



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA

ELLYSSON JACKSON FERNANDES MORAIS

SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS DE FUTURO DAS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA NO BRASIL

CARAÚBAS-RN
2024

ELLYSSON JACKSON FERNANDES MORAIS

**SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS DE FUTURO DAS ENERGIAS SOLAR E
EÓLICA NO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semiárido (UFERSA), como exigência
final para obtenção do título de Bacharel
em engenharia elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Jan Erik Mont Gomery
Pinto

CARAÚBAS-RN
2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M Morais, Ellysson Jackson Fernandes.
828s SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS DE FUTURO DAS
 ENERGIAS SOLAR E EÓLICA NO BRASIL / Ellysson
 Jackson Fernandes Moraes. - 2024.
 60 f. : il.

 Orientador: Jan Erik Mont Gomery Pinto.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2024.

 1. energia eólica. 2. energia solar. 3. geração.
4. Brasil. 5. distribuição. I. Pinto, Jan Erik
Mont Gomery , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ELLYSSON JACKSON FERNANDES MORAIS

**SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS DE FUTURO DAS ENERGIAS SOLAR E
EÓLICA NO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semiárido (UFERSA), como exigência
final para obtenção do título de Bacharel
em engenharia elétrica.

Defendida em: 25 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Jan Erik Mont Gomery Pinto
Prof. Dr. Presidente

Rodrigo de Almeida Coelho
Prof. Dr. Membro Examinador Interno

Giuliani Paulineli Garbi
Prof. Dr. Membro Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Dedico a todos que acreditaram e de alguma forma me incentivaram e ajudaram na conclusão desse trabalho.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder a vida e a capacidade de realizar meus sonhos.

Aos meus pais, Francisco Edivaldo de Moraes e Roselia Fernandes da Costa Moraes, por todo o afeto, educação e apoio que sempre me ofereceram. Pelo exemplo de força e determinação que são para mim, e por nunca deixarem de me incentivar, especialmente nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos, Tuanny e Eliesmar, por estarem sempre ao meu lado, me encorajando e motivando a seguir em frente.

Aos meus familiares, pelo suporte constante e por acreditarem na minha capacidade durante todo esse percurso.

À minha namorada, Maria Eduarda, por sua presença incondicional, sempre me incentivando a lutar pelos meus objetivos, com amor e carinho. Suas palavras de encorajamento sempre me fizeram confiar que eu conseguiria.

Ao meu orientador Jan, pela orientação e pelas valiosas contribuições ao longo deste trabalho. Agradeço por não ter desistido de me orientar, mesmo com o tempo limitado, e por suas palavras que me inspiraram a acreditar no sucesso deste projeto.

Aos professores que me acompanharam durante toda a graduação, por despertarem em mim o desejo de buscar mais conhecimento, e por todas as contribuições que fizeram para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

A todos os meus amigos, que foram fundamentais nos momentos de lazer e também nos desafios, me oferecendo apoio e incentivo durante toda essa jornada.

“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”
(Albert Einstein)

RESUMO

Desde a sua invenção, a energia elétrica se tornou cada vez mais essencial na vida do ser humano, contudo, com o constante uso de fontes não renováveis de energia e os problemas relacionados aos desequilíbrios ambientais, o que era uma necessidade, passou a ser também um problema. Devido isso, a busca por fontes limpas de energia se tornou uma obrigação de todas as nações do mundo. No Brasil, inicialmente a energia hídrica se tornou a principal parcela da matriz energética e nos últimos anos a energia eólica e solar fotovoltaica passaram a ganhar bastante espaço na geração de energia nacional. Dito isto, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise da conjuntura atual das fontes de energia eólica e solar no Brasil, e promover uma discussão acerca das perspectivas de futuro das mesmas. A metodologia utilizada foi um levantamento bibliográfico de informações em livros, artigos científicos, relatórios atualizados de órgãos especializados no tema, montando uma base de dados agrupados, tornando possível executar uma análise crítica e organizada sobre o tema e assim discutir suas perspectivas de futuro. Os resultados mostram que mesmo com o crescente uso dessas fontes de energia o potencial de geração ainda permite um grande avanço, mas para o pleno aproveitamento de seu potencial é necessária uma evolução da regulação para garantir segurança jurídica tanto para os geradores quanto para os distribuidores de energia, além disso é preciso o contínuo investimento em infraestrutura.

Palavras – chave: energia eólica, energia solar, geração, Brasil, regulamentação, distribuição.

ABSTRACT

Since its invention, electrical energy has become increasingly essential in human life, however, with the constant use of non-renewable energy sources and problems related to environmental imbalances, what was a necessity has become an also be a problem. Therefore, the search for clean sources of energy has become an obligation for all nations in the world. In Brazil, initially hydro energy became the main part of the energy matrix and in recent years wind and solar photovoltaic energy have started to gain a lot of space in national energy generation. That said, the objective of this work is to carry out an analysis of the current situation of wind and solar energy sources in Brazil, and to promote a discussion about their future perspectives. The methodology used was a bibliographical survey of information in books, scientific articles, updated reports from bodies specializing in the topic, assembling a grouped database, making it possible to carry out a critical and organized analysis on the topic and thus discuss its future perspectives. The results show that even with the increasing use of these energy sources, the generation potential still allows for great progress, but to fully take advantage of its potential, an evolution of regulation is necessary to guarantee legal security for both generators and distributors of energy, Furthermore, continuous investment in infrastructure is necessary.

Keywords: wind energy, solar energy, generation, Brazil, regulation, distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Indústria Inglesa no início da revolução industrial.....	17
Figura 2 - Diagrama de Banda de Energia para (a) Isolantes (b) Metais (c) Semicondutores.	18
Figura 3 - Semicondutor tipo-N, tipo-P e o Campo Elétrico.....	19
Figura 4 - Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica.	20
Figura 5 - Curva típica do comportamento da célula fotovoltaica.....	20
Figura 6 - Turbina eólica de Charles F. Brush.....	21
Figura 7 - Componentes principais do aerogerador.	22
Figura 8: Organograma do Sistema Elétrico Brasileiro.	23
Figura 9 - Fluxo de Energia Elétrica no Brasil em 2023.	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Capacidade Instalada em Operação no País.	30
Gráfico 2 - Repartição da Oferta de Energia Elétrica no Brasil.	31
Gráfico 3 - Capacidade Instalada por Região em 2023.....	32
Gráfico 4 - Consumo por Região em GWh no ano de 2023.....	33
Gráfico 5 - Potência instalada da fonte fotovoltaica em 2023.....	34
Gráfico 6 - Ranking Geração Distribuída Estadual em 2023.....	35
Gráfico 7 - Ranking Geração Centralizada Estadual em 2023.....	35
Gráfico 8 - Número de Sistemas Por Classe.....	36
Gráfico 9 - Potência Instalada Por Classe.....	37
Gráfico 10 – Evolução do Preço da Fonte Solar Fotovoltaica em Leilões de Energia.	40
Gráfico 11 - Capacidade instalada da Fonte Eólica No Brasil.....	41
Gráfico 12 - Geração Eólica (GWh).....	42
Gráfico 13 - Número de Parques Eólicos por Estados do Brasil em 2023.Fonte: ABEEOLICA (2024).....	42
Gráfico 14 - Potência Instalada dos Parque Eólicos por Estados do Brasil em 2023.	43
Gráfico 15 - Capacidade de geração eólica em 2023.	43
Gráfico 16 - Perspectiva de Desenvolvimento da Eólica <i>Offshore</i> no Brasil..	45
Gráfico 17 - Respostas da pergunta 1.....	46
Gráfico 18 - Respostas da pergunta 2.....	47
Gráfico 19 - Respostas da pergunta 3.....	47
Gráfico 20 - Respostas da pergunta 4.....	48
Gráfico 21 - Respostas da pergunta 5.....	48
Gráfico 22 - Respostas da pergunta 6.....	49
Gráfico 23 - Respostas da pergunta 7.....	49
Gráfico 24 - Respostas da pergunta 8.....	50
Gráfico 25 - Respostas da pergunta 9.....	50
Gráfico 26 - Respostas da pergunta 10.....	51
Gráfico 27 - Respostas da pergunta 11.....	51
Gráfico 28 - Respostas da pergunta 12.....	52
Gráfico 29 - Respostas da pergunta 13.....	52
Gráfico 30 - Respostas da pergunta 14.....	53
Gráfico 31 - Respostas da pergunta 15.....	53

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Objetivos	15
1.2.	Justificativa	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1.	Fontes de energia	16
2.2.	Energia solar fotovoltaica	18
2.3.	Energia eólica	21
2.4.	Sistema elétrico brasileiro	22
2.5.	Classificação da geração	25
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1.	Questionamento	26
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1.	Balanco energético nacional	30
4.2.	Energia solar fotovoltaica	33
4.2.1.	Situação Atual.....	33
4.2.2.	Regulamentação e incentivos	37
4.2.3.	Perspectivas de futuro	39
4.3.	Energia eólica	40
4.3.1.	Situação atual	40
4.3.2.	Regulamentação e incentivos	44
4.3.3.	Perspectivas de Futuro	44
4.4.	Resultado do Questionamento	46
5.	CONCLUSÕES	55
	BIBLIOGRAFIA	56

1. INTRODUÇÃO

A busca pelo domínio de fontes de energia faz parte de toda a história de nossa espécie. Desde a pré-história, por possuir hábitos naturalmente diurnos, o homem sempre se preocupou em obter formas de iluminar suas noites. No início, o domínio do fogo foi um grande passo para uma melhor adaptação aos períodos noturnos, e possibilitou também o povoamento de áreas mais frias ao norte do globo. Posteriormente, o uso das forças dos ventos possibilitou a espécie a exploração de lugares inimagináveis até então (Farias; Sellito, 2011).

Em relação a energia elétrica, os primeiros registros de sua utilização e de seu conhecimento também existe a muitos anos atrás. Os sumérios a 2500 A.C adquiriram conhecimentos sobre a existência de energia elétrica e usavam esse conhecimento para deposição de prata em peças de cobre. Outros registros acerca da energia elétrica podem ser encontrados em estudos sobre os Partias (descendentes dos sumérios) no século III A.C. e na China no ano de 1080 D.C. Posteriormente, estudos realizados por Pierre Pèlerin de Maricourt, William Gilber, Maxwell, Coulomb e outros, ajudaram a trazer os conhecimentos da energia elétrica ao patamar que temos hoje (Battaglina; Barreto, 2011).

A primeira revolução industrial que teve a Inglaterra como precursora, no século XVIII, só foi possível de acontecer graças a descoberta da capacidade energética do carvão mineral. Posteriormente, no século XIX o uso do petróleo para obtenção de uma maior quantidade de energia ajudou toda a Europa ocidental e os Estados Unidos a desenvolverem suas indústrias. No entanto, o uso dessas fontes energéticas gerou problemas que perseguem a humanidade até os dias atuais (Bussadori, 2019).

Após a revolução industrial, o uso dos recursos naturais para a produção de energia passou a ser feito de forma extremamente desgovernada e sem preocupação com as consequências. Atualmente colhe-se os frutos desse descontrole, com vários problemas ambientais que surgiram com o passar dos anos. Entre eles o aumento da temperatura global, poluição do ar, desmatamento e degradação marinha. Junto com os problemas ambientais vários outros problemas de cunho social, econômicos e de saúde foram criados (Inatomi; Udaeta, 2005).

Com o aumento dos impactos ambientais trazendo cada vez mais problemas para a população, a busca por fontes de energia limpa passou a fazer parte de grandes discussões e estudos. Atualmente, as fontes hidráulicas, eólica e solar

tornaram-se exemplos de fontes de energia renováveis que podem ser utilizados pelas nações para tentar reverter o quadro de esgotamento ambiental (Santana *et al.*, 2020).

A energia dos ventos, também conhecida como energia eólica, recebeu esse nome em referência ao termo grego *éolos*, deus da mitologia daquele país. Sabe-se que não é de hoje que a força dos ventos é utilizada para realizar tarefas para o ser humano. Registros a milhares de anos dão conta de seu uso para mover embarcações, moer grãos, bombear água etc. Os primeiros registros de desenvolvimento de turbinas eólicas se dão no ano de 1931 na Rússia (Bellini *et al.*, 2017).

Assim como a energia eólica, a energia solar também tem seu uso a muitos anos, seja para secar grãos ou para se aquecer. Além disso, os primeiros relatos que relacionam energia solar e energia elétrica vem desde o ano de 1839, quando Edmond Becquerel, um físico francês, constatou que duas placas de latão imersas em um líquido eletrolítico, quando expostas a luz solar, produziam eletricidade (Machado, 2015)

Pereira e Neto (2021) defendem que a segurança energética no Brasil depende da diversificação das fontes, aumentando a resiliência do sistema elétrico. Com a necessidade de adotar práticas mais sustentáveis, torna-se crucial investir em energias renováveis que gerem menor impacto ambiental. O Brasil, por sua grande extensão territorial e recursos naturais abundantes — como vento, sol e biomassa —, possui todas as condições para expandir sua matriz elétrica de forma diversificada, ao contrário de países com poucos recursos para tal.

Devido a sua posição geográfica, o Brasil é um país que recebe elevado índice de radiação solar e é conhecido por ter regiões de ventos constantes durante todo o ano. Somado a isso, o Brasil tem muito recurso hídrico apropriado para a geração de energia elétrica. Aproveitando-se de todo esse potencial, atualmente o uso de energia renovável está em um momento de estímulo. Em 2023, somadas as fontes eólica, solar e hídrica representavam 16% de toda a matriz energética brasileira (Fortes, 2024).

Diante desse contexto histórico e das crescentes demandas ambientais, energéticas e econômicas, torna-se evidente a necessidade de adotar fontes de energia renováveis como parte fundamental do desenvolvimento sustentável global. No Brasil, a energia eólica e solar, além de contribuírem para a diversificação da matriz

energética, apresentam uma oportunidade ímpar de crescimento, inovação tecnológica e redução dos impactos ambientais. A adoção dessas tecnologias não só posiciona o país como líder no uso de fontes limpas, mas também demonstra um caminho promissor para alcançar uma economia mais verde e resiliente no futuro.

1.1. Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é a realização de uma análise geral da situação presente da matriz energética brasileira, com ênfase na fase atual de desenvolvimento das fontes solar e eólica e as perspectivas de futuro para as mesmas. O trabalho busca englobar o potencial de crescimento dessas fontes, a situação atual da legislação e possível mudanças na mesma, problemas relacionados a distribuição da energia gerada e incentivos governamentais.

1.2. Justificativa

As fontes de energia renováveis, como a solar e a eólica, já se tornaram pilares da matriz energética brasileira, desempenhando um papel central na geração de eletricidade. O Brasil, com seu vasto potencial natural, tem visto essas fontes ganharem cada vez mais relevância, contribuindo para atender à crescente demanda por energia de forma mais sustentável. No entanto, apesar dos avanços significativos, ainda há muito a ser aprimorado em termos de tecnologia, regulamentação e integração dessas energias ao sistema elétrico nacional. Por isso, é essencial que a energia solar e eólica continue a ser alvo de pesquisas e estudos constantes, buscando aumentar sua eficiência, reduzir custos e superar desafios operacionais. Essas melhorias não só garantirão um futuro mais sustentável, como também fortalecerão a segurança energética do Brasil, tornando o país um exemplo global de desenvolvimento sustentável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Fontes de energia

Borges (2021) define as fontes de energia como os recursos utilizados para obter energia. Sendo que essas fontes podem ser renováveis ou não renováveis. As fontes renováveis são aquelas que utilizam recursos naturais que não se esgotam e são menos poluentes e as fontes não renováveis são os recursos naturais esgotáveis, ou seja, terão um fim.

