

GERAÇÃO DE ENERGIA – AS PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE A GERAÇÃO SOLAR E A EÓLICA

ENERGY GENERATION – THE MAIN DIFFERENCES BETWEEN SOLAR AND WIND GENERATION

SILVA, Alex de Lima¹
 SANTOS, Jorge Antonio Baptista²
 JORGE, João Luiz Martins³
 SANTOS, Rafael Bento dos⁴

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar as principais diferenças entre as formas de geração de energia solar e eólica, sendo evidenciado as diferentes estruturas adotadas para atender a operação e manutenção desses ativos elétricos e, também, as particularidades dos terrenos e equipamentos necessários para cada forma de geração. O trabalho em tela aborda um estudo de caso em que através da realização de uma visita técnica a uma UFV (Usina Fotovoltaica) e a um parque eólico, tornou-se possível a distinção e os principais desafios de cada uma das formas de geração. Mediante a tendência do cenário global de geração, as fontes renováveis de energia têm ganhado tamanha expressividade frente as outras metodologias, uma vez que atendem diretamente as diretrizes de sustentabilidade atualmente exigidas. Por fugir dos preços regulados da tarifa paga pelo consumo da energia, metodologias como a geração fotovoltaica trazem benefícios além da redução da tarifa, uma vez que refletem uma longa vida útil do ativo, o baixo custo com a manutenção do parque de geração, um rápido retorno do investimento empregado no empreendimento, além da modularidade e adaptabilidade do sistema. Já a eólica, por utilizar somente a força dos ventos para produção de energia, não emite gases nocivos ao meio ambiente, trazendo benefícios diretos ao clima global, evitando assim o aumento da temperatura do planeta.

Palavras-chave: Eletricidade; Engenharia Elétrica; Geração de Energia; Usina Fotovoltaica, Usina Eólica.

Abstract: The main objective of this work is to present the main differences between the forms of solar and wind energy generation, highlighting the different structures adopted to meet the operation and maintenance of these electrical assets and the particularities of the land and equipment needed for each generation form. The work on screen addresses a case study in which, through a technical visit to a UFV (Photovoltaic Plant) and a wind farm, it became possible to distinguish and the main challenges of each of the forms of generation. Due to the tendency of the global generation scenario, renewable energy sources have gained such expressiveness compared to other methodologies, since they directly meet the sustainability guidelines currently required. By escaping from the regulated prices of the tariff paid for energy consumption, methodologies such as photovoltaic generation bring benefits beyond the tariff reduction, since they reflect a long useful life of the asset, the low cost of maintaining the generation park, a quick return on investment used in the development, in addition to the modularity and adaptability of the system. Wind power, on the other hand, by using only the force of the wind to produce energy, does not emit gases that are harmful to the environment, bringing direct benefits to the global climate, thus avoiding the increase in the temperature of the planet.

Keywords: Electricity; Electrical engineering; Power generation; Photovoltaic Power Plant, Wind Power Plant.

¹ Doutor em Engenharia Elétrica – UFRJ – alex.lima@usu.com.br

² Bacharel em Engenharia Elétrica – Universidade Santa Úrsula – USU – jorge.santos@souusu.com.br

³ Bacharel em Engenharia Civil e Elétrica – Universidade Santa Úrsula – USU – eusou.joaogorge@gmail.com

⁴ Bacharel em Engenharia Elétrica – Universidade Santa Úrsula – USU – rafael.bento@souusu.com.br

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo tem como objetivo mostrar a relevância da geração de energia elétrica por fonte solar e eólica, contemplando as tecnologias de captação e as vantagens e desvantagens de cada uma delas onde, ocorre significativo aumento deste tipo energia limpa ao cenário nacional nos últimos anos, devido ao aumento da instalação de Usinas Fotovoltaicas (UFV) e, também da incorporação de parques eólicos aos ativos de geração no âmbito nacional.

O setor elétrico é representado por uma cadeia de eventos até que se chegue ao consumidor final, passando desde as unidades geradoras, após a geração a energia é elevada e transmitida por linhas de transmissão até as subestações de distribuição, que por sua vez reduzem os níveis de tensão, onde através das linhas de distribuição chegam até o consumidor final.

