



EVOLUÇÃO DAS FONTES EÓLICAS E SOLAR E O USO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PELA ANEEL PARA MONITORAMENTO

Evolution of wind and solar sources and the use of technological innovations by ANEEL for monitoring

Alex Gois Orlandi

Bacharel em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN), engenheiro cartógrafo pelo IME e mestre e doutor em Geoprocessamento pela Universidade de Brasília (UnB). Atuou como especialista em Regulação da ANEEL e é auditor federal de Controle Externo do TCU.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1171910352159285>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3303-2642>

E-mail: alexgo@tcu.gov.br

Osmar Abilio de Carvalho Junior

Geólogo e doutor em Geologia pela UnB, onde atua como professor.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5572269831914055>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0346-1684>

E-mail: osmarjr@unb.br

Renato Fontes Guimarães

Engenheiro cartógrafo e doutor em Geologia, além de professor UnB.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7063856452054362>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9555-043X>

E-mail: renatofg@unb.br

Jayme Milanezi Júnior

Formado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), mestre e doutor em Engenharia Elétrica pela UnB e atua como especialista em Regulação na ANEEL desde 2011. Professor na Universidade do Distrito Federal (UnDF),

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3244752985828461>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5189-5487>

E-mail: jayme@aneel.gov.br



Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Geógrafo e doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), além de professor na UnB.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1886939214378140>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4724-4064>

E-mail: robertogomes@unb.br

Osmar Luiz Ferreira de Carvalho

Engenheiro eletricitista, mestre em Ciência da Computação e doutorando na UnB.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9664034971049305>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5619-8525>

E-mail: osmarcarvalho@ieee.org

RESUMO

Num mundo em que as economias dependem diretamente de energia para manter o crescimento e a qualidade de vida de seus habitantes, os países se preocupam cada vez mais com a sustentabilidade e uma expansão da matriz elétrica por meio de fontes renováveis. O objetivo deste estudo é apresentar uma visão da transformação da matriz elétrica do Brasil, destacando o incremento das fontes eólica e solar, e analisar como a atuação da agência reguladora do setor elétrico brasileiro está evoluindo para manter a fiscalização das novas usinas. Na metodologia de pesquisa, foram utilizadas informações do setor elétrico brasileiro e dados geoespaciais de livre acesso, além de informações sobre os subsídios governamentais que fomentam a ampliação dessas fontes. A análise dos dados de expansão da oferta e dos leilões de energia mostra que o Brasil já possui 84,21% de sua matriz elétrica composta por fontes renováveis e que há tendência de alta em função dos incrementos de usinas eólicas e solares. Os resultados evidenciam um crescimento exponencial da energia solar em relação à eólica entre 2011 e 2021, os efeitos dos subsídios governamentais e o uso de informações geoespaciais e inteligência artificial pela agência reguladora para manter as fiscalizações das novas usinas.

Palavras-chave: inteligência artificial, monitoramento, energia elétrica, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

In a world where economies depend directly on energy to maintain growth and the quality of life of their inhabitants, countries are increasingly concerned with sustainability and an expansion of the electrical matrix through renewable sources. The objective of this study is to present a vision of the transformation of Brazil's electrical matrix, highlighting the increase in wind and solar sources and to analyze how the performance of the Brazilian electricity sector regulatory agency is evolving to maintain supervision of new plants. The methodology used information from the Brazilian electricity sector and freely accessible geospatial data, in addition to information on government subsidies that encourage the expansion of these sources. Analysis of supply expansion data and energy auctions shows that Brazil already



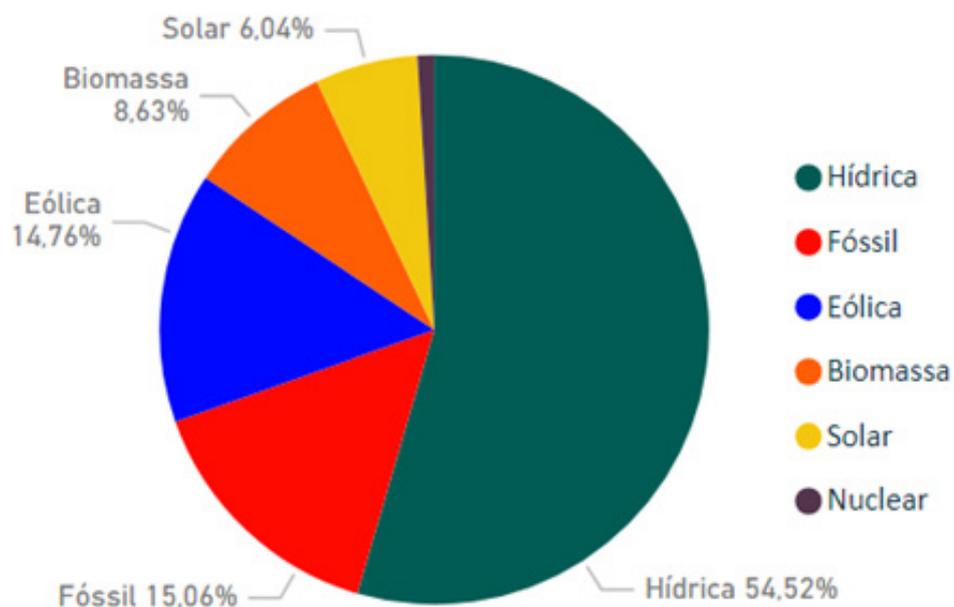
has 84.21% of its electrical matrix made up of renewable sources and there is an upward trend due to the increase in wind and solar plants. The results show an exponential growth in solar energy in relation to wind energy between 2011 and 2021, the effects of government subsidies and the use of geospatial information and artificial intelligence by the regulatory agency to maintain inspections of new plants.

Keywords: artificial intelligence, monitoring, electrical power, remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro tem como órgão regulador a Agência Nacional de Energia Elétrica, criada pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996 (Brasil, 1996). O Brasil possui mais de 199 GW de potência instalada e, desse total, as fontes eólica e solar se destacam com 14,76% e 6,04% respectivamente, conforme Figura 1 (Brasil, 2022a).

Figura 1 – Matriz Elétrica brasileira por origem de combustível em 2024



Fonte: Sistema de Informações de Geração da ANEEL-SIGA.

Diversos estudos abordam o crescimento das fontes eólica e solar na matriz elétrica brasileira (Ellistron; Diesendorf; Macgill, 2012; Dupont; Grassi; Romitti, 2015; Owusu; Asumadu-Sarkodie, 2016; Kiliç, 2022), evidenciando uma sociedade cada vez mais preocupada com a sustentabilidade e com a preservação dos recursos naturais (Dupont; Grassi; Romitti, 2015). Acrescente-se que os subsídios também têm papel decisivo nesse crescimento como fator indutor da expansão (Borges; Salles, 2020) e para que exista uma alta porcentagem da produção de energia elétrica brasileira por fontes renováveis (84,21%) (Brasil, 2022a).



Na estrutura do setor elétrico brasileiro, as principais entidades são o Ministério de Minas e Energia (MME), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Operador Nacional do Sistema (ONS), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O Ministério de Minas e Energia (MME) é o poder concedente, sendo o responsável pelas políticas da matriz energética do Brasil. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é uma empresa pública federal criada com o objetivo prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas, subsidiando o planejamento do MME nas áreas de energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis (EPE, [s. d.]).

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos, é o responsável pela coordenação e pelo controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), bem como pelo planejamento da operação dos sistemas isolados (ONS, 2024). A CCEE, associação civil de direito privado sem fins lucrativos, tem por finalidade a viabilização da comercialização de energia elétrica no SIN. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a responsável pela regulação e fiscalização da geração, da transmissão e da distribuição da energia elétrica em todo o território brasileiro, bem como pela fiscalização e regulação do Operador Nacional do Sistema (ONS). As dimensões do território e as diversas complexidades regionais tornam um grande desafio as atividades desempenhadas pela agência reguladora (Orlandi *et al.*, 2021).

A fiscalização das usinas geradoras de energia elétrica pela Aneel acompanha a execução do projeto tal como aprovado e de acordo com o seu cronograma de implantação. O monitoramento objetiva um planejamento do setor elétrico coeso e consistente (Orlandi *et al.*, 2021). Contudo, a Aneel é responsável pela fiscalização da geração, da transmissão e da distribuição de energia de todo o setor elétrico, incluindo todas as usinas hidrelétricas, eólicas, fotovoltaicas ou quaisquer outras, o que se torna um desafio a partir do incremento vultoso do número de usinas eólicas e solares.

O presente trabalho objetiva apresentar o avanço das fontes renováveis eólica e solar na evolução da matriz elétrica brasileira e como a Aneel vem conduzindo seus esforços para manter a fiscalização desses novos empreendimentos, a fim de permitir que o mercado de energia se desenvolva com equilíbrio e em benefício da sociedade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos utilizados neste estudo se baseiam na aplicação de técnicas já conhecidas de geoprocessamento, matemática e estatística, trazendo uma contribuição ao setor elétrico brasileiro por meio de uso prático de geotecnologias e replicável em outras realidades que possuam alvos com comportamentos e características espaciais semelhantes.