Conforme Farias e Sellito (2011) as necessidades energéticas do homem sempre passaram por evoluções. No início a principal finalidade era a de satisfazer seus problemas de alimentação, iluminação e aquecimento. Com isso veio o domínio do fogo e da agricultura. No entanto, com o avanço do tempo e a busca por aumento no nível de conforto demandou o uso de novas formas de utilização da energia.

Conforme relatado por Simabukulo *et al.* (2006) a energia é um elemento essencial para o desenvolvimento econômico e social, e tem sua demanda diretamente relacionada ao avanço tecnológico e ao crescimento industrial de uma nação. O domínio sobre as fontes de energia permite que as sociedades ampliem sua capacidade de transformação econômica e tecnológica, resultando em uma melhoria da qualidade de vida. Ele ressalta que o consumo de energia é um indicador das diferenças de desenvolvimento entre países. Nações industrializadas possuem maior demanda energética devido ao seu nível tecnológico avançado, enquanto os países em desenvolvimento enfrentam desafios tanto na exploração quanto no consumo energético, evidenciando as disparidades globais nesse aspecto.

Como demonstrou Tessmer (2013) durante a idade média na Europa a energia tinha como base as fontes não renováveis sendo a lenha e a tração animal, que eram utilizados para ajudar na agricultura, no transporte e para cozinha e aquecimento. Durante esse período também se utilizava as fontes renováveis como a hidráulica e a dos ventos seja para transporte ou construção de moinhos.

Com o aumento populacional na Europa, a busca por novas formas de obter energia foram aumentando, com a Inglaterra assumindo papel crucial nessa época. O uso do carvão mineral substituindo o carvão vegetal tornou-se a principal fonte de energia da época, sendo um dos fatores mais importantes para possibilitar todo o avanço do desenvolvimento Inglês (figura 1). Com o passar dos anos, a revolução

industrial possibilitou o surgimento do modelo capitalista que alcançou outros países europeus e os Estados Unidos, tornando a lenha, o carvão mineral e posteriormente a eletricidade e o petróleo as principais fontes energéticas do planeta (Tessmer, 2013).

Figura 1 - Indústria Inglesa no início da revolução industrial.



Fonte: Silva (2024).

No entanto, com o uso constante dessas fontes de energia e o surgimento de uma crescente preocupação com a crise ambiental global, tornou-se crescente a busca por alternativas energéticas mais limpas e sustentáveis. Nesse cenário, as fontes renováveis vêm ganhando destaque como uma solução viável para garantir o desenvolvimento econômico sem agravar os impactos ambientais e à saúde humana. Além disso, o aumento populacional e o crescimento da renda per capita estão diretamente relacionados à demanda por energia, exigindo maiores investimentos em infraestrutura energética para suprir o consumo crescente de recursos, reforçando a necessidade de diversificação e expansão de fontes limpas na matriz energética (Borges *et al.*, 2016). Entre essas alternativas, a energia eólica e solar surgem como opções promissoras, sendo fonte de energia renovável capaz de contribuir para a redução da dependência dos combustíveis fósseis.

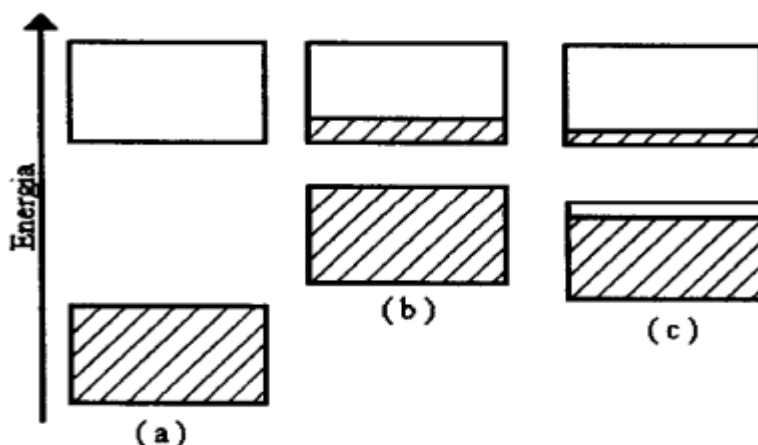
2.2. Energia solar fotovoltaica

Segundo Machado (2015) a energia solar fotovoltaica pode ser definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Sendo essa transformação ocorrida por meio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico. Esse processo de conversão é realizado por materiais semicondutores, entre eles o silício (Braga, 2008)

Olivati (2000) definiu o efeito Fotovoltaico como a conversão de radiação eletromagnética em energia elétrica. Esse efeito ocorre quando existir uma barreira de potencial em um semicondutor iluminado.

A figura 2 são ilustrados os conceitos relacionados à banda de valência e condução nos semicondutores, que são essenciais para o entendimento do efeito fotovoltaico. Quando um elétron na banda de valência ganha energia suficiente, ele pode se mover para a banda de condução, deixando um "buraco" na valência. Esse processo cria uma corrente elétrica quando os elétrons excitados são movidos por um campo elétrico. Utilizam-se semicondutores em vez de isolantes ou metais nas células fotovoltaicas devido às suas propriedades intermediárias (Olivati, 2000).

Figura 2 - Diagrama de Banda de Energia para (a) Isolantes (b) Metais (c) Semicondutores.

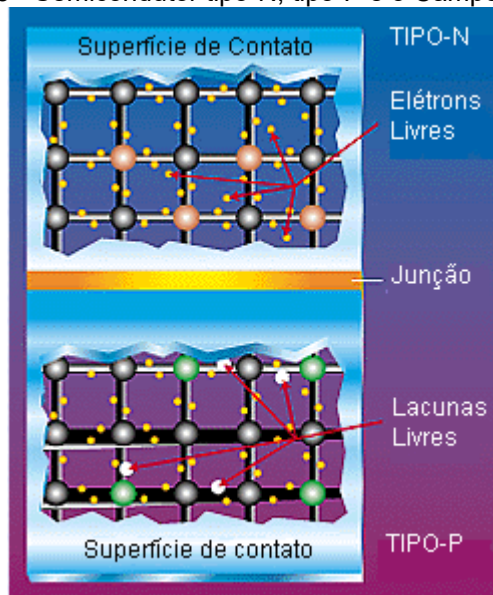


Fonte: Olivati (2000).

Para a geração de energia elétrica fotovoltaica atualmente são utilizadas as células fotovoltaicas, equipamentos que são formados por dois semicondutores, do

tipo N e de tipo P, separados conforme ilustrado na figura 3. Criando uma junção P-N e um campo elétrico (Chan, 2000).

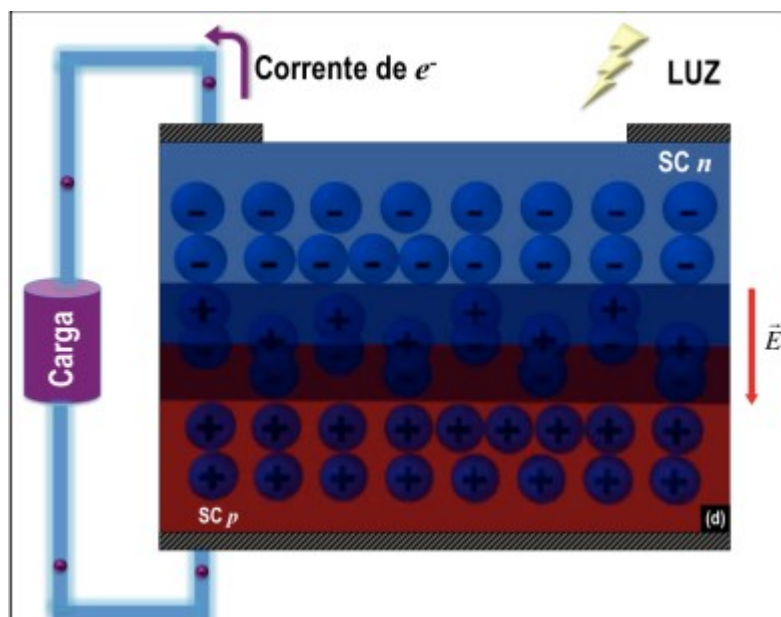
Figura 3 - Semicondutor tipo-N, tipo-P e o Campo Elétrico.



Fonte: Chan (2000).

Quando a luz solar incide sobre a célula solar, a energia solar incita elétrons da banda de valência para a banda de condução formando pares de elétrons e lacunas livres na zona de junção. O campo elétrico leva os elétrons para o lado negativo e as lacunas para o lado positivo gerando um acúmulo de carga nas extremidades da célula. Ao conectar um circuito elétrico nas duas extremidades da célula é promovido um fluxo de elétrons conforme representado na figura 4 (Carneiro, 2010).

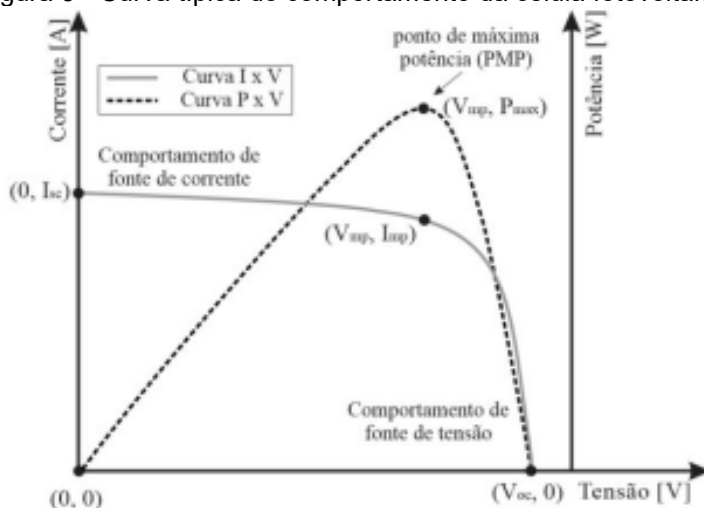
Figura 4 - Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Carneiro (2010).

Na figura 5 é representada a curva típica de corrente x tensão da célula fotovoltaica, onde P_{mp} é o ponto mais importante, pois representa a combinação ideal de tensão V_{mp} e corrente I_{mp} onde a célula fotovoltaica opera com a maior eficiência e gera sua potência máxima.

Figura 5 - Curva típica do comportamento da célula fotovoltaica.



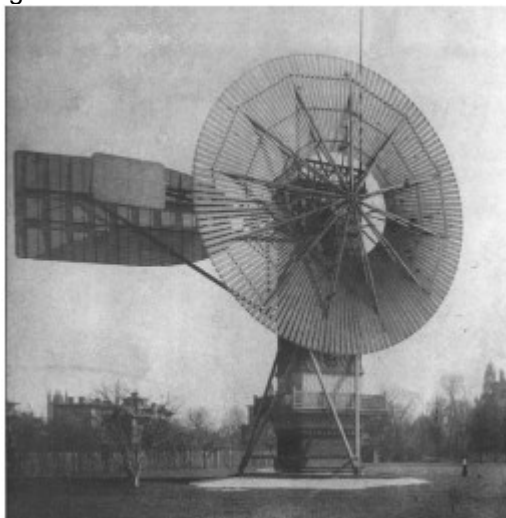
Fonte: Malta (2013).

2.3. Energia eólica

A utilização da energia eólica remonta a milhares de anos, quando a humanidade empregava os ventos para tarefas como a moagem de grãos e o bombeamento de água, principalmente em atividades agrícolas. Esses moinhos de vento representaram as primeiras formas de converter a energia cinética do vento em trabalho mecânico útil. Além disso, a navegação à vela foi amplamente impulsionada pela força dos ventos, desempenhando um papel crucial na expansão marítima e nas grandes descobertas. Hoje, essa energia é convertida de maneira muito mais eficiente, contribuindo significativamente para a matriz energética mundial (Martins; Pereira, 2008).

Com a Revolução Industrial no final do século XIX, o uso da energia eólica foi superado pelo crescente consumo de combustíveis fósseis, devido à sua alta densidade energética e flexibilidade. No entanto, houve avanços na conversão de moinhos para geração elétrica, com o primeiro aerogerador criado por Charles Brush em 1888 mostrado na figura 6. O interesse por essa tecnologia ressurgiu nas crises energéticas da década de 1970, com um rápido crescimento de turbinas eólicas em países desenvolvidos. Nos países subdesenvolvidos, o progresso foi mais lento devido à escassez de recursos para pesquisa e desenvolvimento (Cunha *et al.*, 2019).

Figura 6 - Turbina eólica de Charles F. Brush.

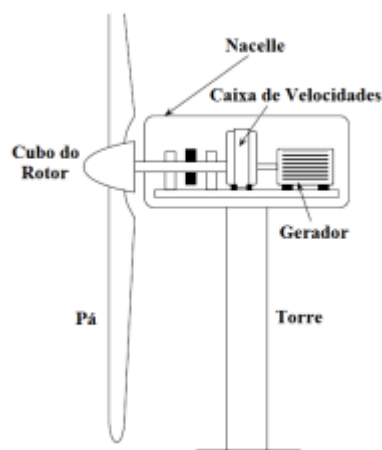


Fonte: Sintra (2013).

Como comentado por Sintra (2013), os principais modelos de aerogerador são compostos por várias partes, cada uma desempenhando uma função específica para a conversão da energia do vento em eletricidade. As pás capturam a energia do vento

e fazem o rotor girar, transferindo essa energia para o eixo lento. Em seguida, a energia passa pela caixa de multiplicação, que eleva a velocidade de rotação para níveis adequados ao gerador. A partir daí, o gerador converte a energia mecânica em eletricidade. A nacelle abriga esses componentes e a torre eleva a estrutura para captar ventos mais fortes. Esses elementos podem ser vistos na figura 7.

Figura 7 - Componentes principais do aerogerador.



Fonte: Sintra (2013).

A energia eólica é gerada por aerogeradores que convertem a energia cinética do vento em eletricidade. Isso ocorre quando o vento move as hélices, que transmitem o torque para um gerador elétrico. A quantidade de energia produzida depende da multiplicação da densidade do ar (ρ), a área das pás (A) e a velocidade do vento (v) e O coeficiente de potência (C_p) dividido por dois (Ponte, 2017).

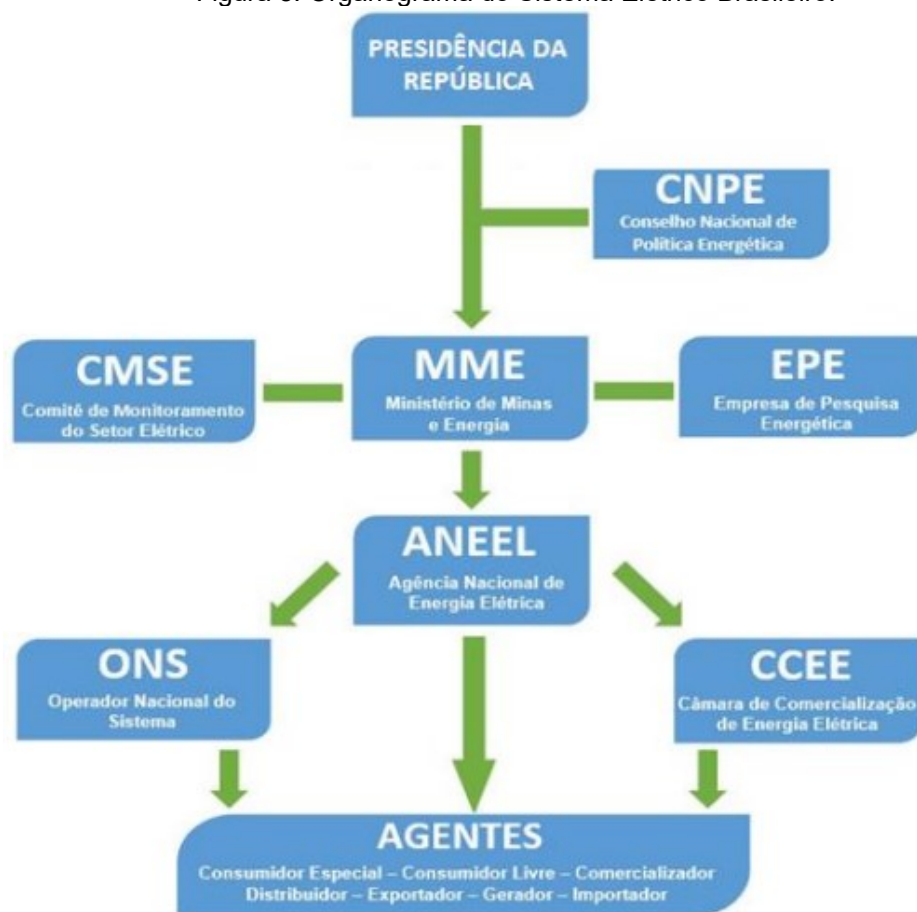
O coeficiente de potência é determinado pela relação entre as velocidades de entrada e saída do vento na turbina. O coeficiente ideal ocorre quando a velocidade de saída é três vezes menor que a de entrada, resultando em um valor teórico máximo de 0,593, conhecido como Coeficiente de Betz. Em testes com turbinas reais, no entanto, verificou-se que o C_p real é cerca de 25% menor que o ideal, atingindo em média 0,444, o que reflete a perda de eficiência prática (Santos, 2024).

