

FUTURO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Maria Ludmilla Campos de Moraes¹

Érico Veras Marques¹

Jocildo Figueiredo Correia Neto¹

¹Universidade Federal do Ceará

DOI: 10.47168/rbe.v30i2.866

RESUMO

A análise da Matriz Elétrica Brasileira (MEB) despertou o interesse acadêmico após a crise hídrica de 2001, quando o governo federal, a iniciativa privada e a sociedade foram obrigadas a buscar alternativas para solucionar o problema. Essa crise hídrica no fornecimento de energia elétrica no Brasil resultou da composição eminentemente hidráulica da MEB, sujeita às condições climáticas. Apesar de ser fortemente renovável, a MEB apresenta característica não sustentável, por não garantir o atendimento da demanda do país nos períodos de estiagem. Diante desse contexto, a presente pesquisa investigou como se configura o futuro da MEB na perspectiva de profissionais ligados a esse setor. Para tanto, utilizou-se o método misto, envolvendo tanto o uso de dados quantitativos quanto qualitativos. A coleta dos dados deu-se em duas etapas: inicialmente, um *survey*, utilizando um questionário estruturado, com profissionais que atuam no setor de energia, e, posteriormente, entrevistas semiestruturadas com questões abertas formuladas a especialistas do setor, considerados de “notório saber”. O tratamento dos dados foi realizado por meio de estatística descritiva e de análise de conteúdo. Concluiu-se que o Brasil, assim como o restante do mundo, tem o olhar voltado para a transição energética por se tratar de um momento desafiador para a humanidade. Também ficou claro que o mesmo contexto está direcionando a MEB para a implantação de parques eólicos *offshore*, a disseminação da fonte solar por geração distribuída e a produção de hidrogênio verde em larga escala. O estudo contribui com o setor elétrico brasileiro por apresentar uma análise da composição da MEB, bem como descrever os fatores que favorecem e dificultam a sua transformação em uma matriz elétrica sustentável do ponto de vista do fornecimento de energia.

Palavras-chave: Matriz elétrica; Matriz energética; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The analysis of the Brazilian Electrical Matrix (BEM) aroused academic interest after the 2001 water crisis, when the federal government, the private sector and society were forced to look for alternatives to solve the problem. This water crisis in the supply of electricity in Brazil resulted from the eminently hydraulic composition of the BEM, subjected to climatic conditions. Despite being strongly renewable, BEM presents an unsustainable characteristic, as it does not guarantee the fulfillment of the country's demand during dry periods. Given this context, this research investigated how the future of BEM is shaped from the perspective of professionals who have knowledge about this industry. To this end, the mixed method was used, involving both the use of quantitative and qualitative data. Data collection took place in two stages: initially, a survey, using a structured questionnaire, with professionals who work in the energy industry, and, subsequently, semi-structured interviews with open questions to experts considered to have "recognized knowledge". Data processing was carried out using descriptive statistics and content analysis. It was concluded that Brazil, like the rest of the world, is focusing on the energy transition as it is a challenging time for humanity. It also became clear that the same context is directing BEM towards the implementation of offshore wind farms, the dissemination of solar sources through distributed generation and the production of green hydrogen on a large scale. The study contributes to the Brazilian electricity industry by presenting an analysis of the composition of the BEM, as well as describing the factors that favor and hinder its transformation into a sustainable electrical matrix from the point of view of energy supply.

Keywords: Electrical matrix; Energy matrix; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores do crescimento econômico de um país é o fornecimento de energia elétrica. Segundo Pereira e Silva Neto (2020), não se gera desenvolvimento econômico e há aumento da qualidade de vida da sociedade sem o fornecimento energético compatível com os níveis de crescimento. Os países desenvolvidos e aqueles em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, vêm estudando como planejar e implementar matrizes elétricas, que, simultaneamente, sejam sustentáveis do ponto de vista do fornecimento de energia elétrica e que não sejam poluentes.

Estudos desenvolvidos por Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), Bronzatti e Iarozinski Neto (2008), Carvalho (2009), Oliveira (2017), Costa (2017), Raimundo et al. (2018), Brito et al. (2019), Krell

e Souza (2020), Pereira e Silva Neto (2020, 2021) e Reichert e Souza (2021) constataram que a Matriz Elétrica Brasileira (MEB) é eminentemente hídrica. Tal fonte não é sustentável, pois, em períodos de estiagem, sua geração é comprometida, tornando-se necessário buscar alternativas de geração complementar, como, por exemplo, o uso de termelétricas. Ademais, a fonte hídrica, apesar de ser renovável, não se constitui propriamente uma fonte limpa, devido à extensão de degradação que provoca na fauna e na flora.

