ReGeo ISSN: 2177-3246

ANÁLISE TEMPORAL DAS FONTES E EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO ELÉTRICA CENTRALIZADA NO BRASIL

TEMPORAL ANALYSIS OF SOURCES AND CENTRALIZED ELECTRIC GENERATION ENTERPRISES IN BRAZIL

ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS FUENTES Y EMPRENDIMIENTOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CENTRALIZADA EN BRASIL

https://doi.org/10.56238/revgeov17n9-055

Data de submissão: 10/08/2026 **Data de publicação:** 10/09/2026

Debora Cristiele Kummer
Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo
Instituição: Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: deborakummer@usp.br
Orcid: https://orcid.org/0009-0002-3137-1149
Lattes: http://lattes.cnpq.br/2245176507353507

Marcelo Eduardo Giacaglia
Doutor em Engenharia de Transportes
Instituição: Universidade de São Paulo (USP)
E-mail: mgiacagl@usp.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-9059-7805
Lattes: http://lattes.cnpq.br/8516604648327493

RESUMO

O Brasil, com sua vasta extensão e diversidade ambiental, tem potencial para explorar diferentes fontes de energia e atender à sua demanda por eletricidade. Este estudo visa analisar as fontes, a distribuição territorial e a potência dos empreendimentos de geração de energia elétrica centralizada no Brasil entre 1900 e 2024. Para isso, os empreendimentos foram mapeados em cinco períodos distintos, com base nos dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL. Os resultados indicam que, desde o princípio, a fonte hídrica predominou, com maior potência instalada no Sudeste e Sul. A partir dos anos 2000, as termelétricas fósseis se expandiram no Norte, enquanto o Centro-Oeste incorporou empreendimentos hídricos. Desde 2010, as energias eólica e solar fotovoltaica aumentaram sua participação na matriz elétrica, principalmente no Nordeste. Por fim, verificou-se que o crescimento na potência instalada e a diversificação da matriz elétrica são cruciais para garantir o abastecimento, aumentar a resiliência do sistema e aproveitar diferentes fontes de energia disponíveis no país.

Palavras-chave: Energia Elétrica. Geração Centralizada. Distribuição Territorial. Brasil.

ABSTRACT

Brazil, with its vast territory and environmental diversity, has the potential to explore various energy sources to meet its electricity demand. This study aims to analyze the sources, territorial distribution, and capacity of centralized electricity generation projects in Brazil between 1900 and 2024. For this purpose, the projects were mapped in five distinct periods based on data from the ANEEL Generation Information System. The results indicate that, from the beginning, hydropower has been the predominant source, with the highest installed capacity in the Southeast and South. Since the 2000s,

fossil-fuel thermoelectric plants have expanded in the North, while the Central-West region has added new hydropower projects. Since 2010, wind and solar photovoltaic energy have increased their share in the power matrix, mainly in the Northeast. Finally, it was observed that growth in installed capacity and diversification of the power matrix are essential to ensure supply, enhance system resilience, and harness various energy sources available in the country.

Keywords: Electric Power. Centralized Generation. Territorial Distribution. Brazil.

RESUMEN

Brasil, con su vasta extensión territorial y diversidad ambiental, tiene el potencial de explorar diversas fuentes de energía para satisfacer su demanda de electricidad. Este estudio tiene como objetivo analizar las fuentes, la distribución distribución y la capacidad de los proyectos de generación de energía eléctrica centralizada en Brasil entre 1900 y 2024. Para ello, los proyectos fueron mapeados en cinco períodos distintos, con base en los datos del Sistema de Información de Generación de la ANEEL. Los resultados indican que, desde el principio, la fuente hídrica ha predominado, con la mayor capacidad instalada en Sudeste y Sur. A partir de los años 2000, las termoeléctricas fósiles se expandieron en el Norte, mientras que la región Centro-Oeste incorporó nuevos proyectos hidroeléctricos. Desde 2010, la energía eólica y solar fotovoltaica han aumentado su participación en la matriz eléctrica, principalmente en el Nordeste. Finalmente, se observó que el crecimiento en la capacidad instalada y la diversificación de la matriz eléctrica son esenciales para garantizar el suministro, aumentar la resiliencia del sistema y aprovechar las diversas fuentes de energía disponibles en el país.

Palabras clave: Energía Eléctrica. Generación Centralizada. Distribución Territorial. Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, assim como muitos outros países da América do Sul, começou a utilizar eletricidade entre 1880 e 1900 (Carvalho, 2023; Gomes; Vieira, 2009). Nesse período, pequenas termelétricas a carvão mineral abasteciam a iluminação pública das grandes cidades, o transporte por bondes elétricos e um conjunto de atividades fabris, como a indústria têxtil, serrarias e o processamento de determinados produtos agrícolas, principalmente o café e o algodão (Carvalho, 2023).

O território brasileiro é continental, com vastas riquezas naturais e condições climáticas e de fertilidade de solo bastante favoráveis (PNE 2050, 2020). Isso possibilitou que a matriz de energia elétrica se constituísse com o uso predominante de fontes renováveis. A hidreletricidade tem sido a principal fonte de geração do país por várias décadas, tanto pela sua competitividade econômica quanto pela abundância deste recurso a nível nacional, devido as características territoriais, com muitos planaltos e rios caudalosos (EPE, 2024).

Contudo, Konrad *et al.* (2016) observam que a dependência da produção de eletricidade aos índices pluviométricos torna o sistema vulnerável, comprometendo a segurança energética e a garantia de oferta de energia para a população. Além disso, Reis (2017) reforça que a água possui múltiplos usos e finalidades, como saneamento, transporte, irrigação, lazer, indústria e produção de energia. Assim, é essencial avaliar a produção de eletricidade no contexto da água, valorizando a multidisciplinariedade e os demais usos e desafios relacionados à adequada gestão dos recursos hídricos (Reis, 2017).

Nessa perspectiva, o início dos anos 2000 foi determinante para demonstrar a necessidade de intensificar o processo de ampliação e diversificação da matriz elétrica nacional, especialmente devido à principal crise de abastecimento do país, entre 2001 e 2002, que ficou conhecida como o “Apagão”. Segundo Carvalho (2023), isso ocorreu pela falta de investimentos para expandir o parque gerador, agravada por uma estiagem que afetou os reservatórios das hidrelétricas. Essas condições hidrológicas extremamente desfavoráveis ocorreram principalmente nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste (ANEEL, 2008).

Entretanto, a diversificação da matriz elétrica ganhou representatividade a partir da década de 2010, impulsionada por avanços tecnológicos, maior escala de produção e políticas de incentivo, que tornaram as fontes eólica e solar fotovoltaica competitivas. Nesse contexto, os leilões governamentais foram fundamentais para a expansão dessas fontes no Brasil. Para a energia eólica, esse impulso veio em 2009, com o Leilão de Energia de Reserva (LER) nº 03/2009, enquanto a energia solar fotovoltaica (FV) teve seu marco inicial no LER de 2014.

O sistema elétrico brasileiro possui a maior potência instalada de geração de energia elétrica da América Latina, com 206 GW, ocupando a sétima posição no ranking mundial, atrás da China (2.594 GW), Estados Unidos (1.201 GW), Índia (487 GW), Japão (350 GW), Rússia (301 GW), e Alemanha (261 GW) (AEEE, 2024). Entende-se por potência instalada, ou capacidade instalada, a potência máxima que um sistema elétrico ou instalação de geração de energia é tecnicamente capaz de produzir, sob condições ideais de operação, representando seu potencial bruto de geração (Reis, 2017).

Desde a década de 1990, o sistema elétrico nacional é composto por geração, transmissão e distribuição (MME, 2022). Existem dois tipos de geração de energia: centralizada e distribuída. O modelo centralizado caracteriza-se por instalações de grande porte e alta capacidade instalada, geralmente localizadas em áreas remotas, afastadas dos centros urbanos e de consumo. A energia gerada por esses empreendimentos é transportada por meio das redes de transmissão e distribuição até chegar aos consumidores finais.

Em contraste, a geração distribuída (GD) consiste em sistemas de menor potência (microgeração ou minigeração) instalados próximos aos centros de consumo. Esse modelo foi regulamentado no Brasil por meio da Resolução Normativa (RN) 482/2012, atualmente substituída pela RN1.059/2023. Essa forma de geração foi amplamente adotada, principalmente com o uso de módulos FV em edificações. Entretanto, vale destacar que esta pesquisa não abrange o sistema de geração distribuída.

As redes de transmissão são responsáveis por escoar e elevar a tensão da energia elétrica, permitindo um transporte eficiente a longas distâncias e minimizando perdas no percurso. No Brasil, essas redes operam com tensões entre 132 kV e 800 Kv (MapBiomas, 2022; AEEE, 2024), com maior tensão associada à melhor qualidade da transmissão. Já o setor de distribuição entrega a energia ao consumidor final. Para isso, recebe a energia das empresas de transmissão e realiza o rebaixamento da tensão para níveis adequados ao uso doméstico ou comercial, geralmente 127V ou 220V, conforme padrão dos aparelhos eletroeletrônicos.