2.4. Sistema elétrico brasileiro

O Ministério de Minas e Energia (MME) é o órgão do governo federal encarregado de formular e executar as políticas energéticas no Brasil, conforme as diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Suas atribuições incluem o planejamento estratégico do setor energético, o monitoramento

da segurança no fornecimento de eletricidade e a implementação de medidas preventivas para garantir o equilíbrio entre oferta e demanda de energia. O setor elétrico brasileiro é composto por diversas instituições que atuam de forma coordenada para assegurar a eficiência e a segurança do sistema como pode ser visto na Figura 8 (Brasil, 2021).

Figura 8: Organograma do Sistema Elétrico Brasileiro.



Fonte: Santos (2015).

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) foi instituído pela Lei do Petróleo em 1997, sendo um órgão de caráter consultivo vinculado à Presidência da República. Sua função principal é propor diretrizes e políticas para o setor energético nacional, visando o uso eficiente dos recursos energéticos do país. Embora suas propostas não sejam vinculativas, o CNPE desempenha um papel importante ao auxiliar o governo na formulação de estratégias energéticas amplas. O conselho é composto por 12 membros, incluindo ministros e representantes de diversos setores, e se reúne periodicamente para avaliar e sugerir ações (Marques *et al.*, 2007).

O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), criado pela Lei 10.848 de 2004, tem a responsabilidade de acompanhar a continuidade e a segurança do

fornecimento de energia elétrica em todo o Brasil. Presidido pelo Ministro de Minas e Energia, o CMSE é composto por representantes do MME, Agência Nacional da Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional do Petróleo (ANP), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Operador Nacional do Sistema (ONS). Suas principais funções incluem monitorar a geração, transmissão e distribuição de energia, além de avaliar o abastecimento e a oferta de energia, gás e petróleo, propondo soluções preventivas para garantir a segurança energética (Brasil, 2024).

A EPE é uma empresa pública federal criada em 2004 com o objetivo de auxiliar o MME na formulação de estudos e pesquisas voltados ao planejamento energético do Brasil. Sua atuação abrange energia elétrica, petróleo, gás natural e biocombustíveis, visando garantir o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do país. A EPE trabalha em colaboração com órgãos reguladores e instituições setoriais, promovendo estudos que orientam as políticas energéticas definidas pelo CNPE e pelo MME (EPE, 2024).

A ANEEL foi criada pela Lei nº 9.427/1996 para regular e fiscalizar o setor de energia elétrica no Brasil, sendo uma autarquia vinculada ao MME. Com autonomia administrativa e financeira, a ANEEL garante a segurança, produção, transmissão e comercialização de energia, pautando-se por critérios técnicos e operacionais (Prado, 2006).

O ONS é responsável por coordenar e controlar a operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), sob regulamentação da ANEEL. Criado pela Lei nº 9.648/1998, o ONS é uma associação civil sem fins lucrativos que visa otimizar a operação do sistema elétrico, garantir o acesso à rede de transmissão de forma equitativa e assegurar a expansão do SIN com o menor custo e máxima eficiência operacional. Seus membros incluem empresas do setor elétrico, consumidores e órgãos governamentais (ONS, 2024).

A CCEE foi criada em 2004 e iniciou suas operações em 10 de novembro de 2004, sucedendo o Mercado Atacadista de Energia (MAE). A criação da CCEE estabeleceu um novo marco regulatório para o setor elétrico, visando garantir estabilidade e atrair investimentos. A CCEE é uma associação civil composta por agentes de geração, distribuição e comercialização, desempenha um papel crucial na

viabilização das transações de compra e venda de energia elétrica, além de registrar e administrar contratos entre os diversos agentes do setor (CCEE, 2024).

2.5. Classificação da geração

A geração centralizada é caracterizada pela produção de energia em grandes usinas localizadas longe dos centros consumidores, com transmissão feita por longas linhas até a distribuição. Entre suas vantagens, destaca-se a redução de custos operacionais e a gestão mais simples, devido à concentração da geração em um único local. No entanto, possui desvantagens como perdas de energia na transmissão, maiores impactos ambientais e sociais das grandes usinas e o risco de falha em caso de indisponibilidade de uma unidade geradora (Grings, 2024).

A geração distribuída (GD) é caracterizada pela produção de energia em pequenas unidades próximas ou no próprio local de consumo, como casas e empresas, conectadas à rede da concessionária. Iniciada em 2012 pela Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, essa modalidade oferece benefícios como menor perda de energia na transmissão, maior eficiência, menor impacto ambiental e diversificação da matriz energética. A GD também aumenta a resiliência do sistema elétrico, descentralizando a geração e tornando-o mais robusto e sustentável (Grings, 2024).

Com o aumento da geração distribuída de energia, os sistemas de distribuição enfrentam desafios significativos relacionados à qualidade da energia elétrica. A conexão descentralizada e a variabilidade dessas fontes podem gerar desequilíbrios na tensão, afetando a estabilidade e a confiabilidade das redes. Além disso, o fluxo bidirecional de energia pode sobrecarregar o sistema e comprometer o desempenho dos equipamentos, gerando oscilações de tensão e perda de eficiência. Esses impactos exigem adaptações na infraestrutura e no monitoramento das redes para assegurar que a qualidade da energia não seja comprometida à medida que a geração distribuída cresce (Miranda, 2023).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desse trabalho foi efetuada uma análise dos dados literários disponíveis em trabalhos sobre esse tema. Em específico, nessa pesquisa científica a base de dados foi adquirida através de artigos científicos, revistas on-line, artigos de opinião, site de notícias e em sites governamentais.

A pesquisa foi dividida em alguns subtemas: geração atual; características dessa geração; tipo de geração, distribuída ou não distribuída; legislação atual; viabilidade atual da geração; potencial de crescimento de geração. Todos esses temas voltados tanto para energia solar quanto para a eólica.

Junto a essa análise teórica foi aplicado um questionamento para engenheiros que atuam no ramo dessas fontes de energia. Com esse questionário foi possível aprimorar ainda mais o trabalho teórico realizado anteriormente.

Com os dados em mãos foi possível realizar uma apreciação de todas as informações e assim chegar a uma conclusão sucinta da atual situação da energia solar fotovoltaica e eólica no Brasil e de suas perspectivas para o futuro.

3.1. Questionamento

O Questionário foi elaborado pela ferramenta formulários disponibilizados pelo Google e distribuído para pessoas que atuam tanto na área da energia eólica como da energia solar. No total foram elaboradas 15 questões objetivas e duas subjetivas divididas em 4 blocos. Segue abaixo a lista de questões elaboradas:

Parte 1: Seu Perfil

1_ Em qual setor você atua?

- a) Energia Solar
- b) Energia Eólica
- c) Ambos

2_ Qual é o seu nível de experiência na área de energia solar e/ou eólica?

- a) Menos de 1 ano
- b) 1-3 anos
- c) 3-5 anos
- d) Mais de 5 anos

3_ Em qual região do Brasil sua empresa está localizada?

- a) Norte

- b) Nordeste
- c) Centro-Oeste
- d) Sudeste
- e) Sul

Parte 2: Situação Atual da Energia Solar e Eólica

4_ Como você avalia o crescimento da energia solar no Brasil nos últimos 5 anos?

- a) Muito significativo
- b) Moderado
- c) Estagnado
- d) Desacelerado

5_ Qual você considera o principal fator responsável pelo crescimento da energia solar no Brasil?

- a) Queda nos custos de tecnologia
- b) Incentivos fiscais e regulamentação
- c) Demanda por fontes renováveis
- d) Investimentos privados
- e) Outro:

6_ Como você avalia o crescimento da energia eólica no Brasil nos últimos 5 anos?

- a) Muito significativo
- b) Moderado
- c) Estagnado
- d) Desacelerado

7_ Qual você considera o principal fator responsável pelo crescimento da energia eólica no Brasil?

- a) Queda nos custos de tecnologia
- b) Incentivos fiscais e regulamentação
- c) Demanda por fontes renováveis
- d) Investimentos privados
- e) Outro:

8_ Quais são os maiores desafios enfrentados por sua empresa para a implementação de projetos de energia solar e/ou eólica?

- a) Burocracia e questões regulatórias
- b) Financiamento e investimentos

- c) Falta de infraestrutura de transmissão
- d) Resistência de comunidades locais
- e) Outro:

Parte 3: Desafios e Oportunidades

9_Você acredita que a atual regulamentação do setor de energia renovável no Brasil (ex.: geração distribuída, compensação de energia) é adequada?

- a) Sim, é suficiente
- b) Não, precisa ser melhorada
- c) Indiferente

10_Quais aspectos da legislação você considera que precisam de maior atenção ou melhorias?

- a) Licenciamento ambiental
- b) Incentivos fiscais
- c) Condições de financiamento
- d) Política de geração distribuída
- e) Outro:

11_Como você avalia a infraestrutura atual de transmissão de energia no Brasil para suportar o crescimento das energias renováveis?

- a) Adequada
- b) Parcialmente adequada
- c) Inadequada
- e) Outro:

Parte 4: Perspectivas Futuras

12_Qual é a sua expectativa para o crescimento da energia solar nos próximos 10 anos no Brasil?

- a) Crescimento muito acelerado
- b) Crescimento moderado
- c) Crescimento lento
- d) Estagnação

13_Qual é a sua expectativa para o crescimento da energia eólica nos próximos 10 anos no Brasil?

- a) Crescimento muito acelerado
- b) Crescimento moderado

c) Crescimento lento

d) Estagnação

14_Quais medidas governamentais poderiam acelerar ainda mais o crescimento das energias renováveis no Brasil?

a) Aumento de incentivos fiscais

b) Melhorias na infraestrutura de transmissão

c) Simplificação do processo de licenciamento ambiental

d) Acesso facilitado a linhas de crédito

e) Outro:

15_Você considera que o Brasil tem potencial para se tornar líder global em energias renováveis (solar e eólica)?

a) Sim, certamente

b) Talvez, com as políticas adequadas

c) Não, existem muitas barreiras

d) Indiferente

16_Quais outros desafios ou oportunidades você vê para o desenvolvimento da energia solar e eólica no Brasil?

17_Você gostaria de adicionar algum comentário ou sugestão sobre o desenvolvimento do setor de energia renovável no Brasil?

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Balanço energético nacional

No gráfico 1 é apresentado a evolução da capacidade instalada em operação no Brasil do ano de 1999 até o ano de 2023, nele pode-se notar que a capacidade de geração está em uma constante de subida. Segundo dados da ANEEL essa geração já alcançou os 200.000 MW de potência em março de 2024.

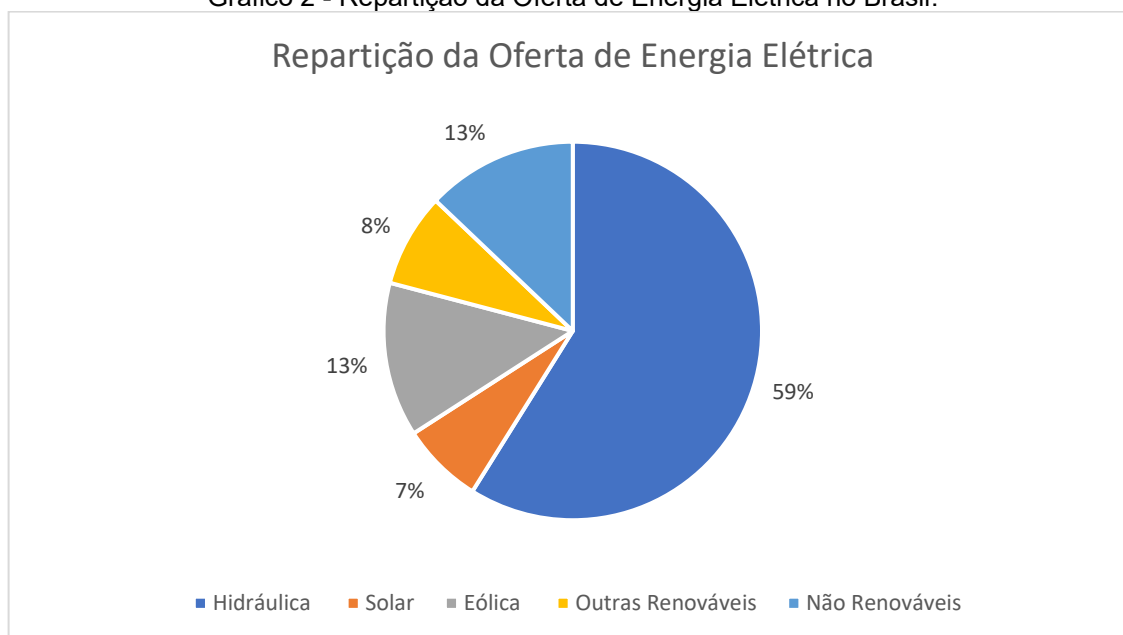


Fonte: ANEEL (2024).

Segundo os dados do MME, entre os meses de janeiro e agosto de 2023 o Brasil expandiu em 7 gigawatts (GW) a capacidade instalada da matriz elétrica nacional sendo 6,2 GW foram de origem solar ou eólica (MME, 2023).

No balanço energético nacional, publicado em 2024 sobre os dados do ano de 2023 realizado pela EPE com base nos dados do MME, pode-se observar que 89% da oferta interna de energia já é exercida por fontes renováveis, sendo 20,2% das fontes eólica e solar. No gráfico 2 é representado como está a divisão atual de oferta energética (EPE, 2024).