2.1 Dados utilizados e área de estudo

O presente estudo utilizou informações públicas de acesso livre. O site da Aneel publica continuamente informações atualizadas sobre o setor elétrico brasileiro, importantes para fortalecer a *accountability* e para estabelecer subsídios para pesquisas. Vários estudos têm utilizado os bancos de dados da Aneel para identificar a evolução das fontes eólica e solar na composição da matriz energética brasileira (Orlandi *et al.*, 2021; Souza Junior, 2021; Gehrke; Goretti; Avila, 2021). A fiscalização por sensoriamento remoto das usinas de energia elétrica utiliza imagens de satélite de acesso livre com resoluções temporais e espaciais adequadas. A resolução espacial deve ser compatível com o tamanho do objeto inspecionado e com um período de retorno adequado às datas de inspeção. O esforço da Aneel em utilizar imagens gratuitas é mitigar custos e otimizar investimentos já feitos pelo Brasil, a exemplo de imagens do satélite CBERS disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (INPE, [s. d.]).

As informações geoespaciais de todo o território brasileiro utilizadas na presente pesquisa foram do Sistema de Informações de Geração da Aneel-SIGA (Brasil, 2022a) e do Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico-SIGEL (SIGEL, [s. d.]). Além disso, utilizaram-se as consultas aos Planos Decenais de Expansão de Energia (PDE), que são publicados anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

2.2 Análises geoespaciais com kernel

Neste estudo, foram utilizadas análises geoespaciais e banco de dados, juntamente com as imagens de satélites. A visualização geoespacial das informações de geração são fundamentais para permitir a compreensão de como as usinas eólicas e solares estão distribuídas nas diversas regiões do país, que possui dimensão continental. Neste trabalho, a visualização geoespacial foi obtida com a geração de mapas de calor por meio da Estimativa de Densidade de Kernel (EDK) para converter observações pontuais em espaços contínuos. A EDK tem sido globalmente utilizada para representar diversos fenômenos como focos de incêndios (Nhongo; Fontana; Guasselli, 2019), erosão (Santos; Nascimento, 2019) e outros (Wu; Li, 2022; Zhang, 2022). O método da EDK gera estimativas de densidade utilizando-se de um raio de pesquisa baseado na unidade linear da projeção da referência espacial usada. Neste estudo, usou-se como cálculo do raio de pesquisa uma variante espacial da Regra Prática de Silverman para discrepâncias espaciais (Silverman, 1986).

Importante destacar que os resultados obtidos pela EDK podem ter tido influência de um fator conjuntural relacionado ao “fracionamento” de usinas, que geram complexos compostos por várias usinas espacialmente próximas e que poderiam ser vistas como uma única usina de maior potência (fenômeno descrito na seção 3.1). Contudo, tal situação não compromete o resultado mostrado nas figuras 3 e 6, o qual tem valor indicativo para distribuição espacial das usinas.



2.3 Regressão linear

O presente estudo realizou análise de regressão linear entre o incremento da energia eólica e solar nos últimos 5 anos para avaliar similaridade de crescimento. A correlação linear é um modelo de fácil compreensão e não requer conhecimentos específicos para leitura (Beltrão *et al.*, 2022). A variável dependente da função linear foi o incremento da energia solar na matriz energética brasileira, e a variável independente foi o incremento de energia eólica. O coeficiente de determinação “R2” mostra quão fidedigna é a previsão, oscilando no intervalo $0 \leq R^2 \leq 1$, em que o valor 1 representa a maior correlação no cálculo dos coeficientes da regressão linear. Também é relevante mencionar que o método dos mínimos quadrados ordinários é majoritariamente utilizado. Tal método objetiva encontrar o ajuste mais preciso para um conjunto de dados (El Houssainy; El-Sheikh; Othman, 2021).

3. RESULTADOS

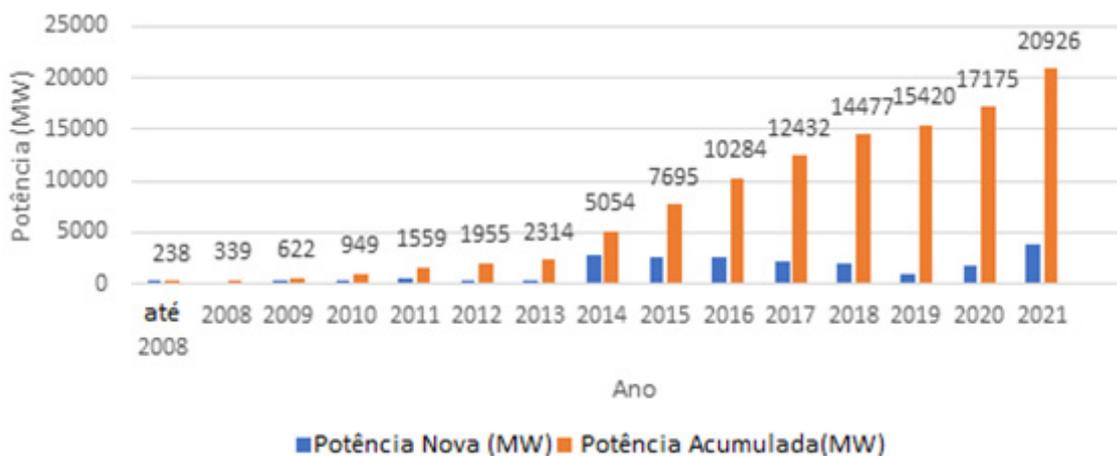
Os resultados denotam um crescimento notável da energia eólica e solar, que contribuem significativamente para a matriz elétrica brasileira, como demonstra a análise dos leilões de Energia Nova “A-4”. Contudo, tal crescimento é apoiado por subsídios governamentais que têm sido questionados em decisões do Tribunal de Contas da União. Nesse contexto, a fiscalização pela Aneel busca apoio em geotecnologias e IA para manter a expansão equilibrada dessas fontes.

3.1 Energia eólica

A energia eólica ultrapassou, em 2021, a marca de 20 GW instalados, representando mais de 10% da capacidade de geração de energia elétrica nacional (Figura 2). Há uma década, o segmento eólico representava pouco mais de 1 GW; atualmente, é a terceira maior fonte, ficando atrás apenas da hidrelétrica (54,52% da matriz) e das usinas termelétricas (23,18%). Esse avanço não foi apenas proveniente das condições ambientais, mas também da dedicação da indústria – em expandir a cadeia produtiva que fornece os insumos necessários para a construção das usinas – e dos incentivos governamentais. No entanto, apesar de a capacidade ter sido aumentada em dez vezes de 2011 até 2021 (Figura 2), a previsão de crescimento exponencial se mantém e atingiu, em fevereiro de 2024, 29,2 GW de potência fiscalizada pela Aneel, alcançando, assim, um acréscimo acima de 9 GW (Brasil, 2022a).



Figura 2 – Expansão da energia eólica no Brasil



Fonte: Sigel, [s. d.].

A manutenção da expansão da fonte eólica possui lastro fundamental nos subsídios governamentais, que fornecem descontos de até 100% sobre as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição e Transmissão (TUSD/TUST) para fontes eólica e solar, dentre outros casos (Borges; Salles, 2020).

Apesar de não ser o cerne deste trabalho e haver considerável complexidade no tema, vale mencionar que há uma legislação que trata desses descontos na TUSD e TUST e que há pontos sensíveis e atuais na aplicação dos dispositivos da legislação vigente. Destaca-se a recente decisão (TC 017.027/2022-5) do Tribunal de Contas da União (TCU) (Brasil, 2023), que determina à Aneel a suspensão de novos descontos de TUSD e TUST até que existam critérios regulatórios eficazes e, em 180 dias, apresente plano para aperfeiçoar a regulamentação sobre os descontos de, no mínimo, 50% na TUSD/ TUST. Tudo isso em função de um “conveniente fracionamento” de usinas com menores potências instaladas para que sejam aptas a receber o subsídio governamental.

Mudanças na legislação afetas ao desconto na TUST e TUSD também podem causar movimentos que impactam os números da expansão das fontes eólica e solar. Cita-se o advento da Lei nº 14.120/2021, que estabeleceu um prazo final para concessão desses benefícios, e o fenômeno denominado “corrida do ouro”, caracterizado por um movimento dos empreendedores concentrado no tempo a fim de garantir o acesso a esses subsídios (Brasil, 2023).

O Quadro 1 lista o panorama da distribuição por Estado da Federação dos mais de 22 GW instalados no Brasil em 2022, totalizando 800 usinas eólicas em operação com mais de 21.000 aerogeradores espalhados (Sigel, [s. d.]).