Atualmente, as fontes que contribuem para a geração de eletricidade no Brasil são: hídrica, com 109,88 GW (52,67%); eólica, com 32,65 GW (15,65%); termelétricas fósseis, com 30,29 GW (14,52%); termelétricas biomassa, com 17,61 GW (8,45%); solar FV, com 16,16 GW (7,75%); e nuclear, com 1,99 GW (0,95%) (SIGA, 2024). O Brasil é, ainda, o segundo país com maior potência hídrica instalada, sendo precedido pela China, com 414 GW (AEEE, 2024).

O consumo de eletricidade no país, em 2023, conforme o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2024), foi de 532 TWh, sendo que 255.313 GWh (48%) desse total ocorreu na região Sudeste, seguido pelo Sul, com 97.843 (18,5%); Nordeste, com 94.975 GWh (17,9%); Centro-Oeste, com

42.675 GWh (8%); e Norte, com 41.066 GWh (7,7%). As principais classes de consumo foram: industrial, com 188.476 GWh (35,4%); residencial, com 164.735 GWh (31%); e comercial, com 97.913 GWh (18,4%) (AEEE,2024).

Reis (2017), aponta que o planejamento energético é, hoje, um dos aspectos estratégicos fundamentais para o desenvolvimento de qualquer região ou país. Logo, em um contexto mais amplo, relaciona-se com a busca de convivência harmoniosa do homem com o mundo que o cerca e com a busca da sustentabilidade (Reis, 2017). Nessa perspectiva, diferentes estudos procuraram compreender o desenvolvimento do sistema elétrico no país com base em abordagens variadas, como, por exemplo, Mercedes, Rico e Pozzo (2015) e Carvalho (2023), na perspectiva política; Gomes e Vieira (2009), na perspectiva do campo organizacional do setor elétrico; e Silva (2011), com embasamento no contexto econômico nacional, dentre outros.

Esta pesquisa, por sua vez, tem como objetivo analisar as fontes, a distribuição territorial e a potência dos empreendimentos de geração de energia elétrica centralizada no território brasileiro entre 1900 e 2024. O estudo se diferencia por adotar uma abordagem com ênfase nos empreendimentos de geração centralizada, integrando uma análise temporal combinada com a elaboração de mapas temáticos. O mapeamento resultante contribui para uma compreensão mais precisa e detalhada da evolução e da distribuição do sistema elétrico no território nacional, destacando períodos de transição energética e a inserção de novas fontes na matriz.

A finalidade desta pesquisa consiste em fornecer subsídios para a compreensão de como os empreendimentos de geração centralizada se distribuíram e evoluíram no Brasil, considerando tanto a potência instalada quanto as fontes de energia que compõem a matriz elétrica nacional. Busca-se, com isso, apoiar a formulação de políticas públicas voltadas à segurança energética, as quais visem promover a diversificação das fontes e o fortalecimento da capacidade instalada, visto que, dessa forma, é possível garantir maior resiliência e equilíbrio ao sistema elétrico, assegurando que ele atenda, de forma eficiente, à demanda por eletricidade e desempenhe seu papel estratégico no desenvolvimento do país.

2 MÉTODO

A realização desta pesquisa consistiu, inicialmente, na coleta de dados. Nessa perspectiva, as informações sobre os empreendimentos de geração de energia elétrica centralizada no Brasil foram obtidas junto ao Sistema de Informações de Geração Elétrica da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (SIGA, 2024). Destaca-se que esses dados foram obtidos em formato .xlsx (formato de

arquivo de planilha) e abrangem o período de 25 de dezembro de 1900 a 1° de outubro de 2024. A planilha contém informações sobre 25.990 empreendimentos.

Além disso, foram utilizados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), obtidos em formato *shapefile* (.shp), para identificar a delimitação territorial do Brasil e seus respectivos estados, bem como da América do Sul e seus países. Os dados sobre as linhas de transmissão, em formato .shp, foram obtidos junto ao Projeto MapBiomas (2022) e à Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2023). Os *softwares* utilizados foram *Microsoft Excel* (*ms-Excel*) e *ArcMAP (ArcGIS*), versão 10.8.

A primeira operação realizada com o arquivo .xlsx no *software ms-Excel* foi a aplicação de um filtro referente à fase em que a estrutura se encontra, ou seja, Construção não iniciada, Construção ou em Operação (Figura 1). Dado o objetivo deste estudo, foram analisados apenas os empreendimentos em Operação (22.250 unidades), visto que os empreendimentos em Construção não iniciada (3.438 unidades) ou em Construção (302 unidades) ainda não operam e, consequentemente, não contribuem com a matriz elétrica.

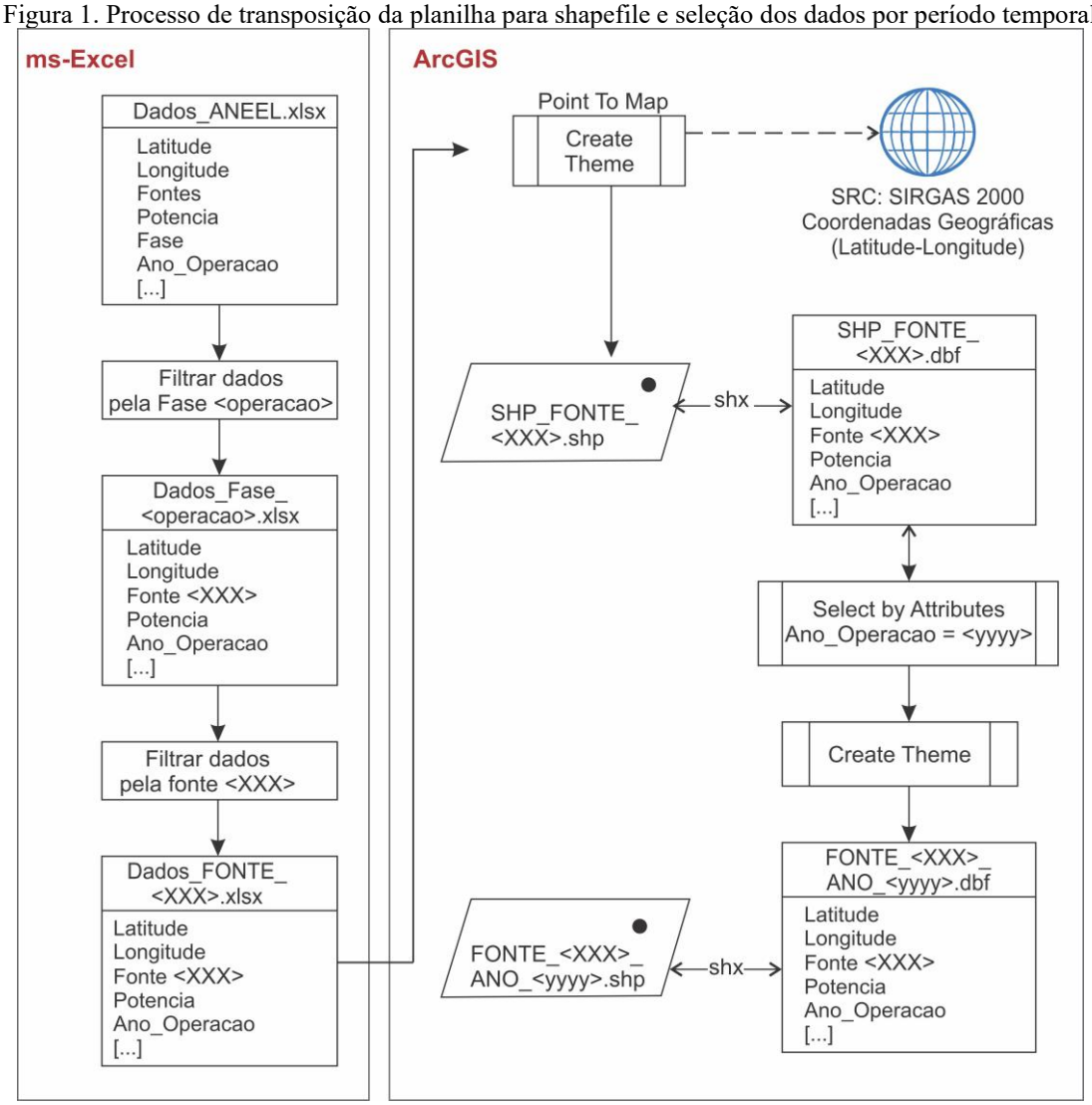
Na sequência, aplicou-se um filtro por fonte de energia: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Usinas Hidrelétricas (UHE), Termelétricas Fósseis (UTE), Termelétricas Biomassa (UTE), Centrais Geradoras Solar Fotovoltaica (UFV), Usina Termonuclear (UTN) e Centrais Geradoras Eólicas (EOL) (Figura 1). Esse processo resultou em oito novos arquivos .xlsx. Esses arquivos foram então importados individualmente para o *software ArcGIS,* em que o processamento resultou em oito arquivos .shp com geometria do tipo ponto (Figura 1).

