos periódicos que mudam de direção conforme as estações do ano, enquanto as brisas, ventos de baixa intensidade geralmente abaixo de 50 km/h, ocorrem com frequência diária, alternando entre o dia e a noite (Ferreira, 2011).

As previsões de ventos de longo prazo, como as monções, são relativamente seguras devido à lenta variação das condições atmosféricas. No entanto, ventos de curto prazo, como as brisas, apresentam maior variação de intensidade em períodos breves e, por isso, são previsíveis apenas com poucos dias de antecedência. A turbulência atmosférica, por sua vez, ocorre em intervalos de segundos a minutos, representando flutuações abruptas na intensidade e direção do vento (Ferreira, 2011).

De acordo com Ferreira (2011), o comportamento do vento pode ser representado em diferentes escalas energéticas: a zona macrometeorológica, que abrange movimentos de grandes massas de ar e ocorre em períodos de dias; a zona micrometeorológica, relacionada à turbulência atmosférica em intervalos de segundos a minutos; e a zona de vazio espectral, caracterizada por baixa energia e ocorrendo entre alguns minutos e algumas horas.

Para caracterizar o regime de ventos de um local, são necessários registros prolongados, geralmente de três anos, para determinar a frequência de velocidades específicas, utilizando a distribuição de Weibull⁵ para representar estatisticamente esses dados. Essa função, que depende de dois parâmetros principais (k , adimensional, e c , fator de escala em m/s), ajusta a distribuição teórica à frequência observada, permitindo estimativas confiáveis para aproveitamento energético (Ferreira, 2011).

Em termos locais, fatores como rugosidade do solo, Z_0 , e presença de obstáculos desempenham um papel crucial na intensidade e direção dos ventos. A rugosidade do solo varia conforme o tipo de terreno, indo de valores baixos em mares calmos a altos em áreas urbanizadas. Locais com menor rugosidade, como áreas marítimas, favorecem ventos mais constantes, sendo ideais para instalações *offshore*.

⁵ A distribuição de Weibull é uma distribuição de probabilidade contínua flexível, amplamente utilizada em análise de confiabilidade e em outras áreas, como modelagem de tempos de falha e velocidade do vento.

Por outro lado, áreas urbanas ou florestas densas geram maior turbulência, dificultando a eficiência de sistemas eólicos terrestres. Para mitigar esses efeitos, turbinas eólicas são frequentemente instaladas em torres altas, aproveitando ventos mais constantes em altitudes superiores, seguindo a lei logarítmica de Prandtl⁶ (Ferreira, 2011). A Tabela 1 abaixo apresenta os valores típicos de rugosidade para diferentes tipos de terrenos.

Tabela 1 – Valores relativos à rugosidade de diversos tipos de terrenos

Tipo de terreno	Z_0 (m) min	Z_0 (m) max
Lama/gelo	10^{-5}	$3 \cdot 10^{-5}$
Mar calmo	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Areia	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}
Neve	10^{-3}	$6 \cdot 10^{-3}$
Campo de cereais	10^{-3}	10^{-2}
Relva baixa	10^{-2}	$4 \cdot 10^{-2}$
Descampados	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Relva alta	$4 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}
Floresta	10^{-1}	$3 \cdot 10^{-1}$
Terreno com árvores	10^{-1}	1
Povoação dos subúrbios	1	2
Centro da cidade	1	4

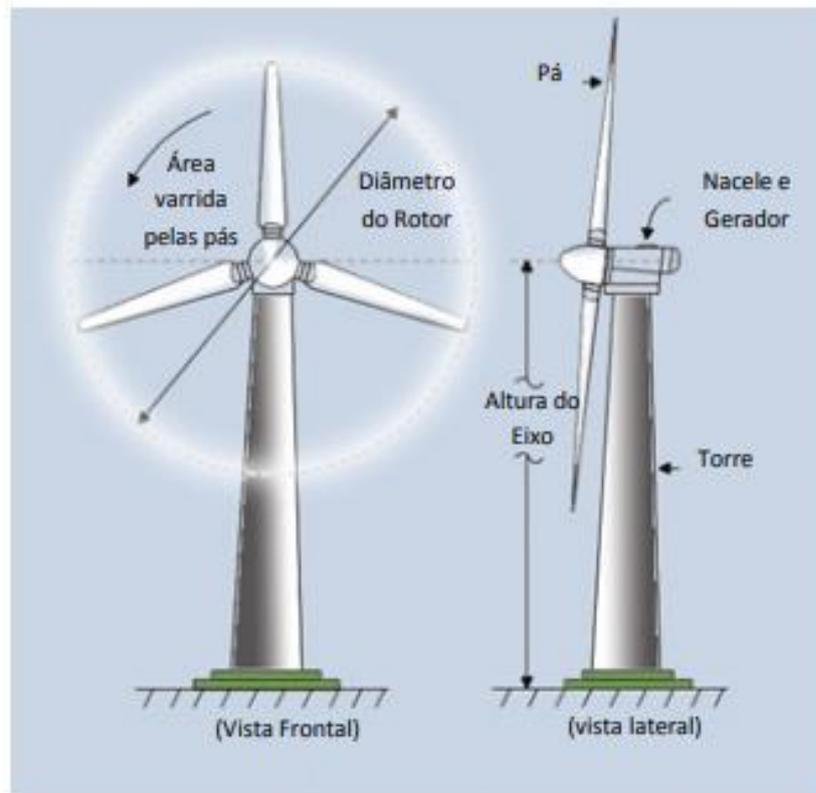
Fonte: Ferreira (2011)⁷

3.3 COMPONENTES DE UM AEROGERADOR

Representado pela Figura 1, uma turbina eólica é composta por três partes principais: torre, nacele e rotor/pás:

⁶ Lei empírica que descreve a distribuição da velocidade média de um fluxo turbulento próximo a uma parede sólida.

⁷ Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61482/1/000148786.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

FIGURA 1 – Esquema de uma turbina eólica

Fonte: Salino (2011)⁸

A torre é a estrutura de sustentação que posiciona os rotores a uma altura adequada, podendo ultrapassar 100 metros. Esse posicionamento elevado é essencial para aproveitar os ventos mais fortes e constantes em maiores altitudes. Com o aumento do peso dos componentes do aerogerador e a necessidade de maior altura, as torres são construídas, em geral, de metal tubular ou concreto, podendo ser reforçadas com cabos tensores.

