

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTÁBEIS E ATUÁRIA
FEA-PUC-SP

ALEXANDRE GONÇALVES EXPOSTO – RA00240264

SOPRANDO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: O POTENCIAL DA
ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

São Paulo – SP

2023

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTÁBEIS E ATUÁRIA
FEA-PUC-SP

ALEXANDRE GONÇALVES EXPOSTO – RA00240264

SOPRANDO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: O POTENCIAL DA
ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Monografia submetida a apreciação de banca examinadora do departamento de Economia da PUC-SP, como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas, elaborada sob a orientação do Professor Dr. Antônio Carlos Alves dos Santos.

Esta monografia foi examinada pelos professores abaixo relacionados e aprovada com nota final _____ (_____).

Autorizo a disponibilização desta monografia na Biblioteca da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária da PUC – São Paulo para consulta pública e utilização como referência bibliográfica, mas sua reprodução total e parcial somente pode ser feita mediante autorização expressa do autor, nos termos da legislação vigente sobre direitos autorais.

São Paulo, 20 de outubro de 2023 Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a realização desta monografia. Primeiramente, agradeço ao meu orientador Antônio Carlos pela orientação valiosa, apoio incansável e insights enriquecedores ao longo deste processo. Meu profundo agradecimento também se estende à minha família e amigos, cujo apoio emocional e encorajamento foram fundamentais para superar os desafios dessa jornada.

EXPOSTO, A.G. Soprando para o Desenvolvimento Sustentável: O Potencial da Energia Eólica no Brasil

São Paulo - SP, 2023. Monografia de Bacharelado [Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária] – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

RESUMO

A energia eólica, como fonte limpa e renovável, tem ganhado destaque no cenário energético global devido à sua capacidade de mitigar as mudanças climáticas e reduzir a dependência de recursos fósseis. No contexto brasileiro, essa forma de geração de energia demonstra grande potencial para atender às crescentes necessidades de eletricidade do país. Este estudo examina a Energia Eólica no Brasil, considerando seu potencial eólico vasto, sua evolução histórica e sua situação atual.

O Brasil, com sua extensa costa e vastas áreas propícias para a instalação de parques eólicos, apresenta um potencial eólico notável. A energia eólica, embora tenha sido introduzida de forma mais significativa nas últimas décadas, possui raízes em um histórico de experimentações e inovações. Hoje, o país se destaca na América Latina como um líder na geração de energia eólica, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa.

No entanto, apesar do progresso notável, existem desafios a serem superados. Questões logísticas relacionadas aos equipamentos e insumos, sistemas de transmissão de energia eólica, financiamento, planejamento de operações e falta de políticas específicas são alguns dos obstáculos enfrentados pelo setor. Para maximizar o potencial da energia eólica no Brasil, é essencial um compromisso contínuo do governo e do setor privado, bem como políticas de incentivo e investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

A Energia Eólica no Brasil não é apenas uma fonte de eletricidade limpa; ela é um símbolo do compromisso do país com um futuro sustentável e resiliente. Para fortalecer esse compromisso, políticas consistentes de incentivo, desenvolvimento tecnológico e pesquisa são fundamentais. A sinergia entre energia eólica, sustentabilidade e a matriz energética brasileira oferece uma oportunidade única para garantir um futuro energético mais limpo, eficiente e inclusivo, contribuindo para a luta global contra as mudanças climáticas. Portanto, o Brasil deve continuar a investir na energia eólica e avançar em direção a uma matriz energética verdadeiramente sustentável.

Palavras-Chave: Energia Eólica. Brasil. Matriz Energética. Sustentabilidade. Potencial Eólico. Desenvolvimento Sustentável. Investimento em Energia. Transição Energética

ABSTRACT

Wind energy, as a clean and renewable source, has gained prominence in the global energy landscape due to its capacity to mitigate climate change and reduce dependence on fossil resources. In the Brazilian context, this form of energy generation demonstrates significant potential to meet the country's growing electricity needs. This study examines Wind Energy in Brazil, considering its vast wind potential, historical evolution, and current status.

Brazil, with its extensive coastline and ample areas suitable for wind farm installations, possesses remarkable wind energy potential. While wind energy has been more significantly introduced in recent decades, it has roots in a history of experimentation and innovation. Today, the country stands out in Latin America as a leader in wind energy generation, contributing to the diversification of the energy matrix and the reduction of greenhouse gas emissions.

However, despite notable progress, challenges must be overcome. Logistic issues related to equipment and inputs, wind energy transmission systems, financing, operational planning, and the lack of specific policies are among the obstacles faced by the sector. To maximize the potential of wind energy in Brazil, a continued commitment from the government and private sector is essential, as well as incentive policies and investments in research and development.

Wind energy in Brazil represents more than just a source of clean electricity; it is a symbol of the country's commitment to a sustainable and resilient future. To strengthen this commitment, consistent incentive policies, technological development, and research are fundamental. The synergy between wind energy, sustainability, and the Brazilian energy matrix offers a unique opportunity to ensure a cleaner, more efficient, and inclusive energy future, contributing to the global fight against climate change. Therefore, Brazil should continue to invest in wind energy and move towards a truly sustainable energy matrix.

Keywords: Wind Energy. Brazil. Energy Matrix. Sustainability. Wind Potential. Sustainable Development. Energy Investment. Energy Transition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sustentabilidade no mundo	13
Figura 2 Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico	18
Figura 3 Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita	19
Figura 4 Evolução da Matriz Energética Brasileira.....	20
Figura 5 Evolução da participação das fontes renováveis na matriz energética	24
Figura 6 Composição da matriz energética brasileira	24
Figura 7 Moinho de Vento construído por Charles Bruch	28
Figura 8 Ilustração esquemática do PURPA	29
Figura 9 Evolução da geração total de energia eólica no Brasil entre 2006 e 2015.....	31
Figura 10 Participação das fontes na expansão da capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil em 2015.	32
Figura 11 Estados com novos Parques Eólicos em 2022	34
Figura 12 Relação de Produção em TWh vs Representatividade das regiões no Brasil	35
Figura 13 Potencial Eólico por residências em 2022	36

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 ENERGIA E SUSTENTABILIDADE.....	11
2.1 Breve Panorâmica da Sustentabilidade.....	12
2.2 A Importância da Energia para a Humanidade.....	15
3 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	17
3.1 Energia no Brasil: Panorama Histórico.....	17
3.2 Fontes de Energia no Brasil.....	19
3.3 Desafios e Perspectivas para o futuro.....	23
4 ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....	25
4.1 Breve Histórico da Energia Eólica.....	26
4.2 A Situação Atual.....	30
4.3 Potencial Eólico no Brasil.....	32
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica tem emergido como uma das fontes mais promissoras e sustentáveis de geração de energia no cenário global. No contexto brasileiro, esse recurso renovável tem ganhado destaque como uma alternativa viável para atender às crescentes demandas energéticas do país, enquanto busca-se mitigar os impactos ambientais e reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis. A crescente expansão da energia eólica no Brasil é um reflexo não apenas do seu potencial eólico abundante, mas também de um compromisso contínuo com a transição para um sistema energético mais limpo e sustentável. Nesta monografia, exploraremos o conceito de Energia e Sustentabilidade, no contexto global contemporâneo, a busca por fontes de energia sustentáveis e a compreensão dos desafios ecológicos associados desempenham um papel central nas discussões relacionadas ao desenvolvimento econômico e à qualidade de vida. A questão da energia e sustentabilidade é intrinsecamente ligada à necessidade de equilibrar a crescente demanda por energia com a preservação dos recursos naturais e a mitigação dos impactos ambientais. Este capítulo visa explorar a relação complexa entre a energia e a sustentabilidade, destacando a importância fundamental de abordar essa questão de forma holística, considerando não apenas a eficiência energética, mas também os aspectos ambientais, sociais e econômicos que moldam a viabilidade das fontes de energia utilizadas pela sociedade moderna. O trabalho também irá procurar abordar a Matriz energética brasileira, a matriz energética de um país desempenha um papel crucial na determinação de seu desenvolvimento econômico, na garantia da segurança energética e na busca por uma sustentabilidade ambiental duradoura. No contexto brasileiro, a composição dessa matriz energética tem sido objeto de crescente interesse e análise, uma vez que o Brasil se destaca por sua diversidade de fontes de energia. Este capítulo busca proporcionar uma visão abrangente e analítica da Matriz Energética Brasileira, explorando suas características, evolução histórica e as implicações socioeconômicas e ambientais associadas. Ao compreender a composição e os desafios enfrentados pela matriz energética do Brasil, podemos estabelecer uma base sólida para a avaliação das políticas energéticas do país, bem como para a discussão das perspectivas de transição para um sistema mais sustentável e resiliente. e seus principais constituintes se tratando das energias renováveis. A energia eólica tem se destacado como uma fonte promissora e sustentável de geração de eletricidade, desempenhando um papel fundamental na transição global para fontes de energia mais limpas e renováveis. No cenário brasileiro, o potencial eólico do país tem sido objeto de crescente interesse, impulsionado pela vastidão de suas áreas propícias para a instalação de parques eólicos. Este capítulo tem como objetivo proporcionar

uma análise abrangente da Energia Eólica no Brasil, explorando seu potencial eólico, traçando um breve histórico de sua introdução no país e oferecendo uma visão da situação atual. À medida que o Brasil se posiciona como um dos líderes na geração de energia eólica na América Latina, torna-se fundamental compreender os desafios, as oportunidades e os avanços relacionados a essa fonte de energia renovável. Além disso, analisaremos as perspectivas futuras dessa fonte de energia renovável no contexto brasileiro, considerando as políticas governamentais, os avanços tecnológicos e o panorama internacional. Este estudo visa aprofundar nosso entendimento sobre a energia eólica no Brasil e seu papel na construção de um futuro energético mais sustentável e resiliente. E por fim, chegaremos às conclusões finais trazendo a temática energia eólica, como fonte limpa e renovável, que vem constantemente desempenhando um papel cada vez mais importante no panorama energético global, apresentando-se como uma solução para mitigar os desafios relacionados às mudanças climáticas e à dependência de recursos fósseis esgotáveis. No contexto brasileiro, a energia eólica emergiu como uma alternativa promissora para atender às crescentes demandas de eletricidade do país, enquanto reduz as emissões de gases de efeito estufa e contribui para o desenvolvimento sustentável. Este capítulo busca examinar minuciosamente a Energia Eólica no Brasil, considerando seu vasto potencial eólico, sua evolução histórica e seu estado atual. À medida que o Brasil se torna um protagonista na produção de energia eólica na América Latina, é crucial compreender a importância dessa fonte de energia renovável no contexto da matriz energética nacional e seus efeitos na transição para um sistema mais limpo e resiliente.

À medida que esta monografia chega ao seu desfecho, é notável o papel fundamental desempenhado pela energia eólica no contexto energético brasileiro. Ao longo deste estudo, exploramos detalhadamente o vasto potencial eólico do Brasil, sua evolução histórica como fonte de geração de eletricidade, bem como sua atual posição como uma das principais fontes de energia renovável no país. Examinamos os desafios e as oportunidades enfrentados pelo setor e identificamos a importância das políticas governamentais, dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento e do compromisso contínuo com a sustentabilidade. A energia eólica no Brasil transcende o fornecimento de eletricidade limpa; ela personifica o compromisso do país com um futuro energético mais sustentável e resiliente. À medida que buscamos uma matriz energética verdadeiramente sustentável, este estudo reafirma a relevância da energia eólica como um componente-chave dessa jornada.

2. ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Esse capítulo visa, principalmente, passar uma visão panorâmica sobre o que é sustentabilidade e energia, abordando seus conceitos literais, sua importância no cenário atual e como cada vez mais a sustentabilidade empresarial está diretamente correlacionada com a energia e como esses dois temas são requeridos e abordados no âmbito profissional atualmente.

Como mencionado anteriormente, a consciência ambiental tornou-se o foco principal no momento, é a pauta de diversas discussões e conferência Internacionais. Portanto, o conceito de sustentabilidade, aos poucos, se consolida e contribui para um melhor entendimento dos temas relacionados, suas importâncias e seus correspondentes corolários na sociedade. No entanto, é importante ressaltar que essa ideologia não corresponde apenas a minimização de impactos por meio do gerenciamento adequado de processos, aumentar o investimento em projetos mais eficientes ou até mesmo buscar a integração entre ideias e projetos sustentáveis, vai muito além de questões ambientais despretensiosas. Uma simples ação isolada não tem as características de uma ação sustentável, quando se considera a verdadeira natureza desta filosofia. A sustentabilidade não é apenas uma questão ética, filosófica ou moral, é necessidades e prioridades gerais.

Herman Daly (2022) é conhecido por ser um proeminente defensor da economia ecológica e sua visão sobre sustentabilidade é fundamental para seu trabalho. Ele argumenta que a economia deve operar dentro dos limites dos recursos naturais e ecossistemas, respeitando os princípios de sustentabilidade ecológica. Em suas palavras, a economia deve ser "ecologicamente sustentável, socialmente justa e baseada em uma escala apropriada".

Daly enfatiza que a economia não pode crescer indefinidamente em um planeta com recursos finitos e que a busca incessante pelo crescimento econômico pode levar a danos ambientais irreversíveis. Em vez disso, ele defende a ideia de uma economia estacionária ou de estado estacionário, onde o foco está em manter o estoque de capital natural (recursos naturais) e capital humano (educação e habilidades) em equilíbrio, permitindo que as economias cresçam dentro desses limites. (DALY, 1996).

Sustentabilidade é um conceito que se refere à capacidade de atender às necessidades da geração atual, garantindo a conservação dos recursos naturais e a qualidade de vida das gerações futuras. Trata-se de encontrar um equilíbrio entre os aspectos ambientais, econômicos e sociais para promover o desenvolvimento sustentável.

Ambientalmente, a sustentabilidade envolve a conservação e o uso responsável dos recursos naturais, como água, solo, ar, biodiversidade e energia. Isso inclui práticas como

redução do consumo de energia, gerenciamento adequado de resíduos, proteção de ecossistemas e promoção da reciclagem. (GUILHERME, 2007)

Jeffrey Sachs (2015) acredita que a sustentabilidade está relacionada a uma abordagem holística do desenvolvimento econômico que incorpora considerações ambientais, sociais e econômicas. Ele é um defensor ativo do desenvolvimento sustentável, que busca equilibrar o crescimento econômico com a proteção do meio ambiente e o bem-estar social.

Sachs argumenta que a sustentabilidade envolve a erradicação da pobreza, o acesso universal à saúde e educação, a promoção de energias limpas e a gestão responsável dos recursos naturais. Ele acredita que o desenvolvimento sustentável é alcançável por meio de políticas globais, coordenadas e ações de cooperação internacional. (SACHS, 2015).

Do ponto de vista econômico, a sustentabilidade busca conciliar o crescimento econômico com o uso eficiente dos recursos, buscando minimizar os impactos negativos ao meio ambiente. Isso envolve a adoção de práticas empresariais responsáveis, como gestão sustentável da cadeia de suprimentos, promoção da inovação tecnológica para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e a criação de empregos verdes.

Em termos sociais, a sustentabilidade visa garantir uma melhor qualidade de vida para as pessoas, assegurando igualdade de oportunidades, justiça social, respeito aos direitos humanos e inclusão social. Isso inclui promover educação de qualidade, acesso à saúde, erradicar a pobreza e valorizar a diversidade cultural. (GUILHERME, 2007)

A sustentabilidade é um princípio fundamental para enfrentar os desafios globais, como mudanças climáticas, perda de biodiversidade, escassez de recursos naturais e degradação ambiental. Busca garantir que as atividades humanas sejam conduzidas de forma responsável, a fim de preservar o planeta para as gerações futuras. (GUILHERME, 2007)

2.1 Breve Panorâmica da Sustentabilidade

Primeiramente, é preciso esclarecer que o desenvolvimento sustentável não se limita a uma ação, como a redução das emissões de gases de efeito estufa. Se apenas tomarmos medidas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, tememos que o planeta mude tanto que muitas espécies como as conhecemos agora podem deixar de existir. (Susana I, 2010)

O termo desenvolvimento sustentável abrange uma gama de paradigmas de uso de recursos destinados a atender às necessidades humanas. O termo foi cunhado em 1987 no Relatório Brundtland das Nações Unidas, que identificou o desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento que "atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades". Deve levar em consideração a

sustentabilidade ambiental, econômica e sociopolítica. Nas questões ambientais (água, ar, solo, florestas e oceanos), ou seja, tudo ao nosso redor exige cuidado especiais para que continue existindo. Portanto, as sustentabilidades econômicas e sociopolíticas só têm existência se for mantida a sustentabilidade ambiental. (Susana I, 2010)



Figura 1 Sustentabilidade no mundo

Fonte: Dehon, segunda-feira, 22 de maio de 2023.

O conjunto de ações empreendidas pelo homem em sua escalada de crescimento e busca de bem-estar, seja na perspectiva dos bens produzidos ou do consumo crescente, tem provocado perturbações ao meio ambiente, evidenciadas pelo esgotamento das reservas naturais, sobretudo a diminuição do suprimento de água potável, a perda da biodiversidade, a mudança climática e o aquecimento global. As populações mais pobres são as mais afetadas e o processo de reconstrução de vidas é sempre doloroso para os atingidos e oneroso para o Estado. (ALMEIDA; 2002)

Do ponto de vista etimológico, “o vocábulo sustentabilidade compreende o sentido de continuidade de vida, de manutenção ou prolongamento no tempo” (EHLERS, 1996; CUNHA, 1997 apud MARTINS, 2001, p.50). Para Peter Senge “é um termo guarda-chuva que engloba todas as soluções e normas que auxiliam as empresas, organizações e a sociedade em geral, a lidar de forma mais eficaz, com os efeitos sociais e ambientais adversos causados pela visão de lucro no curto prazo, independentemente dos custos.” (SENGE, 2006, p.8). Mas podemos falar em ciência da sustentabilidade? Karl-Henrik Robèrt acredita que sim e justifica “Ciência se constrói a partir de um processo de aprendizado sistemático, no qual o pensamento crítico questiona e remodela o conhecimento existente. [...] a nova arena ligada ao desenvolvimento sustentável era inerentemente transdisciplinar, envolvendo física, química, biologia, ecologia, economia, psicologia, e sociologia, para mencionar

algumas das mais importantes. E a ciência transdisciplinar tem a reputação de ser um tanto excêntrica.” (ROBERT, 2002)

Somente percebendo a interferência de nossas ações sobre o Planeta e admitindo a limitação da capacidade de suporte da natureza e a finitude dos recursos naturais que podem levar ao pensamento sustentável, e com isso nos tornamos capazes de adotar práticas sustentáveis. Por trás dessa abordagem há uma percepção otimista da natureza humana, que associa práticas lesivas ou saudáveis ao conhecimento de suas consequências. Embora esse entendimento não garanta ação proativa, reforça a importância da educação ambiental na mudança de cenário e na criação da nova cultura.

Fazer a transição da sociedade insustentável para o modelo social baseado na sustentabilidade não é mais uma questão de escolha, mas uma necessidade extrema, como têm revelado inúmeras pesquisas e relatórios científicos. Somos premidos pela urgência e a questão central é quanto tempo nos resta. James Lovelock julga que o pouco que sabemos sobre a reação da Terra à nossa presença é profundamente perturbador e vaticina “nos centros meteorológicos do mundo, o barômetro continua caindo e apontando para o perigo iminente de uma tempestade climática, cujo rigor a Terra não conhece há 55 milhões de anos. Mas nas cidades a festa continua; quando enfim, cairemos na real?” (LOVELOCK, 2006, p.104).

Sustentabilidade, no entanto, nada mais é do que um conceito de sistemas relacionados aos aspectos culturais, econômicos, sociais, políticos e ambientais das sociedades humanas. Existe uma certa confusão quando se fala em desenvolvimento sustentável no Brasil hoje, pois muitos usam a expressão para designar a expectativa de que o país entrará em uma fase de crescimento sustentado, e não apenas em uma bolha como em outros tempos. Internacionalmente, a definição de desenvolvimento sustentável é a definição contida no documento “Nosso Futuro Comum” elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNC) das Nações Unidas em 1987. “Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras”, afirma o documento.

Portanto, é um meio que a geração humana satisfaz suas necessidades e expressa o maior potencial do momento, mas sempre presando pela Biodiversidade e os ecossistemas naturais para que, no futuro, outras gerações possam apreciar da mesma forma, é um termo usado para satisfazer as necessidades da geração atual, porém sem comprometer as capacidades das gerações futuras futuro.

2.2 A Importância da Energia para a Humanidade

A energia é uma força motriz que sustenta o funcionamento da sociedade moderna em todas as suas esferas. Desde a Revolução Industrial até os dias de hoje, ela tem sido o motor do desenvolvimento econômico, tecnológico e social. Este capítulo explora a importância fundamental da energia para a humanidade, destacando sua essencialidade para a humanidade.

Desde tempos ancestrais, a busca por uma vida melhor tem sido uma aspiração fundamental da humanidade. Essa melhoria muitas vezes está relacionada a um aumento na disponibilidade de produtos de consumo, o que, por sua vez, requer uma maior habilidade de transformação de materiais primários em bens. Nas épocas mais remotas, todas as necessidades humanas estavam intrinsecamente ligadas ao esforço físico individual e à energia que as pessoas gastavam. No entanto, atualmente, avanços tecnológicos como máquinas e processos diversos reduziram consideravelmente. (TAVARES; 2008)

Conforme a sociedade evolui e se alarga, a exigência de conversão de matérias-primas em produtos cresce consideravelmente. Nesse ciclo de transformação, a energia desempenha um papel vital. Além disso, os produtos acabados independentemente de transporte, armazenamento e comercialização, ou que, mais uma vez, colocam a energia como um requisito incontornável para a realização dessas atividades de maneira eficiente e eficaz. (TAVARES; 2008)

“A necessidade da energia na vida de cada ser humano só é sentida na medida de suas carências. Quem vive isolado, um ribeirinho típico do Rio Amazonas, por exemplo, deseja energia para acender uma lâmpada, ligar um rádio ou uma lanterna, preparar a mandioca e fazer farinha. Sua visão, em função de seu isolamento, exige a produção de pequena quantidade de energia. Por outro lado, o habitante de uma grande metrópole, com alto poder aquisitivo, precisa de energia para o carro, bomba d’água, eletrodomésticos, barco etc. As necessidades, ainda que díspares, projetam apenas a intensidade da necessidade de energia, mas todos são dela dependentes” (TAVARES; 2008)

A citação acima feita por Joao Tavares Pinho (2008) destaca a importância da energia na vida cotidiana das pessoas, ressaltando que sua necessidade varia de acordo com as situações individuais. Para aqueles que vivem em áreas remotas e isoladas, como ribeirinhos na região amazônica, a energia é destinada principalmente para necessidades básicas, como iluminação e preparação de alimentos. Em contrapartida, aqueles que residem em grandes centros urbanos com alto poder aquisitivo dependem de energia para uma variedade de dispositivos e aplicações, desde carros até eletrodomésticos. Apesar das diferenças nas demandas, a citação enfatiza que todos os indivíduos são dependentes da energia em algum grau, independentemente de sua intensidade de necessidade. Isso ilustra a onipresença da energia na sociedade contemporânea.