Falando um pouco sobre o aumento da produção de energia fotovoltaica, a modalidade de geração vem crescendo em média 151% ao ano, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Apesar do aumento tão expressivo dessa metodologia de geração, o mercado ainda carece de uma maior exploração, já que, no Brasil, ainda é relativamente novo.

Por outro lado, temos como comparativo as usinas eólicas. A energia obtida a partir dos ventos tornou-se uma alternativa importante, já que, além de inesgotável, tem a grande vantagem de causar baixos impactos ao meio ambiente. A sua utilização para a geração de eletricidade, em escala comercial, teve início há pouco mais de 30 anos e evoluiu rapidamente da prancheta para produtos de alta tecnologia. Uma sólida indústria de componentes e equipamentos foi desenvolvida e foram criados milhares de novos empregos. A indústria de turbinas eólicas vem acumulando crescimentos anuais acima de 30% e movimentando bilhões de dólares em vendas por ano, em todo o mundo.

Através da visita técnica realizada em conjunto dos autores do presente artigo, foi possível conhecer as particularidades de cada cenário, contribuindo para o entendimento colegiado e sendo objeto do desenvolvimento a seguir apresentado.

2 DESENVOLVIMENTO

Um auxílio ao desenvolvimento das energias alternativas no país foi a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), em 2002. Por meio da Lei nº 10.438, de abril de 2002, o governo buscou apoiar o desenvolvimento das fontes alternativas, garantindo a compra dessa energia por 20 anos. O foco desse programa foi a implantação de 3.300MW de potência instalada na rede nacional, sendo 1.100 MW provenientes de energia eólica e solar, outra quantidade igual de usinas de biomassa e outra de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) (ABSOLAR, 2018a).

2.1. A Usina Fotovoltaica

As usinas fotovoltaicas possuem como fonte geradora a luz solar, onde através de sua luminosidade os painéis solares fazem a função do armazenamento, através da composição de materiais metálicos que formam sua estrutura e, também, da utilização de materiais semicondutores como o silício, absorvem essa luz e as converte em energia. Em relação ao processo de conversão, os fótons (partículas de raios solares) se chocam os átomos das placas, formando uma corrente elétrica. Essas placas fotovoltaicas foram inventadas em 1954. Apesar do longo período entre seu surgimento, tecnologia de modelos e de inovações tecnológicas, o sistema ainda permanece igual. Essa metodologia de geração foi vista pela primeira vez em uma reunião da *National Academy of Sciences*, onde ganhou abrangência e deu origem a diversas pesquisas relacionadas ao campo.

Figura 1 – Parque solar Ituverava (BA)