O nacelle é o compartimento montado no topo da torre e abriga os principais componentes mecânicos e elétricos do aerogerador: o eixo de baixa velocidade, a caixa de engrenagens, o gerador elétrico, os motores de alinhamento, o anemômetro e o sensor de direção. Ele é protegido por uma carcaça que o isola de intempéries, contribuindo para a durabilidade e o funcionamento seguro do equipamento. Essa

⁸ Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7444/1/monopoli10001705.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

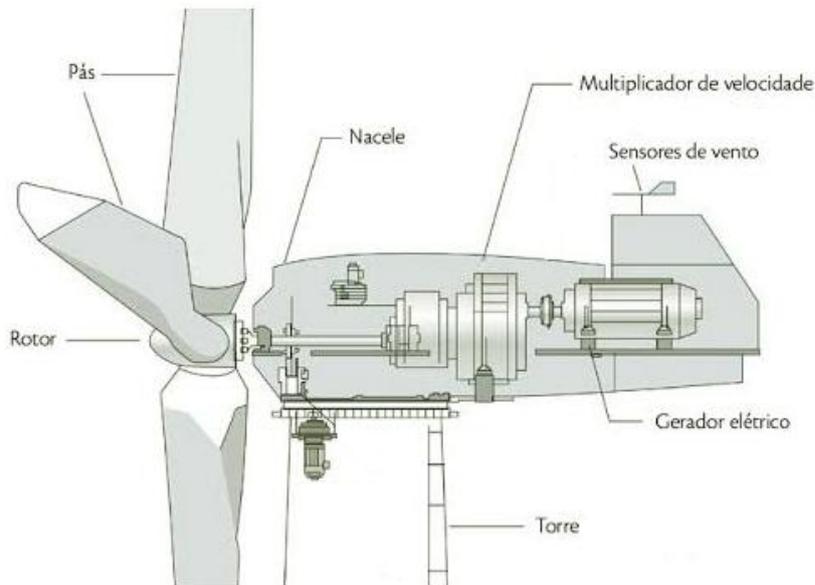
estrutura integrada assegura que os sistemas operem de forma harmônica e eficiente, mesmo sob condições climáticas adversas.

O anemômetro e o sensor de direção, instalados sobre o nacele, fazem as medições da velocidade do vento no local, sua direção e enviam as informações para o sistema de controle.

O eixo de baixa velocidade conecta as pás do rotor ao sistema de transmissão, operando com velocidades de rotação entre 7 e 12 RPM, o que é insuficiente para a geração direta de energia. O torque gerado por esse eixo depende do tamanho das pás e da velocidade de rotação nominal. Para converter o alto torque e baixa velocidade em alta velocidade e menor torque, é utilizada uma caixa de engrenagens. A caixa de engrenagens eleva a velocidade do eixo de alta velocidade, que se conecta ao gerador elétrico, alcançando rotações superiores a 1500 RPM. O gerador elétrico é o responsável por converter o movimento rotacional do eixo em eletricidade. Por fim, motores de alinhamento ajustam o posicionamento do rotor à direção predominante do vento, otimizando a captação de energia cinética e maximizando a eficiência energética do sistema.

O rotor e as pás são responsáveis por capturar a energia cinética do vento e transformá-la em energia mecânica. As pás, normalmente feitas de plástico reforçado com fibra de vidro, interagem diretamente com o vento e sua quantidade é determinada pela eficiência energética e viabilidade econômica: o uso de três pás é o mais comum, pois equilibra captura de energia, peso e custo. Elas podem ser dispostas de duas formas em relação ao vento: montante, onde o vento incide na parte frontal das pás, proporcionando menor interferência da torre, ou jusante, onde o vento as atinge após passar pela torre, o que facilita o alinhamento automático do rotor, embora o escoamento seja levemente perturbado.

A Figura 2 abaixo apresenta um esquema simplificado dos componentes de uma turbina eólica.

FIGURA 2 – Componentes de uma turbina eólica


Fonte: Windbox, 2020.⁹

Após a conversão inicial, a energia gerada pela turbina é enviada a um transformador, que aumenta a tensão até os níveis adequados para o sistema coletor. Esse sistema leva a eletricidade produzida pelas turbinas do parque eólico até a subestação, onde a energia é integrada à rede elétrica.

3.4 TIPOS DE INSTALAÇÕES

Os tipos de instalações dos parques eólicos podem ser classificados como *onshore* e *offshore*, em ambiente terrestre ou no mar respectivamente. Essas formas podem ter subdivisões e classificações de acordo com sua capacidade de produção e objetivo de distribuição.

Segundo Silva e Vieira (2016),

Em ambas as formas de instalação, o princípio de funcionamento é semelhante, ou seja, em uma explicação simplificada, pás são movimentadas através da força do vento. Essas pás são ligadas a um eixo central que gera um campo magnético em local específico da estrutura, que, em seguida, é modificado em energia elétrica. A energia elétrica produzida é direcionada a uma subestação nas proximidades para, então, ser transmitida a um sistema maior ou para simples uso em determinada localidade, como em municípios

⁹ Disponível em: <https://windbox.com.br/blog/componentes-dos-aerogeradores/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

remotos de difícil instalação de rede mais complexa ou de difícil acesso para alcance da rede nacional (Silva; Vieira, 2016).

Portanto, existem, ao menos, duas subclassificações da distribuição de energia gerada: a *Ongrid* e a *Offgrid*. A distribuição *Ongrid* é caracterizada por ser conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) e é mais comum no Brasil. Já a *Offgrid*, refere-se à energia gerada e consumida em uma determinada área, ou que é produzida sem conexão com o SIN. Essa forma de distribuição não é muito comum no Brasil, mas pode ser utilizada para abastecer pequenas localidades afastadas dos grandes centros de consumo, como a região amazônica e o arquipélago de Fernando de Noronha que se dependessem da energia do SIN, teriam custos extremamente altos, tornando inviável sua utilização.

A produção de energia por meio eólico é fundamental nesse tipo de distribuição, pois a construção de outras formas de produção nessas localidades tornar-se-ia inviável pelo custo ou por não ser possível a geração por outras fontes (Silva; Vieira, 2016).

Ainda, segundo Silva e Vieira (2016), no caso amazônico, por exemplo, a construção de hidrelétricas, ainda que sejam PCHs, não é possível por pelo menos dois motivos. O primeiro diz respeito à dificuldade de acesso para a chegada de materiais essenciais a esse tipo de produção energética. Já o segundo aspecto diz respeito ao próprio relevo da região, que não propicia a formação de quedas-d'água substanciais à construção das usinas, que, quando são construídas contrariando esse aspecto, apresentam um imenso dano ambiental devido, principalmente, à potencialização da área alagada. Assim, uma das alternativas mais viáveis é a produção de energia na forma eólica.

Além disso, no arquipélago de Fernando de Noronha, a construção de usinas tomada por base inspiradora à matriz energética brasileira, também é inviável, tendo em vista que se trata de ilhas e que, apesar de a produção de energia por base hidrelétrica não exigir que a água seja doce, a deterioração do maquinário aumenta consideravelmente em contato com a água do mar. Sendo superado esse problema, surge a questão do relevo e da hidrografia local que também tornam inviáveis a utilização de outros meios de produção. Sob esse prisma, fontes de energias

renováveis como a solar e, sobretudo, a eólica, passam a ser preponderantes para a produção e distribuição de energia no arquipélago (Silva; Vieira, 2016).

3.4.1 Instalações *Onshore*

De acordo com Silva e Vieira (2016), a tecnologia *onshore* tem sido a mais utilizada no Brasil devido ao seu custo mais baixo de instalação em comparação à tecnologia *offshore*. No entanto, ela apresenta menor capacidade de produção, uma vez que depende diretamente da variação dos ventos. Conforme Amarante (2010), as turbinas eólicas *onshore* podem ter uma altura variável entre 30 e 150 metros, com diâmetros de rotação entre 40 e 126 metros (Figura 3).