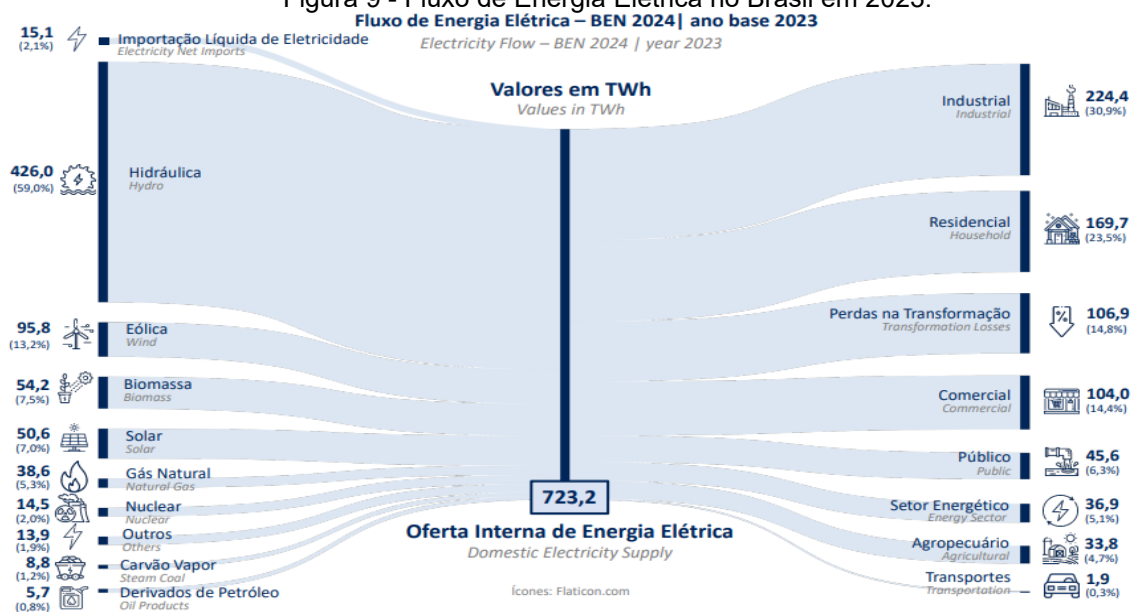
Gráfico 2 - Repartição da Oferta de Energia Elétrica no Brasil.



Fonte: EPE (2024).

Em relação ao fluxo de energia, ou seja, o destino que está tomando toda a energia gerada a figura 9 exemplifica de maneira simples quais as maiores áreas consumidoras de energia no Brasil. Percebe-se que 14,8% de toda energia ofertada no Brasil são perdidos em suas transformações e outros 5,1% são usados pelo próprio setor energético, 30,9% são usados pela indústria e 23,5% são usados nas residências brasileiras.

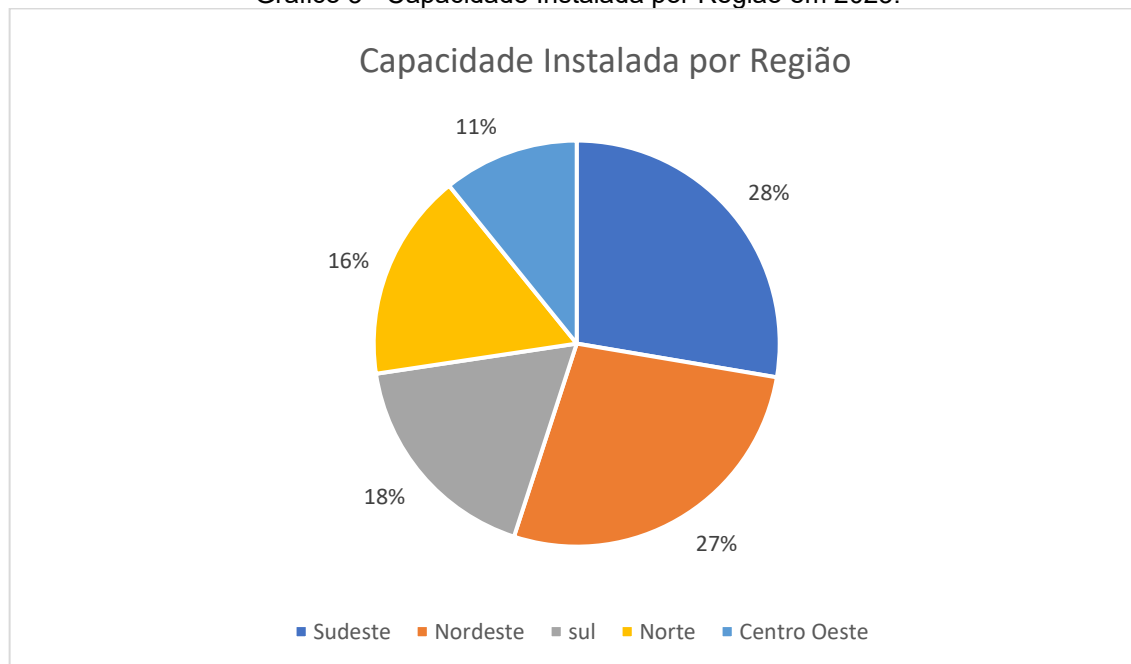
Figura 9 - Fluxo de Energia Elétrica no Brasil em 2023.



Fonte: EPE (2024).

Em relação à capacidade instalada por região, os dados do balanço energético nacional mostram que as regiões sudeste e nordeste lideram o ranking, como pode ser visto no Gráfico 3. Sendo que a região do Nordeste apresentou um crescimento de 16,9% se comparado os anos de 2022 e 2023.

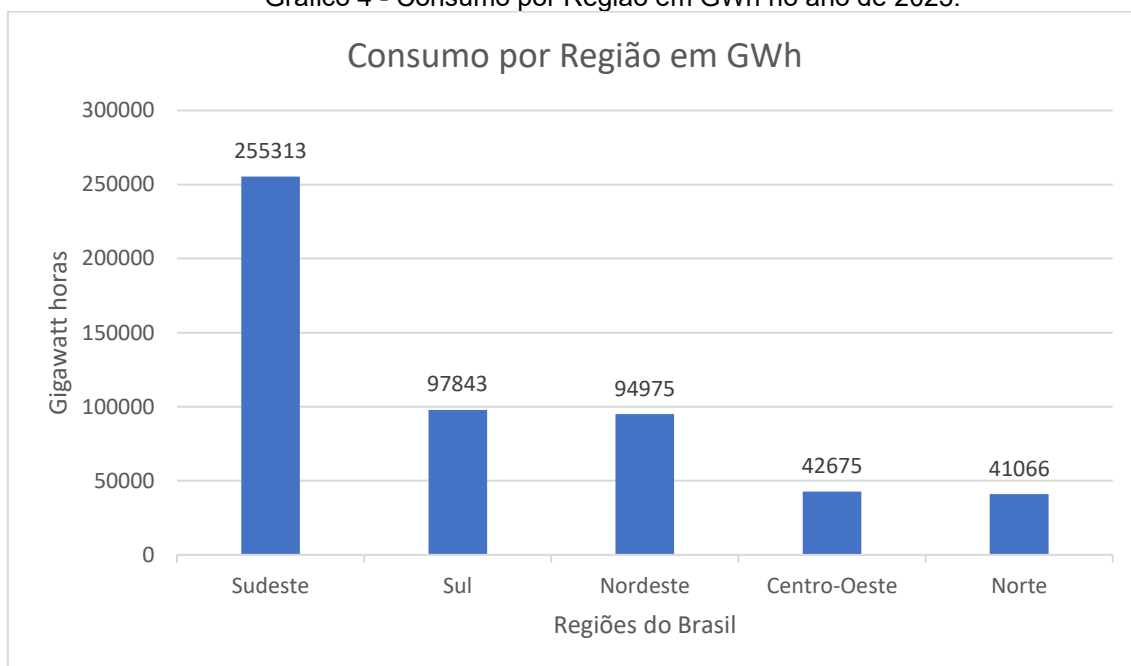
Gráfico 3 - Capacidade Instalada por Região em 2023.



Fonte: EPE (2024).

Em relação ao consumo, os dados mostram que existe um grande desequilíbrio, sendo a região sudeste a maior região consumidora em GWh do país, com mais de 250000 GWh consumida. Em segundo, a região sul aparece com um consumo de 97000 GWh, menos da metade do consumo da região sudeste e o Nordeste aparece em terceiro com pouco mais de 94000 GWh como pode ser visto no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Consumo por Região em GWh no ano de 2023.



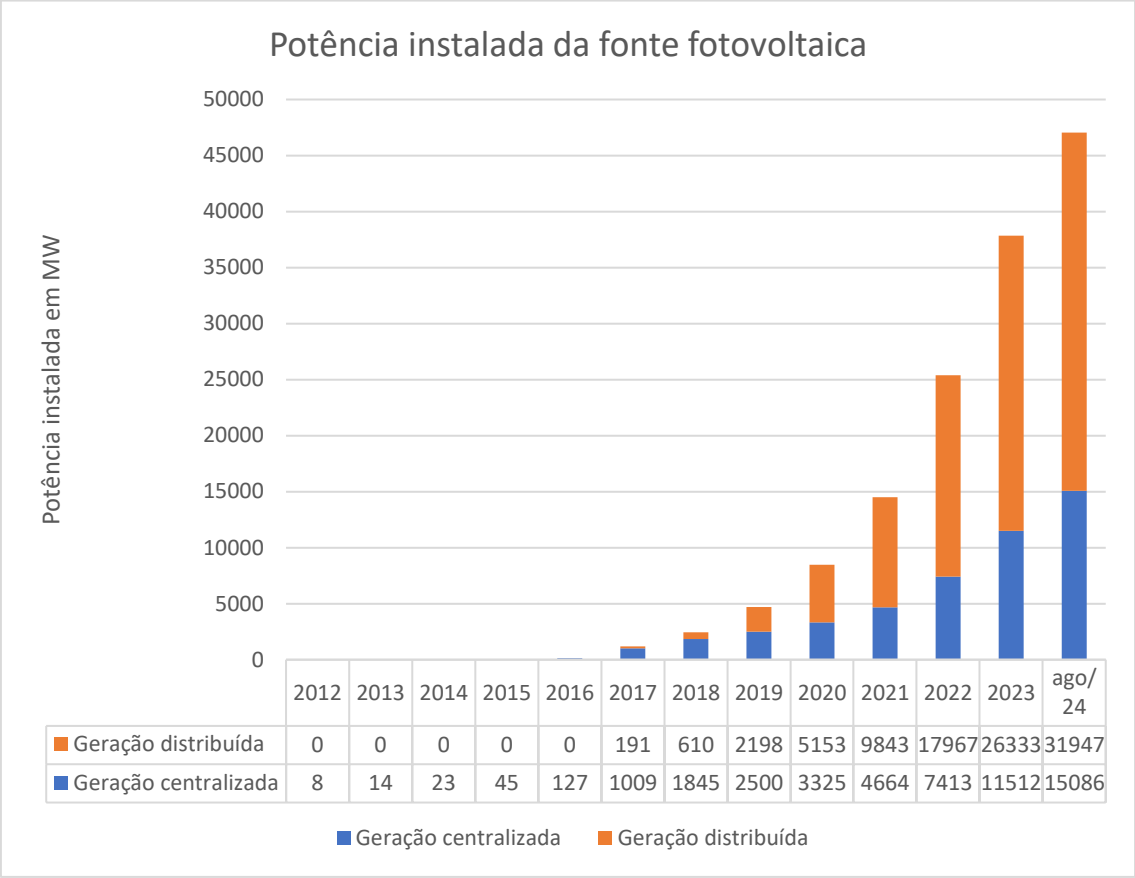
Fonte: EPE (2024).

4.2. Energia solar fotovoltaica

4.2.1. Situação Atual

Em relação à energia solar, o Brasil passa por um constante aumento de seu uso e ano após anos recordes de crescimento são alcançados como pode ser observado no Gráfico 5. Segundo dados divulgados em setembro de 2024, pela associação brasileira de energia solar fotovoltaica (ABSOLAR), atualmente o Brasil tem mais de 47 GW operacionais de energia solar, totalizando mais de 217,5 bilhões de investimento e gerando mais de 1,4 milhões de novos empregos e uma arrecadação de mais de 67 bilhões em tributos.

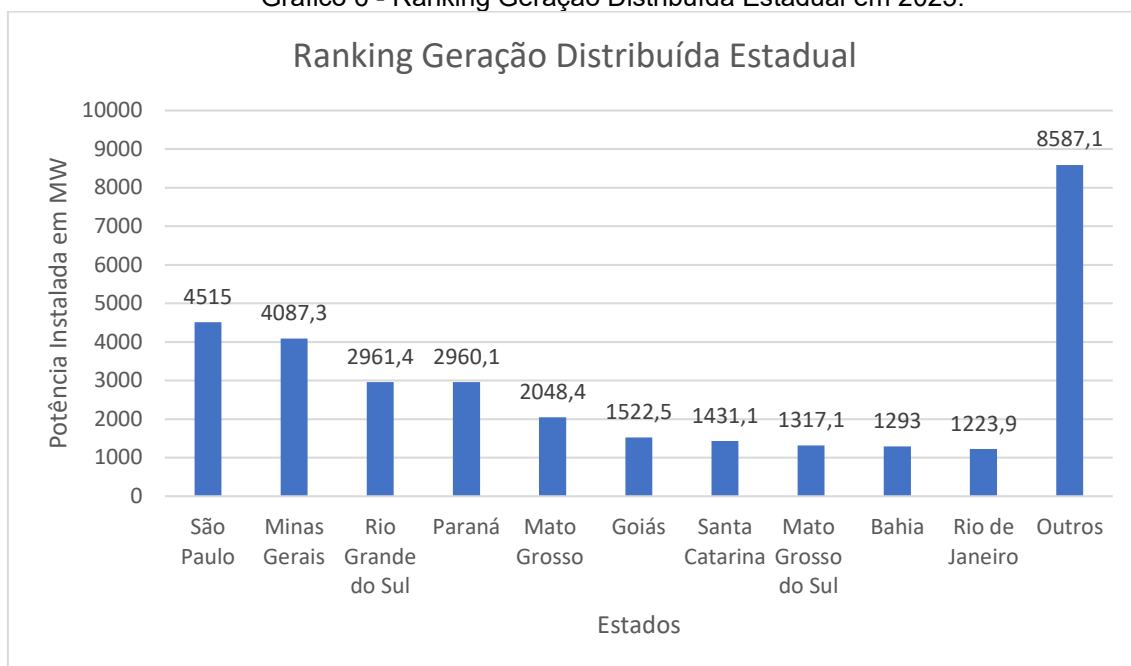
Gráfico 5 - Potência instalada da fonte fotovoltaica em 2023.



Fonte: ABSOLAR (2024).

Em relação à geração distribuída, os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do sul lideram o ranking. Já levando em consideração a geração centralizada, temos os estados de Minas Gerais, Bahia e Piauí na liderança de geração. Os gráficos a seguir demonstram as gerações distribuídas (Gráfico 6) e centralizadas (Gráfico 7) de cada estado.

Gráfico 6 - Ranking Geração Distribuída Estadual em 2023.



Fonte: ABSOLAR (2024).

Gráfico 7 - Ranking Geração Centralizada Estadual em 2023.

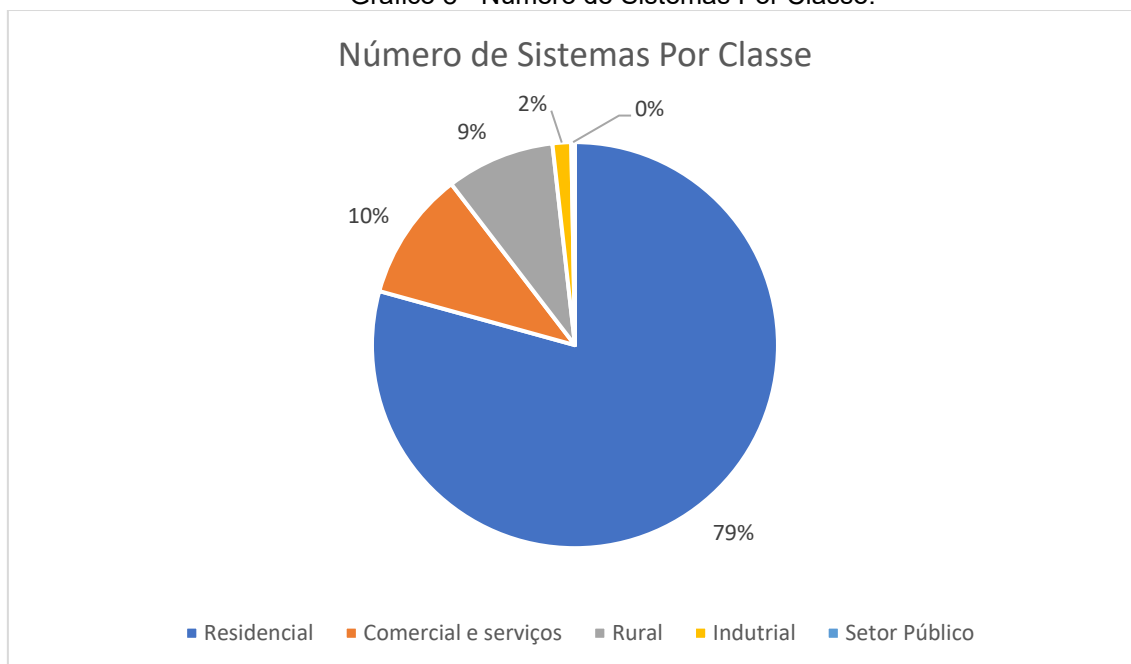


Fonte: ABSOLAR (2024).