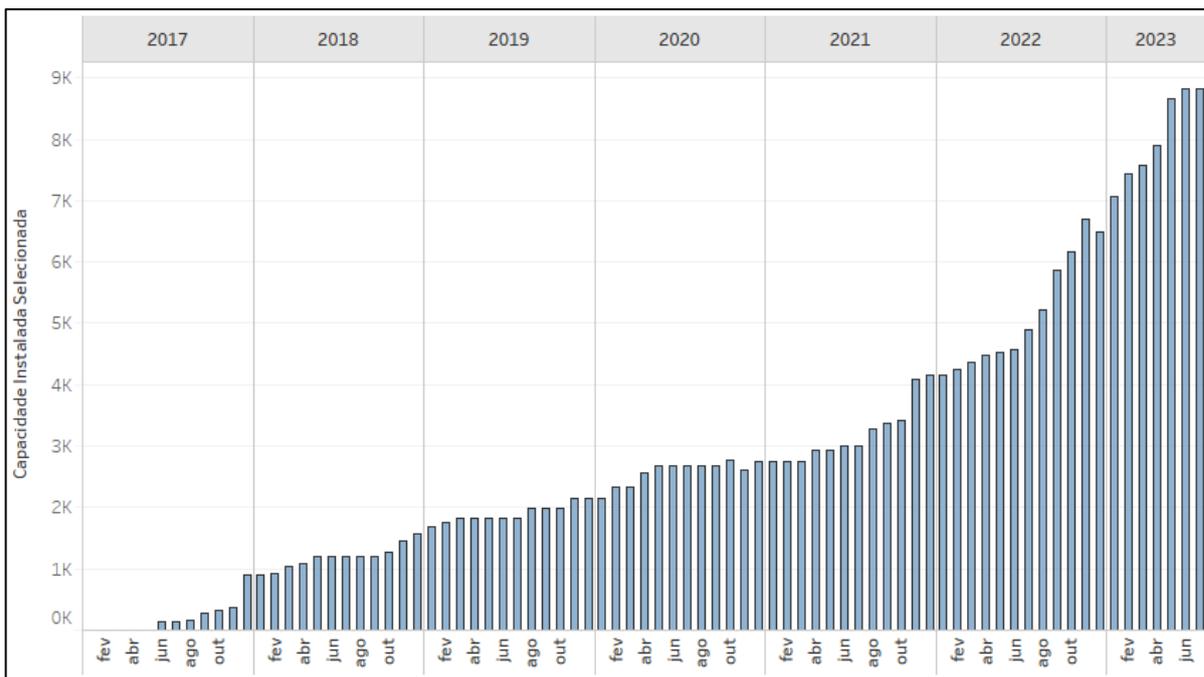


Fonte: <https://canalsolar.com.br>

No âmbito nacional as usinas fotovoltaicas começaram a ser instaladas em 2011. Alexandre Edmond Becquerel, o pesquisador francês que descobriu o efeito fotovoltaico em 1839, ficou conhecido por seus trabalhos sobre a luminescência e fosforescência, o físico estudou o espectro solar, eletricidade, magnetismo e a óptica, marcando a trajetória da energia solar no mundo. Muitos não sabem, mas outro nome que também foi fundamental para a evolução da energia solar foi Albert Einstein. Apesar de ser famoso por outros estudos, foi com a “Teoria do Efeito Fotoelétrico” que Einstein levou o Prêmio Nobel de Física de 1921. Colaborando com outros cientistas para o desenvolvimento da energia, suas pesquisas foram essenciais para o progresso de tecnologias dos painéis solares. Prova disso é a criação da primeira célula fotovoltaica em 1883. Desenvolvida por Charles Fritts, um pesquisador americano, sua descoberta só aconteceu em parceria com os estudos de Einstein.

A publicação da Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de 2012, cravou uma grande mudança no setor de energia solar, permitindo que o consumidor pudesse gerar a sua própria energia, conectada à rede de distribuição das concessionárias de distribuição (geração distribuída), viabilizando tanto a produção por micro geradores, como painéis solares nos telhados dos imóveis, quanto por minigeração. A resolução possibilitou também a criação de sistemas de créditos energéticos e estabeleceu os critérios necessários para a conexão de sistemas à rede. Além da REN/482, o governo também instituiu outras medidas para incentivar o uso de energias renováveis, como a isenção de IPI ou ICMS, apoio do BNDES e redução do Imposto de Importação. A partir daí, o crescimento do setor disparou. Se em 2012 a potência instalada no país todo era de 7 MW, em 2020, o Brasil alcançou a marca de 6 GW, ou 6.000 MW, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). Os números também apontam que o mercado de energia fotovoltaica já trouxe mais de 31 bilhões de reais em novos investimentos e gerou mais de 180 milhões de empregos desde 2012. O progresso é tanto que, em 2020, o Brasil saltou para o 16º lugar do ranking mundial de energia fotovoltaica feito pela *International Renewable Energy Agency* (IRENA) e atualmente está entre os 20 países líderes em capacidade instalada. Apesar do desenvolvimento significativo, essa expansão pode ser ainda maior. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no local menos ensolarado do Brasil é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, um dos países mais avançados no uso dessa energia. Por isso, nosso país é um dos que possui mais potencial na produção de energia limpa e renovável.

