



Transição da matriz elétrica na região Nordeste: desafios e sinergias com energias renováveis variáveis

The electric matrix transition in the Northeast region: challenges and synergies with variable renewable energy

Arquimedes Parente Paiva Mororó¹, Vanessa Cardim de Aguiar², Valmir Cristiano Marques de Arruda¹,
Rosângela Gomes Tavares¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil

² Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, Recife, Pernambuco, Brasil

Contato: appaiva@hotmail.com

Palavras-Chave

produção de energia
fontes de geração
sistema interligado
gerenciamento de demanda
armazenamento de energia

Key-word

production of energy
generation sources
interconnected system
demand management
energy storage

RESUMO

Este artigo aborda as significativas mudanças ocorridas na matriz elétrica da Região Nordeste do Brasil devido à crescente inserção da geração de energia eólica e solar em larga escala, superando a modalidade de geração hidroelétrica na região. Neste contexto, buscou-se analisar as mudanças na matriz elétrica regional, discutindo os desafios enfrentados pela integração de Energias Renováveis Variáveis, bem como explorou a sinergia entre as fontes eólica, solar e hidráulica. Observou-se no período de 2005 a 2013 uma redução na modalidade de geração hídrica de 95,51 % para 20,24 %, tendo em contrapartida um crescimento na geração eólica de 0,00 % para 66,55 %, bem como o crescimento da geração solar de 0,00 % para 10,28 %. Com o aumento das Energias Renováveis Variáveis (ERV), tais como: eólica e solar, o sistema elétrico tem enfrentado novos desafios, principalmente em relação à alta variabilidade, incontornabilidade, e difícil previsibilidade dessas fontes, afetando a operação do sistema. Observou-se uma forte sinergia entre as fontes de energia renováveis eólica, solar e hidráulica nos últimos anos na região, no entanto tendo como principal desafio a integração entre essas fontes em razão da alteração do modo de operação das usinas hidrelétricas.

ABSTRACT

This article approaches the significant changes that have occurred in the electrical matrix of the Northeast Region of Brazil due to the increasing insertion of large-scale wind and solar energy generation, surpassing the hydroelectric generation modality in the region. In this context, we sought to analyze changes in the regional electrical matrix, discussing the challenges faced by the integration of Variable Renewable Energies, as well as exploring the synergy between wind, solar and hydraulic sources. In the period from 2005 to 2013, a reduction in the type of hydro generation was observed from 95.51% to 20.24%, with on the other hand an increase in wind generation from 0.00% to 66.55%, as well as growth of solar generation from 0.00% to 10.28%. With the increase in Variable Renewable Energy (ERV), such as wind and solar, the electrical system has faced new challenges, mainly in relation to the high variability, uncontrollability, and difficult predictability of these sources, affecting the system's operation. A strong synergy has been observed between wind, solar and hydraulic renewable energy sources in recent years in the region, however the main challenge is the integration between these sources due to the change in the operating mode of hydroelectric plants.

Informações do artigo

Recebido: 31 de julho, 2023

Aceito: 01 de outubro, 2023

Publicado: 01 de dezembro, 2023

Introdução

A crescente conscientização sobre os impactos ambientais e a necessidade de reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis levaram o Brasil a investir cada vez mais em energias limpas e sustentáveis.

A Região Nordeste destaca-se como um dos principais polos de geração de energia renovável, principalmente devido à sua vasta extensão territorial e condições climáticas favoráveis para a geração eólica e solar (MARCELO et al., 2023). Entende-se como energia renovável aquela que naturalmente é renovável e praticamente inesgotável a uma escala de tempo humana. São exemplos de energias renováveis: solar, eólica, hidrelétrica e biomassa.

A maior penetração de Energias Renováveis Variáveis (ERV) no Nordeste modifica a operação dos reservatórios das hidrelétricas da região, uma vez que menos água precisa ser transferida do período úmido para o seco devido à maior geração eólica e solar no período seco (MME/EPE, 2018).

As fontes de ERV são a solar e a eólica em razão da impossibilidade de armazenamento de energia, sendo sua produção de energia variável ao longo do tempo devido as condições naturais, como a luz do sol e ventos. As hidrelétricas não são consideradas fontes ERV porque é possível armazenar água nos reservatórios, ou seja, armazenar energia potencial que ficará disponível para quando houver necessidade de geração hidráulica.

Transição da matriz elétrica na região Nordeste

Geração eólica em larga escala

O termo matriz elétrica de um país corresponde à composição de todas as fontes de energia usadas para gerar energia em uma determinada região. Essas fontes podem ser renováveis, caso de uso de recursos hídricos, eólicos, geotermia, solar, marítima ou não renováveis como os derivados do petróleo, carvão, gás natural e nuclear (DOLLE e CARMO, 2013).