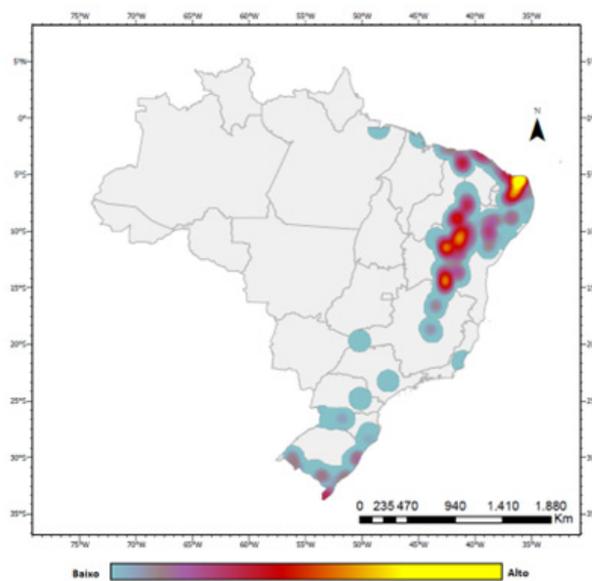
Quadro 1 – Distribuição por Estado da Federação dos mais de 22 GWs instalados no Brasil

UF	Número de usinas	Potência (MW)
BA	236	6162
RN	222	6765
CE	99	2506
PI	90	2745
RS	81	1836
PE	39	992
PB	30	628
SC	18	251
MA	16	426
PR	1	3
RJ	1	28
MG	1	0
SE	1	35
SP	1	0,002
Total	836	22376

Fonte: SIGEL, [s. d].

A Figura 3 apresenta a distribuição geoespacial dessas usinas pelo Brasil, ressaltando a predominância ao longo da costa brasileira. A região Nordeste do país detém 87% das usinas em operação.

Figura 3 – Distribuição de Usinas eólicas no Brasil



Fonte: Sigel, [s. d].



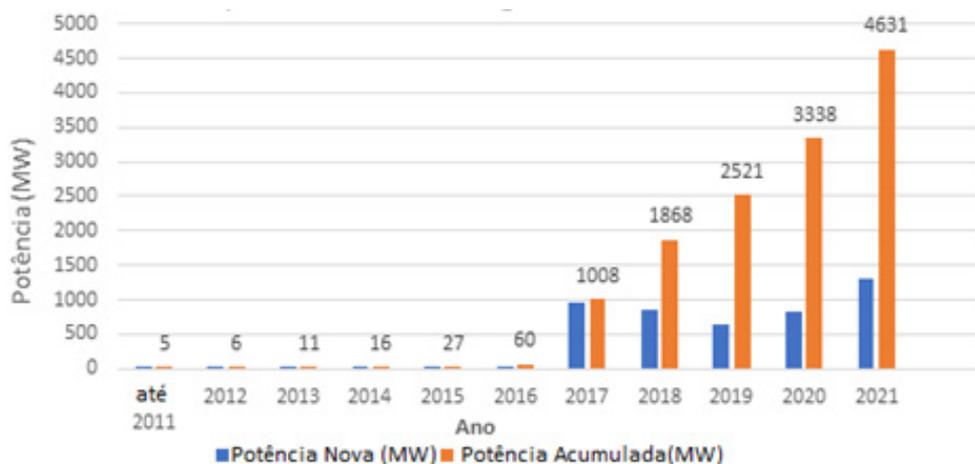
No primeiro trimestre de 2021, a fonte eólica representou 87% da potência acrescida (593,61 MW), representando um crescimento de 500% comparado ao mesmo período de 2020, que cresceu 117,18 MW ao SIN (Gesel, 2021).

3.2 Fonte solar

As características naturais e a dimensão continental tornam o país muito atraente para investidores em energia solar (EPE, 2012). A geração de energia solar possui diferentes tipos de sistema de captação e conversão de energia solar, considerando distintos ciclos e princípios de funcionamento. O Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2017) mostra a incidência de irradiação solar e os altos valores para a região do Nordeste. As regiões com irradiação solar anual acima de 2.000 kWh/m² e baixa nebulosidade possuem a capacidade de gerar a energia heliotérmica.

As usinas solares contribuem para a expansão das fontes renováveis no Brasil desde 2011, havendo um significativo aumento da energia derivada de usinas solares a partir de 2017 (Figura 4), o que mostra a grande capacidade de crescimento dessa fonte no país e seu potencial de participação na matriz elétrica.

Figura 4 – Expansão da Energia Solar no Brasil



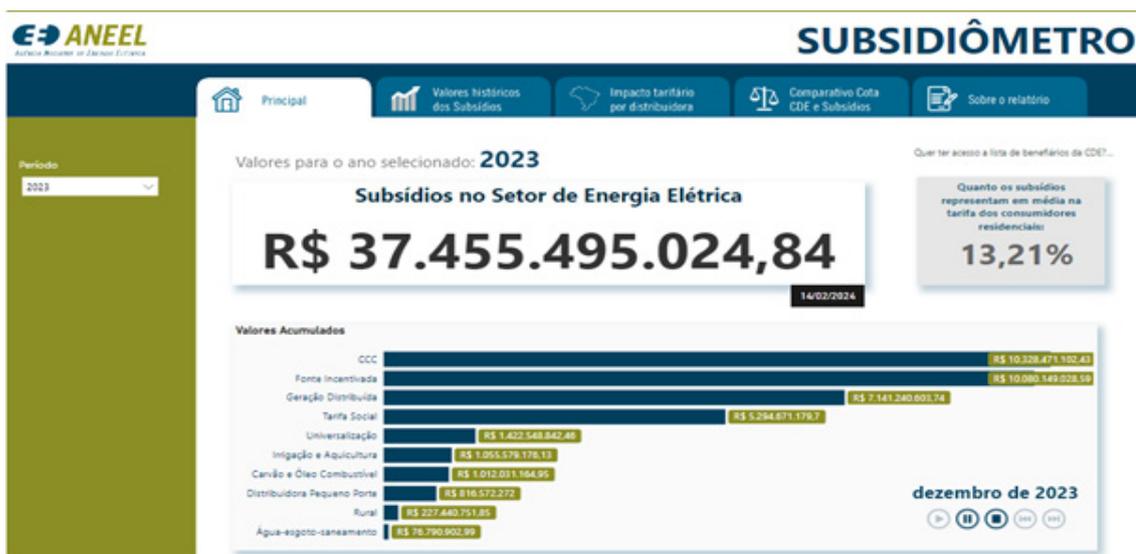
Fonte: Sigel, [s. d.].

Apesar das previsões de crescimento econômico mundial reduzido, o Brasil segue com expectativas econômicas positivas (IPEA, 2022; Agência Brasil, 2022). Além disso, os fatores ambientais e o crescimento da fonte solar na matriz elétrica brasileira reforçam a sua participação na matriz elétrica nacional, e, de acordo com os dados da Aneel, há mais de 12 GW de potência fiscalizada em fevereiro de 2024.

Imperioso ressaltar que a expansão da fonte solar é fundamentalmente influenciada por subsídios governamentais, já mencionados no item 3.1, e que também contemplam as usinas eólicas. A fim de enfatizar o volume de recursos recebidos, mostra-se, a seguir, a grandeza dos valores praticados. As fontes incentivadas receberam mais de 10 bilhões de reais em subsídios no ano de 2023.



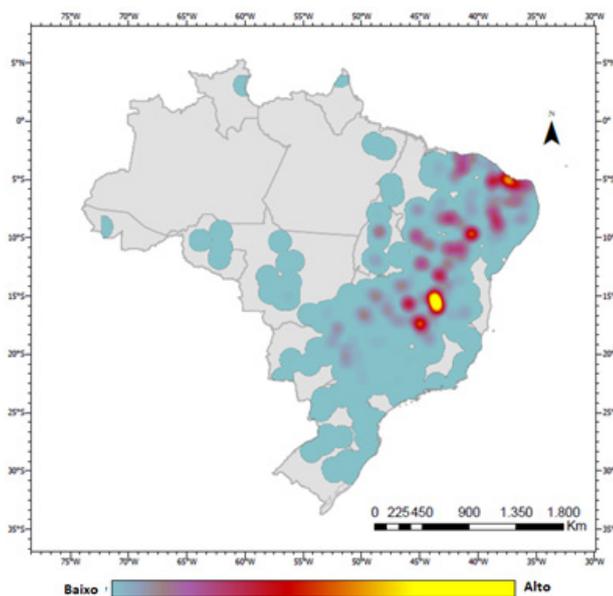
Figura 5 – Subsídios ao Setor de Energia Elétrica em 2023



Fonte: Brasil, 2024b.

A Figura 6 apresenta a distribuição das instalações com mais de 50 KW de potência distribuídas em todo o território do Brasil, atingindo mais de 300 instalações em todas as regiões do país. Essa distribuição espacial das usinas UFV instaladas é aderente ao mapa de incidência solar do Brasil descrito no Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2017), revelando a busca pelas regiões com maior potencial solarimétrico (SIGEL, [s. d.]).

Figura 6 – Usinas solares com mais de 50 KW em operação no Brasil



Fonte: Sigel, [s. d.].