Outro dado importante da geração distribuída que deve ser destacado é a relação do número de sistemas instalado por cada classe de consumo e a atual potência instalada de cada uma delas. Segundo a ABSOLAR, atualmente a classe residencial é responsável por 79,9% de todos os sistemas de geração distribuída de energia solar fotovoltaica, sendo seguido pela classe comercial com 10,29%. No

Gráfico 8 essa informação é demonstrada, levando em consideração a existência de 2.865.369 sistemas de geração distribuída atualmente no Brasil.

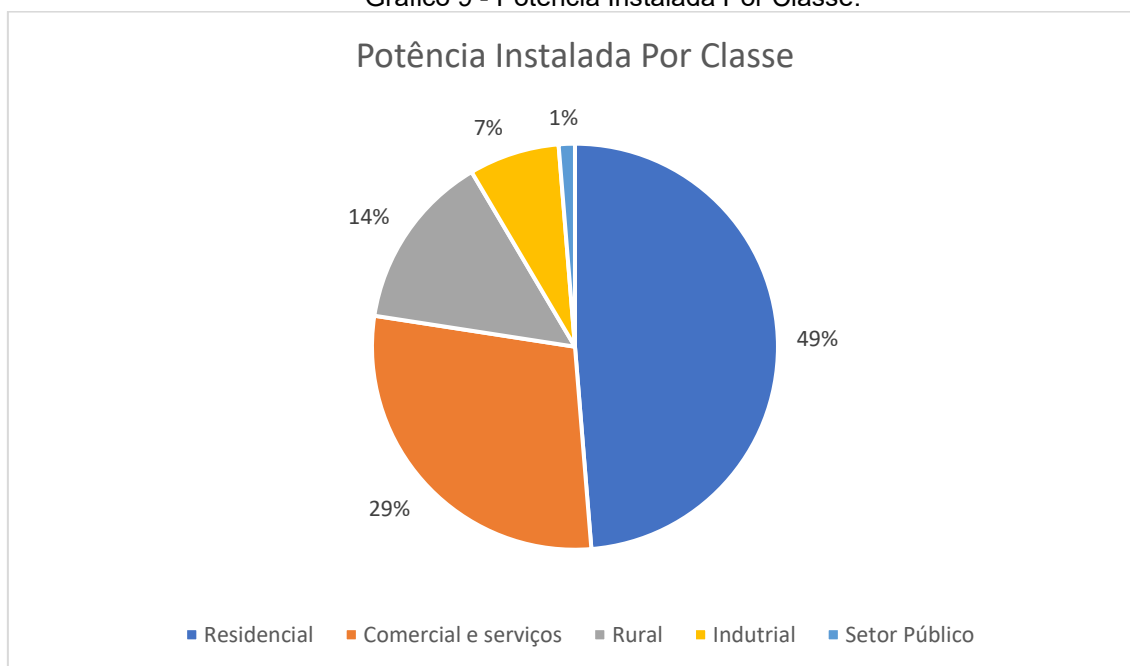
Gráfico 8 - Número de Sistemas Por Classe.



Fonte: ABSOLAR (2024).

No entanto, o fato de ter números baixos em relação a quantidade de sistemas instalados não define à classe industrial como pouco participativa em relação a potência instalada. Isso acontece devido às características dos projetos de sistemas solares para indústria, os quais possuem uma geração bem maior que os projetos residenciais. O Gráfico 9 demonstra a divisão por classes em relação ao potencial instalado, lembrando que de acordo com o gráfico 5 existe atualmente 31947 MW de potência instalada em sistemas de geração distribuída.

Gráfico 9 - Potência Instalada Por Classe.



Fonte: ABSOLAR (2024).

4.2.2. Regulamentação e incentivos

O ano de 2012 foi um marco para a produção de energia solar no Brasil, pois foi nesse ano que a geração distribuída foi regulamentada no país através da resolução normativa ANEEL nº 482/2012. Essa resolução permitiu a conexão de sistemas de micro e minigeração distribuída (geração no próprio local de consumo) à rede elétrica. Isso possibilitou que consumidores instalassem painéis solares em suas residências e compensassem o excedente de energia gerado na fatura de energia elétrica, criando o sistema de compensação (créditos de energia).

Em 2015, a resolução normativa ANEEL nº 687/2015 atualizou e ampliou as regras da geração distribuída, reduzindo barreiras burocráticas e introduzindo novos modelos como o autoconsumo remoto e os consórcios ou cooperativas de consumidores. Esse avanço impulsionou ainda mais a adoção da energia solar.

Em 2017, a lei nº 13.299/2016 permitiu que diversos estados brasileiros comesçassem a isentar a energia solar do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), promovendo maior viabilidade econômica para a instalação de sistemas fotovoltaicos de pequeno porte.

No ano de 2018 o governo federal lançou o Programa de Desenvolvimento de Geração Distribuída de Energia (ProGD), o qual teve como objetivo promover a

ampliação da geração distribuída no Brasil incentivando mais investimentos na energia solar fotovoltaica.

Em janeiro de 2022 foi sancionado o marco legal da geração distribuída, Lei nº 14.300/2022. Essa lei foi um passo muito importante para regulamentar e consolidar a geração distribuída no Brasil, especialmente no setor de energia solar. Um dos principais objetivos dessa lei foi buscar equilibrar os interesses dos consumidores e das distribuidoras de energia. A seguir estão listados alguns pontos importantes que foram definidos nessa Lei.

- **Sistema de Compensação de Energia Elétrica:** continua sendo o principal mecanismo da geração distribuída permitindo que consumidores que geram sua própria energia possam injetar o excedente na rede elétrica e receber créditos que podem ser abatidos na fatura de energia de outras residências ou em outros meses. No entanto novas regras foram estabelecidas para todos os sistemas implantados após janeiro de 2023. Os consumidores que já faziam parte da geração distribuída até janeiro de 2023 manterão as regras que estavam em vigor quando o sistema foi instalado até o ano de 2045. Após essa data, as novas regras serão aplicadas.

- **Regra de Transição (Cobrança Gradual):** para os sistemas instalados após a sanção da lei, está sendo implementado uma cobrança gradual pela Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), referente ao custo de uso da rede elétrica. Isso significa que os consumidores com geração distribuída que utilizam a rede para exportar o excedente de energia terão que contribuir com o custo de manutenção da infraestrutura da rede, algo que não era cobrado anteriormente. Essa cobrança tem o objetivo de garantir a equidade no pagamento pela infraestrutura de distribuição, visto que o aumento da geração distribuída traz desafios de manutenção e operação da rede elétrica.

- **Modelos de Geração Distribuída:** Autoconsumo remoto: Permite que um consumidor gere energia em uma unidade e use os créditos em outra unidade de sua titularidade, desde que ambas estejam dentro da mesma área de concessão; Geração compartilhada: Grupos de pessoas (como consórcios ou cooperativas) podem instalar um sistema de geração distribuída e compartilhar os créditos de energia entre os participantes; Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras: Como

condomínios, que podem instalar um sistema único de geração distribuída e distribuir os créditos entre os condôminos.

- Incentivos e Impostos: A lei mantém e fortalece incentivos fiscais para sistemas de geração distribuída, como a isenção de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) em várias regiões do Brasil, o que diminui o custo da instalação de sistemas fotovoltaicos. Além disso, há isenção de PIS/COFINS sobre a energia injetada na rede, o que torna o modelo mais atrativo economicamente.

4.2.3. Perspectivas de futuro

O Brasil apresenta um enorme potencial técnico para geração de energia solar fotovoltaica, estimado em aproximadamente 30 mil GW, esse montante supera em mais de 120 vezes a capacidade instalada atual da matriz elétrica do país, que é de 250 GW. Um estudo da EPE revelou que o potencial de geração centralizada ultrapassa 28.500 GW excluindo áreas protegidas. Além disso, o levantamento preliminar da EPE sobre geração distribuída apontou um potencial de 164 GW apenas em telhados residenciais, número que crescerá significativamente ao incluir telhados comerciais, industriais e rurais (ABSOLAR, 2016).

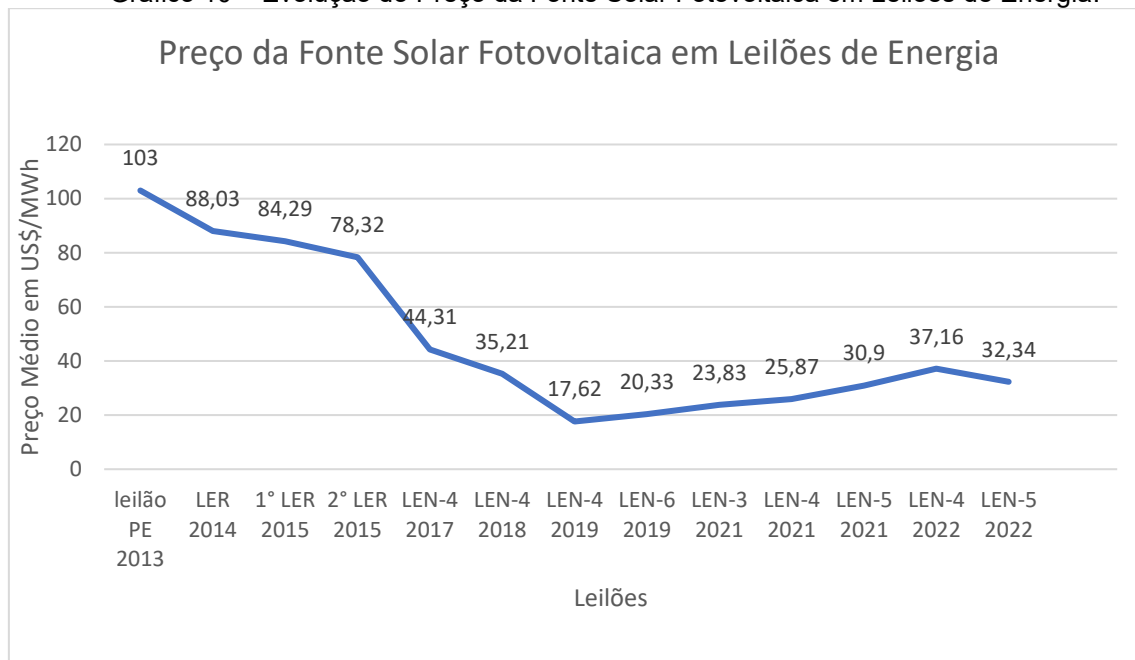
O marco legal da geração distribuída prevê que até 2031, a meta nacional de geração distribuída seja de 30 GW de capacidade instalada, visando uma transição para uma matriz energética mais limpa e descentralizada. Para isso, o Marco Legal busca incentivar a adoção de tecnologias que permitam maior participação de fontes renováveis, como a energia solar.

O desenvolvimento de novas técnicas de armazenamento de energia é uma das principais áreas que devem ser incentivados os estudos para busca de novas tecnologias mais eficientes e baratas. A Lei nº 14.300/2022 também faz referência ao armazenamento de energia e libera essa prática pois o armazenamento pode ajudar a resolver questões de intermitência da geração distribuída permitindo que a energia gerada durante o dia seja utilizada à noite ou em horários de maior demanda.

Além do vasto potencial técnico, a expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil será impulsionada por outros fatores, como a redução dos custos dos equipamentos. Esse fator, aliado ao aumento da eficiência tecnológica, contribui significativamente para o crescimento dessa fonte no país, tornando-a mais acessível e competitiva no cenário energético nacional. No Gráfico 10 são apresentados dados

que ilustram o aumento da produção de energia solar no Brasil foi acompanhado por uma redução do preço médio da fonte solar fotovoltaica em leilões de energia no mercado regulado.

Gráfico 10 – Evolução do Preço da Fonte Solar Fotovoltaica em Leilões de Energia.



Fonte: ABSOLAR (2024).

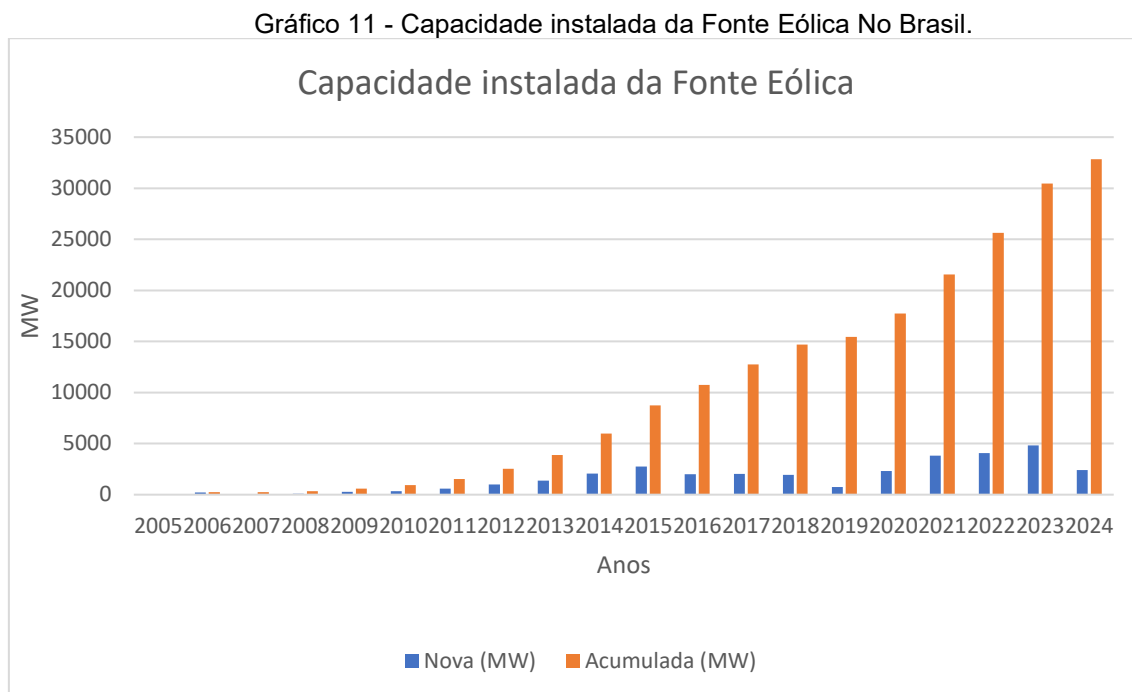
Outro fator que influencia no futuro da energia solar no Brasil é a segurança jurídica. O marco legal da geração distribuída foi um grande avanço nesse quesito, mas o risco de novas tarifas para o uso da rede pode desincentivar a adoção de energia solar em algumas faixas de consumidores, especialmente aqueles com menor poder aquisitivo. Há também preocupações sobre o impacto na rentabilidade de projetos de geração distribuída a longo prazo, uma vez que a cobrança da TUSD pode reduzir os benefícios econômicos para os novos sistemas, mas serve de forma a garantir uma rentabilidade à distribuidora e seus gastos operacionais.