O crescimento da geração eólica na região Nordeste tem sido notável nos últimos anos, impulsionado por políticas governamentais e investimentos privados. A abundância de ventos constantes e fortes, como também de luz e calor solar, nessa região proporciona um cenário ideal para a instalação de parques eólicos e solares, tornando a geração eólica a principal fonte de energia na matriz elétrica regional (ONS, 2023a).

A mudança na composição da geração de energia elétrica no Subsystema Nordeste do Brasil é um reflexo das condições climáticas e dos investimentos em energia renovável na região.

Até o início dos anos 2010, a energia elétrica produzida no Nordeste era predominantemente proveniente de fontes hídricas, com destaque para o rio São Francisco como principal provedor de energia através das hidrelétricas (ALVES, 2010).

No entanto, a partir de 2013, o cenário começou a se transformar devido a três fatores principais:

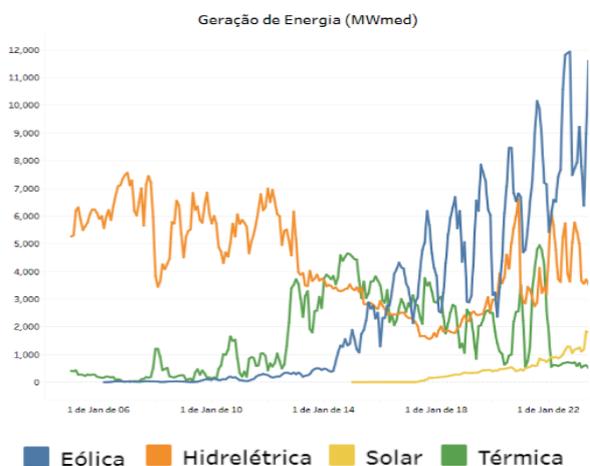
Anos de baixa pluviometria: A ocorrência de anos com baixa densidade de chuvas na região, afetou o nível dos reservatórios das hidrelétricas, reduzindo sua capacidade de geração de energia elétrica. A falta de chuvas comprometeu a disponibilidade de água para a produção de energia, tornando necessário buscar outras fontes para suprir a demanda crescente (MARENGO, 2008);

Aumento da capacidade instalada de geração eólica: Com o incentivo às energias renováveis e a busca por fontes mais sustentáveis de geração de eletricidade, houve um significativo investimento na energia eólica na Região Nordeste. A energia eólica utiliza a força dos ventos para produzir eletricidade, e a região Nordeste possui um grande potencial para esse tipo de fonte energética, com ventos constantes e intensos em determinadas áreas (BEZERRA e SANTOS, 2017);

Aumento da capacidade instalada de geração solar: A região Nordeste possui um alto potencial de irradiação solar, o que a torna ideal para a implementação de projetos solares em grande escala. O investimento contínuo em infraestrutura e o desenvolvimento de parques solares têm impulsionado o crescimento da capacidade instalada, contribuindo significativamente para a diversificação da matriz energética regional (BEZERRA, 2021).

Na Figura 1, pode-se verificar os três pontos destacados acima: a redução da geração de energia elétrica através das hidrelétricas a partir de 2013 com a crise hídrica, o aumento da geração térmica para atendimento à demanda deste período e o crescimento dos parques eólicos e os parques solares, que foram entrando em operação logo em seguida. Pode-se observar um aumento gradativo na produção de energia elétrica através dos ventos e mais recentemente o incremento das usinas solares.

Figura 1. Evolução da matriz elétrica na região Nordeste no período de junho/2005 a junho/2023



Fonte: ONS (2023a)

Desafios da integração de energias renováveis variáveis

A inserção em larga escala da geração eólica e solar de outras Energias Renováveis Variáveis tem trazido desafios para a operação do sistema elétrico na Região Nordeste. Devido à natureza intermitente e imprevisível dessas fontes, a estabilidade e a garantia do suprimento energético se tornaram questões críticas a serem enfrentadas (de SOUSA JUNIOR, 2023).

A integração das Energias Renováveis Variáveis (ERV) com a geração hidroelétrica é uma abordagem promissora para a inserção em larga escala das fontes de energia renovável no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB). Essa combinação permite aproveitar os benefícios complementares dessas fontes para garantir um suprimento mais estável e confiável de energia (CHESF, 2022).

As ERV, como a energia eólica e solar, têm a vantagem de serem limpas e sustentáveis, mas sua geração está sujeita às variações climáticas. Isso pode levar a flutuações na produção de energia ao longo do tempo, o que pode ser um desafio para a operação e estabilidade do sistema elétrico.