Em todo o mundo, há uma discussão constante sobre desenvolvimento sustentável, proteção ambiental, criação de empregos, crescimento econômico e seu profundo entrelaçamento com o tema da energia. Como podemos satisfazer as necessidades humanas sem prejudicar o meio ambiente? Como podemos garantir que todos se beneficiem das vantagens das novas tecnologias de geração e uso de energia, sem excluir ninguém? Como podemos melhorar a qualidade de vida a um custo acessível, considerando a instituição financeira do empreendimento? Como podemos utilizar a energia de forma eficiente e eficaz?

Essas questões são complexas e não têm uma única resposta. Com o tempo, os seres humanos desenvolveram diversas maneiras de transformar energia e consolidaram várias tecnologias energéticas para tirar o melhor proveito delas em benefício da sociedade.

Apesar do Brasil ser um grande produtor de energia elétrica por meio de suas hidrelétricas, enfrenta uma série de desafios em fornecer eletricidade para todos os seus cidadãos e alimentá-los exclusivamente com essa fonte de energia. Esses desafios podem ser atribuídos a várias razões, incluindo a produção insuficiente, problemas nos sistemas de transmissão e distribuição, questões geográficas e os altos custos associados à geração hidrelétrica. Diante dessa realidade, o Brasil está gradativamente incorporando outras opções de geração de energia à sua matriz energética. Além das termelétricas e grupos geradores movidos a diesel, estão surgindo fontes alternativas e renováveis de energia. Notavelmente, a energia eólica e a energia solar fotovoltaica estão ganhando destaque, pois o Brasil apresenta condições climáticas seguras, com abundância de sol e vento, que permitem atender às demandas energéticas de várias regiões do país. (TAVARES; 2008)

A citação acima destaca a complexa dinâmica energética no Brasil, apesar da significativa produção de energia elétrica a partir de suas hidrelétricas. Ela aponta para os desafios que o país enfrenta na tarefa de fornecer eletricidade a todos os seus cidadãos e depender exclusivamente de hidrelétricas como fonte de energia. Diversos fatores negativos para essas dificuldades, incluindo problemas de produção insuficiente, questões relacionadas à transmissão e distribuição de eletricidade, obstáculos geográficos e os altos custos associados à geração hidrelétrica. Em resposta a essa realidade, o Brasil está buscando diversificar sua matriz energética, introduzindo fontes alternativas e renováveis, como a energia eólica e a energia solar fotovoltaica. Essas alternativas ganham destaque devido às condições climáticas específicas do país, com abundância de sol e vento, que permitem atender às demandas energéticas de várias regiões, ao mesmo tempo em que são prejudicadas para a sustentabilidade e a segurança energética do país (TAVARES, 2008).

É importante entender que não existe uma solução única e definitiva para todos os desafios relacionados à energia, seja ela de fonte renovável ou não.

A escolha da matriz energética de um país ou região deve levar em consideração uma série de fatores, como a disponibilidade do recurso energético, a capacidade de transporte, distribuição e armazenamento, os custos de produção, as condições geográficas e terapêuticas, entre outros. No caso do Brasil, estamos diante da possibilidade de desenvolver uma matriz energética diversificada. Embora as hidrelétricas continuem a desempenhar um papel dominante na geração de energia elétrica, observamos um aumento significativo na contribuição de outras fontes de energia, especialmente em aplicações específicas, como atendimento a pequenas comunidades carentes. Isso reflete a capacidade do país de se adaptar e desfrutar de uma variedade de fontes de energia para atender às diversas demandas energéticas. (TAVARES; 2008)

Em conclusão, a complexidade das questões energéticas requer uma abordagem equilibrada e multifacetada. Como salienta Tavares (2008), não existe uma solução única e definitiva para os desafios energéticos, pois a escolha da matriz energética deve ser moldada por uma combinação de fatores que variam de país para país e de região para região. O Brasil, por sua vez, está demonstrando uma capacidade notável de se adaptar e diversificar sua matriz energética, mantendo as hidrelétricas como parte integrante de seu sistema, mas também incorporando novas fontes de energia, como a eólica e a solar, para atender às demandas crescentes e específicos. Esse esforço reflete não apenas a resiliência do país, mas também seu compromisso com a sustentabilidade e a democratização do acesso à energia. À medida que o Brasil continua a enfrentar desafios e oportunidades na área energética, a busca por soluções inovadoras e sustentáveis permanece fundamental para garantir um futuro energético mais resiliente e equitativo (TAVARES, 2008).

3. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O segundo capítulo desse trabalho tem como objetivo apresentar uma visão breve e panorâmica sobre a Matriz Energética Brasileiras, trazendo um pouco de sua história e evolução durante a história do Brasil. Sendo assim, primeiramente será discutido um pouco sobre os primórdios da utilização de fontes de energia no começo da década de 70, depois será levantado o tema sobre as principais matrizes energéticas brasileiras, abordando sua imensa diversidade, tais como suas vantagens e desvantagens para o meio ambiente e um estudo de viabilidade e custo para a exploração dessas fontes de energia renováveis no Brasil.

3.1 Energia no Brasil: Panorama Histórico

Ao longo de sua história, principalmente durante o século XX, o Brasil passou por um grande momento de desenvolvimento econômico, que culminou numa crescente demanda de energia primária. Dentre os fatores que determinaram tal crescimento, pode se destacar um intenso processo de industrialização, com a instalação de novas tecnologias sustentáveis, e um grande crescimento demográfico, acompanhada de rápido aumento da taxa de urbanização. Analisando apenas o período a partir de 1970, a série histórica do crescimento do consumo de energia e populacional do Brasil indica que naquele ano a demanda de energia primária era menor que 70 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), sendo que a população atingia 93 milhões de habitantes. Mauricio Tolmasquim (2002) afirmou que em 2000 a demanda de energia praticamente triplicou, alcançando incríveis 190 milhões de tep, tendo uma população que ultrapassava 170 milhões de habitantes. Sobretudo, apenas duas fontes de energia respondiam por 78% do consumo, sendo elas Petróleo e Lenha, enquanto no ano 2000 três fontes correspondiam a 74% do consumo, sendo elas o petróleo, lenha e a energia hidráulica.

Levando em consideração o ano de 2030, foi pensada uma situação em que quatro fontes serão necessárias para satisfazer 77% do consumo: além de petróleo e energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural, tendo uma intensa redução da importância da lenha.

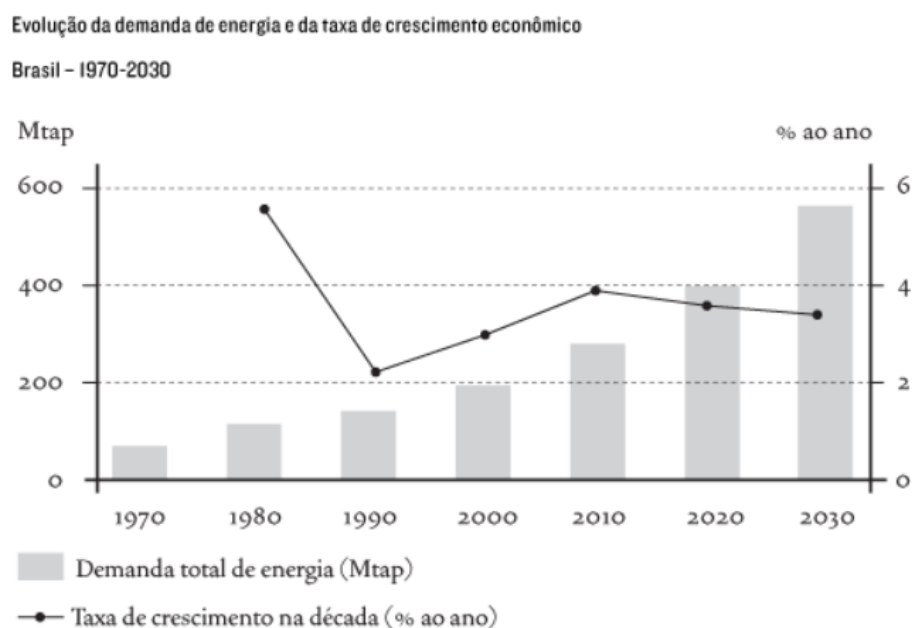


Figura 2 Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico

Fonte: Epe.Gov. Crescimento da demanda de energia e crescimento econômico, 2020.

Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita

Brasil – 1970-2030

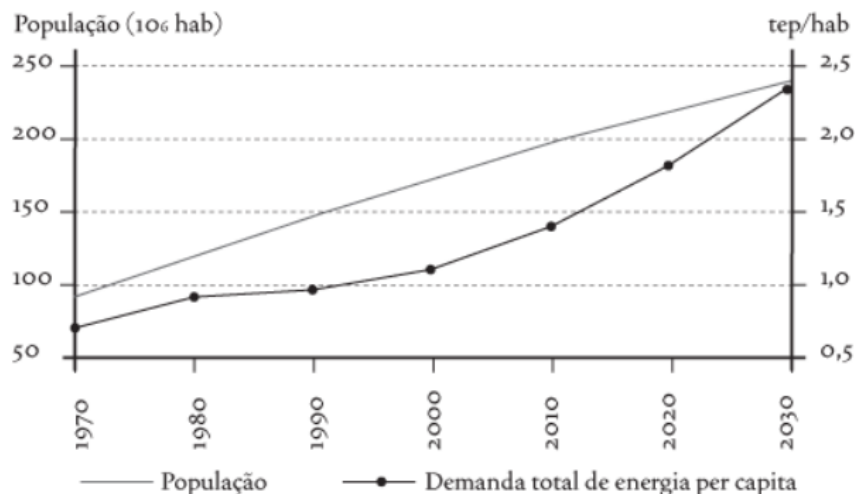


Figura 3 Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita

Fonte: Epe.Gov. Evolução do crescimento populacional e da demanda por energia, 2020.

Logo após a grande crise mundial do petróleo na década de 1970, o governo brasileiro incentivou a produção e o consumo de etanol por meio do programa Proálcool. Com isso, como mencionado por Campos de Andrade:

“O período 1940-1972 marcou a transição da economia nacional de um perfil de consumo energético de baixa emissão de carbono, na qual as fontes não renováveis representavam pouco mais de 12%, para uma fase na qual a crescente expansão da oferta de petróleo e seus derivados praticamente igualou a participação de fontes não renováveis com a das fontes renováveis” (CAMPOS DE ANDRADE; 2010)

Esse período de alta demanda de produção industrial exigiu uma atuação direta do governo como produtor e fornecedor de insumos para a geração de energia, e foi em meio a esse cenário que surgiram grandes investimentos na construção de hidrelétricas e na exploração petrolífera. Porém, é preciso ressaltar que a economia tem influência direta na modificação da matriz energética nacional, ou seja, o conjunto de fontes primárias envolvidas na produção total de energia de um país (as fontes primárias de energias). Muitas mudanças impactantes que ocorreram na economia brasileira na segunda metade do século XX provocaram alterações, de certo modo, bastante significativas para matriz energética brasileira, como por exemplo, o

grande aumento da oferta interna de energia (OIE), que atingiu o montante de 243,7 milhões de tep, correspondente a 2% da energia mundial (MME, 2010).