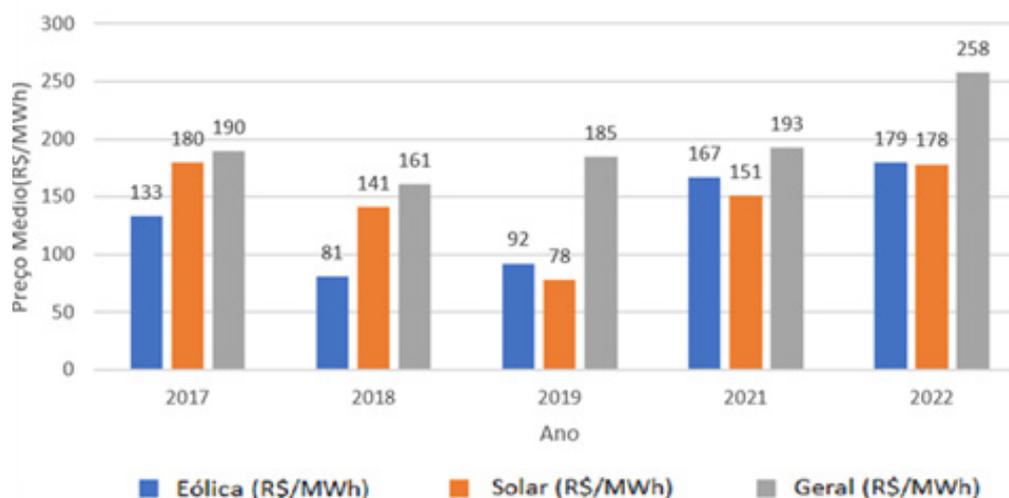
3.3 Leilões

O presente estudo aborda apenas Leilões de Energia Nova “A-4” (LEN A-4/2022), relacionados a empreendimento com entrega de energia em um prazo de quatro anos a partir da data do leilão. O LEN A-4/2022, realizado em 27 de maio de 2022, objetivou à contratação de energia proveniente de novos empreendimentos de fontes hidrelétrica, eólica, solar fotovoltaica e termelétrica a biomassa, com início do suprimento a partir de janeiro de 2026 (Brasil, 2022e). A presente análise considerou apenas as fontes eólicas e solares nesses leilões. As informações referentes aos LEN A-4 e outros leilões são disponibilizadas pela Aneel no site oficial da Agência (Brasil, 2022c).

Os últimos leilões da ANEEL apresentaram uma elevada competitividade das fontes eólicas e solares, principalmente com a queda do valor da energia contratada a partir de 2015. Naquele ano, os preços médios por MWh da energia eólica e solar estavam acima dos R\$ 200; em 2019, porém, atingiram valores abaixo do R\$ 100 (EPE, 2019), o que revela o potencial a ser explorado dessas fontes renováveis (Catarina, 2022).

A análise dos últimos 5 leilões de energia nova A-4 mostrou a importância das fontes eólica e solar para manter a modicidade tarifária no Brasil, dado que apresentavam de forma consistente valores médios abaixo dos preços médios gerais dos leilões (Figura 7). A Figura 7 apresenta valores atualizados pela inflação, medida pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo-IPCA (IBGE, [s. d.]), dos anos de 2017 a 2022, para comparação. Pode-se perceber uma convergência entre os valores obtidos para as fontes eólica e solar nos leilões a partir de 2019.

Figura 7 – Preços médios obtidos em LEN A-4



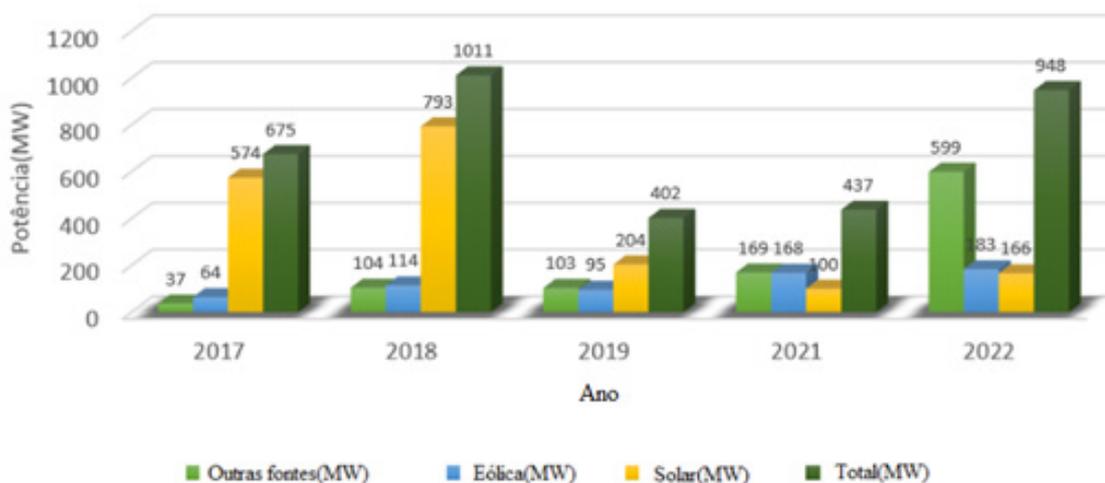
Fonte: adaptado de EPE, 2022; EPE, 2021; EPE, 2019; EPE, 2018b; EPE, 2017.

Após a pandemia, houve aumento dos valores e os preços médios da energia eólica e solar voltaram a subir em 2021, sendo de R\$ 167 por MWh, para energia eólica, e de R\$ 151 por MWh para a energia solar (EPE, 2021) – valores corrigidos pela inflação. Em 2022, os preços médios da energia eólica e solar continuaram ascendentes, alcançando R\$ 179 por MWh, para energia eólica, e R\$ 178 por MWh, para a energia solar (EPE, 2022). Portanto, essas fontes energéticas



apresentam competitividade no tocante aos preços. Quanto ao volume de energia contratado, dados mostram preponderância dessas fontes renováveis no leilão de 2017, representando 95% do total da energia vendida, que permaneceu com mais de 50% do total até 2021, caindo para 37% em 2022 (Figura 8).

Figura 8 – Participação das fontes de energia nos leilões



Fonte: Brasil, 2022c.

Nos últimos cinco anos de leilões A-4 realizados pela ANEEL, essas fontes foram relevantes na expansão da oferta de energia e contribuíram para aumentar o já elevado percentual de fontes renováveis na composição da matriz elétrica do Brasil. Como exemplo da dimensão dos investimentos feitos em energia eólica e solar no Brasil, estavam habilitados para venda mais de 13 GW de energia solar e mais de 4 GW de energia eólica no leilão de 2022 (EPE, 2022).

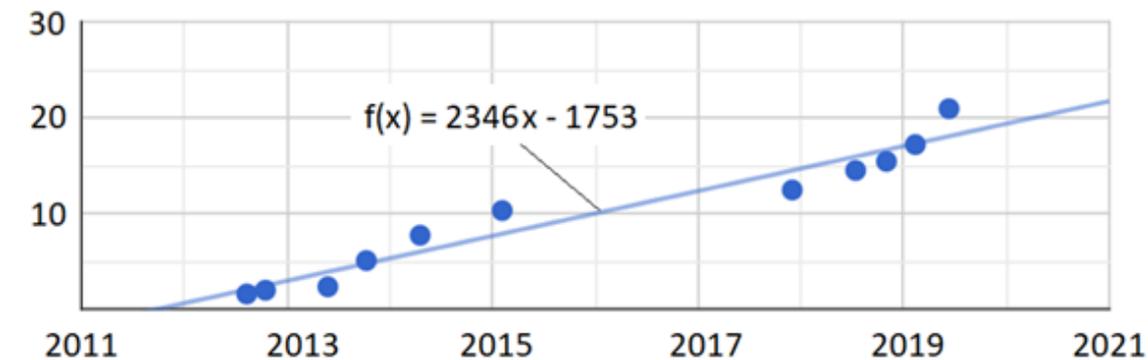
3.4 Resultado da regressão linear

A fim de traçar um panorama da relação entre a expansão da fonte eólica e da fonte solar, foi feita uma análise por meio de regressão linear, em que foram consideradas as séries temporais de onze anos de expansões da energia eólica e solar a partir de 2011 (figuras 2 e 4), início da disponibilidade dos dados de capacidade instalada solar. A potência instalada eólica [MW] foi representada pela variável dependente “f(x)”, e o logaritmo natural da potência instalada solar [ln MW], pela variável independente “x”. A expansão da fonte eólica acompanhou o crescimento exponencial da fonte solar por meio da expressão $f(x) = 2.346x - 1.753$. O coeficiente de explicação (R2) obtido foi de 93,83% (Figura 9).



Figura 9 – Expansão das fontes eólicas e solar

Regressão Linear entre $f(X) = \text{Eólica}$ e $X = \ln[\text{Solar}]$



Fonte: os autores.

Portanto, o logaritmo natural da energia solar tem correlação linear com a potência eólica total. A correlação positiva entre as duas fontes pode trazer benefícios à matriz elétrica nacional, seja pelo aumento do percentual de fonte renováveis ou pela otimização do próprio Sistema Nacional, como a possibilidade de redução da demanda de capacidade de transmissão, tendo ainda uma complementaridade consistente na região Nordeste do Brasil (Campos; Nascimento; Rütther, 2020). Tal complementaridade também traz aspectos positivos para a segurança energética brasileira (Viviescas *et al.*, 2019), bem como para a redução da dependência da fonte térmica (Reichert; Souza, 2021).