FIGURA 3 – Maior parque eólico da América do Sul, o complexo Lagoa dos Ventos, no Piauí



Fonte: Silva (2023)¹⁰

3.4.2 Instalações *Offshore*

A tecnologia *offshore* é caracterizada pela instalação de turbinas em regiões marítimas, geralmente a uma distância mínima de 20 km da costa. Esse modelo apresenta desafios específicos, como o elevado custo de instalação e manutenção, necessidade de transporte complexo, e a dificuldade de implementar cabos submarinos para conectar as turbinas à costa. Outros obstáculos incluem a corrosão

¹⁰ Disponível em: <https://revistaprincipios.emnuvens.com.br/principios/article/view/274/156>. Acesso em: 10 jun. 2025.

e deterioração dos materiais devido ao contato constante com água salgada e condições climáticas adversas (Silva; Vieira, 2016).

Apesar das dificuldades, a tecnologia *offshore* oferece vantagens significativas, como a possibilidade de utilizar turbinas com diâmetro do rotor maiores, que irão gerar mais energia devido a maior área varrida pelas pás. Além disso, a localização em alto-mar reduz os conflitos de uso do solo e os impactos visuais que são mais evidentes em instalações *onshore* (Figura 4).

FIGURA 4 – Instalação de aerogerador *offshore*



Fonte: Global Wind Energy Council (2025)¹¹

3.4.3 Evolução dos aerogeradores

Conforme dados extraídos do Global Wind Report 2025, publicado pelo Global Wind Energy Council (GWEC), os aerogeradores *onshore* e *offshore* apresentaram uma grande evolução tanto em dimensões quanto em capacidade de geração. Em 1980 uma turbina eólica *onshore* podia chegar a 25,5m de altura com um diâmetro do

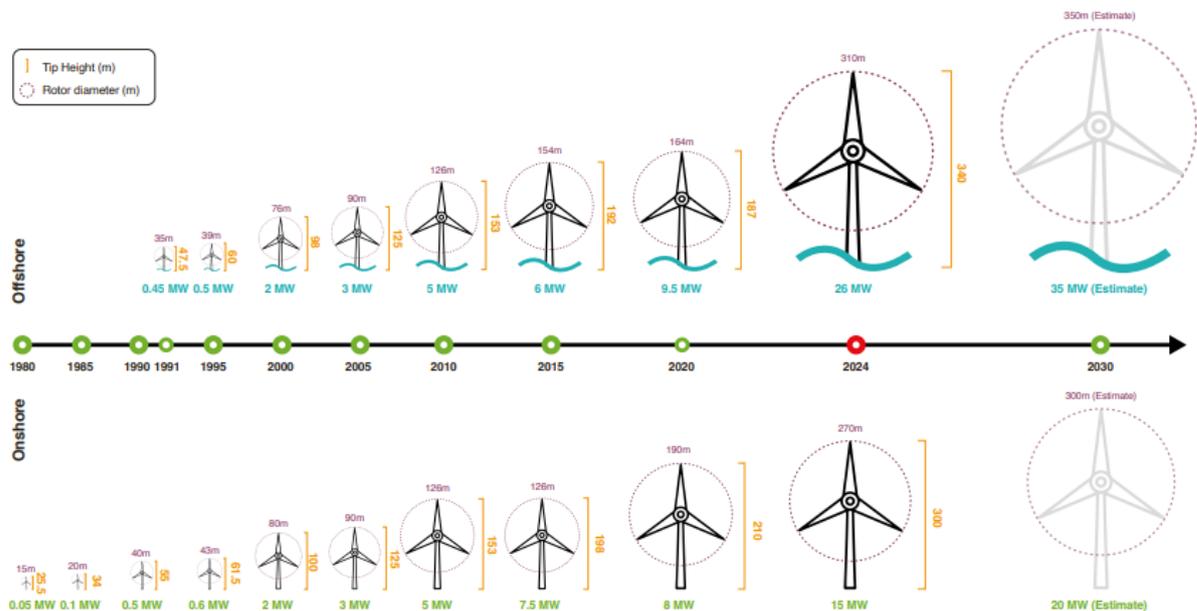
¹¹ Disponível em: <https://www.gwec.net/reports/globalwindreport#Download>. Acesso em: 10 jun. 2025.

rotor de 15m e capacidade de geração de 0,05 MW. Atualmente, um aerogerador *onshore* de 2024, pode chegar a 300m de altura, 270m de diâmetro do rotor e uma potência de 15 MW.

Na geração *offshore* o avanço tecnológico é ainda mais surpreendente se observada em escala recente. Em 2020 um aerogerador *offshore* poderia ter 187m de altura, 164m de diâmetro do rotor e capacidade de geração de 9,5 MW, enquanto suas dimensões em 2024 quase dobraram, chegando a 340m de altura e 310m de diâmetro do rotor, e houve um aumento de quase 3 vezes na capacidade de geração, 26 MW.

Com o avanço da tecnologia, estima-se que os aerogeradores *offshore* terão 350m de diâmetro do rotor e capacidade de 35 MW. Já os *onshore* chegarão a 300m de diâmetro do rotor e capacidade de 20 MW (Figura 5).

FIGURA 5 – Tamanhos dos aerogeradores *onshore* e *offshore*, 1980 - 2030



Source: GWEC Market Intelligence.

Fonte: Global Wind Energy Council (2025)¹²

3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS

Entre os principais impactos ambientais destaca-se o efeito sobre a avifauna, especialmente aves e morcegos. O risco de colisões com as pás dos aerogeradores,

¹² Disponível em: <https://www.gwec.net/reports/globalwindreport#Download>. Acesso em: 10 jun. 2025.

associado à alteração de rotas migratórias e perda de habitat, é uma das preocupações mais recorrentes nos estudos de impacto ambiental. Além disso, as mudanças na pressão atmosférica causadas pela movimentação das pás podem levar à morte de morcegos por barotrauma ¹³(Simas; Pacca, 2013).

Outro aspecto ambiental importante é a emissão de ruídos, que se origina tanto do movimento aerodinâmico das pás quanto de componentes mecânicos no interior do nacele, como a caixa de engrenagens. Apesar dos avanços tecnológicos, que vêm reduzindo significativamente os níveis de ruído, em determinadas condições esses sons podem ser percebidos por comunidades próximas aos parques eólicos (Tavares, 2017).

O impacto visual também é frequentemente citado. Aerogeradores com mais de 100 metros de altura provocam alterações significativas na paisagem, especialmente em áreas de preservação ambiental ou de valor turístico, como dunas litorâneas e zonas costeiras. Essa mudança pode gerar resistência social e conflitos de uso do território (Simas; Pacca, 2013).

Além disso, a instalação dos parques eólicos em ecossistemas frágeis, como a Caatinga ou áreas de dunas móveis no Nordeste brasileiro, pode causar fragmentação de habitats, alterações no lençol freático e degradação da vegetação nativa. Esses impactos decorrem tanto da supressão vegetal quanto da abertura de acessos e da compactação do solo. Em função disso, estudos sugerem a adoção de um zoneamento ecológico-econômico para orientar a expansão eólica no país de forma sustentável (INESC, 2021, *apud* Simas; Pacca, 2013).