Pascon (2021) afirma que o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDEE) não está alinhado à necessidade de prover segurança e confiabilidade ao fornecimento de energia elétrica a custo baixo. O autor ainda acredita que o quadro hidrológico brasileiro sinaliza fadiga por apresentar reduzido volume de chuva, impactando o subsistema Sudeste/Centro-Oeste, responsável por 70% da capacidade de armazenamento do mercado energético nacional.

Diante disso, é importante identificar as políticas públicas que vêm orientando a configuração da MEB na visão de especialistas do setor de energia pela ótica da sustentabilidade, tanto no aspecto ambiental, quanto na garantia de fornecimento, e pela ótica renovável, ou seja, na capacidade do recurso de se renovar. Portanto, a questão para desenvolvimento desta pesquisa é: como se configura o futuro da MEB sob as óticas renovável e sustentável?

Para que a questão de pesquisa seja respondida, tem-se como objetivo geral analisar a percepção dos especialistas do setor sobre o futuro da MEB, nas dimensões renovável e sustentável. Com vistas a atender ao objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: (1) analisar os marcos regulatórios para o setor; (2) analisar as políticas de diversificação da matriz; (3) mapear as estratégias para uma matriz renovável; (4) mapear as estratégias para uma matriz sustentável; e (5) identificar as características da matriz elétrica para o futuro.

Quanto aos fins, a pesquisa tem caráter descritivo. Quanto à natureza, a pesquisa caracteriza-se como método misto, pois utiliza abordagens qualitativa e quantitativa (CRESWELL e CRESWELL, 2020). A coleta foi feita por meio de dados primários em duas etapas: aplicação de questionário estruturado e realização de entrevistas. O questionário, baseado em indicadores que caracterizam uma matriz elétrica renovável e sustentável, foi encaminhado para profissionais que atuam no setor de energia. As entrevistas, cujos roteiros foram baseados nos mesmos indicadores, foram realizadas com especialistas qualificados e reconhecidamente de “notório saber” sobre o setor elétrico. Os dados foram tratados por meio de análise de conteúdo e de estatística descritiva.

Este estudo está estruturado em cinco seções. A primeira é esta introdução, contendo o contexto, o problema de pesquisa e os

objetivos do estudo. A segunda seção apresenta o referencial teórico que embasa o assunto sustentabilidade, trazendo um breve histórico da evolução do setor elétrico brasileiro (SEB), ressaltando as fontes da Matriz Elétrica Brasileira, apresentando os principais marcos regulatórios do setor e finalizando com estudos empíricos anteriores. A terceira seção aborda os aspectos metodológicos, com destaque para a tipologia da pesquisa, o campo da pesquisa, os procedimentos e instrumentos de coleta de dados e as questões relativas à análise dos dados. A quarta seção apresenta a análise dos resultados e, finalmente, apresenta-se a última seção, que contém as considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados os conceitos que fundamentaram a realização do presente estudo, iniciando-se com a discussão sobre sustentabilidade, e especificando-se o desenvolvimento e a relação da sustentabilidade com a energia. Em seguida, é discutida a evolução histórica da Matriz Elétrica Brasileira (MEB), distinguindo-se as principais fontes energéticas no país, e elucidando-se os marcos regulatórios do setor. Ao fim, são destacados os estudos acadêmicos anteriores publicados sobre a MEB.

2.1 Sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade surgiu na Alemanha, e foi definido com o termo *nachhaltigkeit*, em 1713, originado da preocupação de se preservar os recursos naturais das florestas com foco na manutenção da fertilidade do solo, e, posteriormente, garantir o extrativismo florestal sem comprometer as gerações futuras (WIERSUM, 1995). Para se considerar algo sustentável, deve-se analisar a necessidade de consumo atual, projetar a necessidade futura de consumo e relacionar a forma como os recursos eram usados no passado, como estão sendo usados no presente e como serão usados futuramente (MARIANO et al., 2016). Como o conceito é definido de forma ampla, fica propenso a interpretações diversas, o que cria potencial para mal-entendidos (WIERSUM, 1995).