A geração hidroelétrica, por outro lado, é uma fonte de energia renovável e flexível, que pode ser ajustada para compensar as variações das ERV. As usinas hidroelétricas podem armazenar energia em seus reservatórios quando há um excedente de produção de ERV e liberá-la quando a geração das ERV é menor. Isso possibilita uma maior regularidade na oferta de energia ao longo do dia e durante diferentes estações do ano (OLIVEIRA, 2023).

A natureza variável das ERV e a complexidade do Sistema Interligado Nacional (SIN) exigem que um número elevado de condições operativas seja levado em consideração para a realização de estudos elétricos detalhados. As Restrições de flexibilidade devem ser representadas em detalhes, para não superestimar ou subestimar os impactos da alta penetração de das ERV na operação do sistema (MME/EPE, 2018).

A preservação do armazenamento do reservatório de Sobradinho é destacada como fundamental para a Região Nordeste, porque essa usina desempenha um papel crucial na regulação do setor elétrico regional. Ela contribui para garantir uma melhor gestão do balanço entre oferta e demanda de energia na região, reduzindo a necessidade de acionar fontes de geração mais caras e menos sustentáveis, como as termelétricas movidas a combustíveis fósseis.

Além disso, o uso conjunto de ERV com a geração hidroelétrica também pode contribuir para uma redução de custos no setor elétrico, uma vez que as fontes renováveis geralmente têm custos de operação mais baixos do que as fontes fósseis, e a disponibilidade de recursos naturais, como vento e sol, é gratuita.

Entretanto, é importante mencionar que, apesar das vantagens, essa integração requer um planejamento adequado, pois envolve a coordenação de diferentes fontes de energia, infraestrutura de transmissão e sistemas de controle. Além disso, políticas de incentivo e marcos regulatórios favoráveis podem ser necessários para promover o desenvolvimento sustentável e a inserção em larga escala das ERV.

Desafios da operação do sistema elétrico

Variabilidade e intermitência

A principal característica das ERVs, incluindo a eólica e a solar, é sua alta variabilidade. A geração de energia está diretamente relacionada às condições climáticas, como a velocidade dos ventos e a incidência solar, o que torna a previsibilidade um desafio para o operador do sistema.

A integração dessas diversas fontes de energia aponta para a urgência de promover alterações na operação e regulação das Usinas Hidrelétricas que compõem o Sistema Elétrico Brasileiro - SEB. O propósito é realizar uma transição energética, direcionando nosso sistema elétrico para uma matriz baseada predominantemente em fontes de energia renovável (CHESF, 2022).

Essa transição energética é fundamental para que possamos reduzir nossa dependência de fontes não renováveis, diminuindo as emissões de gases de efeito estufa e contribuindo significativamente para o combate às mudanças climáticas.

A diversificação das fontes de energia, incluindo a integração de fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa, entre outras, torna-se essencial para garantir uma oferta sustentável e confiável de eletricidade (FERNANDES et al., 2023).

Esta variabilidade aumentou nos últimos anos, com a presença do El Niño, fenômeno meteorológico de grande escala, que é caracterizado por anomalias de temperatura da superfície do Oceano Pacífico. Esse fenômeno afeta a circulação atmosférica, determinando principalmente anomalias no campo da precipitação pluviométrica.

O El Niño é o aquecimento anormal do Oceano Pacífico Equatorial que, combinado com o enfraquecimento dos ventos alísios na mesma região, provoca mudanças na circulação atmosférica (FREIRE et al., 2011).

No Nordeste do Brasil, o El Niño pode influenciar os ventos e a irradiação solar de várias maneiras:

Ventos: Durante o El Niño, o aquecimento das águas do Pacífico leva à redução da diferença de temperatura entre o oceano e a costa do Nordeste. Essa diminuição do gradiente de temperatura enfraquece os ventos alísios, que são ventos regulares que sopram de leste para oeste. Com ventos mais fracos, pode ocorrer uma diminuição do transporte de umidade do oceano para o continente, o que pode resultar em uma redução nas chuvas na região;

Irradiação Solar: O aquecimento das águas no Pacífico durante o El Niño também pode afetar a circulação atmosférica global, como o padrão de alta pressão sobre o Atlântico Tropical. Isso pode levar à formação de nuvens mais densas sobre o oceano e bloquear a radiação solar, reduzindo assim a quantidade de energia solar que atinge a superfície no Nordeste. Isso pode contribuir para a diminuição da temperatura média na região (SILVA et al., 2010).

Portanto, esse fenômeno meteorológico provoca um aumento na variabilidade, resultando na necessidade de implementar ajustes nas políticas e regulamentações que regem o setor elétrico brasileiro. Isso envolve a criação de incentivos e mecanismos que estimulem o investimento em energias renováveis, bem como o desenvolvimento de tecnologias e infraestruturas adequadas para a geração e distribuição dessas novas fontes.