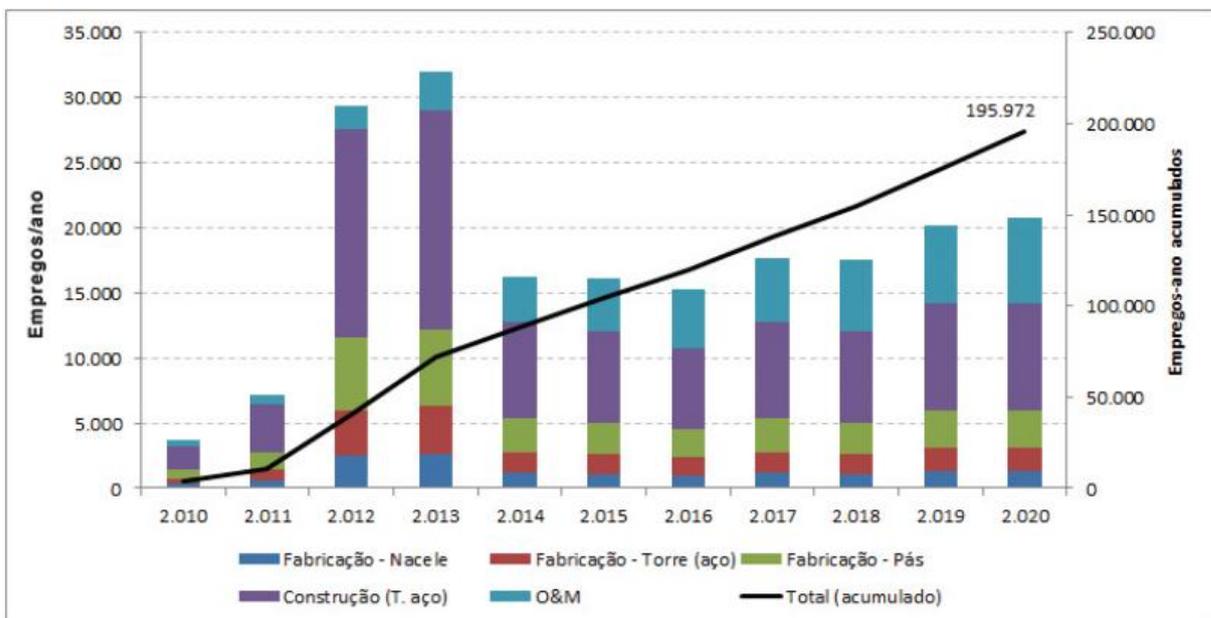
Embora seja considerada uma energia limpa e renovável, a energia eólica não é isenta de impactos ambientais e, por mais que sejam menores em comparação a outras fontes, devem ser devidamente avaliados e mitigados durante todas as fases do projeto evitando que o avanço tecnológico ocorra à custa de desequilíbrios ambientais.

¹³ Hemorragia interna nos pulmões causada por mudanças de pressão repentinas em torno das turbinas.

3.6 IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS

A expansão da energia eólica no Brasil tem promovido efeitos relevantes no campo socioeconômico, especialmente em áreas rurais e menos desenvolvidas. Entre os principais benefícios está a geração de empregos diretos e indiretos. Segundo Simas e Pacca (2013), estima-se que a energia eólica pode ter gerado 195 mil empregos-ano acumulados entre 2010 e 2020 no Brasil, com destaque para os postos relacionados à fase de instalação (Figura 6).

FIGURA 6 – Empregos-ano acumulados entre 2010 e 2020



Fonte: Simas e Pacca (2013)¹⁴.

Além dos empregos diretos no local, porém, há outros benefícios percebidos pelos moradores locais e pelos empreendedores. Mais visível é o benefício dos proprietários das terras onde está instalado o parque eólico. Os proprietários, no geral, não são desalojados de suas terras, mas ao contrário, assinam contratos de locação com os investidores em energia eólica. Os contratos começam a valer a partir da instalação de torres anemométricas no local, o que pode durar até três anos para a elaboração do projeto e certificação das medições e das estimativas de geração de energia. Durante esse período, os proprietários recebem uma renda mensal ou anual pelo arrendamento da terra, e podem continuar exercendo suas atividades econômicas. Como os parques eólicos estão comumente localizados em áreas rurais, essas atividades geralmente são de agricultura e/ou pecuária. A obtenção dessa renda extra permite o investimento em melhorias na produção e infraestrutura da

¹⁴ Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/RTVwH7KyhtcgdPMGvDrCC3G/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2025.

propriedade e maior facilidade para obtenção de créditos. Durante a construção, devido à movimentação de máquinas e às obras civis, boa parte da área ocupada pelo parque eólico inviabiliza a continuidade das atividades econômicas. Porém, após o período de construção, que dura geralmente até 18 meses, a maior parte das áreas pode ser novamente ocupada com as atividades dos proprietários. Foram verificadas em parques eólicos em operação nas regiões Nordeste e Sul atividades de pecuária, produção comercial de pinus, piscicultura, rizicultura e produção de cocos (Simas e Pacca, 2013, p. 110)

Além disso, a instalação de parques eólicos tem contribuído para o fortalecimento da economia local, promovendo investimentos em infraestrutura, transporte, comércio e prestação de serviços, e incentivando a permanência da população em áreas rurais (Simas; Pacca, 2013).

A energia eólica também desempenha um papel estratégico na eletrificação de áreas remotas. Como destacam Silva e Vieira (2016), a implantação de parques eólicos em regiões isoladas pode representar uma oportunidade concreta de universalização do acesso à eletricidade, especialmente em locais de difícil acesso para a rede nacional como a região amazônica e no arquipélago de Fernando de Noronha.

A construção de parques eólicos demanda grande quantidade de água, devido ao alto consumo de concreto. Em regiões semiáridas, como é o caso do interior do Nordeste, os poços abertos para a construção podem ser deixados para consumo pela população local. É o caso do Parque Eólico Morro dos Ventos, em João Câmara, onde o poço aberto pela empresa e utilizado para a construção será deixado para utilização da comunidade local, a ser administrado pela prefeitura. As melhores práticas na construção de parques, como essa, são inovadoras do ponto de vista de relacionamento com a comunidade e estão ganhando cada vez mais espaço entre os empreendedores, tornando-se uma atividade com potencial para o desenvolvimento local (Simas; Pacca, 2013, p. 111).

Por fim, a sustentabilidade dos benefícios socioeconômicos da energia eólica depende diretamente de políticas públicas que assegurem a qualificação profissional da população local, promovam a distribuição equitativa dos ganhos econômicos e garantam a participação ativa das comunidades nos processos de licenciamento e gestão dos projetos. Como alertam Simas e Pacca (2013), é essencial que os ganhos da expansão eólica sejam socializados, e não concentrados.

4 CENÁRIO ATUAL DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Nas últimas décadas, a energia eólica consolidou-se como uma das principais fontes de geração elétrica no Brasil, desempenhando um papel estratégico na diversificação da matriz energética nacional. O avanço tecnológico, aliado à abundância de recursos naturais favoráveis, sobretudo nas regiões Nordeste e Sul, impulsionou a rápida expansão dessa fonte renovável no país. Esta seção apresenta um panorama detalhado da energia eólica no Brasil, abordando sua distribuição regional, capacidade instalada, desempenho operacional, competitividade econômica e as perspectivas de expansão, incluindo o emergente setor *offshore*. Além disso, são discutidos os principais desafios que ainda limitam seu pleno aproveitamento, especialmente no que tange à infraestrutura, regulação e desenvolvimento sustentável.