Destaca-se que o fato de as usinas eólicas e solares terem os mesmos incentivos relacionados ao desconto na TUSD e TUST, citados no item 3.1, contribui para essa forte correlação mostrada na Figura 9.

3.5 Fiscalização realizada pela Aneel

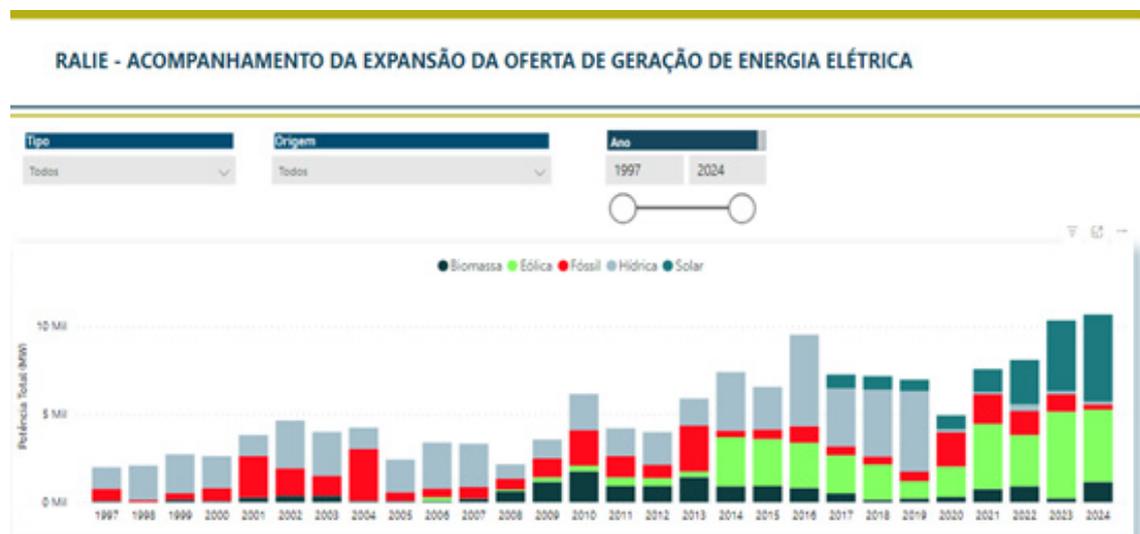
As fiscalizações realizadas pela Aneel compreendem a produção de energia elétrica, o andamento das obras de novas usinas a serem inseridas no parque gerador nacional, os encargos e programas governamentais, dentre outros quesitos. Basicamente, a Aneel as realiza com meios próprios ou utilizando-se do auxílio de agências reguladoras estaduais conveniadas e de consultorias especializadas. Também são comuns as campanhas de fiscalizações nas fases de pré-obra, construção ou operação comercial (Brasil, 2022b).

Em relação à fiscalização dos empreendimentos de geração de energia elétrica, a metodologia atual é baseada em três níveis: a) Monitoramento – a partir de indicadores estruturados; b) Ações à distância – consistem na investigação dos pontos de maior risco técnico-regulatório em relação à conformidade esperada; e c) Ação de campo estratégica – buscam-se evidências durante os trabalhos de fiscalização de campo baseados em informações obtidas nos níveis anteriores (Brasil, 2022b). No entanto, a agência conta com aproximadamente 300 especialistas



em regulação para todas as atividades a desempenhar para o setor elétrico (Orlandi *et al.*, 2022). A Figura 10 materializa o volume de acompanhamentos realizados pela Agência desde 1997.

Figura 10 – Acompanhamento da expansão da Geração



Além do volume de ações e da quantidade servidores, há aspectos financeiros em relação aos custos para fiscalizar, haja vista a necessidade frequente de viagens devido à localização da Agência, centralizada no Distrito Federal, e aos empreendimentos difusos em todo o país. Assim sendo, o incompleto quadro de pessoal e a considerável expansão das fontes eólica e solar geram uma realidade desafiante para a agência reguladora.

Em complemento ao evento denominado “corrida do ouro” (descrito no item 3.1) e aos valores de subsídios (mostrados no item 3.2) – que estão diretamente ligados aos descontos na TUSD e TUST –, é fundamental que haja uma explicação, ainda que superficial e resumida, sobre o “dia do perdão” e os reflexos nos números da expansão das gerações eólica e solar.

O “dia do perdão” foi o nome dado à solução do problema dos projetos de geração de energia integrantes da “corrida do ouro” por outorgas e conexão ao Sistema (Teixeira, 2023). A proposta deriva da Lei nº 14.120 de 2021, que determinou o fim dos descontos de até 50% na TUSD e TUST para usinas com fonte renovável. A alteração da regra culminou na “corrida ao ouro”, pois as empresas poderiam conseguir outorgas com tais subsídios até março de 2022 (Gesel, 2023). Embora inúmeros projetos não tenham sido viabilizados, houve penalidades intrínsecas ao processo que foram moduladas conforme Resolução Normativa nº 1.065/2023 da Aneel, no emblemático “dia do perdão”.

Nesse contexto de mudanças legislativas e movimentos no setor elétrico, a Aneel deve manejar essas situações específicas e seus reflexos nos números de usinas que pautam suas ações a fim de evitar erros em função de ações especulativas ou números majorados. Assim, esse cenário em que se misturam o crescimento da quantidade de novas usinas solares e eólicas

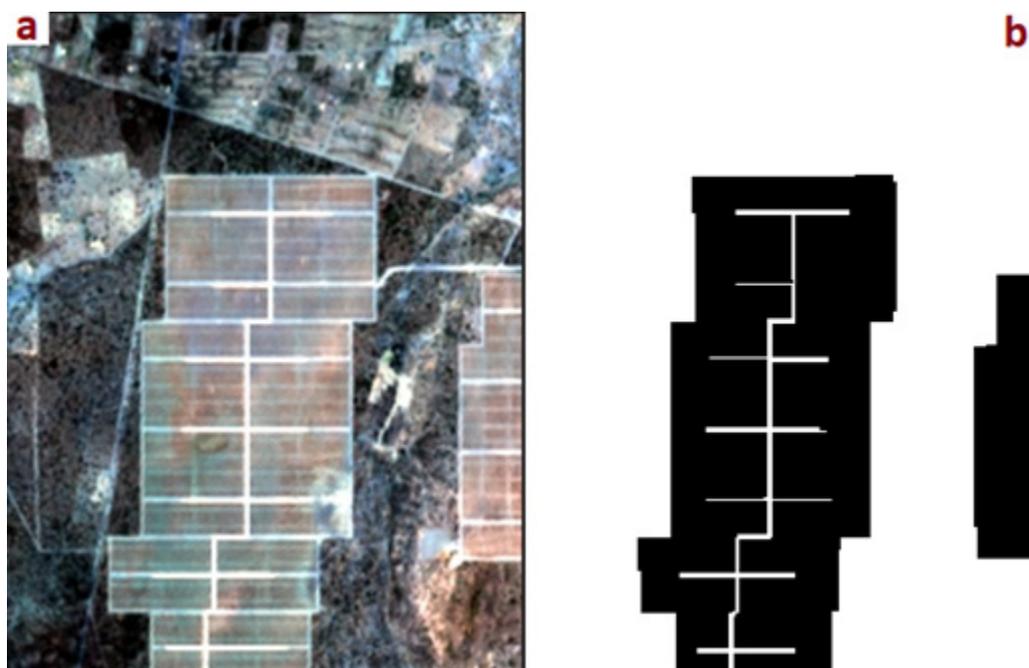


e as incertezas representa para Aneel o desafio de fiscalizar a implantação dessas usinas e garantir uma expansão equilibrada da energia.

Para acompanhar essa expansão, a Aneel tem investido, desde 2019, em iniciativas para automatização dos processos de fiscalização, com uso massivo de tecnologia na fronteira do conhecimento (CanalEnergia, 2020), utilizando imagens de sensoriamento remoto, geoprocessamento e Inteligência Artificial (IA) por meio de *Deep Learning* (Orlandi *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2021).

O Sensoriamento remoto fornece os insumos com informações geoespaciais e a IA proporciona a automação quando aplicada a essas imagens. Um exemplo é o caso das usinas fotovoltaicas (UFV), em que as características espectrais e a geometria do painel fotovoltaico facilitam a detecção precisa. Os estudos mostraram 98% de precisão para classificação dos painéis por meio de segmentação semântica (Costa *et al.*, 2021), conforme os testes executados no desenvolvimento do projeto mostrados na Figura 11: em “a”, vê-se a usina na imagem de satélite e, em “b”, a predição por meio da segmentação semântica.