Para Gibson (2001, p. 9), “a sustentabilidade surgiu como três coisas: uma crítica, um conjunto de princípios que implicam objetivos positivos e um foco para estratégias de mudança”. O autor alega que a degradação ambiental contínua levaria não apenas ao esgotamento de recursos locais e a danos às funções ecológicas essenciais, mas também a efeitos globais cumulativos. Ele concluiu que o crescimento da população mundial apontava para um futuro preocupante, em um mundo que poderia não suprir as necessidades de toda a população.

O *Brundtland Report Our Common Future* (BRUNDTLAND,

1987) aborda duas preocupações que devem convergir: desenvolvimento (curto prazo) e meio ambiente (longo prazo). Especificamente, a sustentabilidade costuma ser considerada em três dimensões: social, econômica e ambiental. A ideia de sustentabilidade em três dimensões derivou do conceito *Triple Bottom Line* (ELKINGTON, 1997; KUHLMAN e FARRINGTON, 2010). Sob esse enfoque, o desenvolvimento sustentável deve respeitar a economia, o meio ambiente e a sociedade, estabelecendo metas de desenvolvimento para cada uma dessas três dimensões, de forma integrada e simultânea.

2.1.1 Desenvolvimento sustentável

No início da década de 1950, o conceito de desenvolvimento limitava-se à ideia de crescimento econômico, entendendo-se então que o desenvolvimento só ocorreria se houvesse crescimento econômico. Na década de 1970, constatou-se que a alta taxa de crescimento alcançada pelos países ocidentais não necessariamente se refletia em desenvolvimento, e ainda causava efeitos negativos para a humanidade e para o meio ambiente. Isso levou ao surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável (UDEMBA e TOSUN, 2022).

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu no início da década de 1970, com o nome “ecodesenvolvimento”, derivado da relação entre crescimento econômico e meio ambiente, após a publicação do Relatório do Clube de Roma, que pregava crescimento zero para evitar uma catástrofe ambiental (MAY et al., 2003). Segundo May, Lustosa e Vinha (2003), na tentativa de decodificar o *Brundtland Report*, identificam-se duas correntes sobre as interpretações para os preceitos ali explicitados. A primeira é a sustentabilidade fraca, em que não são reconhecidas as características de certos recursos naturais, e, pelo fato destes não serem produzidos, não poderem ser substituídos pelo homem. A segunda é a sustentabilidade forte, em que o progresso tecnológico é essencial para aumentar a eficiência na utilização dos recursos, sejam eles renováveis ou não. Entende-se, portanto, que as correntes divergem na forma como os recursos são utilizados.

O movimento, que acontece elegendo o desenvolvimento sustentável como base para orientar a relação do ser humano com o meio ambiente, vem impactando todos os países na construção dos postulados referentes ao assunto. Ademais, determina a elaboração da legislação ambiental dentro e fora do Brasil (PAPP, 2019).

Em 2015, chefes de estado e de governo se reuniram na sede das Nações Unidas para deliberar sobre os novos objetivos globais de desenvolvimento sustentável com agenda até 2030. O fórum em questão elaborou o documento “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, o qual reúne 17 objetivos

e 169 metas, contemplando as três dimensões do desenvolvimento sustentável (econômica, social e ambiental). Os objetivos e metas entraram em vigor em 1º de janeiro de 2016 e orientam as decisões até o ano 2030.

2.1.2 Desenvolvimento de energia sustentável

Tomando-se por base a relação entre desenvolvimento e a oferta de energia (KRISTJANPOLLER et al., 2018; KRELL e SOUZA, 2020), surge a necessidade de se discorrer conceitualmente sobre desenvolvimento de energia sustentável.

A Agência Internacional de Energia define energias renováveis como aquelas derivadas de processos naturais que, diferentemente dos combustíveis fósseis, detêm a capacidade de se renovar permanentemente (BIZAWU e AGUIAR, 2016). Sob esse enfoque, para que haja desenvolvimento sustentável, deve-se considerar a penetração de fontes renováveis de energia como uma opção aos combustíveis fósseis (NEMET et al., 2016). Portanto, o desenvolvimento de energia sustentável considera aquelas fontes que apresentam a característica primária de se renovar.