4.1 DISTRIBUIÇÃO REGIONAL E CAPACIDADE INSTALADA NO BRASIL

De acordo com os dados da ANEEL, em 2025 a geração eólica corresponde a 15,82% da matriz energética brasileira, com 1650 centrais geradoras e um total de 33,6 GW de potência instalada (Tabela 2). Hoje ela corresponde a terceira maior fonte de energia do país, sendo superada pelas gerações das hidrelétricas e termelétricas.

TABELA 2 – Matriz energética brasileira 2025

Fonte	Potência Fiscalizada (GW)	Quantidade	% (Pot. Fiscalizada)
USINA HIDRELÉTRICA	103,19	219	48,57%
USINA TERMELÉTRICA	49,00	3092	23,06%
CENTRAL GERADORA EÓLICA	33,60	1650	15,82%
CENTRAL GERADORA SOLAR FOTOVOLTAICA	17,88	21349	8,42%
PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA	5,92	506	2,79%
USINA TERMONUCLEAR	1,99	3	0,94%
CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA	0,88	696	0,42%
TOTAL	212,46	27.515,00	100%

Fonte: Elaboração própria segundo dados da ANEEL, 2025.¹⁵

¹⁵ Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoieNGE3NjVmYjAtNDZkZC00MDY4LTIiNTItMTVhZTU0NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjY0NDZkZmI0MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 10 jun. 2025.

TABELA 4 – Potência instalada de centrais geradoras eólicas por Estados

ESTADO	REGIÃO	Potência Fiscalizada (GW)	Quantidade	%
BAHIA	NORDESTE	11,23810064	584	33,440%
RIO GRANDE DO NORTE	NORDESTE	10,10503600	376	30,070%
PIAUI	NORDESTE	4,39635000	168	13,080%
CEARÁ	NORDESTE	2,64984000	170	7,890%
RIO GRANDE DO SUL	SUL	2,10049198	139	6,250%
PERNAMBUCO	NORDESTE	1,26506500	59	3,760%
PARAÍBA	NORDESTE	1,10824000	104	3,300%
MARANHÃO	NORDESTE	0,42602250	19	1,270%
SANTA CATARINA	SUL	0,25059950	18	0,750%
SERGIPE	NORDESTE	0,03450000	1	0,100%
RIO DE JANEIRO	SUDESTE	0,02805000	1	0,080%
PARANÁ	SUL	0,00250000	1	0,010%
MINAS GERAIS	SUDESTE	0,00015600	9	0,000%
SÃO PAULO	SUDESTE	0,00000224	1	0,000%

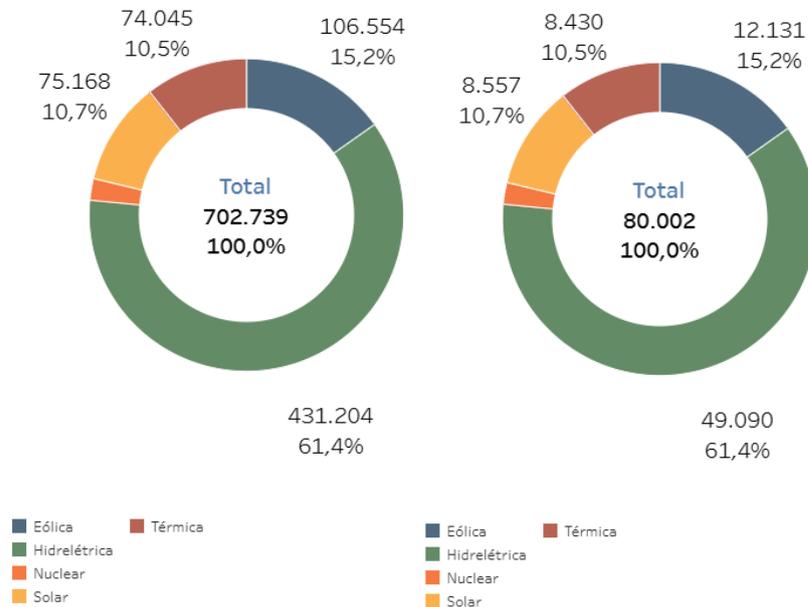
Fonte: Elaboração própria segundo dados da ANEEL, 2025.¹⁷

4.2 DESEMPENHO DA GERAÇÃO EÓLICA NO BRASIL

Segundo dados do ONS, foram gerados 106554 GWh a partir da energia dos ventos ao longo de 2024, equivalente a 15,2% da geração no ano. A geração média em 2024 (Figura 7) foi de 12131 MWmed (energia média no intervalo de tempo considerado), atingindo sua máxima de 15981,14 MWmed em setembro, e sua mínima de 6902,21 MWmed em março.

¹⁷ Disponível em:

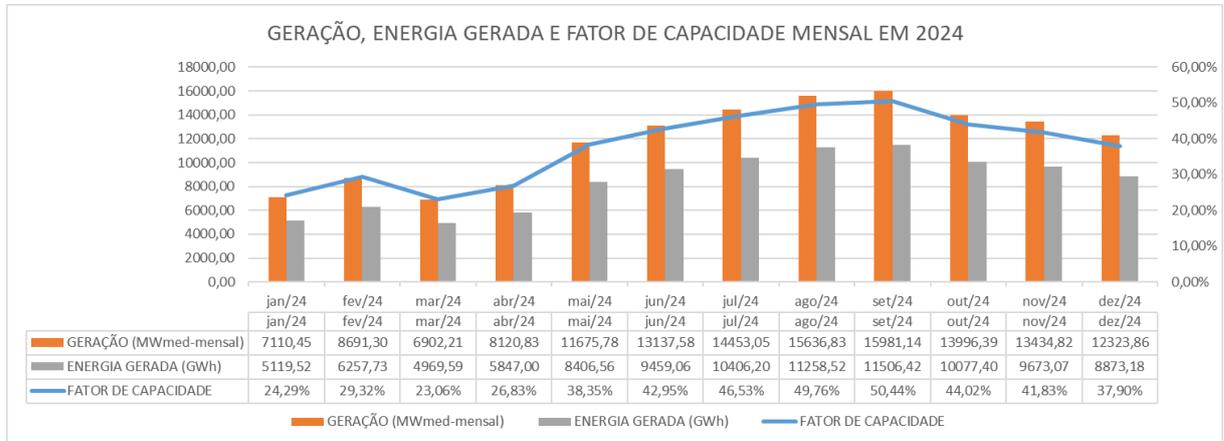
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNGE3NjVmYjAtNDZkZC00MDY4LTliNTItMTVkZTU4NWYzYzFmliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYtctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 10 jun. 2025.

FIGURA 7 – Geração em GWh na esquerda e em MWmed na direita – 2024

 Fonte: ONS, 2024¹⁸

Um indicador importante para análises de geração é o fator de capacidade eólica que relaciona a capacidade instalada e a geração efetiva da usina em um intervalo de tempo. Em outras palavras, ele representa o nível de aproveitamento da capacidade instalada, variando entre 0% a 100%, sendo útil para avaliar o desempenho e rentabilidade de um parque eólico. O fator de capacidade é influenciado pela qualidade dos ventos, tipo de aerogerador utilizado e as condições de operação da usina. Seu valor médio em 2024 foi de 37,94%, onde atingiu seu máximo valor médio mensal em setembro, com 50,44%, e mínimo em março, com 23,06%.