Ademais, é importante promover a modernização das Usinas Hidrelétricas existentes, buscando torná-las mais flexíveis e adaptáveis à complementaridade com outras fontes renováveis intermitentes. Assim, poderemos otimizar a utilização dos recursos hídricos disponíveis e maximizar a eficiência do sistema elétrico como um todo.

Gerenciamento da demanda e do armazenamento de energia

Com a presença crescente de fontes variáveis na matriz elétrica, a gestão da demanda de energia torna-se crucial para equilibrar a oferta e a demanda em tempo real. Além disso, o desenvolvimento de sistemas eficientes de armazenamento de energia é uma necessidade para garantir o fornecimento contínuo, mesmo em períodos sem geração renovável.

As baterias têm se destacado como uma tecnologia promissora para o armazenamento de energia na Geração Distribuída (GD). A Geração Distribuída refere-se à produção de eletricidade em pequena escala próxima aos locais de consumo, muitas vezes a partir de fontes renováveis, como painéis solares ou turbinas eólicas instaladas em telhados ou terrenos próximos (DIAS, 2005).

As baterias são dispositivos capazes de armazenar energia elétrica quimicamente e liberá-la quando necessário. Elas possuem diversas aplicações, como sistemas de backup para fornecer energia em caso de falha na rede elétrica, armazenamento de energia excedente gerada por fontes intermitentes (como energia solar e eólica) e em veículos elétricos.

O uso de baterias na Geração Distribuída torna possível uma maior independência energética para os consumidores, além de aumentar a resiliência do sistema elétrico. Além disso, a implementação de baterias é mais flexível e pode ser adaptada a uma variedade de cenários, desde sistemas de eletrificação rural até instalações residenciais e comerciais (MANITO et al., 2018).

Material e Métodos

Neste artigo foi realizada uma análise sobre a transição da matriz elétrica na Região Nordeste do Brasil, destacando os fatores que influenciam essa transição, como a expansão da geração eólica e solar, a variabilidade climática, os desafios operacionais e as estratégias para integrar eficientemente as energias renováveis no sistema elétrico.

Nesta pesquisa foram coletadas informações sobre a situação energética passada e presente da Região Nordeste, bem como sobre as tecnologias de energia renovável disponíveis e suas aplicações práticas.

Foi realizada uma análise dos dados históricos sobre a produção de energia na Região Nordeste, considerando como variáveis a energia gerada em diferentes fontes, tais como: usinas eólicas, solares, hidrelétricas e térmicas, bem como os impactos para atendimento de outros usos como: irrigação, consumo humano, industrial e animal.

Resultados e Discussões

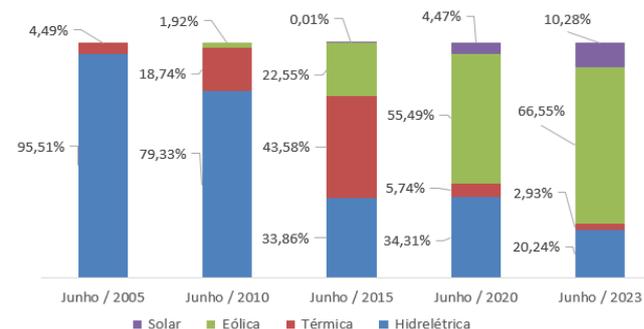
Histórico da variação da matriz elétrica na região Nordeste

Além da energia hidrelétrica há, no Brasil, outras fontes de geração de energia elétrica que, com o passar dos anos, vem ganhando espaço na matriz elétrica. A energia térmica ganha destaque a partir de 2010 em termos de participação na matriz Elétrica.

Usinas termoeletricas públicas são acionadas quando reservatórios hidrelétricos estão baixos para evitar crises de abastecimento. Em 2012, todas as térmicas brasileiras foram acionadas devido à baixa nos reservatórios, semelhante à crise de 2001. Em seguida observa-se o crescimento da energia eólica, desde a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), como também a solar cresceram na matriz elétrica brasileira a partir de 2015 (DOLLE e CARMO, 2013).

As fontes de geração de energia consideradas neste histórico de dados foram as pertencentes ao Sistema Interligado Nacional (SIN), como também as utilizadas para atendimento à demanda na região Nordeste. As informações do histórico da variação da matriz elétrica foram coletadas na página do Operador Nacional do Sistema Elétrico - Resultados da Operação - Histórico da Operação - Geração de Energia (ONS, 2023a), conforme pode ser observada na Figura 2.

Figura 2. Histórico de atendimento à demanda com geração Solar, Eólica, Térmica e Hidrelétrica na região Nordeste no intervalo de junho/2005 a junho/2023



Fonte: ONS (2023a)

No período de 2005 a 2010 observa-se que em 2005 a predominância de geração para atendimento à demanda era a hidrelétrica complementando com geração térmica. Em 2010 a geração hidrelétrica ainda estava predominando com uma participação maior de geração térmica e o início de geração eólica.