Na década de 1970, com a ameaça de escassez de petróleo, a preocupação com energia estava ligada unicamente ao fornecimento desse insumo para os meios produtivos. A partir dos anos 1980, as grandes nações compreenderam que, na verdade, o principal problema da oferta e consumo de energia estava ligado à preservação do meio ambiente (MAY et al., 2003). Os recursos de energia renovável são utilizados há milhões de anos, mas a noção da utilização e da gestão sustentáveis desses recursos é relativamente nova (GUNNARSDOTTIR et al., 2020).

As questões ligadas ao desenvolvimento de energia sustentável evoluíram e mudaram ao longo do tempo, espelhando o que ocorreu em relação ao desenvolvimento sustentável. Em princípio, focava-se na redução das emissões de gases de efeito estufa e da melhoria da qualidade do ar. Atualmente, o desenvolvimento de energia sustentável foca, também, os três pilares do desenvolvimento sustentável: economia, sociedade e meio ambiente. Portanto, o papel que a energia desempenha na promoção do crescimento econômico e do desenvolvimento social considera o aumento da demanda de energia e o esgotamento de fontes de combustíveis fósseis, a eficiência energética e uma transição para fontes renováveis (GUNNARSDOTTIR et al., 2021).

Os três pilares de sustentabilidade estabelecem inúmeros desafios ao processo decisório, porque devem ser representados no planejamento energético e abordar realidades como mudança climática e escassez de recursos. Os desafios são potencializados, já que a socie-

dade moderna tende a estimular o crescimento econômico, em detrimento do meio ambiente (GUDLAUGSSON et al., 2020).

No caso do Brasil, dada a maior participação de fontes renováveis não despacháveis na matriz elétrica, o Operador Nacional do Sistema (ONS) precisará de um planejamento mais complexo para transição da MEB. Entretanto, tal dificuldade pode estimular a busca por soluções de armazenamento de energia como opção para garantir a segurança do sistema (REICHERT e SOUZA, 2021). O principal benefício da diversificação da matriz elétrica será reduzir a geração de energia elétrica por fontes hídricas e térmicas, as quais, em 2020, representavam respectivamente 62,5% e 24,6% da capacidade instalada no país.

Importante ressaltar que fontes despacháveis são aquelas em que é possível controlar a geração de energia elétrica e existe a possibilidade de armazenamento, provendo eletricidade conforme a demanda. São exemplos de fontes despacháveis: hidrelétrica, biomassa, biogás e combustíveis fósseis.

É importante que aqueles que definem os diferentes programas de energia, políticas, estratégias e planos alternativos com vistas ao desenvolvimento do país trabalhem para tornar o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, foram criados indicadores com o objetivo de comunicar dados relativos a questões de energia e desenvolvimento sustentável aos que formulam as políticas e ao público, além de promover o diálogo institucional. Os indicadores também podem ser usados para monitorar o avanço das políticas anteriores e verificar as estratégias reais de futuro desenvolvimento sustentável (VERA et al., 2005).

2.1.3 Indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável

Segundo Gunnarsdottir et al. (2020), indicadores de sustentabilidade cuidadosamente selecionados podem fornecer informações valiosas para monitorar o progresso e informar políticos. Os autores classificam os indicadores por três óticas: (1) estrutura de cadeia causal, significando que é possível estruturar um problema em relações de causalidade, e, portanto, identificar causas e efeitos; (2) estrutura temática, significando tipos de estruturas comumente usadas e frequentemente associadas a metas políticas, utilizados no desenvolvimento de conjuntos de indicadores nacionais; e (3) estrutura da dinâmica do sistema, significando que por meio de uma abordagem sistêmica é possível investigar a dinâmica complexa do desenvolvimento de energia sustentável, bem como observar como afetam a entrega de resultados.

Gunnarsdottir et al. (2020) identificaram as características dos conjuntos de indicadores para o desenvolvimento de energia sustentá-

vel. De acordo com essa análise, a adequação dos conjuntos de indicadores existentes varia consideravelmente. No entanto, um conjunto de indicadores, denominado Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável (IEDS), atendeu a todos os critérios de avaliação estabelecidos, podendo ser considerado abrangente e robusto, além de garantir que as três dimensões do desenvolvimento sustentável sejam consideradas. Os autores afirmam que o IEDS visa possibilitar que os países avaliem seu progresso em direção ao desenvolvimento de energia sustentável, sem necessidade de comparar seus avanços com os de outros países.