Figura 2 – Evolução da Capacidade Instalada de Geração Solar (MW)



Fonte: ONS

Em relação aos benefícios proporcionados podemos citar a diminuição da importação de combustíveis e, em consequência direta a expressiva redução dos custos relacionados a geração. Hoje, esse modelo pode propiciar um desconto mensalmente na sua conta de luz. Isso porque a energia produzida pelos painéis que não é consumida se converte em créditos energéticos, diminuindo o valor da conta de luz. Outro benefício em utilizar energia renovável é a diminuição de impactos ao meio ambiente. Diferente dos combustíveis fósseis, que são um dos fatores que mais contribuem para danos na camada de ozônio, em uma usina solar, a emissão de gases como o CO² é relativamente baixa na atmosfera. Uma vantagem é que quando se opta pelo serviço de uma Fazenda Solar, a pegada de carbono é diminuída. Nesse sentido, fontes de energia limpa também são uma alternativa extremamente benéfica, que está relacionada a assuntos importantes para a sociedade como o desenvolvimento sustentável e a busca por práticas mais sustentáveis. Inclusive, hoje, comunidades isoladas também são beneficiadas pela energia solar.

Apesar das diversas qualidades, a geração de energia elétrica por fonte solar ainda não possui um incentivo significativo no nosso país. Embora tenha crescido consideravelmente nos últimos anos, a energia solar ainda não é tão explorada pela população brasileira.

2.2. A Usina Eólica

Por outro lado, temos como comparativo as usinas eólicas. A energia obtida a partir dos ventos tornou-se uma alternativa importante, já que, além de inesgotável, tem a grande vantagem de causar baixos impactos ao meio ambiente. A sua utilização para a geração de eletricidade, em escala comercial, teve início há pouco mais de 30 anos e evoluiu rapidamente da prancheta para produtos de alta tecnologia. Uma sólida indústria de componentes e equipamentos foi desenvolvida e foram criados milhares de novos empregos. A indústria de turbinas eólicas vem acumulando crescimentos anuais acima de 30% e movimentando bilhões de dólares em vendas por ano, em todo o mundo.

Mediante ao cenário geográfico apresentado no Brasil, nosso país tem um dos maiores potenciais eólicos do planeta, possibilitando encontrar regiões com velocidades de vento superiores a 7 m/s.

Figura 3 – Potencial eólico brasileiro com ventos maiores que 7 m/s

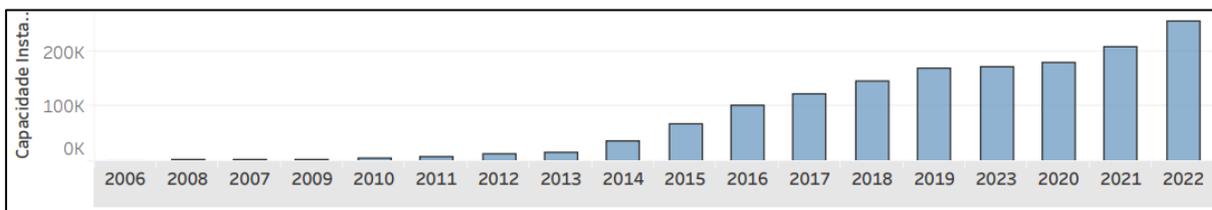


Fonte: Diário do Nordeste

A região nordeste do país é de grande expressão para o cenário de geração eólica. O potencial eólico do Brasil chega a 143 mil MW, 11 vezes maior que a potência instalada da Usina de Itaipu. Essa estimativa foi realizada em 2001, com medições a 50m de altura. Atualmente, os aerogeradores alcançam, em alguns casos, altura superior à 100m, o que indica que o potencial a ser aproveitado é bem maior. A primeira turbina eólica brasileira foi instalada no arquipélago de Fernando de Noronha, em 1992. Dez anos depois, o governo criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) para a utilização de fontes renováveis como a eólica, a biomassa e as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

Este programa contratou cerca de 1.420 MW em empreendimentos eólicos por 20 anos, que entraram em operação entre 2006 e 2011. Em 2009, o governo federal realizou um leilão exclusivo para a contratação de empreendimentos eólicos, na oportunidade, aproximadamente 1.805 MW em projetos foram contemplados. No ano seguinte, um novo leilão foi realizado e foram contratados 2.048 MW em capacidade instalada, porém, desta vez, a fonte eólica disputou os certames competindo com a biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. Posteriormente, em 2011, a fonte eólica disputou vários leilões no decorrer do ano e teve 2.905 MW em projetos contratados. Nestas concorrências, além das mencionadas biomassas e pequenas centrais hidrelétricas, a energia eólica competiu com o gás natural e as grandes hidrelétricas.