O gráfico, na Figura 8, ilustra a geração média mensal em MWmed, a energia gerada em GWh e os fatores de capacidade em 2024.

¹⁸ Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados-gerais>. Acesso em: 10 jun. 2025.

FIGURA 8 – Geração, energia gerada e fator de capacidade mensal em 2024

Fonte: Elaboração própria segundo dados da ONS, 2024.¹⁹

A tabela 5, retirada da ONS, mostra os recordes de geração da fonte eólica registrados ao longo dos anos no Brasil. Em setembro de 2024, ela foi responsável por atender 20,70% da carga mensal do SIN, com geração de 16646 MWmed. No Nordeste, neste mesmo mês, ela foi suficiente para atender toda a demanda da região e também para exportar essa energia para outras localidades, com uma geração de 15465 MWmed que supriu 117,97% da carga na região.

TABELA 5 – Recordes de Geração Eólica

Fonte	Subsistema	Período	Instante	Recorde de Geração (MWmed)	% da carga atendida pela fonte
Eólica	SIN	Horário	03/11/2024 23:00	23.699	31,44%
		Diário	04/11/2024	18.976	22,89%
		Mensal	Setembro/2024	16.646	20,70%
	Norte	Horário	22/08/2021 08:00	424	7,51%
		Diário	04/09/2021	413	6,70%
		Mensal	Setembro/2024	357	4,20%
	Nordeste	Horário	07/11/2024 01:00	22.145	155,29%
		Diário	22/08/2024	17.697	129,41%
		Mensal	Setembro/2024	15.465	117,97%
Sul	Horário	07/12/2023 10:00	2.011	11,06%	
	Diário	07/09/2021	1.796	16,96%	
	Mensal	Agosto/2024	927	7,12%	

Fonte: ONS, 2024

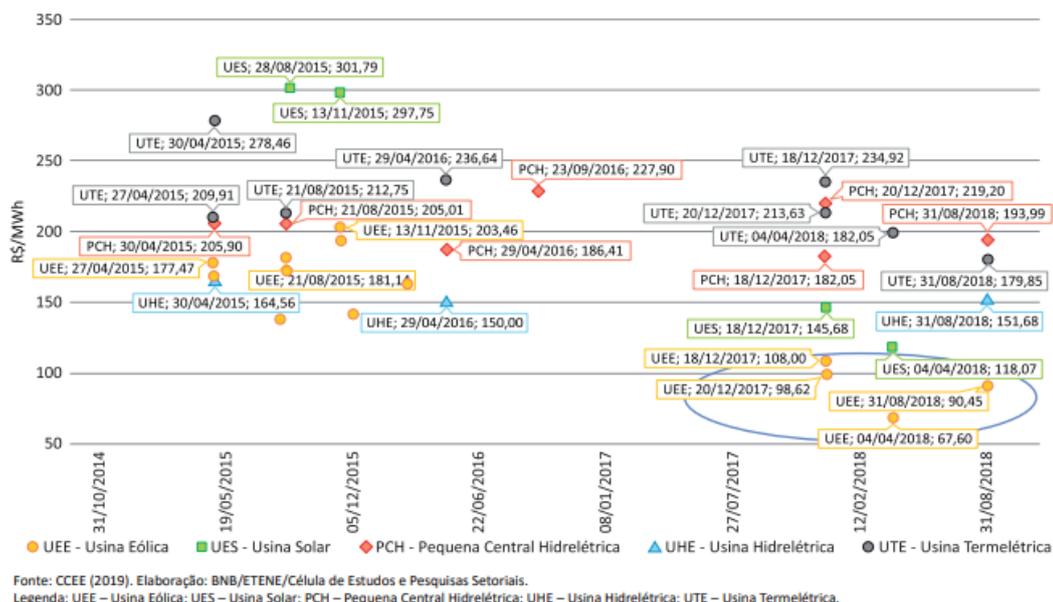
¹⁹ Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados-gerais>. Acesso em: 10 jun. 2025.

4.3 COMPETITIVIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

A energia eólica tem se mostrado cada vez mais competitiva no Brasil em termos econômicos. Desde a implementação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), instituído pela Lei n.º 10.438/2002, os custos dessa fonte energética passaram por um processo contínuo de redução. O programa contratou 1.422,9 MW de energia eólica, ao custo anual de aproximadamente R\$ 786 milhões. O preço médio da energia contratada à época variava entre R\$ 303,97 e R\$ 344,74 por MWh, dependendo do fator de capacidade das usinas (Ferreira *et al.*, 2014).

Com a introdução dos leilões promovidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), a partir de 2009, houve uma forte redução nos preços praticados. No primeiro leilão exclusivo para energia eólica, realizado em dezembro de 2009, o preço médio de venda foi de R\$ 148,39/MWh (Ferreira *et al.*, 2014). Essa tendência de queda se manteve ao longo dos anos seguintes, e em leilões posteriores os preços médios variaram em torno de R\$ 130,86/MWh, tornando a fonte eólica uma das mais econômicas da matriz elétrica brasileira (Figura 9).

FIGURA 9 – Preço médio por fonte de energia obtido nos leilões da ANEEL 2015-2018
 (Valores históricos em R\$/MWh)



Fonte: Bezerra, 2019.²⁰

²⁰ Disponível em: https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1192/1/2019_CDS_66.pdf. Acesso em: 10 jun. 2025.

Essa redução está associada ao desenvolvimento da cadeia produtiva nacional, ao ganho de escala e à melhoria dos fatores de capacidade das usinas brasileiras. Em 2015, por exemplo, o fator de capacidade médio das usinas eólicas brasileiras foi de 38,1%, valor superior à média mundial (Pinto; Santos, 2019). Além disso, os leilões públicos ajudaram a revelar o custo real da geração eólica no país, promovendo uma alocação mais eficiente de recursos e atraindo investidores (Ferreira *et al.*, 2014).

Outro fator relevante foi o papel de instituições de fomento, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, BNDES, que chegou a financiar até 70% dos investimentos nos empreendimentos eólicos no âmbito do PROINFA. Ainda que a exigência de nacionalização de componentes tenha imposto desafios iniciais, esse apoio foi crucial para a expansão do setor (Ferreira *et al.*, 2014).

Atualmente, os custos de implantação de parques eólicos variam conforme tecnologia, logística e características do terreno. No entanto, os valores médios se tornaram altamente competitivos em relação a outras fontes, como as térmicas e até mesmo as hidrelétricas, especialmente quando considerados em análises de ciclo de vida, tornando a energia eólica como uma opção estratégica na diversificação da matriz elétrica brasileira.

4.4 PERSPECTIVAS E DESAFIOS DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

4.4.1 Expansão Em Curso E Projetos Outorgados

De acordo com a ANEEL (2025), encontram-se em construção 60 parques eólicos no Brasil, todos no Nordeste, que acrescentarão 2,243 GW à matriz energética brasileira (Tabela 6).

TABELA 6 – Parques Eólicos em construção por Estados

ESTADO	Potência Outorgada (kW)	Potência Outorgada (GW)	Quantidade
RIO GRANDE DO NORTE	872.900,00	0,8729	19
PARAÍBA	771.900,00	0,7719	27
BAHIA	558.000,00	0,5580	13
CEARÁ	40.500,00	0,0405	1
TOTAL	2.243.300,00	2,2433	60

Fonte: Autor, segundo dados da ANEEL, 2025²¹.