4.3. Energia eólica

4.3.1. Situação atual

Como mostrado anteriormente no último relatório anual do balanço energético nacional, a energia gerada por fonte eólica já representa mais de 13% de toda a oferta de energia nacional. Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica) divulgados em março de 2024, o Brasil já conta com 31,1 GW de capacidade instalada nessa fonte, sendo 29,95 GW em operação comercial e 1,2 GW

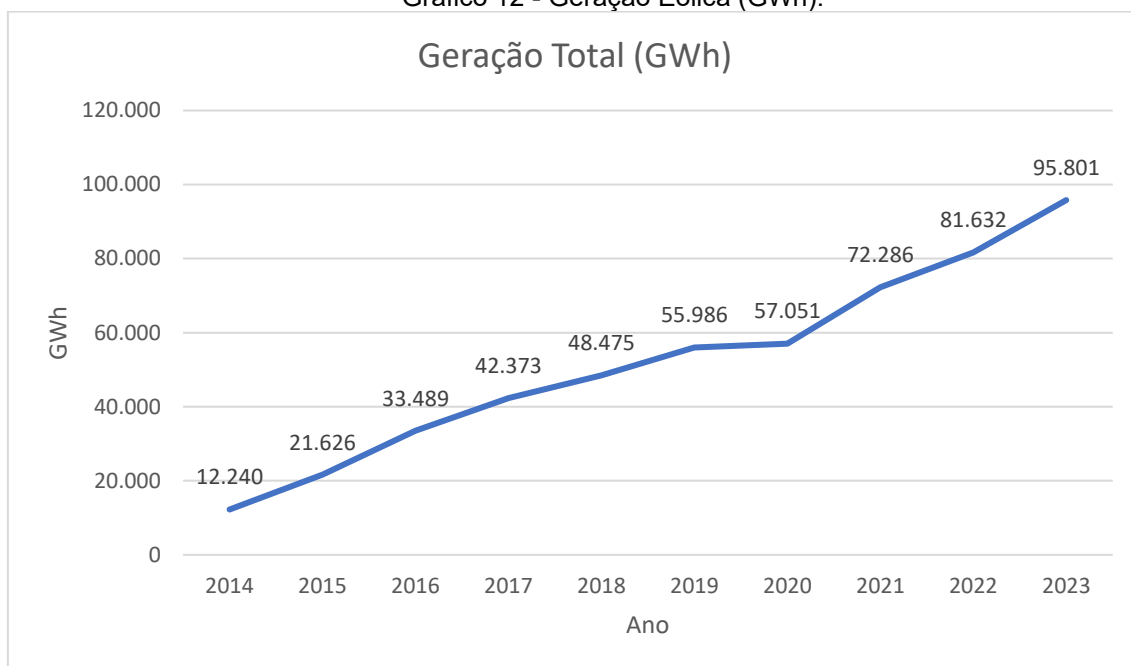
em fase de testes. Toda essa geração está dividida em 1.043 parques e 11.183 aerogeradores presente em 12 estados brasileiros. No gráfico 11 é ilustrado a evolução da capacidade instalada em MW. (ABEEólica, 2024)



Fonte: ABEEólica (2024).

Ao todo, em 2023 foram gerados 95,88 TWh de energia por meio da fonte eólica, montante que pode abastecer mais de 47 milhões de residências e chegar a 141 milhões de habitantes. Essa geração é resultado de um total de 48,6 bilhões investidos no setor entre os anos de 2012 e 2023. No Gráfico 12 é apresentada a evolução da geração eólica em GWh entre os anos de 2014 e 2023.

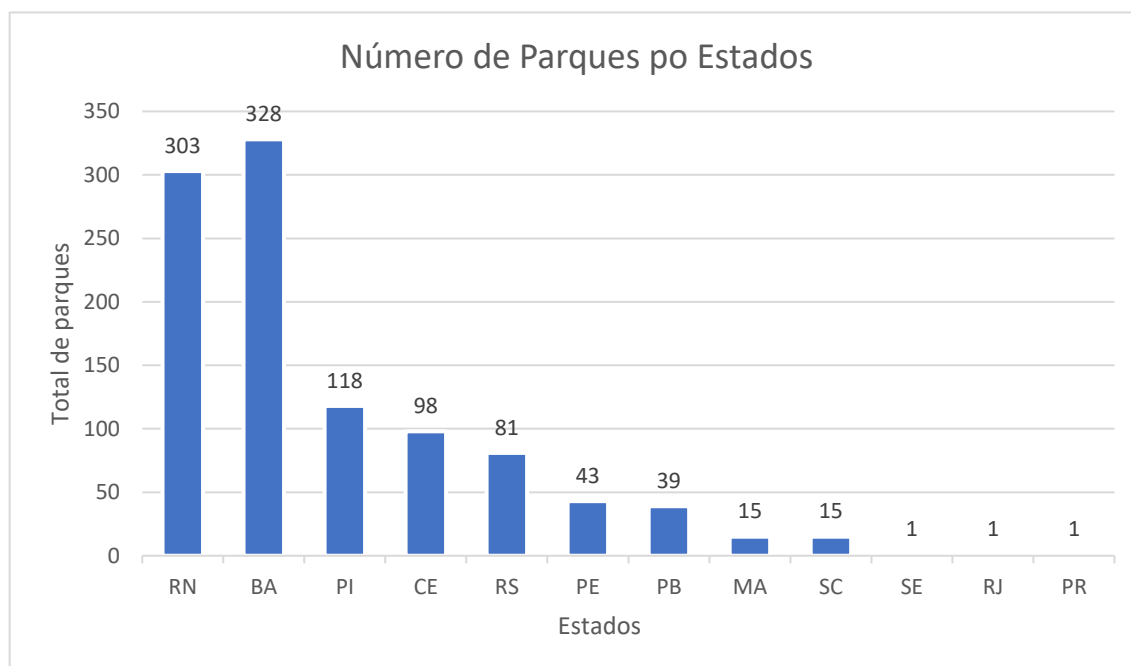
Gráfico 12 - Geração Eólica (GWh).



Fonte: ABEEOLICA (2024).

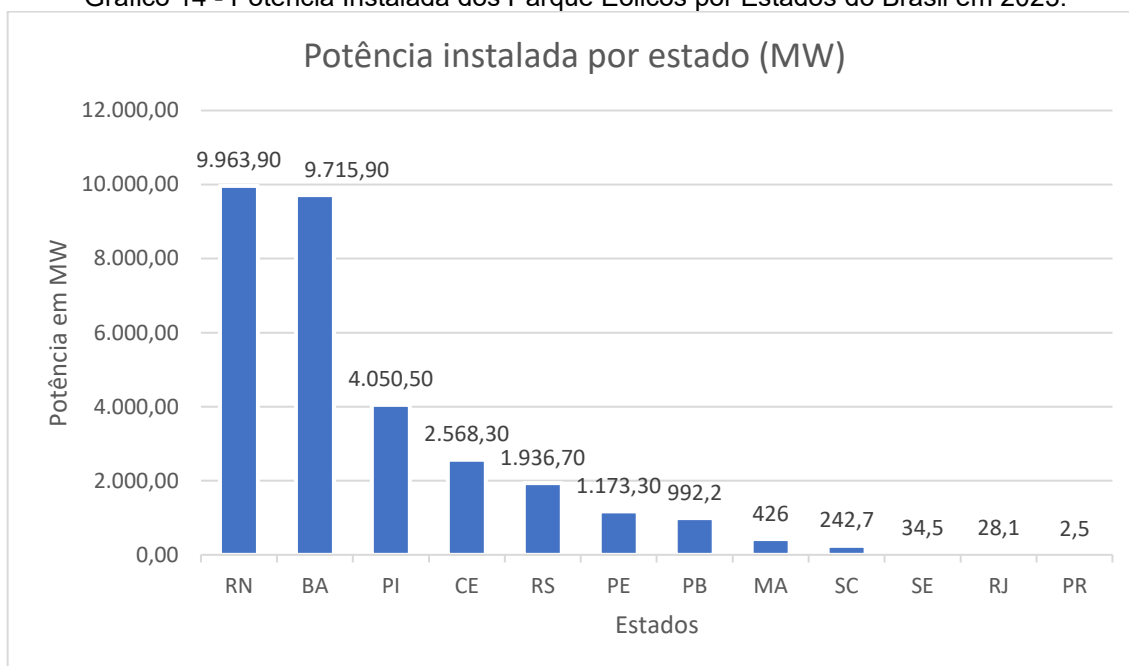
Atualmente a energia eólica está presente em 12 estados sendo a maioria no nordeste e alguns estados do sul e sudeste. No Gráfico 13 é ilustrada a distribuição dos parques eólicos em relação aos estados do país e no gráfico 14 é representada a relação da potência instalada de cada estado.

Gráfico 13 - Número de Parques Eólicos por Estados do Brasil em 2023.



Fonte: ABEEOLICA (2024).

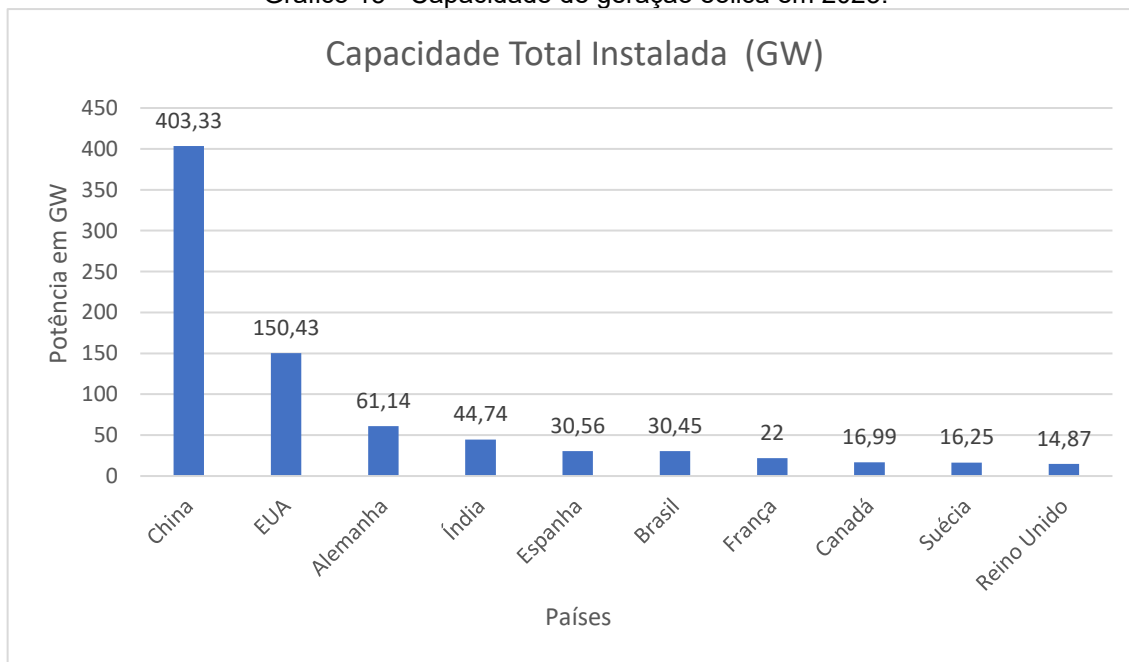
Gráfico 14 - Potência Instalada dos Parque Eólicos por Estados do Brasil em 2023.



Fonte: ABEEOLICA (2024).

Diante de todo esse crescimento atualmente, o Brasil já é o sexto maior produtor de energia elétrica a partir da energia eólica na categoria *onshore*. A frente do Brasil estão China, Estados Unidos, Alemanha, Índia e Espanha como ilustrado no Gráfico 15 publicado em 2024 no *Global Wind Report*.

Gráfico 15 - Capacidade de geração eólica em 2023.



Fonte: GWEC (2024)

4.3.2. Regulamentação e incentivos

Em relação à energia eólica, o ano de 2004 marcou o início do desenvolvimento dessa fonte de energia no Brasil e isso ocorreu graças ao decreto 5.163/2004. O decreto da contratação de Energia Elétrica regulamenta a contratação de energia elétrica, estipulando que a contratação deve ocorrer por meio de leilões organizados pela ANEEL. O decreto também define as regras para a geração de energia por fontes renováveis, como a eólica. Esse decreto possibilitou que projetos eólicos fossem incluídos nos leilões de energia elétrica, tornando-se uma das principais formas de contratação de novas usinas eólicas no país.

Já em 2015, a lei nº 13.203/2015 tratou de realizar um aperfeiçoamento do setor elétrico do Brasil. A lei altera o modelo regulatório de incentivos às fontes renováveis e ajusta o setor elétrico, estabelecendo regras sobre a modalidade tarifária e os contratos do PROINFA. Essa lei ajustou o setor de energia, incluindo fontes renováveis, para promover a sustentabilidade econômica e financeira dos projetos e garantir a competitividade da energia eólica.

O Marco Legal da Geração Distribuída, embora voltada também para outras fontes renováveis, reforça o papel da energia eólica distribuída no cenário energético brasileiro, especialmente em micro e minigeração.

Os leilões de energia organizados pela ANEEL, nos quais são contratadas novas plantas de geração de usinas eólicas, são um dos principais instrumentos de expansão da energia eólica no Brasil. Os leilões oferecem contratos de longo prazo, o que garante a viabilidade econômica dos projetos eólicos.

4.3.3. Perspectivas de Futuro

Segundo dados da ABEEOLICA de 2024 obtidos através de contratos viabilizados em leilões já realizados e no mercado livre, entre os anos de 2025 e 2030 serão instalados mais de 22 GW de potência de energia elétrica gerada através da força dos ventos, totalizando um total de mais de 55 GW de capacidade acumulada até 2030.

Um dos principais fatores para a continuação do desenvolvimento e expansão da energia eólica no Brasil será a liberação da produção *offshore*. No mês de julho de 2024 o governo brasileiro divulgou um relatório elaborado pelo World Bank Group

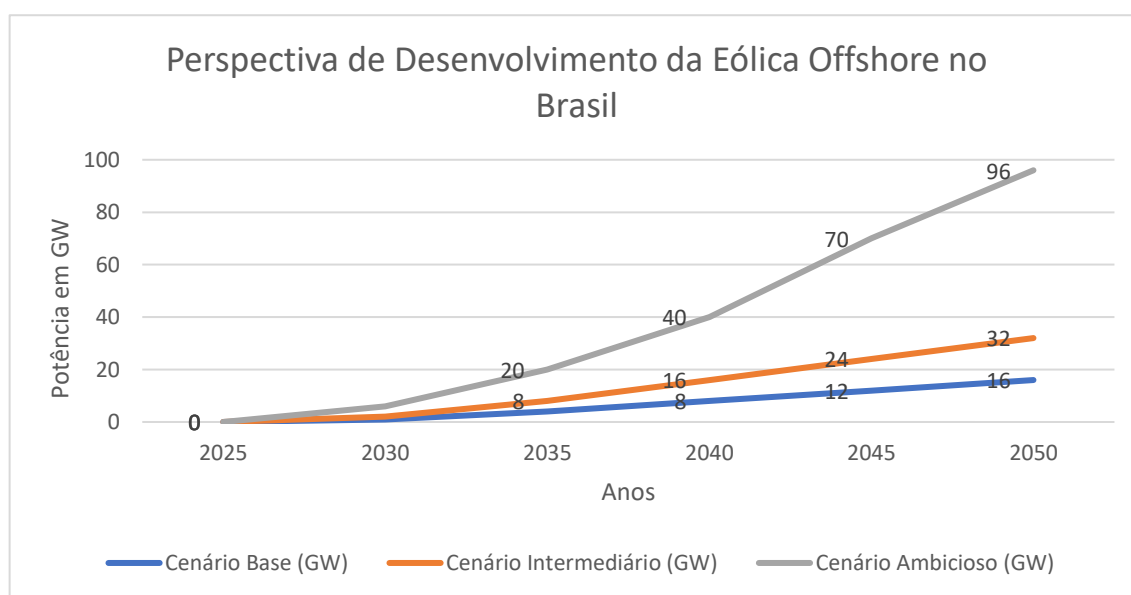
(2024) analisando a importância que esse tipo de geração traria para o sistema elétrico brasileiro.