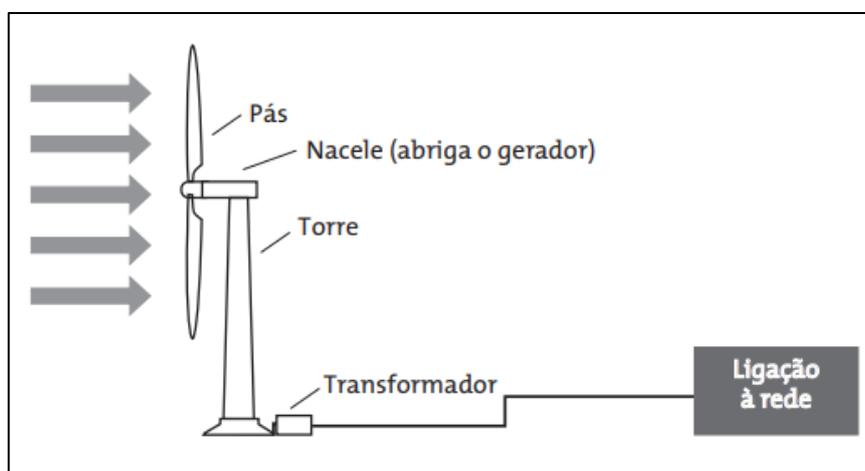
Figura 4 – Evolução da Capacidade Instalada de Geração Eólica (MW)



Fonte: ONS

Em relação ao seu funcionamento, a força dos ventos move o aerogerador (turbina eólica), que pode ser fixado em terra ou no mar. Esses aerogeradores são responsáveis por converter a energia cinética dos ventos em energia elétrica.