De forma complementar, outras 473 centrais geradoras eólicas receberam concessão, mas ainda não iniciaram suas obras. Quando construídas somarão 19,257 GW à matriz energética brasileira (Tabela 7).

TABELA 7 – Parques Eólicos outorgados que ainda não iniciaram as obras por Estados

ESTADO	Potência Outorgada (kW)	Potência Outorgada (GW)	Quantidade
BAHIA	8.100.600,00	8,1006	202
CEARÁ	2.718.300,00	2,7183	67
RIO GRANDE DO SUL	2.154.420,00	2,1544	55
PIAUI	2.142.400,00	2,1424	42
RIO GRANDE DO NORTE	1.739.600,00	1,7396	48
PARAÍBA	1.534.300,00	1,5343	35
MINAS GERAIS	384.448,00	0,3844	8
PERNAMBUCO	352.800,00	0,3528	13
MARANHÃO	130.200,00	0,1302	3
TOTAL	19.257.068,00	19,2571	473,00

Fonte: Autor, segundo dados da ANEEL, 2025.²²

4.4.2 Potencial E Desafios Da Energia Eólica *Offshore*

O relatório do Banco Mundial (2024) ressalta que o Brasil possui um dos maiores potenciais eólicos *offshore* do mundo, com um potencial técnico de mais de 1200 GW, onde 480 GW de potencial com usinas em fundação fixa em profundidades de até 70m e 748 GW de potencial de fundação flutuante para profundidades superiores a 70m.

²¹ Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNGE3NjVmYjAtNDkZC00MDY4LTliNTItMTVhZTU4NWYzYzFmliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9.> Acesso em: 10 jun. 2025.

²² Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNGE3NjVmYjAtNDkZC00MDY4LTliNTItMTVhZTU4NWYzYzFmliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9.> Acesso em: 10 jun. 2025.

Esses recursos eólicos *offshore* são robustos, consistentes, geograficamente diversificados e localizados em áreas próximas aos centros de demanda: todos esses fatores indicam que, no longo prazo, a energia eólica *offshore* pode ter um papel de destaque na matriz energética brasileira. Contudo, vale lembrar que os primeiros projetos eólicos *offshore* terão um custo de geração mais elevado que os projetos *onshore* e exigirão uma expansão significativa das capacidades nacionais se o Brasil quiser competir com mercados estabelecidos na Europa, ou mesmo com novos mercados no continente americano. (Banco Mundial, 2024, p. 9)

Os recursos eólicos *offshore* mais favoráveis do Brasil estão próximos ao litoral (Figura 10) e tendem a se agrupar em torno de grandes centros populacionais (Banco Mundial, 2024).

FIGURA 10 – Proximidade entre as zonas eólicas *offshore* e a população



Fonte: Banco Mundial (2024)²³.

²³ Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-recebe-estudo-para-o-desenvolvimento-de-eolicas-offshore-no-brasil/ResumoExecutivoCenariosparaoDesenvolvementodeEolicaOffshore.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

Em países desenvolvidos, como Europa e China, a energia eólica *offshore* já se consolidou como uma das fontes de geração mais competitivas em termos de custo por megawatt-hora (MWh). No entanto, para países que estão dando os primeiros passos nessa tecnologia, como o Brasil, os custos iniciais tendem a ser consideravelmente mais altos.

Estudos realizados pelo Banco Mundial (2024) indicam que, mesmo com um custo inicial estimado em torno de US\$ 64/MWh (valor aproximadamente 50% superior aos da energia solar e eólica *onshore* no país), a adoção de metas ambiciosas de expansão e o estabelecimento de condições adequadas de mercado podem permitir uma redução progressiva nos custos da geração *offshore*. Segundo o cenário analisado, os valores podem cair para uma faixa entre US\$ 52 e US\$ 40 por MWh até 2050, o que colocaria a eólica *offshore* em condições de competir diretamente com fontes de geração convencionais.

Essa trajetória de redução de custos é semelhante à vivenciada pela energia eólica *onshore* no Brasil, que teve início com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) no início dos anos 2000 e atualmente figura entre as fontes mais relevantes e econômicas da matriz elétrica nacional, com cerca de 30 GW de capacidade instalada em 2024 (BANCO MUNDIAL, 2024).

É importante destacar, ainda, que os custos da energia eólica *offshore* no Brasil poderão variar significativamente conforme a região. As projeções apontam que o Nordeste brasileiro tende a apresentar as tarifas mais baixas, favorecido pela maior constância e intensidade dos ventos ao longo do litoral.

4.4.3. Barreiras E Desafios Para O Desenvolvimento Sustentável Do Setor

Apesar do crescimento expressivo da energia eólica na matriz elétrica brasileira nas últimas décadas, diversos desafios ainda limitam o pleno aproveitamento de seu potencial. A consolidação definitiva desse setor requer a superação de barreiras econômicas, tecnológicas, estruturais e sociais.

Um dos principais desafios mencionados por Silva (2023) é o elevado custo médio de produção da energia eólica no Brasil, que ainda supera o das fontes convencionais. Embora esse custo venha diminuindo ao longo dos anos, ele continua sendo um fator limitante, exigindo estratégias de aumento de competitividade por meio

de desenvolvimento tecnológico, economia de escala e atração de novos investidores para o mercado nacional (Silva, 2023).

Outro desafio relevante é a necessidade de manutenção e ampliação das políticas públicas de incentivo, como leilões, subsídios, desonerações tributárias e tarifas do tipo *feed-in*²⁴. Tais medidas são fundamentais para mitigar os riscos do investimento no setor e promover sua expansão contínua (Silva, 2023).

A modernização dos parques eólicos também é urgente. Enquanto as turbinas da década de 1990 possuíam potência média de apenas 550 kW, as atuais alcançam até 20 MW. Para acompanhar essa evolução, é necessário fortalecer a cadeia produtiva nacional, reduzindo a dependência de fabricantes estrangeiros e barateando os custos dos equipamentos (Silva, 2023).

Silva (2023) aponta ainda que a estrutura de transmissão de energia continua deficiente em algumas regiões produtoras, o que dificulta o escoamento da energia gerada para os centros consumidores. Investimentos robustos em linhas de transmissão são indispensáveis para evitar gargalos e desperdícios.

Além disso, o desenvolvimento de parques *offshore* é considerado um passo estratégico para o futuro do setor. Com um potencial estimado de 1.200 GW nos mares brasileiros, sua exploração exige infraestrutura logística, regulamentação adequada e segurança jurídica para os investidores (Silva, 2023).