Esse processo só foi viabilizado devido à disponibilidade das informações de coordenadas de latitude e longitude, que, neste caso, estão no Sistema de Coordenadas Geográficas (Lat-Long) e utilizam o Datum SIRGAS2000. Observa-se que, em geral, houve correspondência nos pontos gerados; entretanto, foi necessário corrigir algumas coordenadas nas tabelas e refazer algumas importações. Dentre os principais erros encontrados nos arquivos .xlsx (SIGA, 2024), destacam-se a inversão das coordenadas de latitude e longitude, a ausência do sinal negativo (-) nas coordenadas e a presença de empreendimentos com dados sobre seus municípios de localização, porém sem as coordenadas.

O período avaliado (1900 – 2024) foi dividido em cinco marcos temporais: 1950, 1980, 2000, 2012 e 2024. Esses marcos refletem momentos de inserção de novas fontes ou ampliação significativa da potência instalada no sistema, questões que serão discutidas adiante. Assim, com os empreendimentos de geração geolocalizados sobre o território nacional e separados por fonte de energia (resultando em 8 arquivos .shp), aplicou-se uma Seleção por Atributos em cada arquivo com

base na coluna Ano_Operacao (Figura 1), ou seja, nos períodos de 1900 – 1950, 1900 – 1980, 1900 – 2000, 1900 – 2012, 1900 – 2024. Observa-se o caráter cumulativo dos dados. Esse processo resultou em 35 arquivos do tipo .shp.

Figura 1. Processo de transposição da planilha para shapefile e seleção dos dados por período temporal



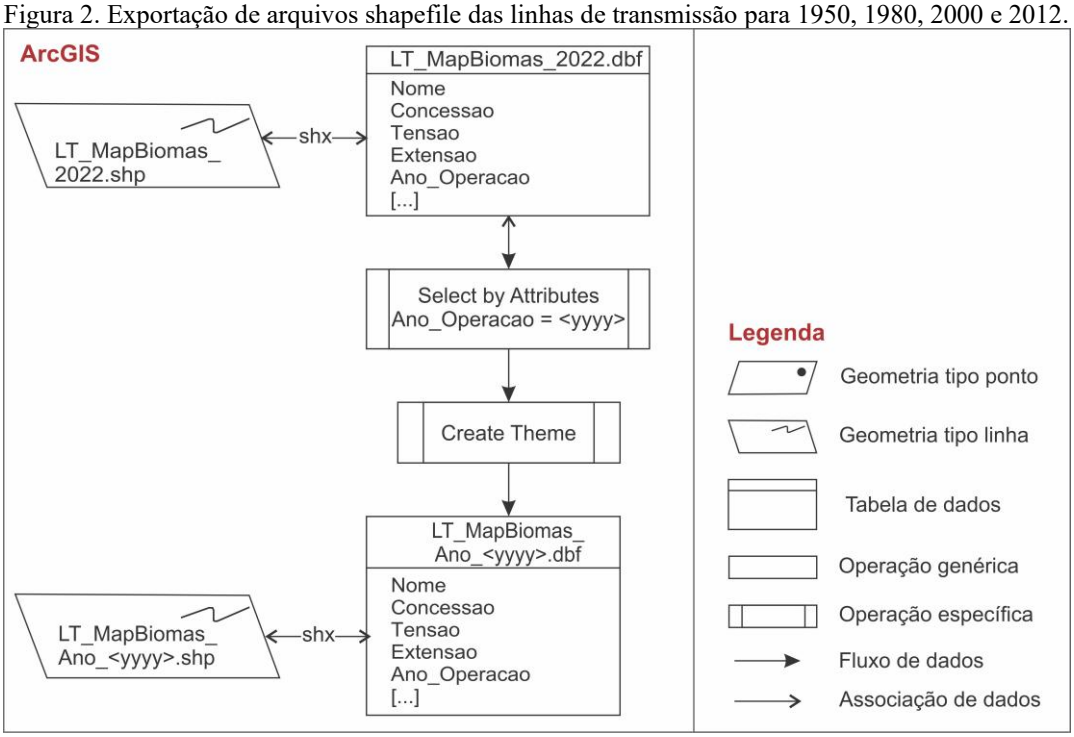
Fonte: Os Autores

Em seguida, foram criados cinco arquivos *ArcGIS ArcMap Document* (.mxd) com as seguintes nomenclaturas Geracao_1950, Geracao_1980, Geracao_2000, Geracao_2012 e Geracao_2024, nos quais foram importados os arquivos .shp de acordo com seus respectivos anos. Com os empreendimentos de geração separados por fontes e de acordo com os marcos temporais estabelecidos, realizou-se o processamento do arquivo .shp obtido junto ao MapBiomas (2022) o qual contém dados sobre as linhas de transmissão (Figura 2). Dessa forma, com base na coluna Ano_Operacao, foram gerados novos arquivos .shp de acordo com os marcos temporais.

Entretanto, os dados das linhas de transmissão do MapBiomas foram utilizadas apenas para os mapas de 1950, 1980, 2000 e 2012, visto que o arquivo disponibiliza o ano de entrada em operação dessas redes. Para o mapa de 2024, utilizou-se o arquivo com as linhas de transmissão disponibilizado pela EPE (2023), que, apesar de não conter dados sobre a entrada em operação das redes e inviabilizar seu uso nos mapas anteriores, é passível de ser utilizado no mapa de 2024, principalmente por ser mais atual que o arquivo do MapBiomas.

Para o arquivo das linhas de transmissão EPE (2023) e os arquivos de delimitação territorial do IBGE (2023), não foi necessário realizar operações adicionais além de sua inserção no arquivo. mxd no *software ArcGIS*. Com esses dados organizados, realizou-se a sobreposição dos *layers* para cada um dos cinco períodos.

Figura 2. Exportação de arquivos shapefile das linhas de transmissão para 1950, 1980, 2000 e 2012.



Nota: Legenda referente as Figuras 1 e 2.
Fonte: Os Autores

Para que a visualização dos mapas transmitisse um maior número de informações, optou-se pela categorização dos arquivos .shp com geometria de ponto. Ou seja, para todos os arquivos com dado dos empreendimentos de geração centralizada, foram elencados cinco intervalos de acordo com sua potência instalada. Isso resultou em pontos com cinco diâmetros diferentes para cada fonte de energia, de modo que, quanto maior o diâmetro, maior a potência instalada.

Por fim, após realizar os processos acima na interface *Data View*, alterou-se para a interface *Layout View*, onde é possível diagramar os mapas. Desse modo, foram inseridas legendas, textos,

indicação de norte e escala, bem como a grade com as coordenadas geográficas. Após a finalização dessas atividades, os cinco mapas foram exportados em formato .JPG e podem ser visualizados na seção de resultados.

3 RESULTADOS

3.1 EMPREENDIMENTOS DE ENERGIA ELÉTRICA CENTRALIZA EM OPERAÇÃO NO BRASIL EM 1950

De acordo com Carvalho (2023), a introdução da eletricidade no Brasil, entre 1880 e 1900, deu-se com a instalação de pequenas empresas privadas, como a canadense *Light and Power Company* e a estadunidense *American and Foreign Power Company* (Amforp), que utilizavam a energia hídrica como principal fonte. Até meados da década de 1930, essas empresas monopolizavam o fornecimento de eletricidade nas principais cidades brasileiras. Nesse período, a participação estatal no setor elétrico restringia-se ao âmbito municipal.

Em 1929, a economia brasileira, fortemente afetada pela crise mundial, começou a reestruturar-se em moldes nacionalistas durante o primeiro governo de Getúlio Vargas (1930-1945). A expansão do setor elétrico passou a ser concebida como parte de uma política mais ampla voltada ao desenvolvimento econômico, o que se traduziu, no campo energético, com a construção de grandes hidrelétricas — viabilizadas pela abundância de recursos hídricos no território nacional — por meio de investimentos estatais (Carvalho, 2023).

Na Figura 3, que apresenta registros de 1900 a1950, observa-se que as primeiras fontes oficialmente registradas são duas termelétricas movidas a combustível fóssil: a primeira, em 1900, com 360 kW em Uberlândia, Minas Gerais (MG); e a segunda, em 1901, com 704 kW em Caruaru, Pernambuco (PE), ambas utilizando óleo diesel como combustível. Em 1905, registra-se a primeira termelétrica movida a biomassa, com 14.000 kW, em Iracemápolis, São Paulo (SP). Somente em 1941 é registrada a segunda instalação do tipo, com 50.000 kW, em Rafard, também no estado de SP ambas movidas a bagaço de cana-de-açúcar.