3.2 Fontes de Energia no Brasil

Mediante a crescente necessidade de diminuir o impacto dos danos ao meio ambiente e da diminuição de custos por uma fonte de energia, a busca por fontes de energia renováveis tem sido bastante abordada nos últimos anos. Como mencionado por Freitas “As energias renováveis, tornaram-se um importante recurso para o desenvolvimento sustentável, que vêm, através do tempo, ganhando maior força no seu crescimento e aplicação” (FREITAS; 2015). No geral, o cenário de progresso das fontes de energias renováveis é algo promissor, pois o potencial é elevado. Nesse contexto de energia, vale ressaltar que o Brasil já possui uma das matrizes mais renováveis do mundo. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2018), o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável (80,4% da oferta interna), com destaque para a fonte hídrica (65,2% da oferta interna).

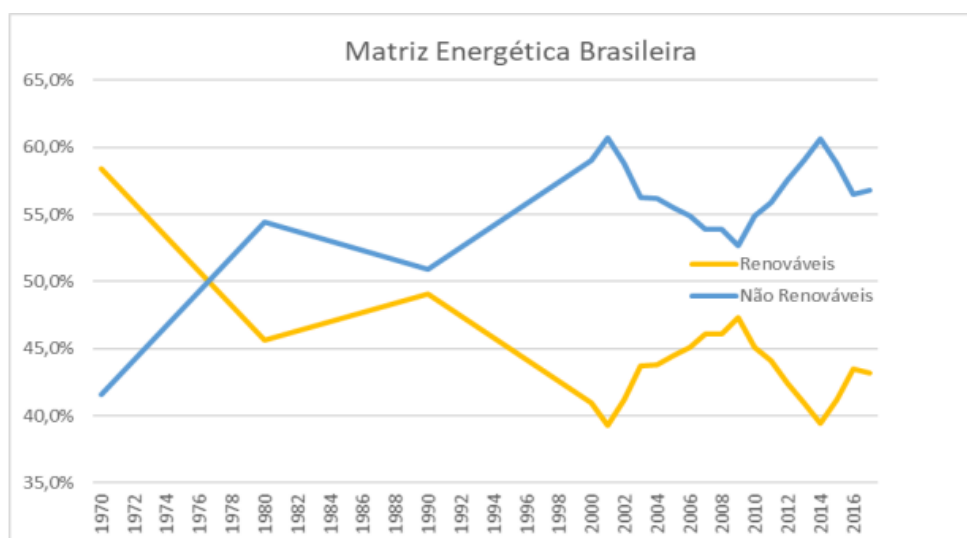


Figura 4 Evolução da Matriz Energética Brasileira

Fonte: Balanço energético nacional, 2017.

O Brasil por sua vez é um país beneficiado por seu tamanho e seus diferentes fatores climáticos, por conta disso, possui uma Matriz Energética bastante diversificada e com um grande potencial de exploração, sendo ela uma das maiores e mais limpas matrizes energéticas renováveis do mundo, sendo a maior parte dela oriunda de fontes de energia alternativas e verdes. Por apresentar um grande potencial e diversidade de uso de fontes renováveis, o Brasil

emite menos gases de efeito estufa por habitante do que a maioria dos países no mundo todo (EPE; 2023).

As principais fontes da matriz energética brasileira são:

Energia Hidrelétrica: A energia hidrelétrica é a principal fonte de energia do Brasil, respondendo por uma parcela significativa da capacidade instalada e geração de eletricidade do país. Usinas Hidrelétricas Aproveitam o potencial dos rios brasileiros construindo grandes barragens para aproveitar a energia hidrelétrica.

As usinas hidrelétricas convertem a energia potencial da água em energia elétrica. Isso é feito através do fluxo controlado da água, que aciona turbinas conectadas a geradores. O fluxo da água é controlado por meio de barragens, que armazenam água em reservatórios e liberam-na gradualmente para gerar eletricidade. (EPE; 2018)

A energia hidrelétrica possui várias vantagens. É uma fonte limpa, pois não emite poluentes atmosféricos durante a geração de eletricidade. Além disso, é renovável, já que a água é uma fonte natural que se renova por meio do ciclo hidrológico. A energia hidrelétrica também é considerada uma fonte confiável, com capacidade de geração estável e previsível.

A construção de barragens é um aspecto fundamental da energia hidrelétrica. As barragens permitem regular o fluxo de água, acumulando-a em reservatórios para garantir um suprimento contínuo de água para geração de eletricidade. No entanto, a construção de grandes barragens pode ter impactos ambientais significativos, como o deslocamento de comunidades locais e a alteração dos ecossistemas fluviais. (EPE; 2018)

Apesar de suas vantagens, a energia hidrelétrica também enfrenta desafios e limitações. A construção de grandes barragens pode causar impactos ambientais negativos, como a inundação de áreas de vegetação e habitats naturais. Além disso, a disponibilidade de locais adequados para construção de usinas hidrelétricas está se tornando mais limitada em algumas regiões. (EPE; 2018)

Biomassa: A biomassa tem um papel importante na matriz energética brasileira. Inclui a produção de eletricidade e calor a partir de resíduos agrícolas, como bagaço e casca de arroz, bem como o uso de biogás a partir de resíduos orgânicos.

A energia biomassa pode ser obtida a partir de diferentes tipos de materiais orgânicos. Isso inclui resíduos agrícolas (como bagaço de cana-de-açúcar, cascas de arroz), resíduos florestais, culturas energéticas (como o eucalipto) e resíduos sólidos urbanos.

Existem diferentes tecnologias de conversão de biomassa para energia. A combustão direta é uma das formas mais comuns, onde a biomassa é queimada para gerar calor, que pode

ser usado para aquecimento ou para gerar vapor que aciona uma turbina para produzir eletricidade. A gaseificação é outra tecnologia utilizada, na qual a biomassa é convertida em um gás combustível (biogás) que pode ser utilizado para produzir eletricidade ou calor. A produção de biocombustíveis líquidos, como o etanol e o biodiesel, também é uma forma de aproveitamento da biomassa. (EPE; 2018)

A energia biomassa apresenta várias vantagens, como a utilização de resíduos que de outra forma poderiam ser descartados, a redução de emissões de gases de efeito estufa em comparação com combustíveis fósseis e a geração de empregos no setor agrícola e florestal. No entanto, seu uso também enfrenta desafios, como a necessidade de manejo sustentável da biomassa, a competição com a produção de alimentos e a emissão de poluentes atmosféricos durante a queima da biomassa. (EPE; 2018)

Petróleo e derivados: O petróleo e seus derivados são fundamentais na matriz energética brasileira, especialmente no setor de transporte. O Brasil possui reservas de petróleo e investe na exploração e produção desse recurso, além de importar petróleo para atender à demanda interna.

Além do próprio petróleo bruto, o qual é uma mistura complexa de hidrocarbonetos, o petróleo é refinado para produzir uma variedade de derivados. Esses derivados incluem gasolina, diesel, querosene de aviação, óleo combustível, óleo lubrificante, asfalto, entre outros.

A energia proveniente do petróleo oferece várias vantagens, como alta densidade energética, facilidade de armazenamento e transporte, além de uma infraestrutura existente para a sua distribuição. Esses fatores contribuíram para o seu amplo uso em todo o mundo.

O uso de petróleo e derivados também apresenta desafios ambientais significativos. A queima de combustíveis fósseis, incluindo os derivados do petróleo, é uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa responsáveis pelo aquecimento global e mudanças climáticas. Além disso, a exploração, produção e transporte de petróleo podem causar poluição do ar, derramamentos de óleo e impactos negativos em ecossistemas terrestres e marinhos. (EPE; 2018)

Muitos países dependem do petróleo e de seus derivados como fonte de receita econômica. A produção e exportação de petróleo podem ter um impacto significativo nas economias nacionais, mas também podem levar a vulnerabilidades em relação a flutuações nos preços do petróleo no mercado internacional.

Gás natural: O gás natural também tem uma participação significativa na matriz energética brasileira. É utilizado na geração de eletricidade, indústrias, aquecimento e como

combustível veicular. O Brasil possui reservas de gás natural e investe na exploração desse recurso. (EPE; 2018)

O gás natural é uma das fontes de energia mais abundantes no mundo. Suas reservas estão distribuídas em várias regiões do planeta, incluindo América do Norte, Rússia, Oriente Médio e Ásia Central. Sua disponibilidade em diferentes áreas geográficas contribui para a diversificação da matriz energética global.

A energia de gás natural oferece várias vantagens. Ela é considerada uma fonte de energia relativamente limpa em comparação com outros combustíveis fósseis, emitindo menos dióxido de carbono (CO₂) e poluentes atmosféricos durante a combustão. Além disso, o gás natural é altamente eficiente, fornecendo uma alta taxa de energia útil em relação ao seu peso e volume. (EPE; 2018)

A distribuição e o transporte do gás natural exigem uma infraestrutura adequada. Isso inclui redes de gasodutos para transportar o gás de áreas de produção para centros de consumo, terminais de gás natural liquefeito (GNL) para viabilizar o comércio internacional e instalações de armazenamento para garantir o fornecimento contínuo de gás.

Apesar de suas vantagens em relação a outros combustíveis fósseis, a extração e o uso de gás natural também apresentam desafios e impactos ambientais. A extração por meio de fraturamento hidráulico (fracking) pode gerar impactos negativos na qualidade da água e do solo. Além disso, o vazamento de metano durante a produção e transporte do gás contribui para o aumento do efeito estufa, pois o metano é um potente gás de efeito estufa. (EPE; 2018)

3.3 Desafios e Perspectivas para o Futuro

As fontes de energia mais usadas são as renováveis, com grande destaque para a hidrelétrica, a grande base de nossa matriz energética. Estimasse que mais ou menos 48,3% da produção de energia no país provém de fontes renováveis, como por exemplo a hidráulica, biomassa, usada na produção de biocombustíveis, o etanol, empregado na produção da cana-de-açúcar, além das energias eólica, energia que provém do movimento do vento, e a solar, oriunda dos raios solares. Porém, 51,7% da produção de energia brasileira é composta por fontes de energia não renováveis, como por exemplo o carvão, petróleo, gás natural e nuclear que acabam sendo muito prejudiciais para o meio ambiente brasileiro. (EPE; 2018)

Evolução da participação das fontes renováveis na matriz energética

Brasil - 2005-2030

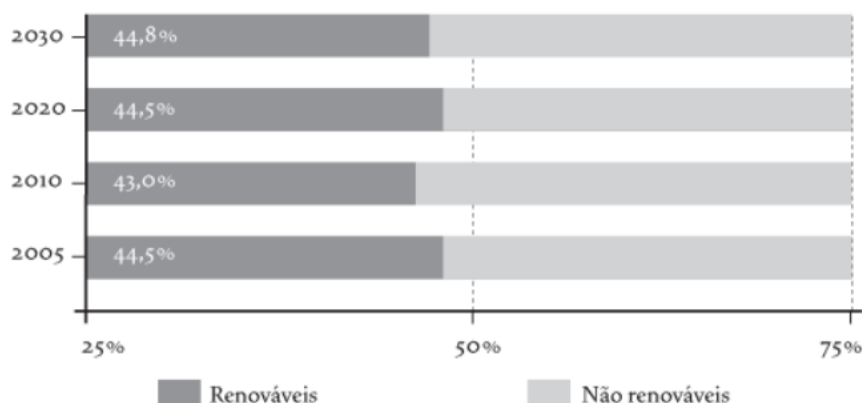


Figura 5 Evolução da participação das fontes renováveis na matriz energética

Fonte: Epe.Gov. Evolução da participação de fontes renováveis, 2020.