O IEDS está, portanto, classificado nas três dimensões (social, econômica e ambiental), e, na versão final, reúne 30 indicadores. Estes são ainda distribuídos em sete temas, que por sua vez são subdivididos em 19 subtemas.

O IEDS na dimensão social mede o impacto que os serviços de fornecimento de energia causam ao bem-estar social. Quando o fornecimento de energia não está disponível e acessível a todos, acarreta pobreza, desemprego, impacta a educação, o desenvolvimento comunitário e a cultura, a transição demográfica, poluição e impactos à saúde.

O IEDS econômico mede como os padrões de consumo e oferta de energia, bem como a qualidade dos serviços no fornecimento de energia, afetam o avanço do desenvolvimento econômico, e como a situação do setor de energia no país pode melhorar as chances de desenvolvimento econômico sustentável a longo prazo.

O IEDS ambiental mede o impacto dos sistemas de geração de energia no meio ambiente, com o objetivo de determinar as tendências, sejam positivas ou negativas, na qualidade da terra, da água (rios e oceanos) e do ar.

É importante destacar que há outros indicadores utilizados, tais como o *energy trilema index* e o *energy architecture performance index*. Porém, estes não avaliam precisamente a situação do país quanto ao desenvolvimento de energia sustentável, pois comparam os países desconsiderando diferentes fontes de energia, disponibilidade das fontes e nível de industrialização. Como o IEDS considera as três dimensões que abrangem a sustentabilidade e leva em conta as condições de energia existentes no país avaliado, espera-se que o resultado seja mais robusto e permita melhor tomada de decisão para as políticas de desenvolvimento de energia sustentável.

2.2 Breve histórico da MEB

Para identificar e analisar a composição da Matriz Elétrica Brasileira (MEB), faz-se necessário percorrer a história da eletricidade no país, com o objetivo de entender a evolução e o planejamento.

No Brasil a história da energia elétrica teve início em 1879, por meio da concessão que D. Pedro II fez a Thomas Alva Edson para implantar o serviço de iluminação pública no Rio de Janeiro, quando foi inaugurada a Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II, atual Central do Brasil (JANNUZZI, 2007). A geração de energia elétrica começou com investimentos oriundos de proprietários de indústrias que precisavam garantir o fornecimento de eletricidade para suas produções. Com esse objetivo, em 1883 foi instalada em Campos-RJ a primeira unidade de geração de energia elétrica, uma usina termelétrica. Em 1889, entrou em operação a Usina Marmelos Zero, a primeira hidrelétrica de grande porte no país. Em 1899, o grupo *Light* instalou-se no Brasil, inicialmente em São Paulo, e posteriormente no Rio de Janeiro, resultado da disponibilidade de recursos estrangeiros para investimentos. Em 1907, com a Usina São de Fontes, a maior do mundo na época, consolida-se o capital estrangeiro no setor (GOMES e VIEIRA, 2009; SILVEIRA, 2018).

Em 1934, Getúlio Vargas promulgou o Código de Águas, primeiro marco regulatório do setor elétrico no Brasil. Em 1939, com o início da II Guerra Mundial e a delicada situação econômica do país devido à evasão de capital estrangeiro, o governo federal criou o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), responsável por todos os assuntos referentes ao setor elétrico. Iniciava-se, assim, o processo de instalação das grandes estatais para o fornecimento de energia elétrica (GOMES e VIEIRA, 2009). O setor elétrico brasileiro passou por duas grandes mudanças. Inicialmente financiada pelo capital estrangeiro, a MEB foi nacionalizada no processo de estatização que o governo conduziu a partir de 1964, com a criação das empresas federais de geração e das companhias estaduais de distribuição de energia elétrica. A segunda grande mudança deu-se com o processo de privatização, iniciado em 1995, revertendo o processo de nacionalização instalado anteriormente. Em 1996, foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com o objetivo de regular o setor elétrico, iniciando-se, portanto, o processo de divisão das atribuições da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS) (GOMES e VIEIRA, 2009).

As privatizações acarretaram a implementação de uma série de medidas que alteraram profundamente o setor elétrico, portanto o governo federal criou em 1998 o Operador Nacional do Sistema (ONS), com o objetivo de realizar a operação do Sistema Interligado Nacional (SIN). A Eletrobras perdia mais uma atribuição (GOMES e VIEIRA, 2009).