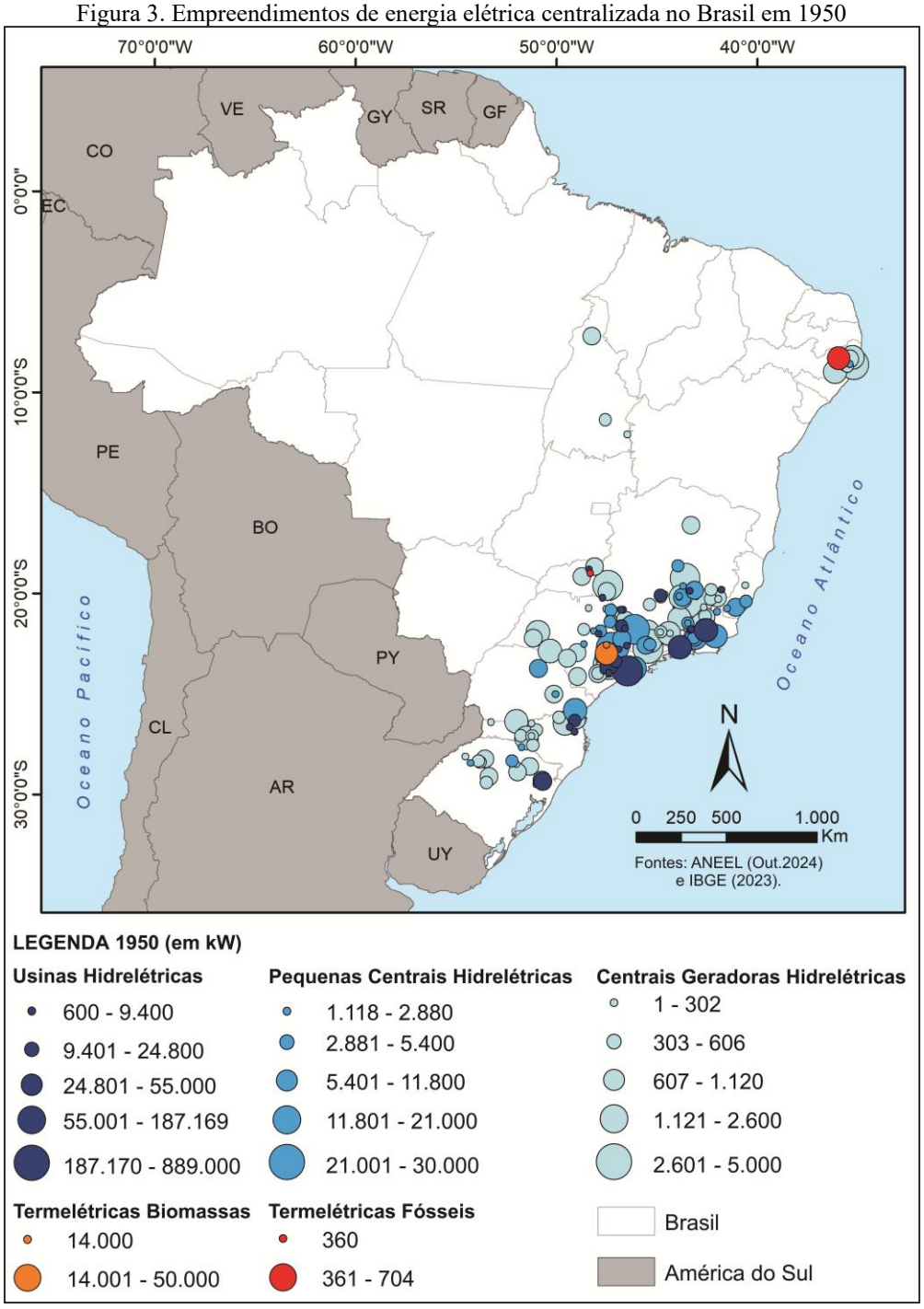
No que diz respeito aos empreendimentos de origem hídrica, o sistema é subdividido em três categorias de acordo com a potência instalada. Assim, entende-se por Central Geradora Hidrelétrica (CGH) empreendimentos com até 5 MW; por Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), os com potência entre 5 MW e 30 MW; e por Usinas Hidrelétricas (UHE), aqueles com potência superior a 30 MW.

A primeira usina hidrelétrica com registro ativo data o ano de 1905, com uma potência outorgada de 44.800 kW, localizada no município de Canela, Rio Grande do Sul (RS). Em 1908, há registros de duas Centrais Geradoras Hidrelétricas com potências de 640 kW e 1.104 kW, localizadas

em Leopoldida (MG), e Joinville, Santa Catarina (SC), respectivamente. A primeira Pequena Central Hidrelétrica registrada também data o ano de 1908, com uma potência outorgada de 9.000 kW, no município de Areal, Rio de Janeiro (RJ).

Até 1950, os empreendimentos hídricos totalizavam 150 unidades, sendo 90 CGH (com 115.061 kW de potência), 39 PCH (com 269.052 kW) e 21 UHE (somando 1.469.175 kW). No total, havia 154 empreendimentos registrados no período, com uma capacidade instalada de 1.918.352 kW, concentrada majoritariamente nas regiões Sul e Sudeste do país. Destaca-se que, até 1950, não há registros de linhas de transmissão.

Figura 3. Empreendimentos de energia elétrica centralizada no Brasil em 1950



Fonte: Os Autores

3.2 EMPREENDIMENTOS DE ENERGIA ELÉTRICA CENTRALIZA EM OPERAÇÃO NO BRASIL EM 1980

Entre 1951 e 1980, o sistema hidrelétrico continuou em expansão (Figura 4). As UHE estavam distribuídas em 14 estados, com destaque para os estados de MG e SP; a usina de maior potência situava-se em Ilha Solteira (SP), com 3.444 MW. As PCH estavam presentes em 11 estados, também concentradas em MG e SP, com as maiores potências em Poço Fundo (MG) e Americana (SP), ambas

com 30 MW. As CGH abrangiam 13 estados, destacando-se MG, SP e Paraná (PR). Entre as décadas de 1960 e 1970, o Brasil investiu significativamente em geração hidrelétrica, principalmente nas regiões Sudeste e Sul.

As termelétricas também apresentaram crescimento. As movidas a biomassa, em sua maior parte abastecidas por bagaço de cana-de-açúcar, estavam presentes em 11 estados, com maior concentração de empreendimentos em SP. No entanto, as termelétricas de biomassa de maior potência eram movidas a licor negro (subproduto do processo de fabricação de papel e celulose) localizadas em Guaíba-RS (250,994 MW), Telêmaco Borba – PR (113,250 MW) e Belo Oriente – MG (100,000 MW).

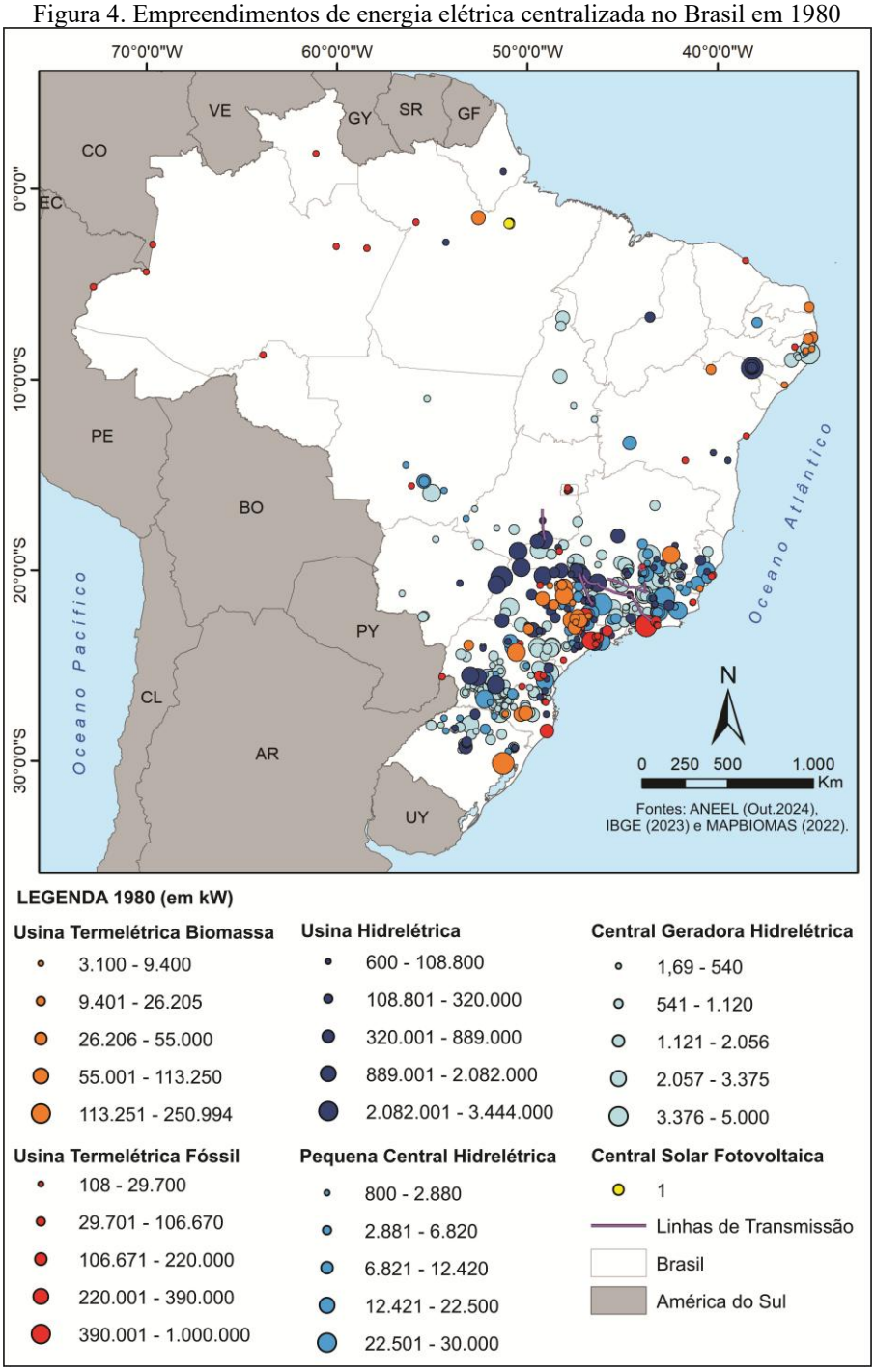
As termelétricas fósseis encontravam-se em 14 estados e Distrito Federal (DF), sendo a maior parte abastecida por óleo diesel, com concentração em SP. Contudo, a termelétrica de maior potência estava no RJ com 1.000 MW, movida a gás natural. Apesar de secundárias em relação ao sistema hídrico, desde então, as termelétricas desempenham uma função de apoio e segurança no sistema elétrico do país, atendendo regiões em que o sistema hídrico não é abundante ou viável, além de diversificar a matriz e assegurar o abastecimento em períodos de estiagem.