Segundo o site da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil usa 83% de fontes renováveis para a produção de energia, enquanto a média mundial é de 25%. Além de gerar mais sustentabilidade, isso também nos traz menos custos de produção para as usinas que escolhem utilizar a energia renovável. Fora a hidrelétrica, a matriz energética do Brasil também é composta por: gás natural (9,3%), eólica (8,6%), biomassa (8,4%), carvão e derivados (3,3%), nuclear (2,5%), derivados do petróleo (2,0%), solar (1,0%). Com isso, o país tem grande potencial de produção de energia renovável por conta do clima, agricultura e distribuição hídrica.

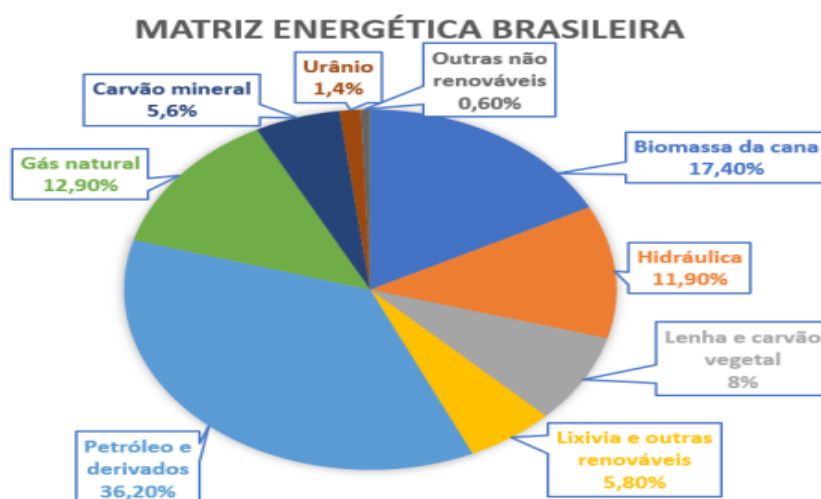


Figura 6 Composição da matriz energética brasileira

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2018.

A utilização dessas fontes de energia renováveis tem sido cada vez mais um meio de evitar o uso do petróleo na matriz energética brasileira. As usinas hidrelétricas têm um papel na

obtenção de energia que representa 75% da geração elétrica no Brasil, contando com 140 usinas operando na geração de energia constantemente. Segundo dados provenientes do Governo Brasileiro, o etanol que tem sua origem da cana-de-açúcar, alcançou em 2015 a marca de 37 bilhões de litros produzidos. Esse dado mostra que o uso desse biocombustível foi visto como uma alternativa ao uso da gasolina, proveniente de combustíveis fósseis, impediu que o país emitisse nos últimos 30 anos cerca de 800 milhões de toneladas de gás carbônico na atmosfera (EPE, 2018).

Segundo o Atlas Eólico Nacional (2001), quando se comparam os índices da produção de energia eólica brasileira aos países da América Latina e ao Caribe, o Brasil é o país que possui maior capacidade de produção de energia por meio dos ventos. Nos últimos anos, a energia eólica e solar cresceram consideravelmente no cenário brasileiro, especialmente no Nordeste, deixando a matriz energética brasileira cada vez mais limpa e agredindo cada vez menos o meio ambiente brasileiro. Farias (2016) afirmou, que no cenário dos empreendimentos de energia no mundo, a energia eólica vem se tornando uma das grandes possibilidades para o futuro, por sua qualidade ambiental e por sua abundante presença em muitos locais do Planeta. A produção de eletricidade no Brasil a partir da fonte eólica alcançou 42.373 GWh em 2017, equivalente a um aumento de 26,5% em relação ao ano de 2016, quando se atingiu 33.489 GWh (EPE, 2018). Nessa circunstância, destaca-se, que em 2017, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 21,3%, atingido 12,36 W ao final de 2017 (EPE, 2018).

Em suma, pode-se concluir que a utilização de energias renováveis é de extrema importância para o futuro da humanidade, pois não emitem gases de efeito estufa nos processos de geração de energia, tornando-se uma solução mais limpa e viável para evitar a degradação ambiental. O Brasil, por sua vez, passou por um intenso processo de evolução tecnológica e crescimento urbano marcado pelo alto desenvolvimento industrial e econômico, desde a década de 40-70, demandando cada vez mais energia. Com isso, é possível notar que um país desenvolvido necessita cada vez mais de produção e da utilização de energia, e sendo ela, principalmente, proveniente de combustíveis sustentáveis em meio as políticas e éticas de países com um grande papel mundial, que visam cada vez mais cuidar do meio ambiente do planeta em que vivemos.

O Brasil destaca-se no cenário energético mundial por causa da abundância de recursos naturais a custos relativamente baixos, o que lhe permite o desenvolvimento das hidrelétricas e a biomassa, por exemplo. Além disso, possui também potencial para produção de energia solar e energia eólica, principalmente no Nordeste. A tecnologia dos equipamentos necessários à exploração desses recursos já é bem avançada, o entrave maior é o custo para que os

investimentos sejam viáveis e corretamente utilizados. Esses custos tendem a ser reduzidos, e isso vai acontecer em função da capacidade instalada. Em um contexto de decrescentes custos marginais das novas fontes renováveis e de crescentes custos marginais das fontes tradicionais, é bastante razoável afirmar que a produção de energia a partir de fontes renováveis se mostre competitiva no futuro. Essas características indicam que o Brasil possui grande potencial energético que ainda não foi adequadamente explorado, resultando em um baixo consumo específico de energia, carência de infraestrutura energética e concentração das riquezas naturais. (EPE; 2018)

4. EÓLICA NO BRASIL

Esse capítulo procura, especialmente, abordar o tema da Energia Eólica fazendo uma breve panorâmica sobre sua história, e logo depois, explicando seus conceitos, exemplificando seus benefícios, malefícios, trazendo um estudo de custos e demanda sobre a energia eólica.

Devido ao seu vasto tamanho, o Brasil possui várias regiões muito favoráveis à energia eólica não só para geração de energia, mas também para outras aplicações como navegação e aeronáutica, bombeamento de água, agricultura etc. Para não desperdiçar esse recurso naturalmente renovável, é fundamental entender o comportamento do vento, principalmente sua velocidade e direção. (ATLAS DO POTECLAL EOLICO BRASILEIRO; 2001)

“A eólica já é uma fonte consolidada como a segunda da matriz elétrica e, em dias de pico durante a Safra dos Ventos, já chega a abastecer cerca de 20% de todo o Sistema Integrado Nacional, batendo recordes de atendimento de mais de 100% do Nordeste durante um dia inteiro. Já ficou para trás o período em que a eólica era uma fonte “alternativa”, agora ela é não apenas uma fonte consolidada com um espaço importante na matriz como tende a crescer ainda mais aliada a novas tecnologias.” (GANNOUM; 2022)

“A energia eólica é a energia existente na movimentação dos ventos, ou seja, é a energia cinética contida nas massas de ar da atmosfera. Uma estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta pode ser feita a partir da hipótese de que, aproximadamente, 2% da energia solar absorvida pela Terra é convertida em energia cinética dos ventos. Este percentual, embora pareça pequeno, representa uma centena de vezes a potência anual instalada nas centrais elétricas do mundo.” (CRESESB, 2014)

“A utilização dessa energia para fins mecânicos, como impulsão de barcos a vela, rotação de moinhos, bombeamento de água ou moagem de grãos, é muito antiga. Em contrapartida, seu uso para obtenção de energia elétrica é bem mais recente, havendo relatos de estudo no século XIX, mas sendo consolidada apenas em 1970, onde se viu necessária devido à crise do petróleo.” (REIS, 2011)

A energia eólica tem crescido rapidamente em todo o mundo, impulsionada pela necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as mudanças climáticas. O Brasil é um dos líderes globais na produção de energia eólica, com uma capacidade instalada significativa e um mercado em expansão, especialmente na região Nordeste.

4.1 Breve histórico da Energia Eólica

Desde a antiguidade, a energia gerada pelos ventos vem sendo bastante utilizada e explorada pela humanidade em atividades de diversos culhões, como: Navegação Marítima, moagem de grãos, bombeamento de água, entre outros. Acredita-se que a energia eólica foi utilizada a primeira vez em Pérsia, por volta de 200 A.C. na moagem de grãos. Também há relatos de que em países como a China e Oriente Médio já utilizavam essa tecnologia. Porém, somente a partir do século XII, esse tipo de energia foi descoberto e espalhado para os países europeus, como a Inglaterra, França e Holanda, e logo depois, para o resto da Europa e do mundo. (PUC-RIO; 2012)

O catavento, tipo de moinho com eixo vertical, tem seu primeiro registro histórico por volta do ano 200 A.C. na Pérsia. Embora, se acredite que ele substitua a força motriz humana ou animal nas atividades agrícolas desde o ano 2.000 A.C. na China e o ano 1.700 A.C. no Império Babilônico. A primeira grande inovação encontrada no catavento foi a incorporação de velas de sustentação em eixo horizontal, em modelos das Ilhas Gregas (DUTRA, 2001).

Em 1888, Charles F. Brush montou o primeiro catavento destinado a produção de energia por meio do vento. O mecanismo montado fornecia 12 KW de corrente contínua para carregamento de baterias destinadas ao fornecimento de energia elétrica. Com a revolução industrial, no final do século XIX, essa fonte de energia foi substituída por máquinas a vapor, pela eletricidade e pelos combustíveis fósseis. Porém, no começo desse mesmo século, a energia eólica ressurge em meio a agricultura. (PUC-RIO; 2012)

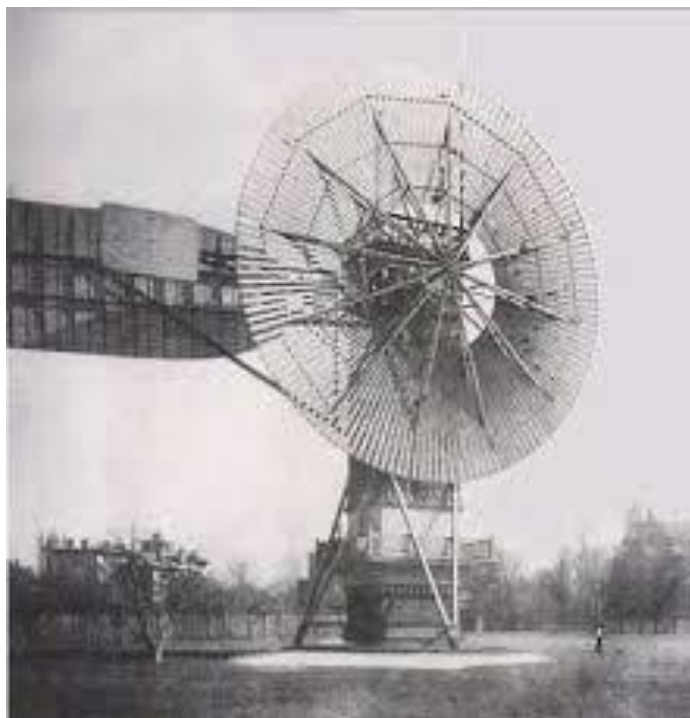


Figura 7 Moinho de Vento construído por Charles Bruch

Fonte: MARQUES (2004).