Figura 11 – Classificação semântica de painéis fotovoltaicos



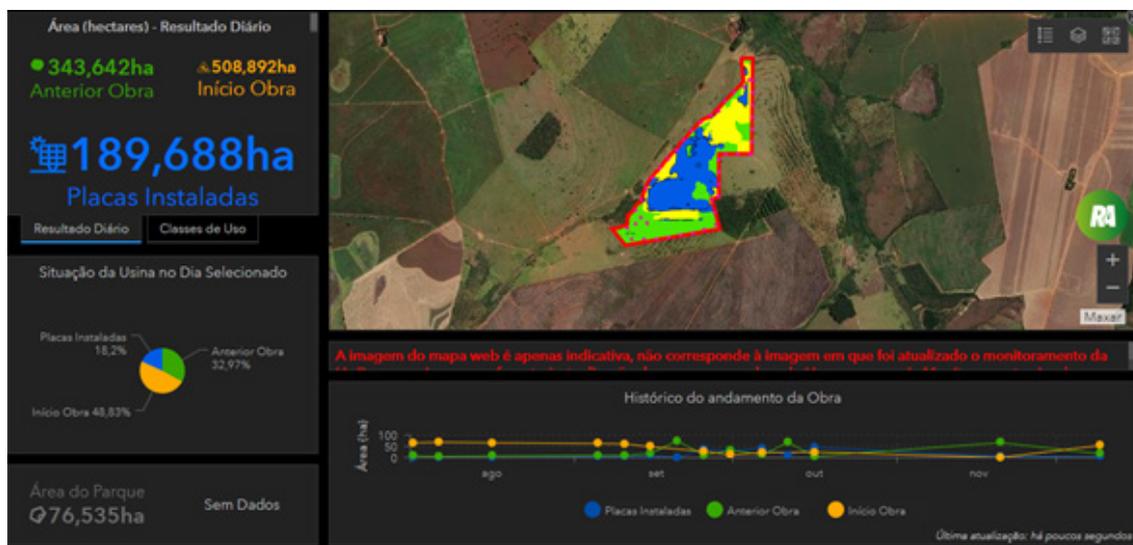
Fonte: os autores.

Como resultado desses estudos, atualmente a ANEEL dispõe de uma ferramenta capaz de obter as imagens gratuitas de satélite das usinas fotovoltaicas a serem fiscalizadas, classificar o estágio em que se encontra a instalação da usina e a adequação ao cronograma de implantação previsto. O método realiza a tarefa de forma automática por IA com posterior confirmação por especialistas. Dessa forma, a Aneel direciona seus esforços para os empreendimentos com maior chance de atrasos, mostrando a importância do monitoramento concomitante que realiza dos empreendimentos de geração a serem implantados. A Figura 12 mostra a tela do sistema da



Agência utilizado pela fiscalização da geração de energia. O sistema recebeu o nome de “AGUIA”, acrônimo de “Acompanhamento Geoespacial de Usinas em Implantação”.

Figura 12 – Sistema AGUIA mostrando a evolução de obras de usina UFV



Fonte: Sistema AGUIA da ANEEL.

Em relação aos custos, estimativas demonstram que, se cada simples e pontual fiscalização realizada pela Aneel com duração de 2 dias, incluindo o tempo de viagem e deslocamentos, fosse realizada remotamente, seriam economizados aproximadamente R\$ 8.000,00 (oito mil reais), ressaltando-se a possibilidade de utilizar software livre para manipulação e processamento das imagens de satélite (Orlandi *et al.*, 2022). Nesse caso, não se mensuram o desgaste físico e a preparação necessária às viagens por parte das equipes. Ademais, deve-se considerar que o “monitoramento” e a “ação à distância” – os dois primeiros níveis de fiscalização – mostram-se sensivelmente viáveis de forma remota, o que permite priorizar as viagens para “Ações de campo estratégicas” (último nível das fiscalizações da geração de energia pela Aneel).

4. DISCUSSÃO

O crescimento exponencial das usinas eólicas e solares é um desafio para a ANEEL e, ao mesmo tempo, uma valiosa conquista para o Brasil, que possui uma das matrizes mais renováveis do mundo. A previsão do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2031, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, é de 87% de energia elétrica renovável até 2031 (Brasil, 2022d).

O PDE de 2017 (PDE-2017) prevê uma participação da energia eólica de 12% em 2027 (EPE, 2018a). O significativo crescimento de parques eólicos promoveu a antecipação da sua participação na composição da matriz elétrica em cinco anos. A estimativa já foi praticamente alcançada em 2022 ao registrar uma participação de 11,98%, estando um pouco acima de 14% em fevereiro de 2024 (Figura 1).



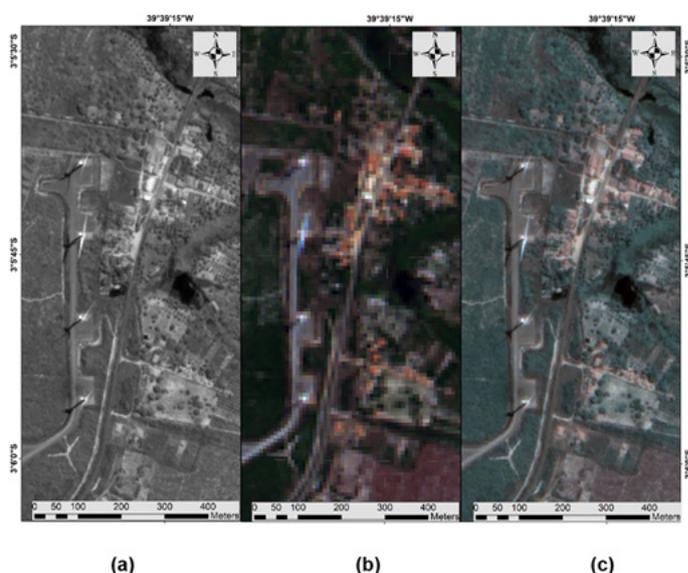
O desempenho da fonte solar não está distante da fonte eólica. A geração solar correspondia a 0,3% da matriz elétrica brasileira em 2018 (EPE, 2018a) e esse número foi ampliado em 20 vezes em apenas três anos, representando hoje 6,04% da matriz brasileira (Figura 1). Além disso, a fonte solar tem maior penetração no território nacional, o que foi demonstrado no mapa da Figura 6, destacando-se a região Nordeste do país, com enorme potencial (Santos *et al.*, 2020).

A expansão das fontes eólica e solar tem um papel social em regiões mais afastadas dos centros urbanos ou menos desenvolvidas, como a região Nordeste. A instalação dessas usinas transforma regiões pobres e desocupadas em polos de desenvolvimento econômico (Jesus; Trigueiro; Gehrke; Salvadori; Costa, 2018).

A capacidade de expansão é expressa pela participação nos leilões de energia nova, tendo representado 95% de toda energia vendida no leilão A-4 em 2017. No Leilão de 2022, os projetos habilitados de energia eólica (4.7 GW) e solar (13.2 GW) para vender energia representavam aproximadamente 18 GW, o que demonstra grandezas consideráveis.

A expressiva quantidade de usinas a fiscalizar motivou o investimento em tecnologia da informação conjugada com o geoprocessamento, gerando um sistema próprio para auxiliar a fiscalização por meio de monitoramento remoto. A mesma ferramenta descrita para usinas fotovoltaicas está sendo estudada para o acompanhamento da implantação das usinas eólicas a fim de se manter o mesmo monitoramento aplicado às usinas solares. Os primeiros estudos estão sendo feitos com imagens gratuitas do satélite CBERS4A. A Figura 13 (“a”, “b” e “c”) ilustra uma comparação entre a imagem pancromática com resolução espacial de 2,0 m (“a”), a imagem colorida com 8,0 m de resolução espacial (“b”), e a imagem colorida com 2,0 m de resolução, obtida por meio da fusão entre as imagens “a” e “b” (“c”), mostrando que o processamento dessas imagens ainda pode ser aperfeiçoado por meio de técnicas adequadas para ampliar sua utilidade.

Figura 13 – Usina eólica no estado do Ceará: imagens Pancromática, Colorida e Fusão



Fonte: os autores, com imagens CBERS 4A obtidas em INPE, [s. d].



Convém destacar que as imagens de satélite têm diversas aplicações em cartografia, inteligência militar, meteorologia, gestão de recursos naturais, desmatamentos florestais, previsões de safras (Brasil, 2020) e fiscalização de obras públicas (Carvalho Júnior; Gomes; Guimarães, 2016). Além disso, a disponibilidade de imagens gratuitas – por exemplo, as imagens do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres CBERS4A (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) com resolução espacial de dois metros – diminui o custo de uso, o que revela o grande potencial de utilização dessas informações geoespaciais e sua contínua evolução.

Quanto ao uso das geotecnologias na administração pública, convém destacar a iniciativa do TCU na utilização de geotecnologias aplicadas às atividades do Tribunal, principalmente para processos que envolvem obras (Souza; Sobral; Candeias, 2017; Portal TCU, 2018). Além disso, é importante perceber que o uso de geotecnologias pode ser de amplo espectro para contribuir com informações que apresentem uma componente geoespacial, haja vista que o uso das imagens pelo TCU na Representação mencionada no item 3.1 (Figura 14) também pode ser um meio para a própria Aneel estudar a resposta a ser dada às determinações do Tribunal.

Figura 14 – Uso de imagem de satélite na Representação do TCU



TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO

TC 017.027/2022-5

Figura 3 – Localização das usinas do Complexo Solar Janaúba



Nota: as imagens disponibilizadas no Google Earth na composição para essa localização têm datas distintas, variando entre 2021 e 2023.

Fonte: Brasil, 2023.