Além disso, destacam-se os primeiros registros da fonte solar fotovoltaica em 1961 e, posteriormente, em 1971, totalizando 20 registros, todos no município de Portel, Pará (PA), para uso da Equatorial Pará Distribuidora de Energia S.A., somando 20 kW. Observa-se que, nesse período, a tecnologia solar FV ainda estava em uma fase inicial e experimental, em virtude dos altos custos de produção e à baixa eficiência das células solares da época.

Devido à expansão do sistema hidrelétrico, com a construção de grandes empreendimentos, como, por exemplo, a usina de Furnas-MG (1.216 MW), em operação desde 1963, tornou-se necessária a construção de extensas linhas de transmissão para levar a energia até os centros urbanos e industriais. Nesse contexto, o período registrou as primeiras linhas de transmissão, em sua maioria com tensão de 325 kV, situadas principalmente na região Sudeste, com destaque para MG.

Nesse intervalo temporal, houve ainda a criação da Eletrobras (1961) e a primeira interligação entre as regiões Sudeste e Sul, em 1970 (Cyrino, 2019). A década de 1980 foi marcada por estudos e projetos para consolidar o Sistema Interligado Nacional (SIN), buscando integrar todas as regiões do país (MME, 2022). O total de empreendimentos de energia elétrica centralizada registrados nesse período foi de 454 unidades, com potência de 36.192.400 kW, concentrados nas regiões Sudeste e Sul, respectivamente.

Figura 4. Empreendimentos de energia elétrica centralizada no Brasil em 1980



Fonte: Os Autores

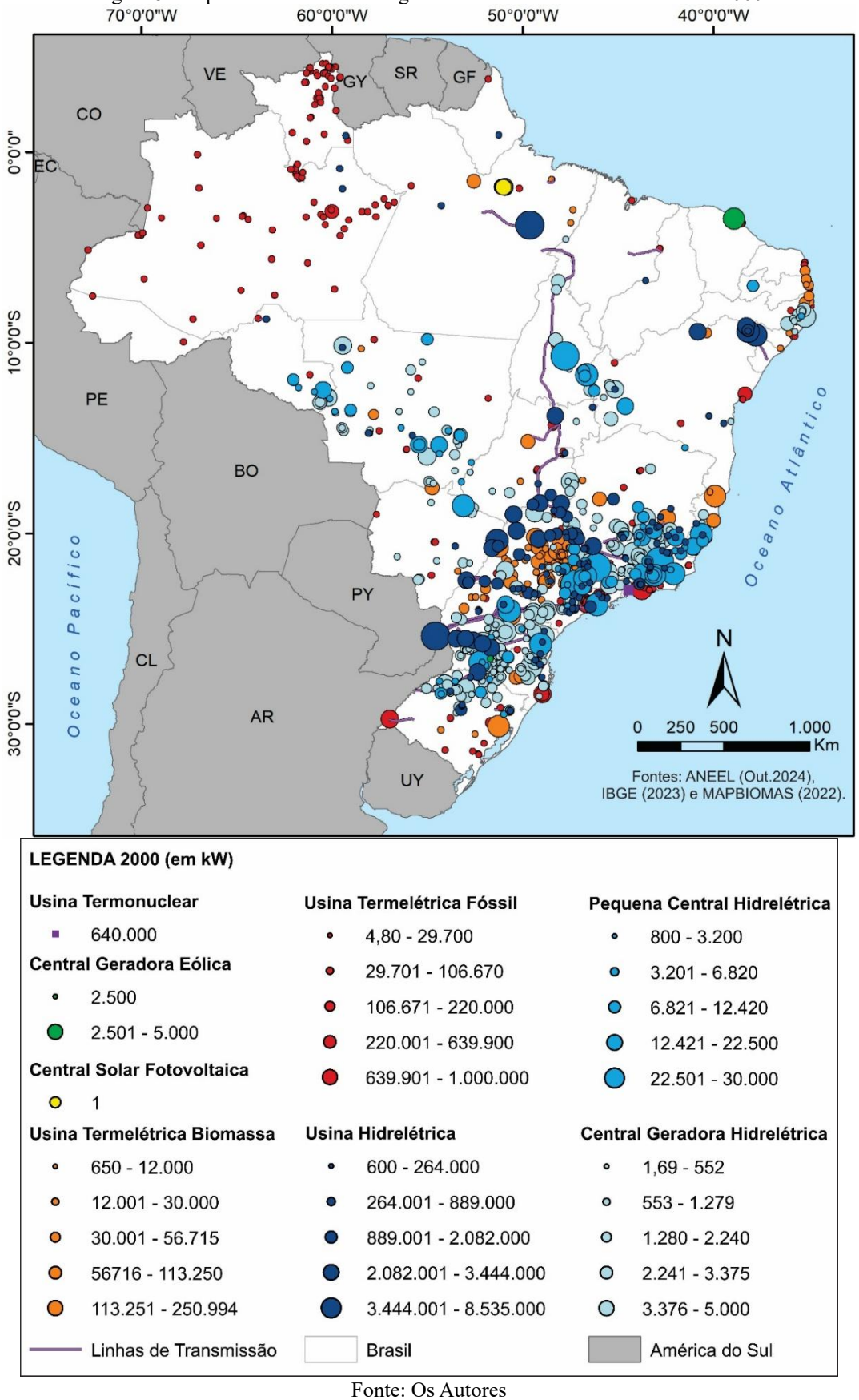
3.3 EMPREENDIMENTOS DE ENERGIA ELÉTRICA CENTRALIZA EM OPERAÇÃO NO BRASIL EM 2000

Entre os anos de 1980 e 2000, destaca-se a década de 1990, a qual segundo Carvalho (2023), ocorreu uma grande reestruturação do setor elétrico, inicialmente com a fragmentação, por parte da Eletrobras, das atividades de geração, transmissão e distribuição e, em um segundo momento, concedendo-se à iniciativa privada a responsabilidade de condução de muitas empresas,

principalmente na atividade de distribuição. Em 2000, cerca de 70% da distribuição de eletricidade do país se encontrava nas mãos da iniciativa privada (Carvalho, 2023).

Além disso, foi nesse período que se instituíram órgãos como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 1996, responsável por regular e fiscalizar as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no país; e, em 1998, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) criado com o objetivo de coordenar e controlar a operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no SIN, ambos os órgãos permanecem atuantes no setor até os dias atuais (MME, 2022).

Figura 5. Empreendimentos de energia elétrica centralizada no Brasil em 2000



Fonte: Os Autores

Na análise da Figura 5, observa-se o registro de duas instalações eólicas: a primeira em São Gonçalo do amarante, Ceará (CE) com uma potência de 5.000 kW (1998) e a segunda em Palmas (PR) com 2.500 kW (1999). Além disso, há a instalação da primeira usina nuclear no RJ, em 1980, com 640.000 kW. Os registros de solar FV permanecem em Portel (PA) para uso da Equatorial Pará Distribuidora de Energia S.A., agora com uma potência de 43 kW.