No período de 2015 a 2020 observou-se que em 2015 a geração hidrelétrica reduziu bastante em razão da crise hídrica, necessitando complementar com geração térmica que é a modalidade de geração com maior custo de produção.

Observou-se também o crescimento da fonte de geração eólica e uma pequena participação da geração solar. Com o surgimento de novas usinas eólicas, em 2020 observa-se uma predominância desta modalidade de geração, seguida da geração hidrelétrica e ainda com pequena participação, mas com o aumento de geração solar.

Em junho de 2023 observou-se a predominância de geração para atendimento à demanda na modalidade eólica, seguida da geração hidrelétrica e com um significativo aumento de geração solar complementando com geração térmica.

Este crescimento das outras fontes de geração de energia, tais como: eólica e solar tem contribuído para a diminuição dos conflitos no atendimento das necessidades de outros usos, tais como: irrigação, consumo humano, industrial e animal.

A principal razão da redução dos conflitos deve-se a maior disponibilidade de água nos reservatórios, visto que o atendimento à demanda de energia elétrica deixou de ser predominantemente hídrica, especialmente na região Nordeste, para ser suprida também por outras fontes de geração.

Esta predominância da geração eólica somente ocorre na região Nordeste do Brasil. O motivo dessa predominância deve-se a grande disponibilidade das fontes naturais da luz do sol e ventos. Nas demais regiões a geração hidrelétrica ainda é predominante conforme pode-se verificar nas Figuras 3 a 6 do balanço energético dos subsistemas (ONS, 2023b).

Sinergia entre geração eólica e hidrelétrica

Complementaridade das fontes

Apesar dos desafios, observa-se uma forte sinergia entre a geração eólica e hidrelétrica na Região Nordeste. Enquanto a energia eólica é mais abundante em certas épocas do ano, a geração hidrelétrica pode ser otimizada em períodos chuvosos, complementando a oferta energética.

Este fato pode ser observado na Figura 7, onde verifica-se o atendimento à demanda na região Nordeste, destacando a geração eólica, solar e hidrelétrica no período de junho/2020 a junho/2023 (ONS, 2023a).

Figura 3. Balanço Energético para atendimento à demanda de consumo de energia no subsistema **Sudeste / Centro - Oeste** no período de setembro/2022 a setembro/2023

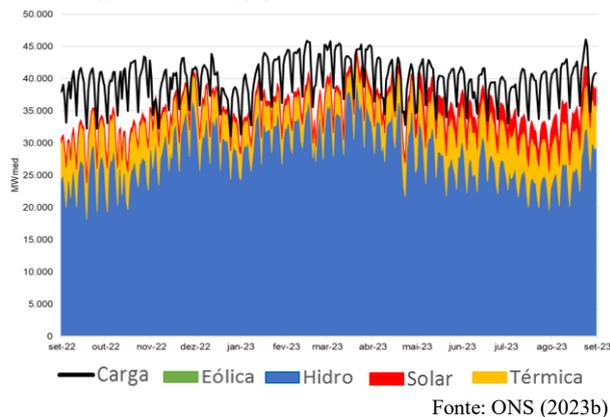


Figura 4. Balanço Energético para atendimento à demanda de consumo de energia no subsistema **Sul** no período de setembro/2022 a setembro/2023

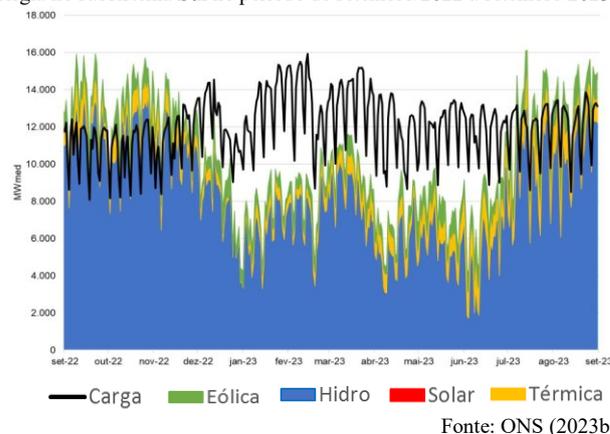


Figura 5. Balanço Energético para atendimento à demanda de consumo de energia no subsistema **Norte** no período de setembro/2022 a setembro/2023