“Durante a Primeira Guerra Mundial, o desenvolvimento da energia eólica foi estimulado devido à escassez de combustíveis fósseis, principalmente na Europa. Nessa época, os aerogeradores com potência de 30 a 35 KW foram utilizados principalmente no bombeamento da água nos campos rurais da Dinamarca. Entretanto, com o final da guerra, com a retomada do crescimento da economia mundial, a energia eólica foi deixada de segundo plano por não ser economicamente competitiva e não gerar impactos na cadeia produtiva se comparada com as demais fontes de energia da época.” (CRESESB, 2010)

“Contudo, as pesquisas para a geração de energia por meio dos ventos continuaram durante a Segunda Guerra Mundial e a após a grande crise do petróleo em 1970. Novamente com a falta de combustíveis fósseis, as grandes nações se viam no dever de procurar por alternativas de fonte de energia. Sendo assim, com a evolução das pesquisas, surgiram diversos aerogeradores eólicos de diferentes potências e formas. Porém, as dificuldades de comercialização dos aerogeradores fizeram com que a utilização da energia eólica não fosse levada adiante na década de 70.” (DUTRA, 2001)

Um importante ponto que contribuiu diretamente para o desenvolvimento de tecnologias para a geração de energia eólica foi o Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA). No ano de 1978, o congresso americano aprovou a lei que incentivava a redução do consumo de petróleo importado no país. Por meio de uma estrutura de créditos tributários, tornou viável a primeira grande onda eólica da história, de acordo com Silva (2006). Com o avanço da tecnologia e o crescimento do consumo de energia, resultou em uma crescente produção de

aerogeradores, reduzindo gradativamente os custos da produção da energia elétrica por meio dos ventos. (PUC-RIO; 2012)

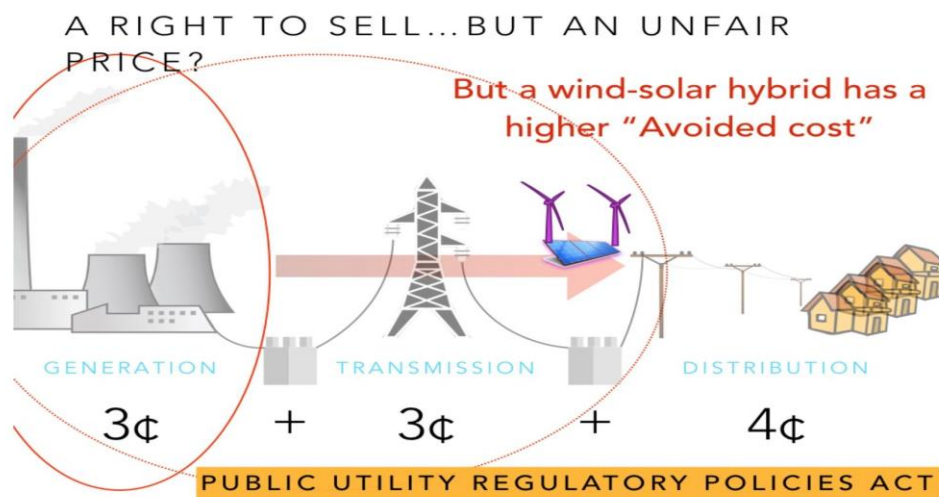


Figura 8 Ilustração esquemática do PURPA

Fonte: ILSR, Institute For Local Self-Reliance, 2023.

“Nas décadas seguintes, grandes avanços na tecnologia de turbinas eólicas, como o desenvolvimento de grandes turbinas de eixo horizontal, tornaram-se mais eficientes e confiáveis. Além disso, a pesquisa em materiais, aerodinâmica e controle de turbinas permitiu um melhor aproveitamento do vento e aumento da capacidade de geração de energia.” (GAVINO; 2011)

“A energia eólica experimentou um rápido crescimento em todo o mundo nas últimas décadas. Países como Alemanha, Espanha, Estados Unidos e China tornaram-se líderes em capacidade instalada de energia eólica. No Brasil, a energia eólica também vem crescendo rapidamente, principalmente no Nordeste, impulsionada pelas condições eólicas favoráveis.” (GAVINO; 2011)

Segundo Amarante et al. (2001), entre 1976 e 1977, foi realizado, no Instituto de Atividades Especiais, um processamento de dados anemométricos colhidos em aeroportos brasileiros. Os resultados indicaram viabilidade técnica para máquinas eólicas de pequeno porte no litoral do Nordeste e no arquipélago de Fernando de Noronha. Dessa forma, em 1992, foi dado o primeiro passo prático do Brasil no contexto da energia eólica. No arquipélago de Fernando de Noronha, realizou-se a instalação de uma pequena unidade de teste, a qual gerava o equivalente a 1 MW. Os resultados desse teste abriram as portas para pesquisas mais aprofundadas a respeito do potencial eólico brasileiro e para a instalação de uma quantidade cada vez maior de turbinas eólicas (WWF-Brasil, 2015).

Assim, no período entre a década de 90 e o ano de 2001, com a implantação das primeiras usinas eólicas no país, novos estudos realizados em torres com

alturas de 50 a 70 metros, trouxeram resultados animadores: o estado do Ceará, por exemplo, revelou um potencial aproveitável de 12,0 TW/h na altura de 50 metros e de 51,9 TW/h na altura de 70 metros, com ventos médios anuais superiores a 7 m/s. (Amarante; 2001)

Considerando esse potencial natural e dificuldades como a crise energética nacional de 2001 - entre o fim da década de 90 e o ano de 2000, o consumo de energia e o PIB cresceram em taxas significativas, enquanto a capacidade instalada para geração de energia pouco aumentou. O Governo brasileiro passou a investir em programas que incentivassem mais a produção de energia elétrica vinda de outras fontes limpas além da hidráulica. (Tolmasquim; 2000)

Mediante esse cenário, em julho de 2001, a câmara de gestão da crise de energia elétrica criou o PROEÓLICA (Programa Emergencial de Energia Eólica), que determinou a implantação, até o final de 2003, de 1050 MW de geração de energia elétrica a partir da fonte eólica. (Ferreira; 2008)

Pouco depois, em abril de 2002, foi criado o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), que, contando com um financiamento de até 80% do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento), estabeleceu a instalação de 3300 MW de energia elétrica produzida a partir das fontes limpas, bem como um índice de nacionalização entre 60 e 90% dos equipamentos e serviços empregados na produção da energia. (Ferreira, 2008; Salino, 2011)

Não se atendo somente a criação de programas, em 2004, por meio da Lei nº 10.848/2004, o Governo Federal definiu que a contratação de energia elétrica para cobertura do consumo no mercado regulado e formação de reserva deveria ser feita através de leilões públicos. Assim, entre 2009 e 2015, o Brasil realizou uma série de leilões com participação da energia dos ventos, onde foram contratados um significativo total de 16,6 GW de potência eólica da cadeia produtiva nacional (Salino; 2011).

Além disso, os investimentos no setor também aumentaram. Conforme a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA, 2016), em 2015, o montante investido em energia eólica foi cerca de US\$4,93 bilhões, valor equivalente a 66% do total aplicado em fontes renováveis pelo Brasil no mesmo ano.

Quando considerado o período entre 2006 e 2015, por sua vez, ainda segundo a ABEEÓLICA, o investimento acumulado foi de aproximadamente US\$28,13 bilhões, fator que aqueceu o mercado e contribuiu para que essa opção energética, antigamente a mais cara e menos desenvolvida daquelas incentivadas pelo PROINFA, passasse a figurar entre as principais opções.

4.2 A Situação Atual

Em 2023, a energia eólica é uma das fontes de energia renovável mais maduras e em rápido crescimento. A indústria continua avançando com o desenvolvimento de turbinas mais eficientes, melhorias nas técnicas de instalação e integração de tecnologias de armazenamento de energia para lidar com a variabilidade do vento.

O avanço da energia eólica no Brasil tem sido rápido e importante. Por exemplo, de acordo com Gannoum (2014), desde o ano de 2009, a indústria eólica vem crescendo a uma taxa média anual de 2,3 GW, o que, em termos de geração eólica total, levou o país a atingir cerca de 21.626 GWh em 2015, um valor quase 90 vezes maior que aquele registrado em 2006 (237 GWh).

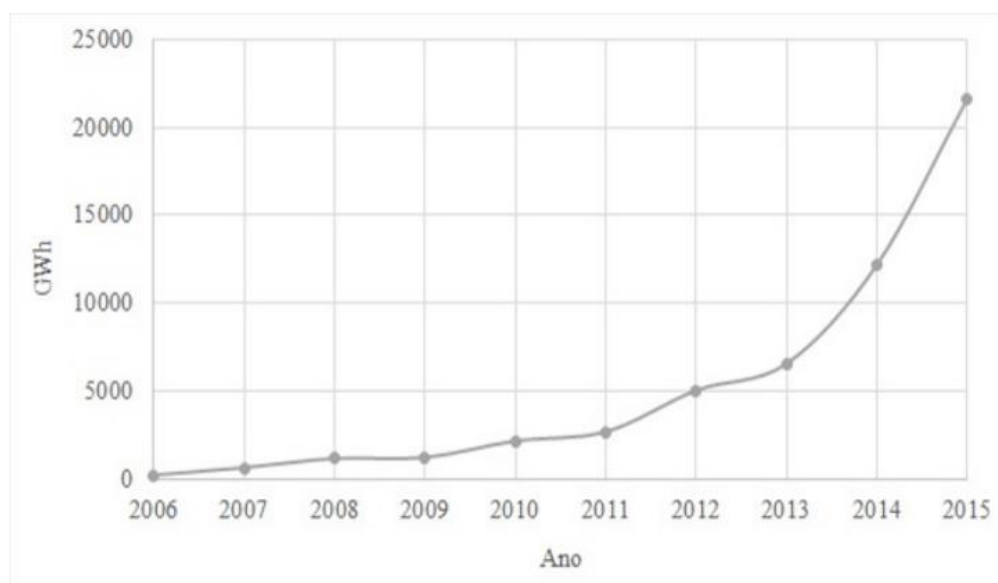


Figura 9 Evolução da geração total de energia eólica no Brasil entre 2006 e 2015.

Fonte: ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: EVOLUÇÃO, DESAFIOS E PERSPECTIVAS (2016).

A importância da fonte eólica para geração de energia elétrica fica ainda mais evidente quando se leva em conta a capacidade total instalada para geração de energia elétrica no Brasil. De acordo com a EPE (2016), em 2015, essa capacidade alcançou 140.858 MW, sendo a energia eólica a maior contribuinte, uma vez que registrou 39,5% de participação, ficando até mesmo a frente da tradicional fonte hidráulica.