Nos anos 2000, é notório o número crescente de termelétricas fósseis em detrimento de termelétricas movidas a biomassa, com destaque para a região Norte. Nesse período, as primeiras somavam 292 unidades (4.360.320 kW), distribuídas em todo país, com exceção do estado de Sergipe (SE), sendo a maioria ainda abastecida por óleo diesel. Já as termelétricas de biomassa somavam 118 unidades com uma potência de 3.080.781 kW, e com presença em 15 estados, a maior parte abastecida por bagaço de cana-de-açúcar.

Quanto aos sistemas hídricos entre os anos de 1981 e 2000, houve crescimento, porém, não de forma expressiva sendo que as CGH somaram 298 unidades (300.414,60 kW), as PCH chegaram a 100 unidades e 639.325,17 kW e as UHE com 146 empreendimentos e potência de 66.285.875 kW. Vale ressaltar que as usinas de maior potência eram Tucuruí - PA (8.535 MW) e Itaipu-PR (7.000 MW, parte brasileira).

Nesse período o total de empreendimentos registrados foi de 1.044 unidades e uma potência de 75.764.276 kW, com maior concentração nas regiões Sul e Sudeste. As linhas de transmissão já apresentavam maior extensão, bem como linhas com tensão de até 765 kV, apesar de a maior parte possuir 230 e 345 kV, respectivamente. Destaque também para a interligação Norte e Nordeste, em 1981 e a interligação Norte e Sul, em 1999 (Cyrino, 2019).

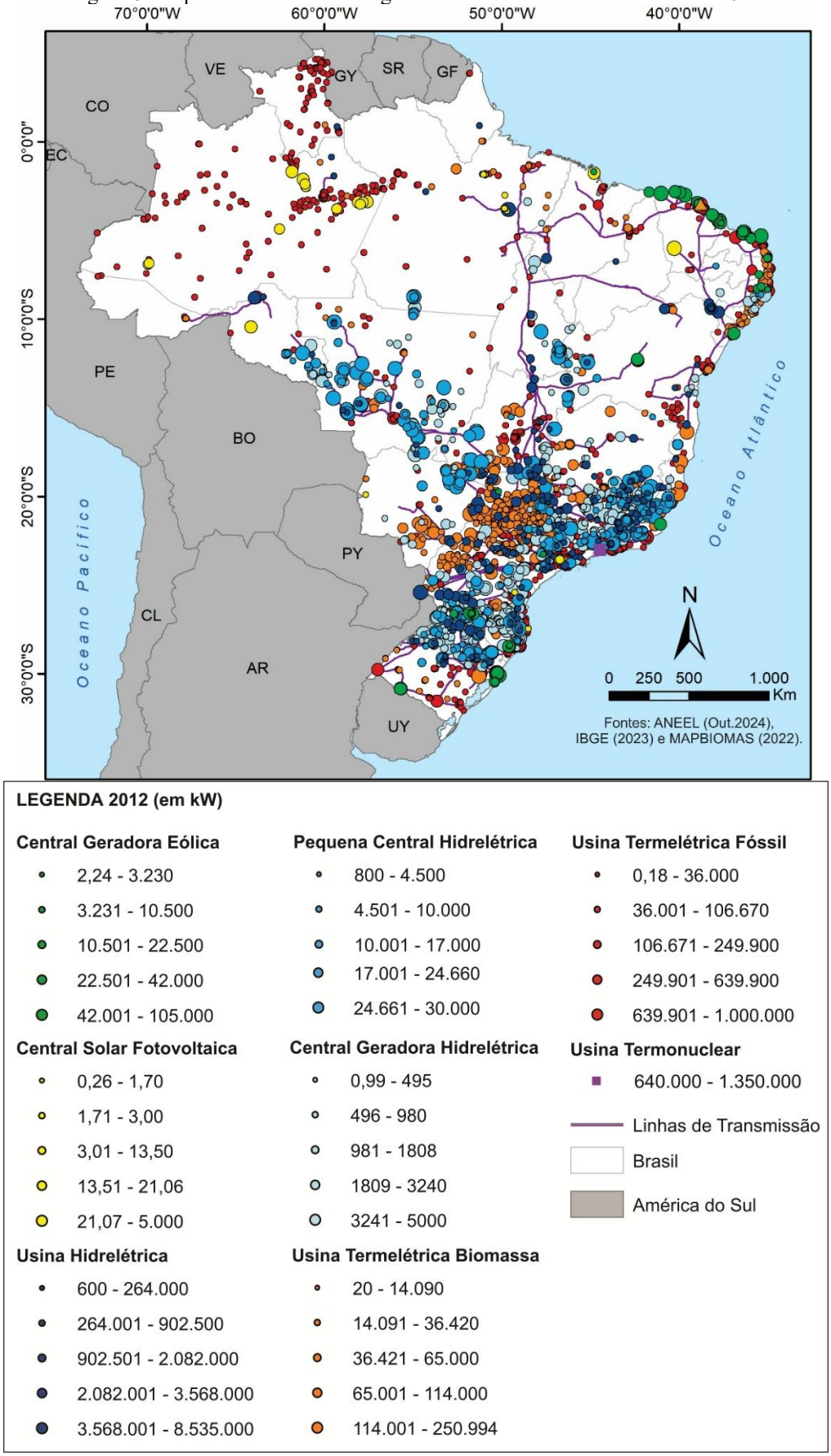
3.4 EMPREENDIMENTOS DE ENERGIA ELÉTRICA CENTRALIZA EM OPERAÇÃO NO BRASIL EM 2012

O período entre 2001 e 2012 apresentou eventos significativos para o sistema elétrico nacional. Em 2001, ocorreu a inauguração da segunda usina termonuclear, no RJ, com uma potência de 1.350.000 kW, além da maior crise no abastecimento entre 2001 e 2002. Ainda em 2002, ocorreu a criação da Lei nº 10.438 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa). Em 2003, foi criado o Programa Luz para Todos, responsável por levar energia elétrica a áreas rurais e comunidades isoladas.

Na Figura 6, é possível observar um cenário distinto do anterior, com a instalação de sistemas eólicos que somavam 82 empreendimentos (1.883.650 kW), concentrados principalmente na região Nordeste e Sul do país. Na região Centro-Oeste, verifica-se uma expansão de sistemas hídricos,

especialmente de CGH e PCH, enquanto, na região Norte, há uma concentração de pequenas termelétricas fósseis, além de algumas iniciativas de energia solar fotovoltaica com maior capacidade instalada.

Figura 6. Empreendimentos de energia elétrica centralizadas no Brasil em 2012



Fonte: Os Autores

Com relação a fonte de energia solar FV na forma centraliza, a primeira usina de geração em escala comercial registrada no Sistema de Informações de Geração da ANEEL foi inaugurada em 2011, quando a empresa MPX Energia, pertencente ao Grupo EBX, do empresário Eike Batista, instalou o primeiro parque fotovoltaico de grande porte no Brasil, com uma potência inicial de 1.000 kW, no município de Tauá (CE) (FUNDAJ, 2021). Atualmente, a usina possui uma potência instalada de 5.000 kW (SIGA ANEEL, 2024).

Destaca-se, ainda, o expressivo crescimento no número de instalações termelétricas, que chegaram a 420 unidades (11.063.924 kW) movidas a biomassa e 1.593 unidades (18.366.393 kW) movidas a combustíveis fósseis. Durante esse período, o número de empreendimentos de energia elétrica no país mais que triplicou, passando de 970, em 2000, para 3.118, em 2012. Esse aumento foi impulsionado, sobretudo, pela expansão das instalações de CGH, PCH e termelétricas fósseis.