Em relação a geotecnologias, importa destacar que o uso das imagens de satélite para monitoramento de usinas somado à IA possibilitam ferramentas para a modernização de atividades de fiscalização, agregando produtividade, economicidade e eficiência. Vale lembrar



a economia significativa em caso de fiscalizações simples e pontuais, citada no item 3.5, e a possibilidade de utilização de *software* livre para uso e processamento das imagens de satélite.

No que concerne aos impactos de subsídios e às alterações legislativas, frisa-se que tais situações acabaram por proporcionar desvios das ideias originais e distorções no comportamento do setor elétrico brasileiro no escopo das fontes eólicas e solares, mas tais comportamentos devem estar visíveis para os tomadores de decisão e entes fiscalizadores do setor a fim de compreenderem seus reflexos nas diversas áreas do complexo setor elétrico brasileiro.

Sem investigar a fundo o tema, acrescenta-se que, como qualquer alteração no meio ambiente, o avanço das usinas eólicas e solares gera impacto no meio ambiente e a energia elétrica por elas gerada apresenta características técnicas intrínsecas. Assim, ainda que de forma tangencial, é adequado mencionar que a expansão dessas fontes renováveis traz desafios relacionados à penetração na matriz elétrica dos países. Nesse cenário, publicações internacionais citam a intermitência, a previsão de geração, os impactos sociais e ecológicos que derivam dessas fontes geradoras (Veers *et al.*, 2019; Alsharif; Kim; Kim, 2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, a política do governo brasileiro para expansão renovável da oferta de energia elétrica tem obtido bons resultados e garantido o abastecimento do país, acompanhando o aumento da demanda. Contudo, parte dessa expansão foi impulsionada por subsídios governamentais, que, além do incentivo dado às fontes, também provocaram desvios no comportamento dos agentes do setor, notando-se, portanto, alta correlação entre incentivo à expansão e tais comportamentos, levando uma grande usina a fracionar-se, a fim de que cada fração obtenha o mencionado subsídio governamental, e impactando o número de usinas eólicas e solares aderentes à realidade prática.

Em que pesem as possíveis distorções no número de novas usinas, a magnitude dos números relativos à força de trabalho da Aneel atesta que as inovações tecnológicas que usam o binômio geoprocessamento e IA agregam valor aos processos finalísticos da Agência e revelam potencial para a evolução da eficácia, da eficiência e da economicidade nos processos de fiscalização.

A utilização de geotecnologias pela Aneel e pelo próprio TCU evidencia novas possibilidades de uso quando há análises de informações que conjugam uma componente geoespacial, que agrega maior consistência e valor às conclusões obtidas.

REFERÊNCIAS

ALSHARIF, Mohammed H.; KIM, Jeong; KIM, Jin Hong. Opportunities and challenges of solar and wind energy in South Korea: a review. *Sustainability*, Suíça, v. 10, n. 6, 1822, jun. 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/6/1822>. Acesso em: 16 abr. 2022



ANEEL discute “Dia do perdão” e fim de subsídios para fontes incentivadas. **Grupo de Estudos do Setor Elétrico-GESEL**, UFRJ, 2023. Regulação. Disponível em: <https://gesel.ie.ufrj.br/ife/ife-5-740/#>. Acesso em: 10 jan. 2024

BELTRÃO, Leandro Modesto Prates; CARVALHO, Michele Tereza Marques; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves; PAIVA, Álvaro Teixeira de; FREITAS, Maíra Vitoriano Rodrigues de. Modelos para estimativa de custos com o uso de regressão linear: modelagem com obras penitenciárias. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p. 193-211, jul./set. 2022.

BORGES, Gustavo G; SALLES, Mauricio B. C. A Política de Descontos para as energias renováveis no Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE, 8, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: UFBAC, 2020.

BRASIL. Agência Espacial Brasileira. Imagens de Satélite. **Gov.br**. AEB, 2020. Aplicações Espaciais Disponível em: <https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/aplicacoes-espaciais/imagens-de-satelites>. Acesso em: 10 dez. 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. Geração. **Gov.br**, Brasília, 11 de fevereiro de 2022. Relatórios e Indicadores. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-contudos/relatorios-e-indicadores/geracao>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. Fiscalização. **Gov.br**. ANEEL, 2022. Geração. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao/fiscalizacao>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resultado dos leilões de geração no ambiente regulado**. ANEEL, 2022. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiYmMzN2Y0NGMtYjE5Ny00OTNlLWI1YzctZjI0ZTUwMDg5ODE3liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 10 dez. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **RALIE - Acompanhamento de expansão da oferta de geração de energia elétrica**. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/Ralie#!>. Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Subsídios no setor de energia elétrica**. ANEEL, 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiY2Q1YjdlZTEtMzQ2ZS00OTlyLThiODctZDY2NTRhMDFhMmFjliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 8 jan. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2024]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9427compilada.htm. Acesso em: 18 jul. 2023.



BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Brasília: MME/EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BRASIL. Tribunal de Contas da União (Plenário). **TC nº 017027/2022-5**. Representação. Representação em face de possíveis irregularidades na concessão de subsídios pela Aneel referentes à redução de 50% a ser aplicado à Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) e à Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) para as fontes incentivadas de empreendimentos com potência instalada entre 30 MW e 300 MW, nos termos do § 1º-A, do art. 26, da Lei 9.427/1996. Relator: Benjamin Zymler, 22 de novembro de 2023. Brasília: TCU, 2023. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2023/11/tcu-aneel-tusd-tust.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2024.

BRASIL. Ministério da Economia. Leilão de Energia Nova A-4/2022 contrata 29 projetos e atrai mais de R\$ 7 bilhões em investimentos para geração de energia renovável. **Gov.br**, 27 de maio de 2022. Notícias. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/orgaos/seppi/noticias-1/leilao-de-energia-nova-a-4-2022-contrata-29-projetos-e-atrai-mais-de-r-7-bilhoes-em-investimentos-para-geracao-de-energia-renovavel#:~:text=A%20Ag%C3%AAncia%20Nacional%20de%20Energia,pre%C3%A7o%20para%20a%20sociedade%20brasileira>. Acesso em: 10 dez. 2022.

CAMPOS, Rafael Antunes; NASCIMENTO, Lucas Rafael do; RÜTHER, Ricardo. The complementary nature between wind and photovoltaic generation in Brazil and the role of energy storage in utility-scale hybrid power plants. **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 221, 113160, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890420307044?via%3Dihub>. Acesso em: 29 ago. 2022.

CANALENERGIA. Aneel desenvolve ferramenta para fiscalizar obras de usinas à distância. **CanalEnergia**, 1 de junho de 2020. Notícias. Disponível em: <https://canalenergia.com.br/noticias/53136271/aneel-desenvolve-ferramenta-para-fiscalizar-obras-de-usinas-a-distancia>. Acesso em: 31 ago. 2022.

CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; GUIMARÃES, Renato Fontes. O potencial de dados de sensoriamento remoto na fiscalização de obras públicas. **Revista do TCU**, Brasília, n. 137, ano 48, p. 80-95, set/dez. 2016. Disponível em: <http://revista.tcu.gov.br/ojsp/index.php/RTCU/article/view/1381>. Acesso em: 10 de jul. 2022.

CATARINA, Artur Santa. Wind power generation in Brazil: an overview about investment and scale analysis in 758 projects using the Levelized Cost of Energy. **Energy Policy**, [s. l.], v. 164, 112830, maio 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112830>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421522000556?via%3Dihub>. Acesso em: 12 ago. 2022.



COSTA, Marcus Vinícius Coelho Vieira da; CARVALHO, Osmar Luiz Ferreira de; ORLANDI, Alex Gois; HIRATA, Issao; ALBUQUERQUE, Anesmar Olino de; SILVA, Felipe Vilarinho e; GUIMARÃES, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de. Remote sensing for monitoring photovoltaic solar plants in Brazil using deep semantic segmentation. **Energies**, Suíça, v. 14, n. 10, p. 2960, maio 2021.

DUPONT, Fabrício Hoff; GRASSI, Fernando; ROMITTI, Leonardo. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70-81, ago. 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19195>. Acesso em: 13 maio 2024.

ELLISTON, Ben; DIESENDORF, Mark; MACGILL, Iain. Simulations of scenarios with 100% renewable electricity in the Australian National Electricity Market. **Energy Policy**, [s. l.], v. 45, p. 606-613, jun. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512002169>. Acesso em: 30 maio 2022.

EL HOUSSAINY, A. Rady; EL-SHEIKH, Ahmed Amin; OTHMAN, Soha. The Distribution of the Coefficient of determination in Linear Regression Model: a review. **Journal of University of Shanghai for Science and Technology**, Xangai, v. 23, n. 9, p. 126-129, set. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: Nota Técnica EPE, maio 2012. Disponível em: https://www.vario.com.br/VarioECP/arquivos/Downloads/NT_EnergiaSolar_2012_EPE.pdf. Acesso em: 16 jul. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Expansão baseada em eólica, solar e hidráulica mantém predominância renovável da matriz elétrica brasileira nos próximos 10 anos**. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/Informe%20EPE%20-%20PDE%202027.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Leilões de Energia Nova de 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-268/Informe%20Leil%C3%B5es%202017%20-%20Portugues.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Leilões de Energia Elétrica de 2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/Informe%20Leil%C3%B5es%202018_Final.pdf. Acesso em: 16 jul. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Leilão de Geração A-4/2019**. Rio de Janeiro: EPE, 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-355/Informe%20Resultado%20da%20Habilita%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnica%20e%20Vencedores-%20Leil%C3%A3o%20A-4%20de%202019_v3.pdf. Acesso em: 16 jul. 2022.



EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Leilões de Energia Nova A-3 e A-4 de 2021**. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-553/Informe%20Vencedores%20LEN%20A3%20e%20A4%20de%202021_v4.pdf. Acesso em: 16 jul. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Leilão de Energia Nova A-4 de 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-644/Informe%20Habilitados%20e%20Vencedores%20LEN%20A4-2022.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2022.

EÓLICAS geraram 87% da potência liberada pela Aneel. **Grupo de Estudos do Setor Elétrico-GESEL**, UFRJ, 2021. Energias Renováveis. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/41_IFE5232.html#ene6. Acesso em: 10 abr. 2022.

FMI melhora projeção para crescimento do PIB do Brasil em 2022. **Agência Brasil**, 26 de julho de 2022. Notícia. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-07/fmi-melhora-projecao-para-crescimento-do-pib-do-brasil-em-2022>. Acesso em: 29 ago. 2022.

GEHRKE, Poleana; GORETTI, Ana Alice Timm; ÁVILA, Lucas Veiga. Impacts of the energy matrix on Brazilian sustainable development. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 14, Ed. Especial, p. 1032-1049, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1983465964409>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/64409>. Acesso em: 10 abr. 2022.

GEOCONTROLE: TCU desenvolve sistema pioneiro de análise de imagens de satélites. **Portal TCU**, Brasília, 9 jul. 2018. Notícias. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/geocontrole-tcu-desenvolve-sistema-pioneiro-de-analise-de-imagens-de-satelites.htm>. Acesso em: 11 jan. 2022.

INFLAÇÃO. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, [s. d.]. Calculadora do IPCA. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Acesso em: 02 dez. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo**. INPE, [s. d.]. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br>. Acesso em: 24 ago. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Visão Geral da Conjuntura. **IPEA**, 30 jun. 2022. Carta Conjuntura. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/tag/previsoes-macroeconomicas/#:~:text=Diante%20disso%2C%20a%20economia%20deve,ind%C3%BAstria%20devem%20mostrar%20relativa%20estabilidade>. Acesso em: 29 ago. 2022.

JESUS, Fagner L. A. de; TRIGUEIRO, Helio O.; GEHRKE, Camila S.; SALVADORI, Fabiano; COSTA, Leonardo T. da. Brazilian and global energy panorama — Comparative study of forecasts in the years 2000 to 2015 for the years 2015 to 2030. In: **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, Niterói, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/SBSE.2018.8395869>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8395869>. Acesso em: 29 ago. 2022.



KILIÇ, Faruk. Forecasting the electricity capacity and electricity generation values of wind & solar energy with artificial neural networks approach: the case of Germany. **Applied Artificial Intelligence**, Austria, v. 36, n. 1, p. 2257-2273, mar. 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08839514.2022.2033911>. Acesso em: 29 ago. 2022.

NHONGO, Eufrásio João Sozinho; FONTANA, Denise Cybis; GUASSELLI, Laurindo Antônio. Padrões espaciais mensais de focos de calor a partir de estimativa de densidade de kernel, na reserva do Niassa - Moçambique. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: INPE - Santos, 2019.

ORLANDI, Alex Gois; CARVALHO JUNIOR, Osmar Abílio de; MENDONÇA, Rodrigo Cesar Neves; GUIMARÃES, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso. Regional management and development with free multi-temporal images: the case of hydroelectric power inspection. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 18, n. 2, p. 367-384, maio/ago., 2022. DOI: <https://doi.org/10.54399/rbgdr.v18i2.6430>. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/6430>. Acesso em: 20 out. 2022.

ORLANDI, Alex Gois; Renata de Araujo Nobre; CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio; GUIMARÃES, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso. Controle gerencial na administração pública e transformação digital: sensoriamento remoto para fiscalizar. **Cadernos de Gestão Pública e Cidadania**, São Paulo, v. 26, n. 83, p. 1-24, jan. 2021.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **O que é ONS**. Rio de Janeiro: ONS, [2024]. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>. Acesso em: 02 fev 2024.

OWUSU, Phebe Asantewaa; ASUMADU-SARKODIE, Samuel. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. **Cogent Engineering**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 1-14, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2016.1167990#abstract>. Acesso em: 27 jan. 2022.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco José Lopes de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel de Lima; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. DOI: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/items/3a0c7b2a-a107-4cc9-9449-f08db316e47e>. Acesso em: 10 jan. 2022.

QUEM somos. **Empresa de Pesquisa Energética**, [s. d.]. EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>. Acesso em: 10 jul. 2022.

REICHERT, Bianca, SOUZA, Adriano Mendonça. Interrelationship simulations among Brazilian electric matrix sources. **Electric Power Systems Research**, [s. l.], v. 193, n. 6, 107019, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.107019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779620308178?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jan. 2022.



SANTOS, Lizza Adrielle Nascimento; NASCIMENTO, Paulo Sérgio de Rezende. Espacialização da susceptibilidade erosiva a partir da densidade de drenagem pelo interpolador Kernel. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: INPE - Santos, 2019.

SANTOS, José Alexandre Ferraz de Andrade; JONG, Pieter de; COSTA, Caiuby Alves da; TORRES, Ednildo Andrade. Combining wind and solar energy sources: Potential for hybrid power generation in Brazil. **Utilities Policy**, [s. l.], v. 67, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101084>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957178720300795?via%3Dihub>. Acesso em: 16 jul. 2022.

Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico – SIGEL. Brasília: ANEEL, [s. d.]. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acesso em: 26 ago. 2022.

SILVERMAN, Bernard W. **Density estimation for statistics and data analysis**. Londres: Chapman & Hall, 1986.

SOUZA, André Delgado de; SOBRAL, Maria do Carmo Martins; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra. Geotecnologias aplicadas às auditorias de obras públicas no Brasil: panorama geral e perspectivas. **Revista da Sociedade Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 69, n. 8, Ed. Especial, p. 1387-1401, set./out. 2017.

SOUZA JUNIOR, Ednilson Gomes. Mineração e pequenas centrais hidrelétricas: reflexões sobre o complexo mineiro-energético no estado de Minas Gerais, Brasil. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais**, Iporá, v. 10, n. 3, p. 1-16, out. 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/358716956>. Acesso em: 29 ago. 2022.

TEIXEIRA, Pedro Aurélio. Anace propõe ‘meio-termo’ em perdão para geradores. **CanalEnergia**, 25 de maio de 2023. Notícias. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53247434/anace-propoe-meio-termo-em-perdao-para-geradores>. Acesso em: 10 jan. 2024.

VEERS, Paul; DYKES, Katherine; LANTZ, Eric; BARTH, Stephan; BOTTASSO, Carlo L.; CARLSON, Ola; CLIFTON, Andrew; GREEN, Johny; GREEN, Peter; HOLTTINEN, Hannele; LAIRD, Daniel; LEHTOMÄKI, Ville; LUNDQUIST, Julie K.; MANWELL, James; MARQUIS, Melinda; MANEVEAU, Charles; MORIARTY, Patrick; MUNDUATE, Xabier; MUSKULUS, Michael; NAUGHTON, Jonathan; PAO, Lucy; PAQUETTE, Joshua; PEINKE, Joachim; ROBERTSON, Amy; RODRIGO, Janvier Sanz; SEMPREVIVA, Anna Maria; SMITH, J. Charles; TUOHY, Aidan; WISER, Ryan. Grand challenges in the science of wind energy. **Science**, [s. l.], v. 366, 2019. Disponível em: <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.aau2027>. Acesso em: 27 jan. 2022.



VIVIESCAS, Cindy; LIMA, Lucas; DIUANA, Fabio A.; VASQUEZ, Eveline; LUDOVIQUE, Camila; SILVA, Gabriela N.; HUBACK, Vanessa; MAGALAR, Letícia; SZKLO, Alexandre; LUCENA, André F. P.; SCHAEFFER, Roberto; PAREDES, Juan Roberto. Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources. **Renewable and sustainable energy reviews**, [s. l.], v. 113, 109232, out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119304320?via%3Dihub>. Acesso em: 27 jan. 2022.

WU, Yuying; LI, Yijing. “Hot street” of crime detection in London borough and lockdown impacts. **Geo-spatial Information Science**, [s. l.], p. 1-17, out. 2022.

ZHANG, Guiming. Detecting and Visualizing Observation Hot-Spots in Massive Volunteer-Contributed Geographic Data across Spatial Scales Using GPU-Accelerated Kernel Density Estimation. **ISPRS International Journal of Geo-I**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 1-15, jan. 2022.

Os conceitos e interpretações emitidos nos trabalhos assinados são de exclusiva responsabilidade de seus autores.