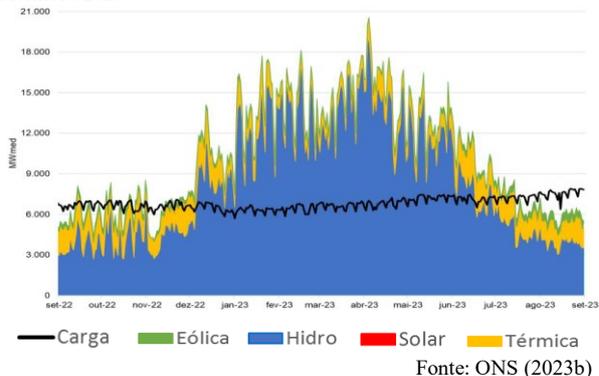


Figura 6. Balanço Energético para atendimento à demanda de consumo de energia no subsistema **Nordeste** no período de setembro/2022 a setembro/2023

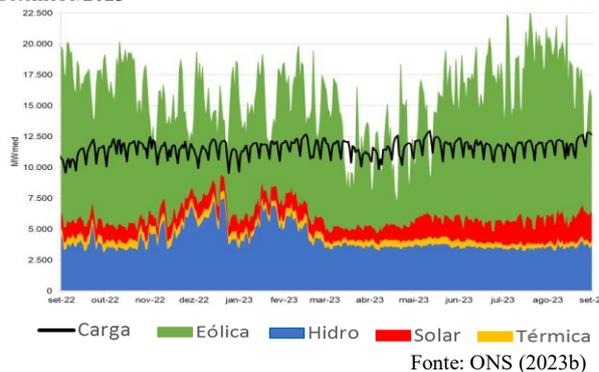
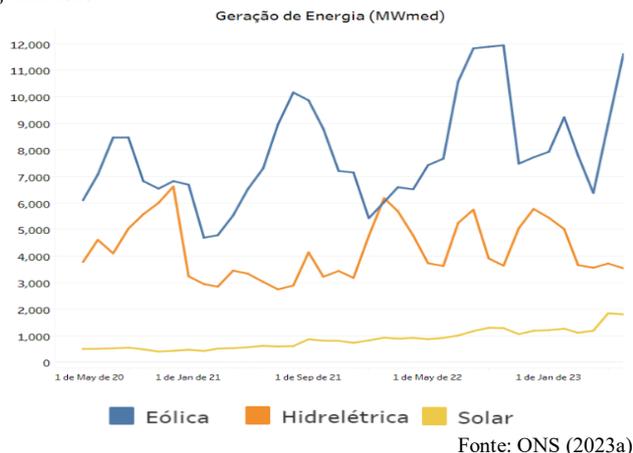


Figura 7. Comparação do atendimento à demanda com geração eólica, solar e hidrelétrica na região Nordeste no período de junho/2020 a junho/2023



A complementaridade entre a geração hidroelétrica e a geração eólica e solar é uma estratégia interessante para o Brasil. É nesse contexto que a geração eólica se destaca como uma alternativa promissora, especialmente na região Nordeste do Brasil, onde a sazonalidade dos ventos costuma ser inversa à sazonalidade das chuvas. Enquanto os melhores ventos anuais ocorrem entre junho e novembro, período de baixa afluência de água nas usinas hidrelétricas, a geração eólica pode atingir sua capacidade máxima. Dessa forma, a geração eólica pode atuar como uma fonte complementar de energia elétrica, ajudando a suprir a demanda quando a geração hidrelétrica está em um nível mais baixo. Essa combinação de fontes renováveis permite melhorar a estabilidade do sistema elétrico, reduzindo a dependência exclusiva da geração hidrelétrica, especialmente nas regiões afetadas pela sazonalidade das chuvas. Além disso, a utilização de fontes de energia renovável, como a hidráulica e a eólica, contribui para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e minimizar os impactos ambientais em comparação com fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis (RAMPINELLI e da ROSA JUNIOR, 2012).

Mudança no modo de operação das usinas hidrelétricas

A maior presença de energia eólica na matriz elétrica requer adaptações na operação das usinas hidrelétricas. A regularização de vazão dos reservatórios e o planejamento da operação precisam levar em conta as oscilações na geração eólica, a fim de garantir a estabilidade e a confiabilidade do sistema.

O modelo proposto descreve uma estratégia interessante para operar o setor elétrico com maior eficiência e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Deste modo, observa-se as principais características:

Forte atuação da geração eólica: A expansão da geração eólica é uma medida importante para diversificar a matriz energética e aumentar a participação de fontes renováveis. A energia eólica é limpa e sustentável, ajudando a reduzir a dependência de fontes não renováveis e mitigando os impactos ambientais associados a elas;

Utilização dos reservatórios das hidrelétricas: A integração da geração eólica com os reservatórios hidrelétricos é uma estratégia para enfrentar a intermitência característica da geração eólica. Quando há vento, a geração eólica é mais intensa, e o excedente de energia gerada pode ser usado para bombear água de volta para os reservatórios, armazenando-a como energia potencial. Quando não há vento suficiente para a geração eólica, a água nos reservatórios pode ser liberada para acionar as turbinas das hidrelétricas, gerando energia hidrelétrica. Esse sistema de "bateria natural" ajuda a estabilizar a oferta de energia.