Figura 5 – Componentes de um aerogerador

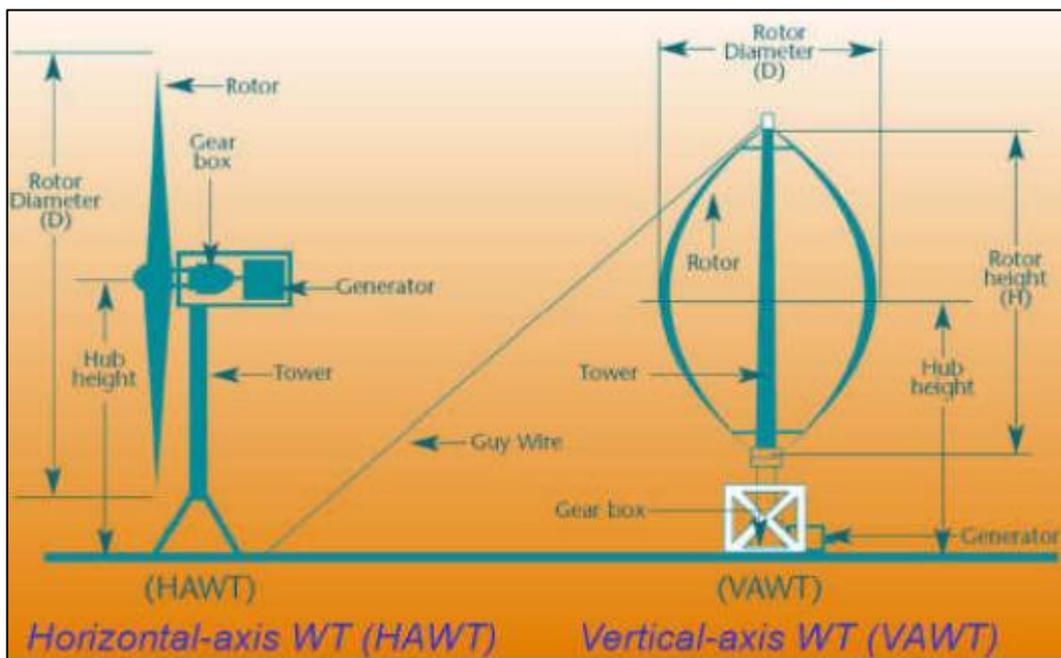


Fonte: Biblioteca digital BNDES

O princípio de funcionamento dos aerogeradores é o de conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica para geração de potência. A transformação energética se dá com o escoamento do vento por meio das pás do rotor, que faz funcionar o conjunto de engrenagens de redução e eixos acionadores do gerador elétrico.

Os aerogeradores podem ser divididos tipicamente em dois grupos principais: aerogeradores de eixo horizontal (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine) e aerogeradores de eixo vertical (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine), sendo a configuração de eixo horizontal a dominante no mundo e no Brasil. Além disso, as turbinas eólicas podem ser classificadas quanto ao porte: pequeno porte, para potência abaixo de 10 kW; médio porte, para potências entre 10 kW e 250 kW; e grande porte, para potências acima de 250 kW.

Figura 6 – Aerogeradores do tipo HAWT e VAWT



Fonte: CE-EÓLICA – PUC-RS

Atualmente, o Brasil conta com 795 parques eólicos, segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica). Trata-se da segunda maior fonte da matriz energética do país, ficando atrás apenas da energia hidrelétrica. Alguns dos maiores estados brasileiros em capacidade instalada de energia eólica são: Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Bahia.

Figura 7 – Parque eólico em Gargaú (RJ)



Fonte: autores

A geração eólica traz benefícios para o cenário nacional e para o planeta como um todo, além de desenvolver a economia do país. Dentre esses benefícios, podemos citar que é uma fonte de energia renovável, independente de combustíveis fósseis, reduz a emissão de gases nocivos ao meio ambiente e a possibilidade de utilização do solo de modo produtivo e sustentável.

Contudo, nem só de pontos positivos vivem os parques eólicos, a produção desse tipo de energia exige diversos cuidados e recursos. Para a construção dos parques eólicos, são necessários estudos sobre localização, força e velocidade dos ventos ao longo do ano, além da migração das aves. Com isso, pontos de atenção como a imprevisibilidade, devido à irregularidade dos ventos, o alto custo de equipamentos, a necessidade de espaços livres para implantação e a possibilidade de afetar o curso migratório das aves são alguns pontos de desvantagem da utilização desse sistema.