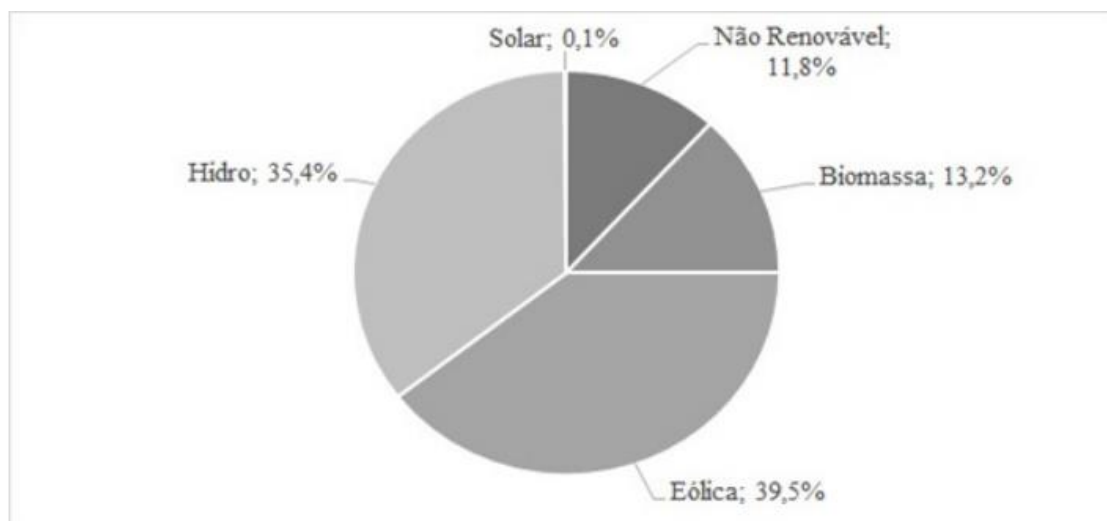


Figura 10 Participação das fontes na expansão da capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil em 2015.

Fonte: Adaptada de EPE (2016).

Diante desses resultados, no mesmo ano, o Brasil foi classificado como o oitavo país que mais gera energia eólica, o quarto que mais investe nesse tipo de energia e entrou na lista das 10 nações com maior capacidade eólica instalada nova. (Brasil, 2016; ABEEÓLICA, 2015).

“O Grupo de Trabalho da ABEEólica que discute e promove o desenvolvimento da eólica offshore no Brasil, por exemplo, tem quatro anos de atividade, conta em 2023q com 72 empresas que se encontram com regularidade para debater os principais temas de avanço do setor, analisar atuação de outros países, estudar dados de relatórios globais, produzir conhecimento para uma cadeia que está em pleno desenvolvimento e promover cooperação com embaixadas e consulados de países como Reino Unido, Dinamarca, Noruega Países Baixos, Alemanha, além de bancos de desenvolvimento, como Banco Mundial. As empresas do setor têm mostrado um grande dinamismo e já há mais de 100 GWs de projetos de eólica offshore em análise no Ibama. (GANNOUM, 2022)”

Além disso, ao registrar um total de 8,72 GW de capacidade acumulada, apareceu como o décimo país com maior potência eólica instalada do mundo; ranking pelo qual mantêm-se boas expectativas, já que, até 2024, a previsão é que essa capacidade atinja 24 GW, levando a fonte eólica a responder por 11,4% do total da matriz elétrica nacional (Brasil, 2015; ABEEÓLICA, 2015). Nesse sentido, vale lembrar que um dos principais motivos para essa sequência de resultados positivos do país está em seu fator de capacidade (FC) eólico, entendido como a razão entre a geração efetiva de uma usina eólica em determinado período e a sua capacidade máxima no mesmo período (ABEEÓLICA, 2015). Por exemplo, o valor médio do FC registrado no Brasil em 2015 foi de 38,1%, um percentual significativo, indicando a importante evolução para a consolidação desse tipo de energia em território brasileiro (ABEEÓLICA, 2015), bem como a notável competitividade em relação a outras nações, uma vez que se trata do maior fator de capacidade eólico do mundo, superando em 60% o FC

mundial (Brasil, 2016). Dentre os estados contribuintes, ainda de acordo com a ABEEÓLICA (2015), os principais representantes estão localizados no Nordeste, Sudeste e Sul, sendo que o Nordeste foi a região que mais contribuiu para o FC nacional, pois apresentou os quatro estados com maior fator de capacidade médio em 2015: Bahia (46,0%), Pernambuco (44,0%), Piauí (43,8%) e Ceará (42,7%).

“Essas regiões (Nordeste, Sudeste e Sul), cabe ressaltar, em especial no trecho litorâneo, são vistas como as de maior potencial de geração eólica do Brasil, tendo o Nordeste um potencial medido de 144,29 TWh/ano, o Sudeste de 54,93 TWh/ano e a região Sul de 41,11 TWh/ano.” (Silva, 2015)

4.3 Potencial Eólico no Brasil

O Brasil possui um considerável potencial eólico devido às suas vastas áreas territoriais e à sua localização geográfica favorável. O potencial eólico é a capacidade de geração de energia a partir do vento, e o Brasil tem condições climáticas propícias para o aproveitamento dessa fonte de energia renovável.

“E isto também significa que o Brasil tem uma responsabilidade muito importante neste cenário de emergência climática em que a transição energética já não é mais um desejo e sim uma necessidade para o planeta. Nós já somos um dos países mais renováveis do mundo, falando especificamente do setor energético. É por isso que falar de transição energética, no caso do Brasil, é mais fácil quando nos comparamos com outros países fortemente dependentes do carvão e de outras fontes que emitem grandes quantidades de CO₂. Em nossa matriz elétrica temos 83% de renováveis, enquanto a média global é de cerca de 25%. Na matriz energética, temos 48% e a média mundial está ao redor dos 15%. E seremos cada vez mais renováveis. Não apenas porque temos um dos melhores ventos do mundo para geração de energia eólica em terra, mas agora também porque estamos dando passos cruciais rumos à implantação da eólica offshore. Nosso desafio não é, portanto, gerenciar escassez de recursos naturais limpos, como é o caso de tantos países que precisaram investir bilhões em políticas de desenvolvimento de renováveis. Nosso desafio é gerenciar sua abundância para produção de energia, tirar de cada um deles o melhor possível, protegendo a natureza e trazendo retornos sociais e econômicos para a sociedade. Nossa responsabilidade, quando miramos o palco mundial das discussões sobre aquecimento global, é gigantesca. E é exatamente por termos essa abundância que podemos entender o processo de transição energética como uma oportunidade para que isso signifique uma transformação energética. Quando falamos de transformação energética, o conceito é mais amplo e envolve, por exemplo, todas as mudanças e tecnologias que se desenvolvem junto com as renováveis, para atender e permitir seu crescimento, além das consequências na sociedade.” (GANNOUM, 2022)

Segundo o Boletim Anual de 2023 da ABEEOLICA, em 2022, foram instalados 109 novos parques eólicos, num total de 4,05 GW de nova capacidade e 10,9 MW de capacidade

potenciada. Foi um ano recorde de instalações de nova capacidade eólica. Vale lembrar que, em 2021, já havíamos batido um recorde com a instalação de 3,83 GW. E agora, em 2022, ultrapassamos a barreira de 4 GW de nova capacidade instalada, somando-se as potências em operação comercial e teste.

Estados com novos parques em 2022

	Soma de Potência (MW)	Número de Parques
BA	1.674,06	52
PI	1.086,80	24
RN	963,89	26
PE	164,40	4
PB	93,50	2
CE	71,40	1
Total Geral	4.054,05	109

Figura 11 Estados com novos Parques Eólicos em 2022

Fonte: ABEEOLICA, Boletim Anual, 2023

O ano de 2022 terminou com 904 usinas e 25,63 GW de potência eólica instalada, o que representou um crescimento de 18,85% em relação a dezembro de 2021, quando a capacidade instalada era de 21,56 GW. (ABEEOLICA, 2023)

O ano de 2022 marcou um marco significativo no setor de energia eólica no Brasil, com a instalação de 109 novos parques eólicos, totalizando uma impressionante capacidade de 4,05 GW, além de 10,9 MW de capacidade potencializada. Esse feito é notável, especialmente considerando que, no ano anterior, em 2021, já havia ocorrido um registro com a instalação de 3,83 GW. Esses números destacam o rápido crescimento e a importância crescente da energia eólica na matriz energética do país. O encerramento de 2022 registrou um total de 904 usinas e uma capacidade eólica instalada de 25,63 GW, representando um aumento de 18,85% em relação a dezembro de 2021, quando a capacidade instalada era de 21,56 GW. (ABEEOLICA, 2023)

Região	2021		2022		% de crescimento
	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	
Sudeste	0,06	0,1%	0,06	0,1%	16%
Sul	6,20	8,7%	5,95	7,6%	-4%
Nordeste	63,20	88,7%	70,48	90,3%	12%
Norte	1,76	2,5%	1,59	2,0%	-10%
Total	71,22	100%	78,08	100%	9,6%

Figura 12 Relação de Produção em TWh vs Representatividade das regiões no Brasil

Fonte: ABEEOLICA, Boletim Anual, 2023

Em termos de representatividade e abastecimento, a geração verificada pela fonte eólica em 2022 foi responsável por 13,52% na média de toda a geração injetada no Sistema Interligado Nacional – SIN. Já no período de melhores ventos, que ocorre no segundo semestre, a representatividade da eólica aumentou e teve seu ápice em setembro, com 19,18% da geração do SIN. (ABEEOLICA, 2023)

Nota-se, no quadro acima, que o subsistema Nordeste possui geração muito próxima à geração total do sistema, tendo representado, em 2022, 90,3%. Os cinco estados com maior geração no ano de 2022 foram Bahia (24,17 TWh), Rio Grande do Norte (23,20 TWh), Piauí (10,29 TWh), Ceará (7,06 TWh) e Rio Grande do Sul (5,37 TWh). (ABEEOLICA, 2023)

Os estados brasileiros que se destacam como os maiores geradores de energia eólica estão localizados principalmente nas regiões Nordeste e Sul do país. No Nordeste, estados como o Rio Grande do Norte, a Bahia e o Ceará lideram a produção de energia eólica, impulsionada por ventos constantes e pela infraestrutura favorável à geração de energia renovável. Na região Sul, o Rio Grande do Sul também possui um grande potencial eólico, contribuindo significativamente para a capacidade total do país. Esses estados têm investido consideravelmente na expansão de parques eólicos e na diversificação de fontes de energia, desempenhando um papel crucial na transição do Brasil para uma matriz energética mais sustentável.

A geração eólica também pode ser apresentada mostrando a equivalência do que é gerado em relação ao consumo residencial médio mensal brasileiro. De acordo com a resenha mensal publicada pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), o consumo médio residencial no Brasil, no ano de 2022, foi de 163 kWh por mês.

Portanto, a média de geração de energia eólica em 2022 equivale ao consumo médio residencial de 41,5 milhões de residências, o que representa cerca de 124 milhões de habitantes. Para base de comparação, vale mencionar que as regiões Sudeste e Sul, juntas, tem 120 milhões de habitantes).

O gráfico abaixo mostra a quantidade de residências abastecidas pela geração eólica realizada ao longo do ano de 2022.

Quantidade de residências que poderiam ser abastecidas apenas por energia eólica em 2022

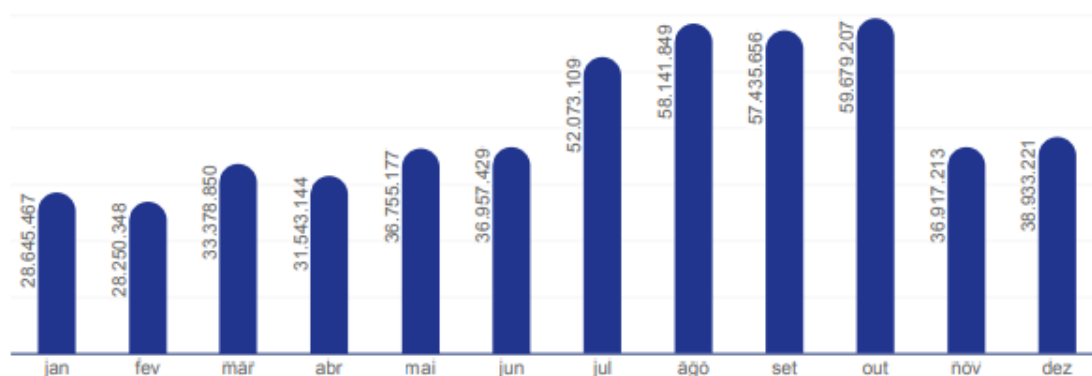


Figura 13 Potencial Eólico por residências em 2022

Fonte: ABEEOLICA, Boletim Anual, 2023.