Redução das térmicas com elevados Custo Variável da Operação (CVO): Ao aumentar a participação da geração eólica e solar, utilizando os reservatórios para mitigar sua intermitência, é possível reduzir a dependência de usinas térmicas com elevados CVO. As térmicas costumam ser acionadas em períodos de alta demanda e escassez de outras fontes, como hidrelétricas e eólicas. Ao diminuir sua utilização, pode-se reduzir os custos gerais de geração de energia.

Utilização de térmicas na base, com destaque para gás natural e biomassa: Para garantir a segurança do abastecimento elétrico, especialmente nos momentos de menor disponibilidade das fontes renováveis, é importante contar com usinas térmicas que possam operar de forma mais estável, conhecidas como usinas de base. O uso de gás natural e biomassa como combustíveis nessas usinas é vantajoso, pois são fontes relativamente mais limpas em comparação com derivados do petróleo, e a biomassa é considerada uma fonte renovável se cultivada de forma sustentável.

Mudanças no cálculo do Índice de Custo-Benefício (ICB): O cálculo do ICB geralmente é usado para avaliar a viabilidade econômica de projetos de energia. Com a transição para um modelo mais focado em fontes renováveis, pode ser necessário ajustar o ICB para considerar adequadamente os benefícios socioambientais associados às fontes limpas, além dos aspectos puramente econômicos (FERREIRA, 2017).

Em suma, o modelo proposto busca aumentar significativamente a participação da geração eólica na matriz elétrica brasileira, otimizar o uso dos recursos hídricos por meio da integração com as hidrelétricas e reduzir a dependência de usinas térmicas com elevados custos variáveis de operação (CVO).

Essa abordagem tem o potencial de diminuir as emissões de gases de efeito estufa, tornar a geração de energia mais sustentável e possivelmente reduzir os custos para os consumidores. No entanto, é importante destacar que qualquer mudança no setor elétrico requer planejamento cuidadoso, investimentos adequados em infraestrutura e regulamentação adequada para garantir a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico.

Mudança da matriz elétrica da região Nordeste e perspectivas para o futuro

Ao longo das últimas décadas, muitos países e regiões têm buscado diversificar suas fontes de energia elétrica, a fim de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos ambientais das atividades humanas, como também impulsionado pela ocorrência da crise hídrica, que se iniciou no ano de 2013. Podemos destacar também a crescente expansão da Energia Eólica e Solar, especialmente na região Nordeste que apresenta a altos níveis de ventos e irradiação solar. Ressalta-se que no atual governo existem incentivos e políticas públicas para promover o uso de fontes renováveis na geração de energia, bem como para estimular a eficiência energética, como também a modernização da infraestrutura de energia elétrica na Região Nordeste para acomodar as mudanças na matriz elétrica, integrando de forma mais eficiente as diversas fontes de energia. Na Figura 1 observa-se a evolução dessa matriz elétrica, onde é possível observar a diminuição na geração hidrelétrica, especialmente a partir de 2013 e o aumento crescente da geração eólica.

No Plano Decenal de Expansão de Energia elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) considera que na bacia do rio São Francisco vem apresentando aflúências desfavoráveis com perspectivas de manutenção desse panorama mais à frente. Esse cenário pode ser agravado ainda mais com a possibilidade de aumento crescente nos usos consuntivos da água, que, no entanto, não estão ainda incluídos nos estudos de planejamento da operação do sistema. Dentro deste contexto, nesse plano há uma previsão na expansão da capacidade instalada das usinas Eólicas e Solares para os próximos dez anos (MME/EPE, 2017).

Pensando no futuro também destacamos a geração distribuída que varia em escala de acordo com as regulamentações de cada país, sendo de médio ou pequeno porte. No Brasil, as tecnologias de médio porte incluem especialmente, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e módulos fotovoltaicos. Para geração de pequeno porte, são utilizados principalmente módulos fotovoltaicos e motogeradores a diesel ou gasolina para emergências ou demanda de pico. É importante notar que muitos desses geradores distribuídos ainda dependem de combustíveis fósseis, contradizendo a associação com fontes renováveis.

Na geração distribuída, além das vantagens, como redução de custos, surgem desafios técnicos, operacionais e econômicos, incluindo questões de tensão, qualidade de energia e estabilidade da rede. O fluxo de energia multidirecional, causado pela entrada dos produtores e consumidores de energia, conhecidos como “prossumidores” na rede, exige uma revisão dos esquemas de proteção elétrica e levanta questões regulatórias e comerciais (IEI,2018).