Segundo esse relatório as perspectivas para a energia eólica offshore no Brasil são extremamente promissoras, considerando o vasto potencial técnico do país, que inclui mais de 1.200 GW disponíveis, sendo 480 GW em águas rasas e 748 GW em áreas profundas (World Bank Group, 2024). Com a crescente demanda por energias limpas e a expectativa de queda da contribuição da energia hidrelétrica para a matriz energética nacional, a eólica *offshore* surge como uma solução complementar fundamental.

Nos cenários mais ambiciosos, essa fonte de energia pode responder por até 19% da geração de eletricidade até 2050, com a criação de mais de 500 mil empregos (World Bank Group, 2024). No entanto, para que o Brasil alcance esse patamar, será necessário investir massivamente em infraestrutura portuária, capacidade de transmissão e cadeias de suprimento, além de superar desafios ambientais e sociais.

No gráfico 16 são representadas as perspectivas de crescimento da capacidade instalada de energia eólica *offshore* no Brasil, segundo o relatório da World Bank Group (2024), para três cenários: base, intermediário e ambicioso. Esses cenários refletem diferentes níveis de investimentos e desenvolvimento do setor até 2050. No cenário mais ambicioso, a capacidade de geração pode chegar a 96 GW, representando quase 20% da matriz energética do país.

Gráfico 16 - Perspectiva de Desenvolvimento da Eólica *Offshore* no Brasil.



Fonte: World Bank Group (2024).

No entanto, a variabilidade da geração eólica, que depende da intensidade dos ventos, representa um desafio para o equilíbrio entre oferta e demanda no sistema. A descentralização da geração, com parques eólicos localizados em áreas remotas, também pode sobrecarregar as redes de transmissão, resultando em perdas de energia e em desafios para levar a eletricidade até os grandes centros consumidores.

Para melhorar a integração da energia eólica, é necessário investir na ampliação das infraestruturas de transmissão e em tecnologias de armazenamento de energia, como baterias, que permitam o uso da eletricidade gerada em períodos de maior produção. A previsibilidade da geração pode ser aprimorada com melhores sistemas de previsão meteorológica, e o uso de redes inteligentes ajudaria a flexibilizar o sistema de distribuição. Incentivos regulatórios e financeiros também são fundamentais para atrair investimentos em novas tecnologias e na modernização da infraestrutura energética do país.

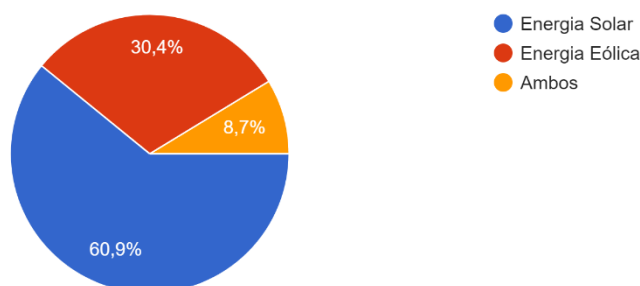
4.4. Resultado do Questionamento

O questionamento foi enviado para engenheiros que atuam tanto na área da energia eólica como na área da energia solar fotovoltaica. Ao todo foram obtidas 23 respostas que estão detalhadas a seguir:

Em relação ao setor de atuação, as respostas formam divididas em 60,9% atuam no setor da energia solar. 30,4% na energia eólica e 8,7% em ambos os setores. Como demonstrado no Gráfico 17.

Gráfico 17 - Respostas da pergunta 1.

Em qual setor você atua?
23 respostas



Fonte: Autor.

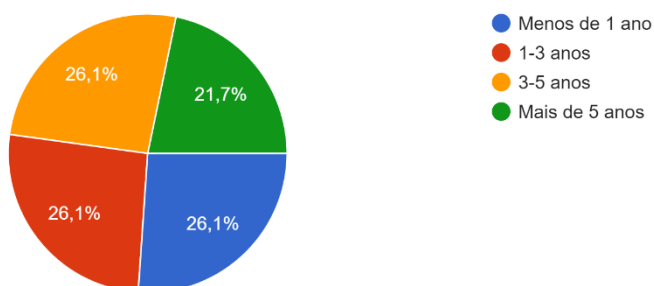
Em relação à experiência no setor dos entrevistados, as respostas ficaram bem divididas como pode ser visto no Gráfico 18. Sendo que 6 pessoas entraram no setor

renovável a menos de 1 ano e 5 pessoas já estão no seu setor a mais de 5 anos. Esse dado é importante para mostrar que o setor ainda exerce a contratação de profissionais nos dias atuais.

Gráfico 18 - Respostas da pergunta 2.

Qual é o seu nível de experiência na área de energia solar e/ou eólica?

23 respostas



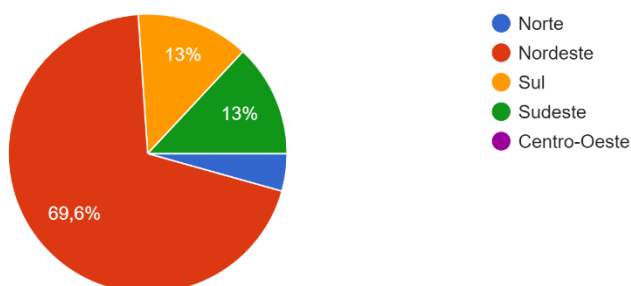
Fonte: Autor.

Outro fator importante do questionamento é que foram obtidas respostas de quase todas as regiões do Brasil, sendo que apenas a região Centro Oeste não teve resposta. A região nordeste teve 16 respostas, seguida da região Sul e Sudeste com 3 e a região Norte com uma resposta. Ou seja, o questionário obteve informações de várias localidades dando mais legitimidade aos resultados conforme representado no Gráfico 19.

Gráfico 19 - Respostas da pergunta 3.

Em qual região do Brasil sua empresa está localizada?

23 respostas



Fonte: Autor.

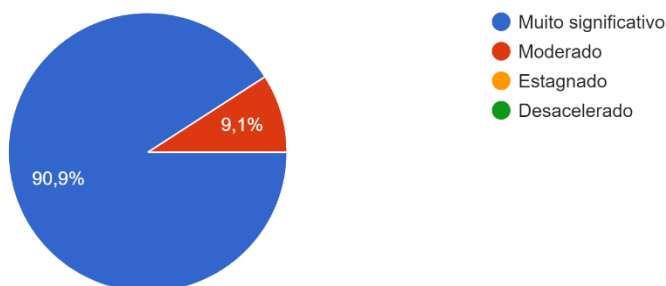
Quando a pergunta foi: “Como você avalia o crescimento da energia solar no Brasil nos últimos 5 anos?” 90,9% concordaram que o crescimento foi muito significativo e os outros 9,1% também acharam que houve crescimento, mas esse foi

de forma moderada. (Gráfico 20). Essas respostas corroboram a pesquisa realizada, demonstrando que o setor solar está em constante crescimento nos últimos anos.

Gráfico 20 - Respostas da pergunta 4.

Como você avalia o crescimento da energia solar no Brasil nos últimos 5 anos?

22 respostas



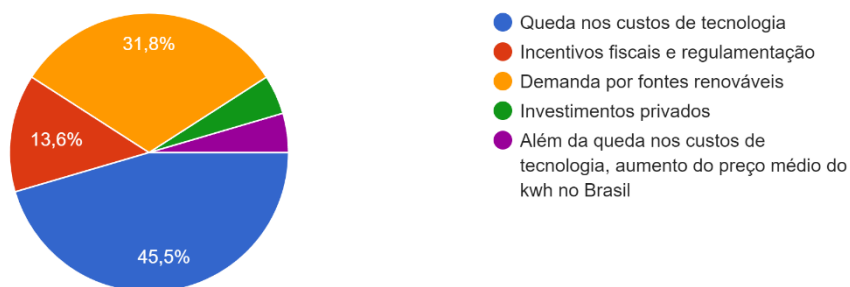
Fonte: Autor.

Em relação ao motivo desse crescimento, obteve-se diversas respostas sendo a queda nos custos da tecnologia a resposta mais citada com 10 respostas. Em uma das respostas foi adicionado a opção aumento do preço médio do kWh das distribuidoras de energia. No Gráfico 21 são apresentadas as respostas obtidas.

Gráfico 21 - Respostas da pergunta 5.

Qual você considera o principal fator responsável pelo crescimento da energia solar no Brasil?

22 respostas



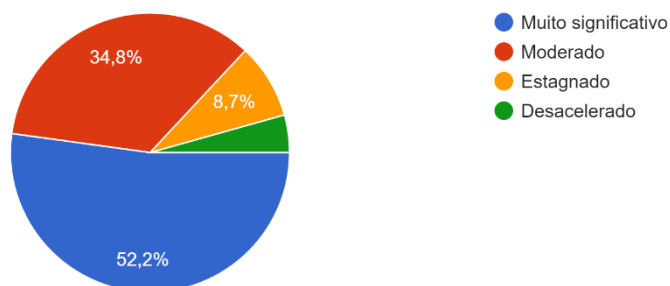
Fonte: Autor.

Em relação ao crescimento da energia eólica, 52,2% consideram um aumento muito significativo nos últimos 5 anos. No entanto três respostas não consideraram que houve crescimento no setor. Ao analisar as respostas, observa-se que essas três respostas foram da região sudeste onde a energia eólica está pouco desenvolvida (Gráfico 22).

Gráfico 22 - Respostas da pergunta 6.

Como você avalia o crescimento da energia eólica no Brasil nos últimos 5 anos?

23 respostas



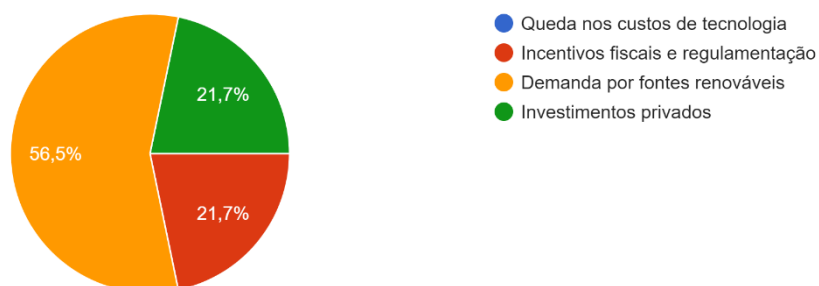
Fonte: Autor.

Em relação ao motivo do desenvolvimento do setor eólico no Brasil 13 respostas consideram que o principal motivo é a busca e incentivos por fontes renováveis. As outras respostas ficaram divididas em investimentos privados e incentivos fiscais e regulamentação (Gráfico 23).

Gráfico 23 - Respostas da pergunta 7.

Qual você considera o principal fator responsável pelo crescimento da energia eólica no Brasil?

23 respostas



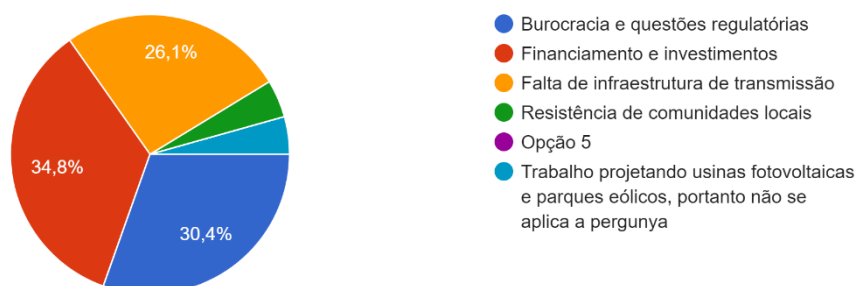
Fonte: Autor.

Quando a pergunta foi sobre os maiores desafios encontrados por empresas do setor, a falta de financiamento e investimento, a burocracia e questões regulatórias e a falta de infraestrutura de transmissão lideraram as respostas (Gráfico 24).

Gráfico 24 - Respostas da pergunta 8.

Quais são os maiores desafios enfrentados por sua empresa para a implementação de projetos de energia solar e/ou eólica?

23 respostas



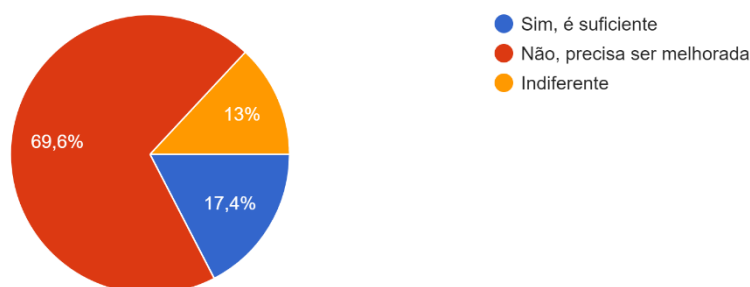
Fonte: Autor.

Sobre a regulamentação atual no Brasil a respeito das energias renováveis, quase 70% dos entrevistados se mostraram insatisfeitos e acham que precisa ainda de melhorias. Apenas 17,4% estão satisfeitos com a legislação atual (Gráfico 25).

Gráfico 25 - Respostas da pergunta 9.

Você acredita que a atual regulamentação do setor de energia renovável no Brasil (ex.: geração distribuída, compensação de energia) é adequada?

23 respostas



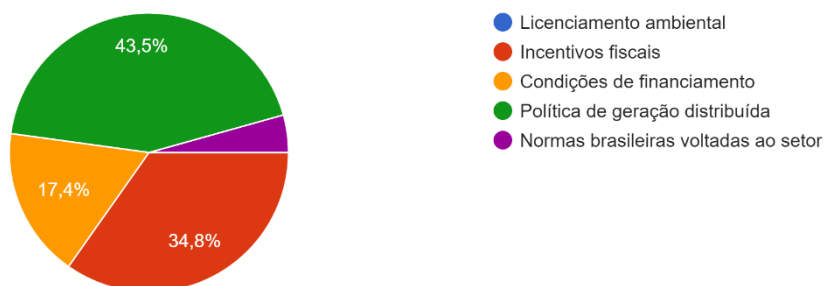
Fonte: Autor.

No que diz respeito ao setor da legislação que precisa ser aprimorado foi citado com maior frequência o setor da política de geração distribuída com 43,5% das respostas e incentivos fiscais com 34,8% (Gráfico 26).

Gráfico 26 - Respostas da pergunta 10.

Quais aspectos da legislação você considera que precisam de maior atenção ou melhorias?

23 respostas



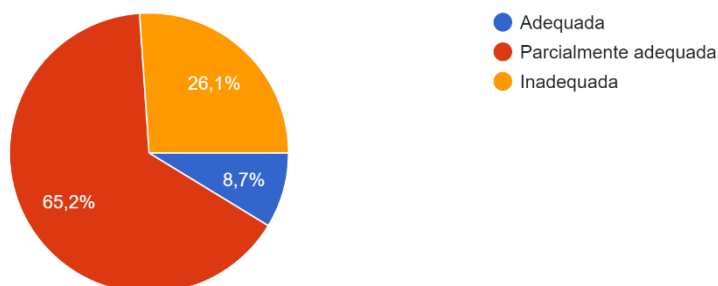
Fonte: Autor.