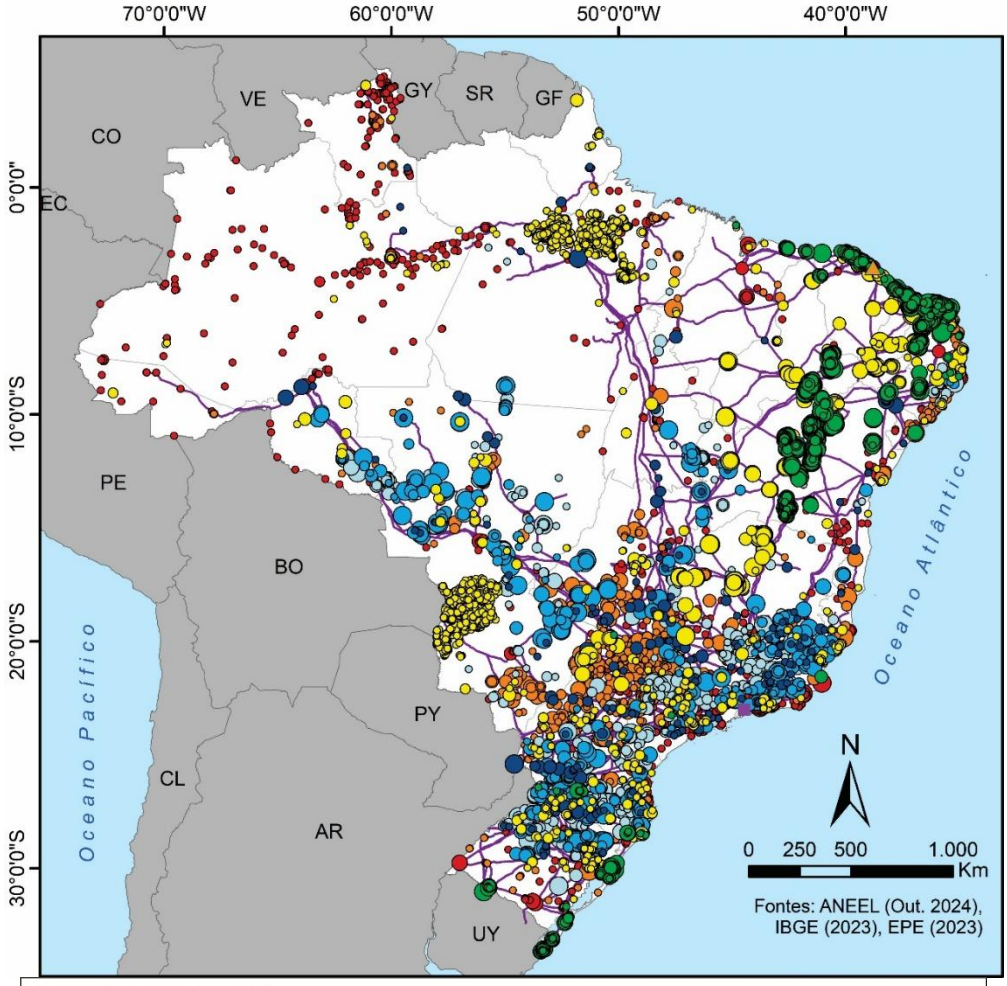
A capacidade instalada, entretanto, não acompanhou esse crescimento no mesmo ritmo. Ao final de 2012, o Brasil não registrava nem o dobro da capacidade instalada de 2000, totalizando 120.669.391 kW. As linhas de transmissão passaram por uma significativa expansão, integrando quase todos os estados do país em uma rede interligada. Ao todo, eram 609 unidades, das quais 376 operavam com tensão de 230 kV, enquanto 148 unidades apresentavam tensão superior a 500 kV.

3.5 EMPREENDIMENTOS DE ENERGIA ELÉTRICA CENTRALIZA EM OPERAÇÃO NO BRASIL EM 2024

A análise do período de 2013 a 01 de outubro de 2024, demonstra que a fonte de energia elétrica com maior crescimento foi a energia solar FV (Figura 7). Atualmente, esse sistema possui o maior número de instalações 16.822 unidades e uma potência total de 15.605.673 kW a maior parte desses empreendimentos possuem até 1kW (12.826 unidades). A fonte eólica também se consolidou nesse período, e soma 1.081 empreendimentos com uma potência de 32.023.553 kW, superando a potência instalada das termelétricas fósseis.

Mesmo com o crescimento acelerado das fontes alternativas, o sistema hídrico seguiu em expansão, assim como, as termelétricas. Apesar dos empreendimentos fósseis se sobressaírem, e hoje representarem 78,81% do total de termelétricas registradas, observa-se que as termelétricas de biomassa com apenas 641 unidades somam uma potência instalada de 17.581.785 kW, enquanto as de origem fóssil com 2.385 unidades somam 30.004.479 kW.

Figura 7. Empreendimentos de energia elétrica centralizadas no Brasil em 2024



LEGENDA 2024 (em kW)

Central Geradora Eólica
- 0,16 - 12.800
- 12.801 - 22.500
- 22.501 - 29.120
- 29.121 - 44.100
- 44.101 - 105.000

Central Solar Fotovoltaica
- 0,26 - 600
- 601 - 3.375
- 3.376 - 15.201
- 15.202 - 34.370
- 34.371 - 85.000

Usina Hidrelétrica
- 550 - 264.000
- 264.001 - 902.500
- 902.501 - 2.082.000
- 2.082.001 - 3.750.000
- 3.750.001 - 11.233.100

Pequena Central Hidrelétrica
- 800 - 4.700
- 4.701 - 9.300
- 9.301 - 15.400
- 15.401 - 23.000
- 23.001 - 30.000

Central Geradora Hidrelétrica
- 0,99 - 563
- 564 - 1.320
- 1.321 - 2.283
- 2.284 - 3.600
- 3.601 - 5.000

Usina Termelétrica Biomassa
- 15 - 15.000
- 15.001 - 38.100
- 38.101 - 71.500
- 71.501 - 175.100
- 175.101 - 409.307

Usina Termelétrica Fóssil
- 0,18 - 36.000
- 36.001 - 126.702
- 126.703 - 270.467
- 270.468 - 720.274
- 720.275 - 1.593.199

Usina Termonuclear
- 640.000 - 1.350.000

- Linhas de Transmissão
- Brasil
- América do Sul

Fonte: Os Autores

Com ênfase no sistema hídrico, é visível a concentração desses empreendimentos nas regiões Sul, Sudeste e mais, recentemente, sua expansão para o Centro-Oeste. Salienta-se que as UHE de maior porte hoje no país são: Belo Monte (11.233.100 kW) em Altamira e Vitória do Xingu (PA); Tucuraí (8.535.000 kW), em Tucuraí (PA); e Itaipu (parte brasileira) em Foz do Iguaçu (PR), com 7.000.000 kW.

Houve ainda um crescimento no número de CGH (677 unidades) quando comparado às PCH (428 unidades). Os estados com maior número de CGH são SC (185 unidades e 250.036 kW) e MG (134 unidades e 160.280 kW). Já as PCH se destacam em Mato Grosso (MT) com 69 unidades (1.119.608 kW) e MG com 65 unidades (774.479 kW). As usinas termonucleares se mantiveram em duas unidades, não sendo concluído o terceiro empreendimento que transita entre as fases de construção e paralização desde de1986.

As linhas de transmissão, totalizando 1.979 unidades, apresentaram uma significativa expansão, principalmente, nas regiões Nordeste e Centro-Oeste. Desse total, 1.228 possuem tensão de até 230 kV , enquanto 505 operam com tensões entre 500kV a 800kV. No Quadro 1, é possível visualizar o resumo dos empreendimentos para os os cinco períodos mencionados. Adicionalmente, há uma coluna dedicada aos empreendimentos que não possuem dados sobre a sua data de entrada em operação. Essas unidades e suas respectivas potências foram incluídas no somatório total do período de 1900 - 2024.

Adicionalmente, vale mencionar a produção de hidrogênio. Oliveira (2022), afirma que a estratégia de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) do hidrogênio no Brasil não é recente, com o início de fomentos a formação e o treinamento de recursos humanos ainda em 2002. No entanto, foi partir de 2021, em especial, com o lançamento do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) que esse sistema ganhou impulso no país. O hidrogênio é classificado conforme sua fonte de produção, sendo os principais: Hidrogênio cinza, derivado de fontes fósseis; hidrogenio verde, de fontes renováveis; e hidrogênio azul, considerado uma transição entre o cinza e o verde (GIZ, 2023).

Seguindo a tendência mundial de reduzir o uso dos combustíveis fósseis, o Brasil tem priorizado os projetos de produção de hidrogênio verde (H2V). Segundo Oliveira (2022) o Nordeste está se posicionando como um polo produtor de H2V, pois possui alto potencial para geração de energia eólica e solar, além da localização estratégica de seus portos para mercados europeus. Atualmente, além de projetos de P&D em escala piloto, há também projetos em escala industrial como o Hub de Hidrogênio Verde no Porto de Pecém (CE), projetos no Porto de Suape (PE) e no Porto do Açu (RJ), dentre outros (EPE/DEA/SEE, 2024).