Figura 8 – Curso migratório de aves



Fonte: Greensavers

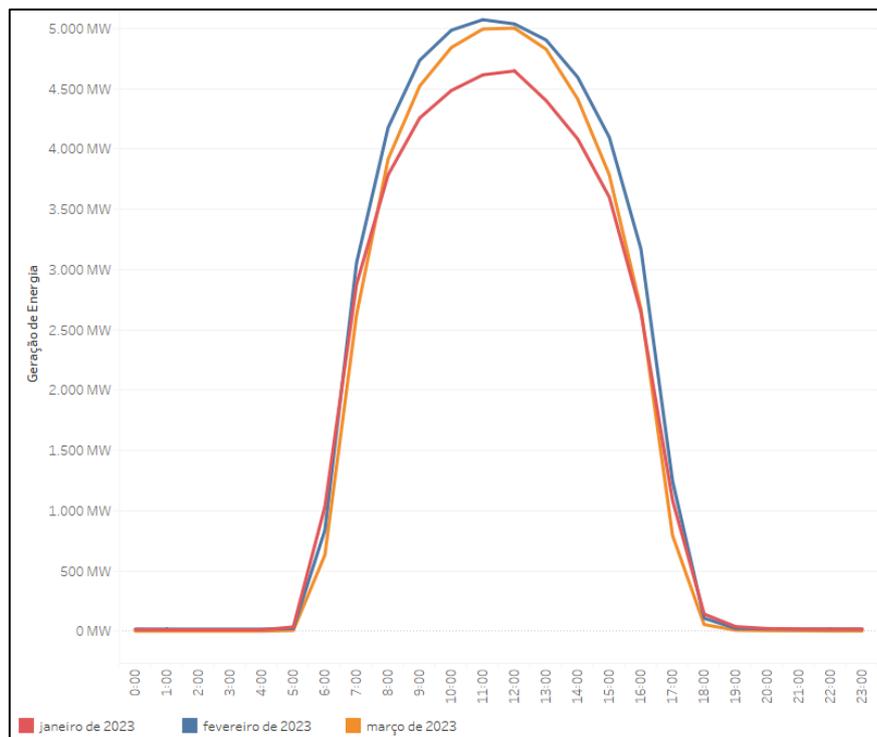
3 RESULTADOS ALCANÇADOS

O Brasil acompanha a tendência global de geração de energia renovável e acessível. As pessoas passaram a ter maior consciência ambiental em busca da sustentabilidade e preservação do meio ambiente. Nesse contexto, a energia solar e a energia eólica se destacam como fontes de energia limpa e duradoura diferentemente da energia originada dos combustíveis fósseis. Com os avanços tecnológicos fundamentados na inovação, a energia eólica se uniu à energia solar e, juntas, formaram um novo conceito: energia híbrida. Em conjunto, se complementam para atender a variação diária na carga do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Grande parte das fontes de geração de energia elétrica do país não apresentam variação substancial na potência ao longo do dia, exceto as gerações fotovoltaica e eólica. Nestas duas há diferença substancial entre o máximo e mínimo de geração durante o dia e entre os dias, em função da energia disponível pelo sol e vento, respectivamente.

A energia solar fotovoltaica essa variação durante o período diurno, aumentando entre o nascer do sol e o meio-dia astronômico do local onde está instalado o equipamento, e redução até o pôr do sol.

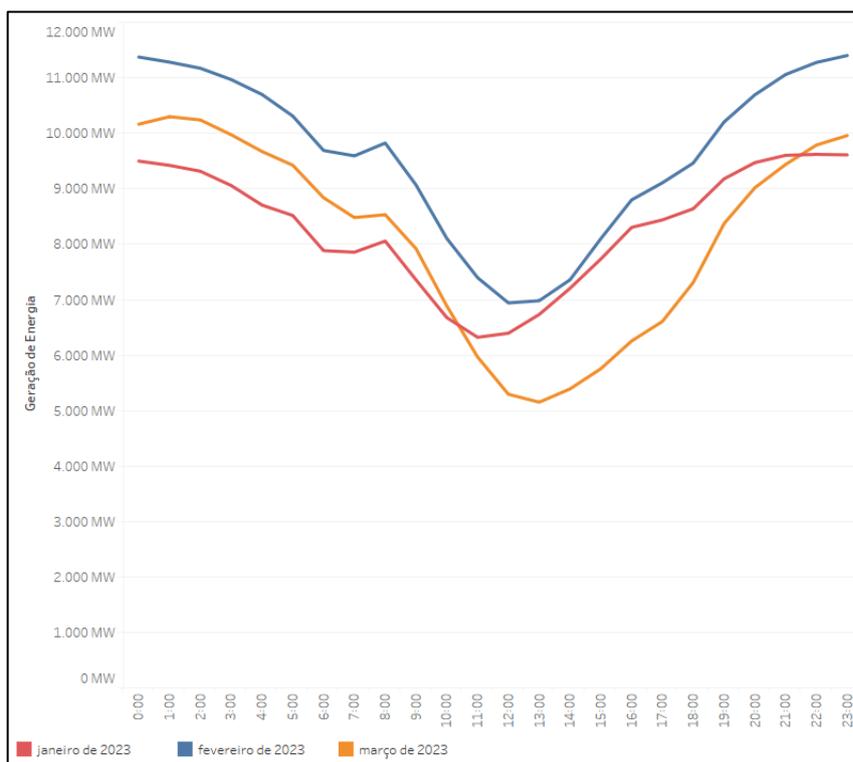
Figura 9 – Geração solar – média horária (MWmed)



Fonte: ONS

A energia eólica, por sua vez, depende exclusivamente da velocidade do vento, uma vez que os equipamentos dispõem de dispositivos para se posicionar perpendicularmente à direção deste, visando o melhor aproveitamento de sua energia. Conforme dados médios dos meses de janeiro a março de 2023 (Figura 10), a menor geração eólica no Brasil ocorre ao redor das 10h da manhã, aumentando até ao redor das 21h e reduzindo novamente até as 10h do dia subsequente.