Em relação à infraestrutura de transmissão de energia no Brasil apenas duas pessoas consideraram uma infraestrutura adequada, e ao todo seis pessoas consideraram a estrutura atual inadequada (Gráfico 27).

Gráfico 27 - Respostas da pergunta 11.

Como você avalia a infraestrutura atual de transmissão de energia no Brasil para suportar o crescimento das energias renováveis?

23 respostas



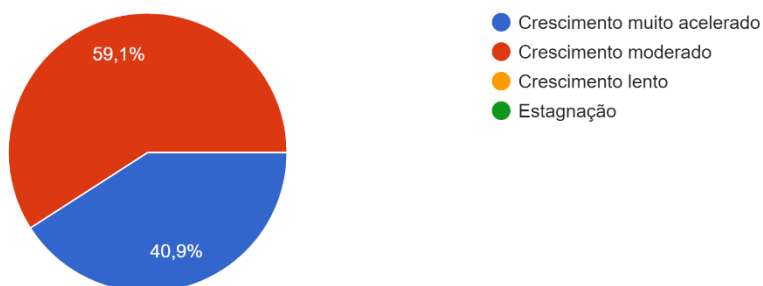
Fonte: Autor.

Quando a pergunta foi sobre a perspectiva de crescimento das fontes solar e eólica, a maioria em ambos os setores aguardam um crescimento moderado com mais de 50% nas duas perguntas. Todos os entrevistados acreditam que a energia solar irá continuar crescendo, no entanto, uma das respostas acredita que o setor eólico irá estagnar. Nos Gráficos 29 e 30 são apresentados os resultados dessas perguntas, respectivamente.

Gráfico 28 - Respostas da pergunta 12.

Qual é a sua expectativa para o crescimento da energia solar nos próximos 10 anos no Brasil?

22 respostas

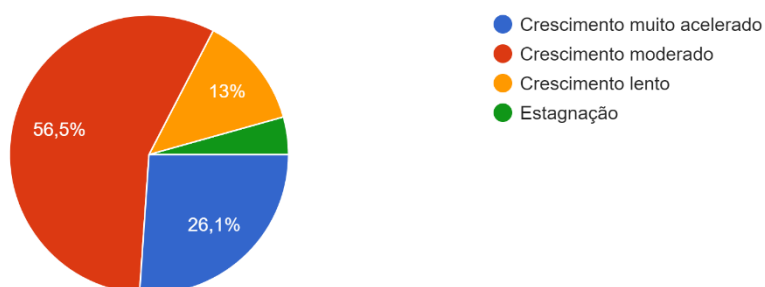


Fonte: Autor.

Gráfico 29 - Respostas da pergunta 13.

Qual é a sua expectativa para o crescimento da energia eólica nos próximos 10 anos no Brasil?

23 respostas



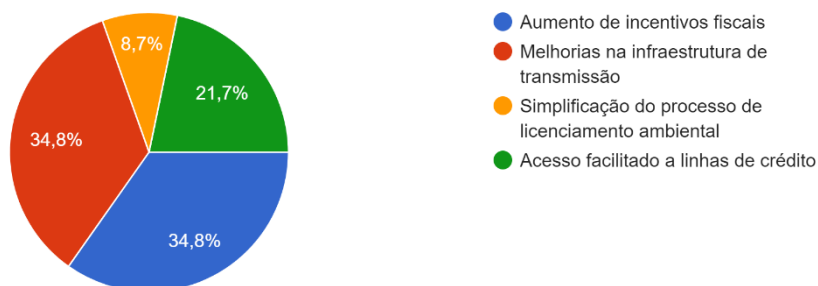
Fonte: Autor.

Em relação às medidas que devem ser tomadas para acelerar ainda mais o crescimento e desenvolvimento dessas fontes de energia, a maioria das respostas indicou que a melhoria na infraestrutura de transmissão é essencial, seguido por aumento de incentivos fiscais. As outras respostas citaram a facilitação das linhas de créditos e a simplificação do processo de licenciamento ambiental (Gráfico 31).

Gráfico 30 - Respostas da pergunta 14.

Quais medidas governamentais poderiam acelerar ainda mais o crescimento das energias renováveis no Brasil?

23 respostas



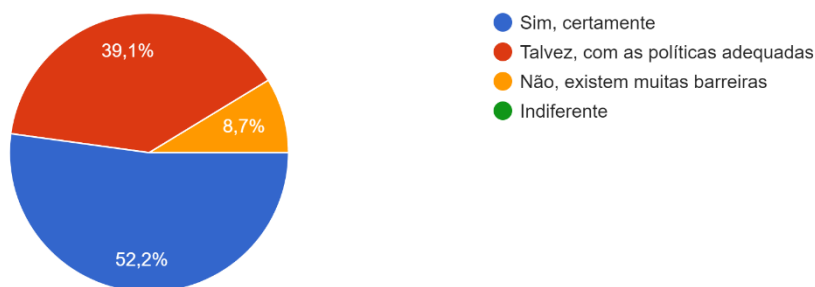
Fonte: Autor.

Quando perguntados se o Brasil tinha potencial para se tornar líder global em energias renováveis, os entrevistados se mostraram otimistas em sua maioria sendo que apenas menos de 10% acham que não é possível. Do total 52,2% acham que é possível e os outros 39,1% também acreditam, mas é preciso política adequadas para isso (Gráfico 32).

Gráfico 31 - Respostas da pergunta 15.

Você considera que o Brasil tem potencial para se tornar líder global em energias renováveis (solar e eólica)?

23 respostas



Fonte 1: Autor.

No que se refere às perguntas discursivas, os principais comentários foram em relação à melhoria da infraestrutura, não só da rede de distribuição, mas também de estradas e portos do país. Também foram citados a pouca oferta de programas permitindo que as famílias mais pobres possam ter acesso a essas fontes de energia. Abaixo estão algumas das respostas:

“O grande desafio atual é o armazenamento de energia e transmissão. Como as linhas de transmissão estão sobrecarregadas, em muitos estados já é impossível a implementação de grandes usinas. Em outros estados, estamos vendo o desligamento de grandes usinas em momentos de pico de geração por insuficiência da rede de transmissão. Grandes oportunidades surgirão na implementação de baterias de baixo custo para armazenar essa energia que atualmente está sendo perdida nesse horário de pico. O grande desafio é a melhora da linha de transmissão para escoar a energia gerada atualmente no Norte e Nordeste e assim, manter o crescimento significativo que temos visto nos últimos anos. Caso isso não ocorra, em breve veremos mais usinas tendo que desligar ou reduzir a potência de geração no momento de pico e assim, afastando os grandes investidores que mantêm o mercado em plena expansão.”

“Como desafio, vejo que questões logísticas podem impactar. À medida que os aerogeradores ganham maior potência, as peças também ficam maiores e mais pesadas. As condições das vias de acesso podem não suportar tal capacidade.”

“Como oportunidade, vejo que o índice de nacionalização dos produtos, gera uma demanda por novos fabricantes de componentes e prestadores de serviço para o mercado local.”

“Falta de cooperação das concessionárias de energia com os integradores”.

“Precisamos facilitar o acesso a outras fontes de energia, inclusive com programas que consigam alcançar a grande maioria da população que infelizmente ainda não tem acesso, uma vez que os custos de financiamento ainda não contemplam esta faixa da população.”

“A falta de lei que garanta o investidor o seu investimento é muito duvidosa no Brasil. Pois a lei pode mudar a qualquer hora.”

5. CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho, foi possível analisar o cenário atual e as perspectivas futuras das energias solar e eólica no Brasil. Ficou evidente que, apesar dos avanços significativos na adoção dessas fontes de energia, há ainda um vasto potencial a ser explorado, especialmente em termos de capacidade instalada e inovação tecnológica. A energia solar e eólica, além de sua contribuição ambiental, posiciona o Brasil como um dos principais atores globais na transição energética.

O questionário realizado neste estudo desempenhou um papel fundamental ao permitir a coleta de dados diretos sobre percepções e experiências dos envolvidos no setor. Esses dados enriqueceram a análise ao fornecer uma visão prática e atualizada dos desafios e oportunidades enfrentados, complementando as informações bibliográficas e relatórios técnicos utilizados.

Contudo, para que o país atinja seu pleno potencial, é crucial que haja avanços na regulamentação do setor, garantindo segurança jurídica tanto para geradores quanto para distribuidores. Além disso, a melhoria da infraestrutura de transmissão e o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento de energia são fatores essenciais para a continuidade do crescimento dessas fontes. Investimentos contínuos em pesquisa e incentivos fiscais também desempenharão um papel fundamental para superar os desafios existentes.

Por fim, o cenário futuro é promissor, com o Brasil se destacando no uso de energias renováveis. O contínuo desenvolvimento dessas fontes representa não apenas um caminho para a sustentabilidade energética, mas também uma oportunidade única para impulsionar a economia e mitigar os impactos ambientais do uso de fontes fósseis.

BIBLIOGRAFIA

ABEEOLICA. **ABEEolica infovento**. ABEEolica. [S.l.], p. 2. 2024.

ABSOLAR. Potencial técnico de energia solar no país pode chegar a 30 mil GW. **Absolar**, 2016. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/potencial-tecnico-de-energia-solar-no-pais-pode-chegar-a-30-mil-gw/>. Acesso em: 24 outubro 2024.

BATTAGLINA, P. D.; BARRETO, G. REVISITANDO A HISTÓRIA DA ENGENHARIA ELÉTRICA. **Revista de Ensino de Engenharia**, 2011., p. 49-58

BELLINI, D. *et al.* Energia Eólica: Desenvolvimento de Geração de Energia Sustentável. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais** , 2017., p. 205-223

BORGES, A. C. P. *et al.* **ENERGIAS RENOVÁVEIS: UMA CONTEXTUALIZAÇÃO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA**. revista eletrônica PRODEMA. Fortaleza, p. 14. 2016.

BORGES, A. L. C. **FONTES DE ENERGIA: IMPACTOS E MEIOS LEGAIS DE PROTEÇÃO E PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE PELO DIREITO**. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS. Goiânia , p. 47. 2021.

BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 80. 2008.

BRASIL. Ministerio de Minas Energia. **Governo do Brasil**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conheca-as-instituicoes-do-setor-eletrico-brasileiro-e-as-competencias-de-cada-uma>. Acesso em: 13 Outubro 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **governo do brasil**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cmse>. Acesso em: 13 outubro 2024.

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a contratação de energia elétrica no ambiente de contratação regulada e dá outras providências. Diário Oficial da União, 30 jul. 2004. [S.l.].

BRASIL. Lei nº 13.203, de 8 de dezembro de 2015. Altera a Lei no 10.848, de 15 de março de 2004, e a Lei no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, para dispor sobre a contratação regulada de energia elétrica. Diário Oficial da União, 9 dez. 2015. [S.l.].

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 jan. 2022. [S.l.].

BUSSADORI, H. S. Fontes de Energia e Impacto na Sociedade Contemporânea. **Revista Resgates**, São Paulo, Dezembro 2019., p. 105-124

CARNEIRO, J. **Semicondutores— Modelo-Matemático-da-Célula-Fotovoltaica**. Universidade do Minho. Azurém, p. 36. 2010.

CCEE. CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **mercadolivredeenergia**, 2024. Disponível em: <https://www.mercadolivredeenergia.com.br/ccee/>. Acesso em: 13 outubro 2024.

CHAN, L. M. Como a Célula Fotovoltaica Funciona. **Elétrica UFPB**, 2000. Disponível em: <https://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/luischan/comofunciona.htm>. Acesso em: 10 outubro 2024.

CUNHA, E. A. A. *et al.* ASPECTOS HISTÓRICOS DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL E NO MUNDO. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 4, p. 689-697, 2019.

EPE. Balanço Energético Nacional 2024. **Site da Empresa de Pesquisa Energética**, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 20 outubro 2024.

EPE. Quem Somos. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>. Acesso em: 13 Outubro 2024.

FARIAS, L. M.; SELLITO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, janeiro/junho 2011., p. 7-16

FORTES, H. J. **Matriz Energética Atual, Transição e Perspectivas até 2050: Desafios e Oportunidades Para a Industrialização do Nordeste Brasileiro a Partir das Energias Renováveis**. Universidade do Ceará. Fortaleza, p. 82. 2024.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **GLOBAL WIND REPORT 2024**. GWEC. [S.l.], p. 168. 2024.

GRINGS, J. C. **SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM OPERAÇÃO INTERLIGADA À REDE**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. SANTA MARIA, p. 58. 2024.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia Dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 14. 2005.

MACHADO, C. T. . A. F. S. M. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.

MALTA, A. L. **Comparação de algoritmos de máxima potência em sistemas fotovoltaicos como carregador de**. UFV. Viçosa. 2013.

MARQUES, A. M. B. *et al.* **Aspectos jurídicos concernentes à atuação do Conselho Nacional de Política Energética no Mercado de combustíveis**. PDPETRO. Campinas, p. 8. 2007.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, R. A. G. E. E. B. **O aproveitamento da energia eólica**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2008.

MIRANDA, V. G. D. R. **AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA DO IMPACTO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NOS ÍNDICES DE DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. BALSAS , p. 69. 2023.

MME. Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023. **Site do Ministério de Minas e Energia**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. Acesso em: 20 Setembro 2024.

OLIVATI, C. D. A. **Efeito Fotovoltaico e Fotocondutividade em Dispositivos Ploliméricos**. IFSC-USP. São Carlos, p. 126. 2000.

ONS. Sobre o ONS. **Operador nacional do sistema elétrico**, 2024. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>. Acesso em: 13 outubro 2024.

PEREIRA, D. D. S.; NETO, R. E. S. Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. III, n. 2, p. 2-21, 2021.

PONTE, E. F. D. **CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM AEROGERADOR DE EIXO**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. CASCABEL , p. 60. 2017.

PRADO, O. **Agências reguladoras e transparência: a disponibilização de informações pela Aneel**. Scielo. [S.I.]. 2006.

SANTANA, J. C. S. *et al.* O Uso e Produção da Energia Limpa Como Método de Presevação Ambiental Sustentável. **Revista Portos: Por um Mundo Mais Sustentável** , 2020., p. 99-111

SANTOS, F. M. **SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO: HISTÓRICO, ESTRUTURA E ANÁLISE DE INVESTIMENTOS NO SETOR**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. ARARANGUÁ, p. 59. 2015.

SANTOS, J. P. D. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE EM TÚNEL DE VENTO**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. Natal, p. 17. 2024.

SILVA, D. N. Revolução Industrial: o que foi, resumo, fases. **Brasil escola**, 2024. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/historiag/revolucao-industrial.htm#:~:text=A%20Inglaterra%20foi%20a%20na%C3%A7%C3%A3o,de%20partida%20da%20Revolu%C3%A7%C3%A3o%20Industrial>. Acesso em: 09 outubro 2024.

SIMABUKULO, L. A. N. *et al.* **ENERGIA, INDUSTRIALIZAÇÃO E MODERNIDADE – HISTÓRIA SOCIAL**. USP. [S.I.], p. 34. 2006.

SINTRA, H. L. **Modelação de Torre Eólica: Controlo e Desempenho**. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA. Lisboa, p. 105. 2013.

TESSMER, H. **Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem**. Revista Liberato. Novo Hamburgo, p. 7. 2013.

WENHAM, S. R. et al. Applied photovoltaics. 2 ed. Australia: Centre for Photovoltaic. [S.l.].

WORLD BANK GROUP. **Offshore Wind Development Program: Cenários para o Desenvolvimento de Eólica Offshore no Brasil**. world bank group. [S.l.], p. 16. 2024.