Conclusão

A transição da matriz elétrica da Região Nordeste, impulsionada pela inserção em larga escala da geração eólica e solar, tem sido um importante passo em direção a uma matriz mais sustentável e renovável.

Apesar dos desafios apresentados pela alta variabilidade das Energias Renováveis Variáveis que é a característica destas modalidades de produção de energia. A sinergia entre a geração eólica, solar e hidrelétrica demonstra o potencial para uma operação equilibrada e eficiente do sistema elétrico regional, sendo esta última modalidade a que permite armazenamento de energia proporcionando maior segurança para o atendimento à demanda de consumo de energia. Para enfrentar esses desafios, são necessários investimentos contínuos em tecnologias de armazenamento de energia, gestão da demanda e aprimoramento de técnicas de previsibilidade das ERVs, a fim de garantir um futuro energético mais limpo, estável e confiável para a Região Nordeste, bem como para todo país.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE - Departamento de Tecnologia Rural - DTR e Companhia Hidrelétrica do rio São Francisco - Chesf.

Referências

- Alves, J. J. A. (2010). “Análise regional da energia eólica no Brasil”. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 6(1);
- Bezerra, F. D. (2021). “Energia solar” – Caderno Setorial ETENE - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste;
- Bezerra, F. D., & Santos, L. S. D. (2017). “Potencialidades de Energia Eólica no Nordeste” – Caderno Setorial ETENE - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste;
- Chesf (2022). “Rio São Francisco e a Energia dos Ventos”. XIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – Os desafios do Planejamento Energético;
- de Sousa Junior, E. S. (2023). “Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias: Histórico, Aplicações e Desafios”. DEE – Departamento de Engenharia Elétrica - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro;
- Dias, M. V. X. (2005). “Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. Universidade Federal de Itajubá”. – Engenharia de Energia;
- Dolle, C. R. & Carmo, H. C. E. (2013). *A Matriz Elétrica Brasileira: Evolução Histórica e Perspectivas* – Universidade de São Paulo – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade – Departamento de Economia;
- Fernandes, N., Junior, P., Targa, M., & Neto, P. F. (2023). “Apreciação e reflexões: mudanças de clima e a transição energética”. *Revista Técnica Ciências Ambientais*, 1(7);
- Ferreira, W. C. (2017). “A Energia Eólica e a Mudança Estrutural do Setor Elétrico Brasileiro” - *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 6(4), 647-664;
- Freire, J. L. M., Lima, J. R. A., & Cavalcanti, E. P. (2011). “Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3(1), 429-444;

IEI (2018). Internacional Energy Initiative. "Geração Distribuída e Eficiência Energética – Reflexões para o Setor Elétrico de Hoje e do Futuro" (iei-brasil.org);

Macedo, L. D., de Oliveira Melo, E. A., & do Nascimento Silva, E. (2023). "Panorama da Geração de Energia Eólica onshore no País: O Caso do Rio Grande do Norte". Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho, 12(1), 91-107;

Manito, A., Melendez, T. A. F., Mocelin, A. R., Zilles, R., & Pinho, J. T. (2018). "Geração Distribuída com Armazenamento conectada à Rede Elétrica". In CBENS - VII Congresso Brasileiro de Energia Solar;

Marengo, J. A. (2008). "Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil". Parcerias estratégicas, 27, 149-175;

MME/EPE (2017). Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 - Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética;

MME/EPE (2018). Empresa de Pesquisa Energética. "Sistema Energético do Futuro: Integração de Fontes Variáveis de Energia Renovável na Matriz Energética do Brasil". Resumo Executivo;

Oliveira, G. R. D. (2023). "Análise da flexibilidade operativa do sistema elétrico brasileiro no contexto da integração de fontes renováveis prevista no plano decenal". - Universidade de São Paulo;

ONS (2023a). Operador Nacional do Sistema Elétrico. Resultados da Operação - Histórico da Operação. Disponível em: www.ons.org.br - Páginas - Histórico da Operação (ons.org.br) – Acesso em: 30/07/2023;

ONS (2023b). Operador Nacional do Sistema Elétrico. Avaliação das Condições Hidrológicas e de Armazenamento na Bacia do rio São Francisco – Balanço Energético dos Subsistemas;

Rampinelli, G. A., & da Rosa Junior, C. G. (2012). "Análise da Geração Eólica na Matriz Brasileira de Energia Elétrica". RECEN - Revista Ciências Exatas e Naturais, 14(2), 273-302;

Silva, R. A., da Silva, V. D. P., Cavalcanti, E. P., & Santos, D. N. D. (2010). "Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14, 501-509.