Figura 10 – Geração eólica – média horária (MWmed)



Fonte: ONS

Assim, conforme apresentado neste estudo, as gerações fotovoltaica e eólica somadas atendem perfeitamente à variação na demanda de energia no Sistema Interligado Nacional ao longo do dia desde que ajustada a proporção de geração por cada uma delas, contemplando as variações locais e regionais de disponibilidade de radiação solar e de vento, que são as fontes de energia para esses sistemas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho dispõe de extensa pesquisa bibliográfica do tema de geração de energia elétrica por fontes solar e eólica no qual se propõe e experiências aprendidas e vivenciadas

pelos autores durante visitas técnicas às usinas em operação no interior do Estado do Rio de Janeiro.

Desta forma, o presente artigo conclui primorosamente a importância de haver maior estudo e investimento nos setores de geração híbrida por meio solar e eólico, proporcionando ampliação da malha energética do país com sistemas de geração limpa e renovável, além de dar maior estabilidade ao Sistema Integrado Nacional (SIN).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Cresce a geração de energia solar e eólica no País.** Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2022/julho/cresce-a-geracao-de-energia-solar-e-eolica-no-pais>. Acesso em 10 jul. 2023.

ALÉ, Professor Jorge A. Villar. CENTRO DE ENERGIA EÓLICA – PUC-RS. Slides de apresentação. Turbinas Eólicas de Eixo Vertical. Disponível em: https://app.eventize.com.br/upload/000388/files/3_%20TURBINAS%20EOLICAS%20DE%20EIXO%20VERTICAL.pdf. Acesso em 11 jul. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). Energia solar supera eólica e vira 2ª maior fonte do país; veja desafios para 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-supera-eolica-e-vira-2a-maior-fonte-do-pais-veja-desafios-para-2023/>. Acesso em 11 jul. 2023.

CANAL SOLAR. **Confira as 5 maiores usinas fotovoltaicas do Brasil.** Disponível em: <https://canalsolar.com.br/confira-as-5-maiores-usinas-fotovoltaicas-do-brasil/>. Acesso em 11 jul. 2023.

GREENSAVERS. **Evitar a morte de pássaros em parques eólicos pode ser muito mais fácil do que se pensava.** Disponível em: <https://greensavers.sapo.pt/evitar-a-morte-de-passaros-em-parques-eolicos-pode-ser-muito-mais-facil-do-que-se-pensava/>. Acesso em 11 jul. 2023.

LAGE, Elisa Salomão & PROCESSI, Lucas Duarte. **Panorama do setor de energia eólica.** BNDES-Biblioteca Digital. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2926/1/RB%2039%20Panorama%20do%20setor%20de%20energia%20e%20c3%b3lica_P.pdf. Acesso em 11 jul. 2023.

NORDESTE, Diário do. **Ceará pode dobrar potencial de geração com sete novos projetos de energia renovável.** Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniao/colunistas/samuel-quintela/ceara-pode-dobrar-potencial-de-geracao-com-sete-novos-projetos-de-energia-renovavel-1.3173221>. Acesso em 11 jul. 2023.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Histórico da geração eólica e fotovoltaica.** Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados-de-gera%C3%A7%C3%A3o-e%C3%B3lica-e-solar>. Acesso em 11 jul. 2023.

PORTAL ENERGIA. **Como a energia solar fotovoltaica e eólica se podem complementar.** Disponível em: <https://www.portal-energia.com/como-energia-solar-fotovoltaica-eolica-complementar/>. Acesso em 11 jul. 2023.