Quadro 1. Crescimento temporal da potência de energia elétrica adicionada no Brasil

	1900 - 1950		1900 - 1980		1900 - 2000	
Fonte	**Unid.**	**Potência (kW)**	**Unid.**	**Potência (kW)**	**Unid.**	**Potência (kW)**
CGH	90	115.061	200	221.580	287	319.963
EOL					2	7.500
PCH	39	269.052	64	438.102	87	594.045
UFV			20	20	43	43
UHE	21	1.469.175	96	32.098.884	140	66.298.724
UTE BIO	2	64.000	30	1.013.152	118	3.080.781
UTE FOS	2	1.064	44	2.420.662	292	4.360.320
UTN					1	640.000
Total	**154**	**1.918.352**	**454**	**36.192.400**	**970**	**75.301.376**

	1900 - 2012		1900 - 2024		Data não especificada	
Fonte	**Unid.**	**Potência (kW)**	**Unid.**	**Potência (kW)**	**Unid.**	**Potência (kW)**
CGH	444	513.875	677	851.740	44	19.306
EOL	82	1.883.651	1081	32.023.554	5	11.706
PCH	291	3.985.810	428	5.832.305	2	14.722
UFV	92	5.442	16822	15.605.674	5	1.520
UHE	194	82.854.965	214	103.190.505	1	550
UTE BIO	420	11.063.924	641	17.581.785	34	486.473
UTE FOS	1593	18.366.394	2385	30.004.480	73	201.502
UTN	2	1.990.000	2	1.990.000	0	0
Total	**3119**	**120.664.111**	**22.250**	**207.080.041**	**164**	**735.780**

CGH - Centrais Geradoras Hidrelétricas; PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas; UHE - Usinas Hidrelétricas; UTE FOS - Termelétricas Fósseis; UTE BIO - Termelétricas Biomassa; UFV - Centrais Geradoras Solar Fotovoltaica; UTN - Usina Termonuclear; EOL - Centrais Geradoras Eólicas.
Fonte: os autores, com base em SIGA ANEEL (out. 2024).

4 CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi analisar as fontes, a distribuição territorial e a potência instalada dos empreendimentos de geração de energia elétrica centralizada no Brasil entre 1900 e 2024. Identificou-se que o predomínio da fonte hídrica no sistema elétrico é inerente à sua constituição, especialmente devido ao potencial dos rios nas regiões Sudeste e Sul. Mais recentemente, observou-se algumas explorações da região Norte e, de forma mais intensa, no Centro-Oeste, que apresenta potencial para empreendimentos de menor porte, como PCH e CGH.

Verificou-se ainda que, de 1900 até os anos 2000, a matriz elétrica evoluiu de forma lenta e com foco nas regiões Sudeste e Sul, utilizando majoritariamente fontes hídricas e termelétricas movidas a combustíveis fósseis e a biomassa. Entretanto, nas últimas duas décadas, intensificou-se a preocupação em ampliar a capacidade instalada e diversificar as fontes, visando suprir a crescente demanda por eletricidade e reduzir a dependência da fonte hídrica, de modo a tornar o sistema elétrico mais robusto e resiliente. Além disso, a partir desse período, buscou-se também melhorar o abastecimento nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Norte do país.

A primeira década do século XXI foi marcada pelo desenvolvimento de projetos e políticas públicas voltadas à diversificação das fontes de energia e à ampliação na potência instalada da matriz elétrica. Apesar disso, a maior parte das instalações ainda dependia de fontes tradicionais, como

hidrelétricas e termelétricas. As fontes alternativas renováveis, como a energia eólica e a solar FV, apresentaram um crescimento modesto nesse período. Foi na segunda década que essas fontes se consolidaram, impulsionadas pelos avanços tecnológicos e pela maior acessibilidade econômica de seus sistemas.

Dessa forma, a principal contribuição deste artigo reside na compreensão da evolução da matriz elétrica nacional a partir dos empreendimentos de geração, até resultar na sua estrutura atual. A combinação da análise temporal com o uso de sistemas geoespaciais permite uma melhor visualização das dinâmicas complexas do setor elétrico, especialmente em relação à sua distribuição no território, às fontes de energia utilizadas e à potência instalada. Além disso, o mapeamento geográfico desses empreendimentos possibilita identificar desigualdades regionais, bem como oportunidades de expansão para fortalecer a matriz elétrica no país.

No que diz respeito às limitações, destaca-se que este estudo analisou apenas os empreendimentos de geração de energia elétrica centralizada em operação. Assim, empreendimentos que deixaram de operar ao longo do período analisado não foram contabilizados. Além disso, este estudo não tem a pretensão de apresentar um panorama histórico detalhado do desenvolvimento da matriz elétrica nacional, mas sim uma análise temporal que destaca os principais marcos desse período, com ênfase na ampliação da capacidade instalada e na inserção de novas fontes de energia.

Para pesquisas futuras, sugere-se investigar os impactos socioambientais causados pela instalação das diferentes fontes de geração centralizada - hidrelétricas, termelétricas (fósseis e biomassa), termonucleares, eólicas e solar FV - considerando a análise de 1900 a 2024. Além disso, seria pertinente avaliar o potencial de expansão da geração centralizada no Norte e no Centro-Oeste, ainda pouco exploradas, levando em conta as restrições ambientais e logísticas dessas áreas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro na modalidade GD.

REFERÊNCIAS

AEEE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília/DF 2024. Disponível em: https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuariolivro/#sectionancoranotas. Acesso em: 23 out. 2024.

ANEEL. Relatório ANEEL 10 anos. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, DF. 2008. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876457/2008_Relatorio10Anos/3e6e6e85-c2d9-98a3-d5fb--7646289abdf0.

CARVALHO, C.C. Pequeno histórico do setor elétrico brasileiro. Instituto de Estudos Socioeconômicos (INESC). Brasília/DF, 2023. Disponível em: https://inesc.org.br/wp-content/uploads/2023/06/e_ssa-historico-setor-eletrico.pdf?x69356. Acesso em: 23 out. 2024.

CYRINO, R. Evolução do sistema elétrico e modernização do setor elétrico. Ministério de Minas e Energia. Brasília/DF, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/document-0-9109054738132774.pdf. Acesso em: 23 out. 2024.

EPE. Expansão da Geração: fontes. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília/DF, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes. Acesso em: 23 out. 2024.

EPE. Webmap EPE: linhas de transmissão - base existentes. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília/DF, 2023. Disponível em: https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/. Acesso em: 23 out. 2024.

EPE/DEA/SEE. Hidrogênio no Brasil: potencial técnico de produção de hidrogênio de baixo carbono no Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília/DF, 2024. Disponível em: https://gisepeprd2.epe.gov.br/arcgisportal/apps/storymaps/stories/68332aaa3fc64524a656583e1367daa3. Acesso em: 23 out. 2024.

FUNDAJ. Tauá no Ceará inaugura primeira usina comercial de energia solar do Brasil. Observa Fundaj: a questão energética Recife/PE, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/a-questao-energetica/taua-no-ceara-inaugura-primeira-usina-comercial-de-energia-solar-do-brasil. Acesso em: 23 out. 2024.

GIZ. Mapeamento do setor de hidrogenio brasileiro: panorama atual e potenciais para o hidrogênio verde. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Brasília/DF, 2021. Disponível em: https://energypartnership.com.br/fileadmin/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2g.pdf. Acesso em: 23 out. 2024.

GOMES, J. P. P.; VIEIRA. M. M. F. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. Revista de Administração Pública. Rio de Janeiro: FGV Ebape, n. 43 (2), 295-321, 2009.

IBGE. Bases Cartográficas Contínuas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Rio de Janeiro/RJ, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html. Acesso em: 23 out. 2024.

Informações arquivo .xlsx: Empreendimento, CEG, UF, Fonte, Fase, Origem, Tipo, Tipo de Atuação, Combustível Final, Entrada em Operação, Potência Outorgada (kW), Potência Fiscalizada (kW),

Garantia Fiscal (kW), Geração Qualificada, Latitude Decimal, Longitude Decimal, Início Vigência, Fim Vigência, Proprietário / Regime de Exploração, Sub-bacia e Município.

KONRAD, O.; FILHO, M. G.; LUMI, M.; HASAN, C. Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul: para produção de biogás e biometano. Lajeado: Ed. da Univates, 2016 Disponível em: https://www.sema. rs.gov.br/atlas-das-energias-renovaveis-rs. Acesso em: 23 out. 2024.

MAPBIOMAS – Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. São Paulo/SP, 2022. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/dados-de-infraestrutura/. Acesso em: 23 out. 2024.

MERCEDES, S. S. P.; RICO, J. A. P.; POZZO, L. de Y. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. Revista USP. São Paulo, n. 104, p. 13-36, 2015.

MME. Minas e Energia ao longo da história brasileira. Ministério de Minas e Energia. Brasília/DF, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mme/ptbr/assuntos/noticias/mme-lanca-encarte-com-marcosnas-areas-de-minas-e-energia-nos-ultimos-dois seculos/CartilhaBicentenarioFinal_compressed.pdf. Acesso em: 23 out. 2024.

OLIVEIRA, R. C. de. Panorama do hidrogênio no Brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Brasília/DF, 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf. Acesso em: 23 out. 2024.

PNE 2050. Plano Nacional de Energia 2050. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf. Acesso em: 23 out. 2024.

REIS, L. B. dos. Geração de Energia Elétrica. 3. ed. rev. amp. e atual.-Barueri: Manole, 2017.

SIGA. Sistema de Informação de Geração da ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília/DF, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de conteudos/relatorios-e-indicadores/geracao. Acesso em: 23 out. 2024.

SILVA, B. G. da. Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional: uma análise histórico e econométrica de longo prazo. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2011.