Sendo assim, o impressionante crescimento da energia eólica no Brasil durante o ano de 2022, registrando a instalação de 109 novos parques eólicos, totalizando uma capacidade de 4,05 GW, um recorde para o setor, representa um marco ainda mais significativo quando comparado ao ano anterior, em que já havia sido registrado um registro de instalação com 3,83 GW. A capacidade eólica instalada no final de 2022 atingiu 25,63 GW, representando um aumento de 18,85% em relação a dezembro de 2021, evidenciando o papel crescente da energia eólica na matriz energética do país.

Além disso, a importância da energia eólica no contexto da transição energética global e a responsabilidade do Brasil nesse cenário de emergência climática está cada vez mais evidenciado. O país já é um dos mais renováveis do mundo no setor energético, com 83% de renováveis na matriz elétrica e 48% na matriz energética, superando em muito a média global. Isso coloca o Brasil em uma posição única para contribuir para a redução das emissões de CO₂ e promover a sustentabilidade ambiental por meio da energia Eólica.

A representatividade da energia eólica brasileira no abastecimento do Sistema Interligado Nacional (SIN), atingiu 13,52% na média de toda a geração injetada e alcançou 19,18% durante o período de melhores ventos. Os estados do Nordeste, como Bahia e Rio

Grande do Norte, lideram a geração eólica, com o Nordeste representando 90,3% da geração total em 2022.

Finalmente, como podemos visualizar no último gráfico apresentado, a relação da perspectiva de geração de energia eólica com o consumo médio residencial, mostra que a energia eólica gerada em 2022 seria suficiente para abastecer cerca de 124 milhões de habitantes, superando a população das regiões Sudeste e Sul do Brasil. Isso ilustra o potencial significativo da energia eólica em atender às necessidades energéticas do país.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia eólica tem ganhado crescente importância no cenário energético global como uma fonte limpa e renovável capaz de mitigar os desafios relacionados às mudanças climáticas e ao esgotamento dos recursos fósseis. No contexto brasileiro, essa forma de geração de energia tem se destacado como uma alternativa promissora para suprir as necessidades crescentes de eletricidade, ao mesmo tempo em que reduz as emissões de gases de efeito estufa e contribui para o desenvolvimento sustentável do país.

Durante esta análise, ficou evidente que a transição para fontes de energia mais limpas e renováveis é crucial para garantir a sustentabilidade da matriz energética brasileira. O Brasil tem experimentado um crescimento notável na capacidade instalada de energia eólica, ampliando sua participação na matriz energética nacional. Isso não apenas contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também fortalece a diversificação da matriz, reduzindo a dependência de fontes de energia não renováveis e voláteis.

Analisando especificamente a perspectiva das energias renováveis, a COP 27 reiterou o que já temos conhecimento: o caminho rumo ao cumprimento das metas de redução de emissões de carbono exige uma mudança para fontes de energia com um impacto ambiental mínimo. O agravamento da situação devido ao conflito entre Rússia e Ucrânia tornou essa necessidade ainda mais evidente, acrescentando a dimensão crítica da segurança energética ao cenário. Investir em energias renováveis não apenas contribui para a sustentabilidade ambiental, mas também fortalece a independência dos países em relação aos grandes fornecedores de carvão e petróleo.

Além disso, o avanço das inovações tecnológicas está tornando as fontes de energia renováveis cada vez mais competitivas. Quando projetamos o futuro, fica claro que ele será moldado predominantemente por fontes de energia de baixo impacto ambiental. No entanto, a principal preocupação reside na necessidade de acelerar o ritmo dessa transição. Portanto, é crucial conceber políticas abrangentes para o setor de energias renováveis e criar um ambiente propício para investimentos que possam transferir essa transformação de forma mais eficaz.

No entanto, apesar dos avanços que estão ocorrendo, muitas das vantagens e o potencial das energias renováveis ainda não estão sendo plenamente aproveitados devido a uma série de desafios. Estes incluem problemas na logística relacionados aos equipamentos e insumos, no sistema de transmissão da energia gerada, na dificuldade enfrentada pelos fabricantes para aderir aos programas de financiamento do governo, na falta de um planejamento adequado para a entrada na operação das usinas eólicas anuais, na ausência de uma política de incentivo às

energias renováveis compatível com o cenário atual e na necessidade de mais pesquisa e desenvolvimento. Embora esses desafios não sejam simples, eles podem ser resolvidos ou minimizados ao longo do tempo.

Portanto, há um maior comprometimento por parte do governo, em suas diferentes esferas de poder, e da iniciativa privada em colaborar e trabalhar para superar os obstáculos enfrentados pelo setor eólico nacional, como o apoio e um período de adaptação mais longo para os fabricantes atendem aos requisitos de financiamento do BNDES, a criação de uma nova política específica que valorize os diversos recursos energéticos renováveis do país, e um aumento significativo nos investimentos e no planejamento em logística (incluindo avanços nos estudos de alternativas como a navegação de cabotagem), sistemas de transmissão (realizando os leilões de transmissão antes dos leilões de parques eólicos para garantir, com antecedência, a capacidade de escoamento da energia produzida) e pesquisa e desenvolvimento, o Brasil tem uma grande oportunidade de consolidar eficazmente a energia eólica em sua matriz energética, tornando-a ainda mais robusta, descentralizada e contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país.

Na última análise, a energia eólica no Brasil representa mais do que uma fonte de eletricidade limpa; é um símbolo do compromisso do país com um futuro sustentável e resiliente. Para manter e fortalecer esse compromisso, é imperativo que sejam propostas políticas consistentes de incentivo, promovendo o desenvolvimento tecnológico e a pesquisa, bem como a expansão da capacidade instalada. A sinergia entre energia eólica, sustentabilidade e a matriz energética brasileira oferece uma oportunidade única para garantir um futuro energético mais limpo, eficiente e inclusivo para todos os brasileiros, ao mesmo tempo em que contribui para a luta global contra as mudanças climáticas. Portanto, é fundamental que o Brasil continue a investir na energia eólica e a avançar em direção a uma matriz energia verdadeiramente sustentável.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALVES, João. **Matriz Energética Brasileira: da crise à grande esperança**. 1ª Edição. Editora Mauad, 2003.

AEROMINI. **Energias Renováveis**. 2009. Disponível em: http://aeromini.blogspot.com/2009/11/vantagens-e-desvantagens-da-energia_26.html. Acesso em 2 Jun 2022

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balancos Energéticos Nacionais**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 17 Jun 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva** Mauricio T. Tolmasquim, Amilcar Guerreiro, Ricardo Gorin. 2019

CAMPOS DE ANDRADE, A. L. **Energia e mudanças climáticas: uma discussão da matriz energética brasileira e do setor de transportes**. Florianópolis, UFSC- Programa de Pós-Graduação em Economia (Dissertação de Mestrado), 2010, 164 p

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo Anual de Energia Elétrica por classe (Nacional) – 1995-2017**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 7 Ago 2022

FREITAS, J.C.; SANTOS, J.A.; CÂNDIDO, S.M.; RAMOS, D. P. **Energias Renováveis, Clima e Mudanças Climáticas**. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, v. 4, n. especial, p. 317-329, 2015

HAWKEN, Paul, LOVINS, Amory, LOVINS L.Hunter. **Capitalismo Natural: Criando a Próxima Revolução Industrial**. São Paulo: Cultrix, 1999.

ROBERT, Karl-Henrik. **The Natural Step: A história de uma revolução silenciosa**. São Paulo: Cultrix. 2002.

ROBERT, Karl-Henrik et al.. **Strategic Leadership towards Sustainability**. Karlskrona: Blekinge Institute of Technology, 2006.

KUHN, Thomas. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: University of Chicago Press (1970, 2nd edition, with postscript).

SENGE, Peter et al.. **Learning for Sustainability**. Massachusetts: The Society for Organizational Learning, 2006.

LOVELOCK, James. **A Vingança de Gaia**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006.

Alvim, C. F., **Valor Agregado por Setor e o Consumo de Eletricidade, Economia & Energia**, nº 26, 2001.

CME, 1.995 (Centro da Memória da Eletricidade), **A Eletrobrás e a História do Setor de Energia Elétrica no Brasil**.

OLIVEIRA, F. C. **O bom negócio da sustentabilidade**. Revista Ciências Administrativas, [S. l.], v. 8, n. 2, 2010. DOI: 10.5020/2318-0722.8.2. %p. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/rca/article/view/1912>. Acesso em: 2 Mai 2023.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. **O declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável**. 2009. Tese (Doutorado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/T.86.2009.tde-10062011-163905. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10062011-163905/pt-br.php>. Acesso em: 17 Abr 2023.

GUILHERME, Márcia Lúcia. **Sustentabilidade sob a ótica global e local**. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional (ano base 2009)**. Brasília, 2010. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-133/topico-105/Relat%C3%B3rio%20Final%202010.pdf>. Acesso em: 17 Abr 2023

CRESESB (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO). **Energia Eólica: Princípios e Tecnologia**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf. Acesso em: 15 Mai 2023.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **As Energias Solar e Eólica no Brasil**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=251>. Acesso em: 15 Mai 2023.

DUTRA, R.M. **Energia eólica: Princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: Centro de Referência para energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Britto, 2008. Disponível em: http://cresb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf. Acesso em 15 Mai 2023

DUTRA, Ricardo Marques. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. 2001. 259f. Tese 55 (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/rmdutra.pdf>. Acesso em: 15 Mai 2023

ELETROBRÁS. **Regulamentação e Incentivos às Energias Renováveis no Brasil: PROINFA**. In: VI Encontro Fórum Permanente de Energias Renováveis. Brasília, 2007. Disponível em: <https://eletrobras.com/en/Paginas/Proinfa.aspx>. Acesso em: 22 Jul 2023

Energia Eólica: uma análise dos incentivos à produção (2002-2009); Natália Azevedo Gavino, 2011. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/2323>. Acesso em: 22 Jul 2023

Gannoum, E. S. (2014). **O desenvolvimento da indústria de energia eólica no Brasil: aspectos de inserção, consolidação e sustentabilidade**. Cadernos Adenauer, n. 3, p. 57-71.

Marinho, A. F. (2015). **Energia eólica: um potencial cada vez mais explorado**. Canal Jornal da Bioenergia. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/energia-eolica-um-potencial-cada-vez-mais-explorado/>. Acesso em: 5 Ago 2023

Associação Brasileira de Energia Eólica. (2022). **Boletim anual de geração eólica 2022**. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Boletim-de-Geracao-Eolica-2022.pdf>. Acesso em: 10 Set 2023

Associação Brasileira de Energia Eólica. (2021). **Boletim anual de geração eólica 2021**. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/07/ABEEOLICA_BOLETIMANUAL-2021_PORT.pdf. Acesso em: 10 Set 2023