Um último desafio que o setor eólico enfrenta e deve ser uma preocupação constante diz respeito ao papel da energia eólica no desenvolvimento econômico sustentável. As atividades relacionadas a esse setor têm gerado efeitos no sentido de reduzir as desigualdades econômicas e sociais no país e principalmente nas comunidades em que são desenvolvidas? A redução de CO₂ é importante, mas é preciso que o desenvolvimento dessa energia limpa impacte positivamente no bem-estar da população. Esse é um desafio não apenas para o setor eólico do país, mas também para o governo, o que exige políticas públicas voltadas para esse objetivo (Silva, 2023, p. 199).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho permitiu uma análise abrangente da energia eólica no Brasil, evidenciando sua trajetória de crescimento e sua consolidação como fonte estratégica na matriz elétrica nacional. Através de uma evolução marcada por políticas

²⁴ A tarifa *feed-in* estabelece um preço fixo por kWh, que pode ser superior ao preço de mercado, garantindo um retorno financeiro aos produtores de energia renovável.

públicas como o PROINFA e os leilões regulados pela ANEEL, a energia eólica brasileira passou de uma fonte marginal para um dos pilares do fornecimento energético do país, com destaque para a região Nordeste, responsável por mais de 90% da potência instalada.

Os avanços tecnológicos, como a ampliação do porte dos aerogeradores e a eficiência dos sistemas de controle, contribuíram para a redução dos custos e aumento da competitividade da fonte. Paralelamente, a energia eólica se mostrou uma alternativa ambientalmente viável, com impactos menores em relação a fontes fósseis, apesar de ainda demandar atenção quanto à mitigação de efeitos sobre a fauna, paisagem e uso do solo.

Do ponto de vista socioeconômico, os parques eólicos têm promovido o desenvolvimento de regiões interioranas, gerando empregos, renda e impulsionando a infraestrutura local. No entanto, o trabalho também evidenciou desafios importantes, como a necessidade de aprimoramento da regulação, gestão de impactos sociais e ambientais.

Com o avanço das tecnologias *offshore*, o Brasil se vê diante de uma nova fronteira energética. O potencial estimado de 1.200 GW em alto-mar poderá posicionar o país entre os líderes mundiais dessa tecnologia, desde que os obstáculos iniciais de custo, logística e regulação sejam superados.

Em um cenário global que urge pela diminuição das emissões de CO₂, a energia eólica se apresenta como uma solução viável, escalável e estratégica. Para tanto, é fundamental que o setor continue a ser fomentado por políticas públicas sólidas, investimentos em inovação e diálogo com as comunidades locais. A construção de um futuro energético mais limpo, seguro e inclusivo passa, inevitavelmente, pela consolidação da energia eólica como pilar fundamental da matriz elétrica brasileira.

ABSTRACT

This paper presents a comprehensive analysis of the wind energy landscape in Brazil, focusing on its technical, historical, socioeconomic, and environmental aspects. It begins by addressing the historical milestones of wind energy, from the international context to its implementation and development within the Brazilian scenario. The study

details the operation of wind turbines, the types of installations—such as onshore and offshore—and their structural and operational characteristics. The significant growth of installed capacity in the country is highlighted, particularly in the Northeast region, which accounts for over 90% of national generation. Additionally, the study examines generation costs, economic competitiveness compared to other energy sources, and government incentives that have driven the sector. Environmental and social impacts, both positive and negative, are also discussed, with emphasis on job creation, regional development, and sustainability issues. The research adopts a qualitative, descriptive, and bibliographic methodology, based on scientific publications, official agency reports, and updated databases. Finally, the paper explores future prospects for the sector, highlighting the potential of offshore wind energy in Brazil and the regulatory, technological, and environmental challenges to consolidating this source as a strategic pillar of the Brazilian electricity matrix.

Keywords: Wind energy, electricity generation, energy matrix, sustainable development, Brazil.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Indicadores**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao/indicadores>. Acesso em: 10 jun. 2025.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B.. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 1304.1-1304.13, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172008000100005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/nL6x7dJv9gv7HnkTSJRLfS/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BANCO MUNDIAL. **Cenários para o Desenvolvimento de Eólica Offshore no Brasil**. Washington, Dc: Creative Commons, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-recebe-estudo-para-o-desenvolvimento-de-eolicas-offshore-no-brasil/ResumoExecutivoCenariosparaoDesenvolvementodeEolicaOffshore.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BEZERRA, Francisco Diniz. **Energia Eólica No Nordeste**. Fortaleza: Caderno Setorial Etene, 2019. Disponível em: https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1192/1/2019_CDS_66.pdf. Acesso em: 10 jun. 2025.

CUNHA, Graziela Souza; SILVA, José Alderir da; SILVA, William Gledson. Desenvolvimento Sustentável E A Energia Eólica No Brasil. **Revista de Economia Mackenzie**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 183-210, 2024. GN1 Sistemas e Publicações Ltda. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/381780616_DESENVOLVIMENTO_SUSTENTAVEL_E_A_ENERGIA_EOLICA_NO_BRASIL. Acesso em: 10 jun. 2025.

FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral. **Energia eólica**. Barueri – SP: Manole, 2011.

FERREIRA, Abel António de Azevedo. **Sistema de produção de energia eólica**. Porto (Portugal): Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Feup), 2011. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61482/1/000148786.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

FERREIRA, Andreza Cardoso et al. Avaliações A Respeito Da Evolução Das Capacidades Contratada E Instalada E Dos Custos Da Energia Eólica No Brasil: Do Proinfa Aos Leilões De Energia. S.l: **Revista Brasileira de Energia Solar**, 2014. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/111/111>. Acesso em: 10 jun. 2025.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global Wind Report 2025**. Lisboa (Portugal): Global Wind Energy Council, 2025. Disponível em: <https://26973329.fs1.hubspotusercontent-eu1.net/hubfs/26973329/2.%20Reports/Global%20Wind%20Report/GWEC%20Global%20Wind%20Report%202025.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

ONS (org.). **Resultados da Operação**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados-gerais>. Acesso em: 10 jun. 2025.

PINTO, Lúcia Iracema Chipponelli; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Ambiente e Água: An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1082-1100, 23 nov. 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2064>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/5b77GB9j4yPTzkS4pjxyhvH/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

PINTO, Rodrigo Jambeiro; SANTOS, Vivianni Marques Leite dos. Energia Eólica no Brasil: evolução, desafios e perspectivas. **Journal On Innovation And Sustainability**. ISSN 2179-3565, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 124-142, 12 mar. 2019. Pontifical Catholic University of Sao Paulo (PUC-SP).

<http://dx.doi.org/10.24212/2179-3565.2019v10i1p124-142>. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/332490778_Energia_Eolica_no_Brasil_Evolucao_Desafios_e_Perspectivas. Acesso em: 10 jun. 2025.

SALINO, Pedro Jordão. **Energia Eólica No Brasil: Uma Comparação Do Proinfa E Dos Novos Leilões**. Rio de Janeiro: Ufrj/ Escola Politécnica, 2011. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7444/1/monopoli10001705.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SILVA, Alexander Marques; VIEIRA, Rogério Márcio Fonseca. **Energia eólica: conceitos e características basilares para uma possível suplementação da matriz energética brasileira**. S.I: Revista Direito Ambiental e Sociedade, 2016. Disponível em: <https://sou.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/3975/2609>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SILVA, José Alderir. **Energia eólica no Brasil: avanços e desafios**. 167. ed. São Paulo: Anita Garibaldi, 2023. Disponível em: <https://revistaprincipios.emnuvens.com.br/principios/article/view/274>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SIMAS, Moana; PACCA, Sergio. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/RTVwH7KyhtcgdPMGvDrCC3G/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2025.

TAVARES, Estevão. **Energia eólica: viabilidade técnica e econômico-financeira**. 2016. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2016. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/208>. Acesso em: 10 jun. 2025.