Em 2004 foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), retomando o planejamento centralizado do setor. A EPE está vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), com o fim de realizar estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energé-

tico, que inclui energia elétrica, petróleo e derivados e gás natural, carvão mineral, fontes renováveis e eficiência energética. Ainda em 2004, foi criada e começou a operar a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com o propósito de efetuar a contabilização e a liquidação financeira das operações realizadas no mercado de curto prazo (COSTA, 2017).

2.3 Fontes de geração de energia

Com base no que foi antes apresentado, este tópico apresenta as fontes de geração de energia elétrica disponíveis no país, elencando as respectivas especificidades.

A energia solar é responsável por boa parte das fontes de energia primária do planeta. Uma parcela da radiação solar fornece calor, outra forma os ventos, outra cria os potenciais hidráulicos dos rios (por evaporação e condensação) e outra forma as correntes marinhas. Os vegetais incorporam a radiação solar por meio da fotossíntese (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

Ao longo do tempo, a matéria orgânica oriunda dos restos de animais e plantas acumulou-se, formando as fontes fósseis de energia, a saber: petróleo, carvão mineral, gás natural e xisto betuminoso (GOLDEMBERG e LUCON, 2007). Além das fontes fósseis, são também fontes primárias de energia o urânio, o sol, o vento, os rios e mares, a biomassa e a geotérmica. As fontes primárias insumos para a energia final, como, por exemplo, a energia elétrica, denominada fonte secundária (CORREA e BENITE, 2019).

Portanto, energia pode ser obtida por meio da transformação de fontes primárias. O hidrogênio, por sua vez, é considerado fonte secundária, porque precisa ser produzido, e não é repostado pela natureza (EPE, 2021a).

Uma classificação que se faz das fontes de energia é quanto à sua capacidade de renovação. Essa tipologia as classifica, portanto, em não renováveis e renováveis. As fontes não renováveis de energia são, em termos pragmáticos, finitas. Para a maioria dessas fontes, a reposição na natureza é muito demorada, pois depende de processos que costumam durar milhões de anos sob condições especiais de temperatura e pressão (CORREA e BENITE, 2019).

As fontes fósseis caracterizam-se pela emissão atmosférica do dióxido de carbono (CO₂), gás metano (CH₄) e outras substâncias, por processos naturais e antropogênicos (causados pelo homem) (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

A energia nuclear, apesar de não renovável, é considerada por alguns fonte de energia limpa, por não produzir gases de efeito estufa, diferentemente das fontes fósseis, que são combustíveis, ou seja, precisam ser queimadas (EPE, 2021a).

Por sua vez, energia renovável é “todo tipo de energia que, de algum modo, retorna à sua origem no ciclo de transformações energéticas no qual se insere” (CORREA e BENITE, 2019, p. 22). As fontes renováveis de energia são repostas praticamente imediatamente pela natureza (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

O uso de fontes renováveis de energia não é novidade. Os primeiros usos dessas fontes datam de séculos atrás, por meio de moinhos de vento. Ao longo dos anos, as melhorias tecnológicas otimizaram o uso das fontes renováveis, em função da crescente demanda por alternativas energéticas sustentáveis (DUPONT et al., 2015). Algumas fontes renováveis apresentam variabilidade na geração de energia elétrica ao longo do dia ou do ano, configurando-se como fontes sazonais. Exemplos são a energia eólica, energia solar e energia hídrica. As fontes renováveis que não apresentam comportamento sazonal, ou apresentam menor sazonalidade, são biomassa, energia geotérmica e energia oceânica.

Observa-se, no entanto, que, com o aumento do aquecimento global, tem crescido o foco das pesquisas para a produção de hidrogênio verde, com o objetivo de atender a demanda energética a partir de fontes renováveis, intensificando-se a discussão mundial sobre a temática (NADALETI et al., 2021). O hidrogênio verde pode ser produzido em diferentes locais e ser transportado, além de ser armazenável em grandes volumes, atuando como uma reserva estratégica (GLOBAL GAS REPORT, 2020).

A figura a seguir evidencia a evolução da produção energética primária dividida em fontes não renováveis e renováveis, no Brasil, ao longo de 50 anos (1973 a 2022), conforme dados coletados junto ao Balanço Energético Nacional (BEN), disponibilizados pela EPE no sítio eletrônico <https://dashboard.epe.gov.br/apps/ben/>. Os dados estão expressos em 106 tep (tonelada equivalente de petróleo).

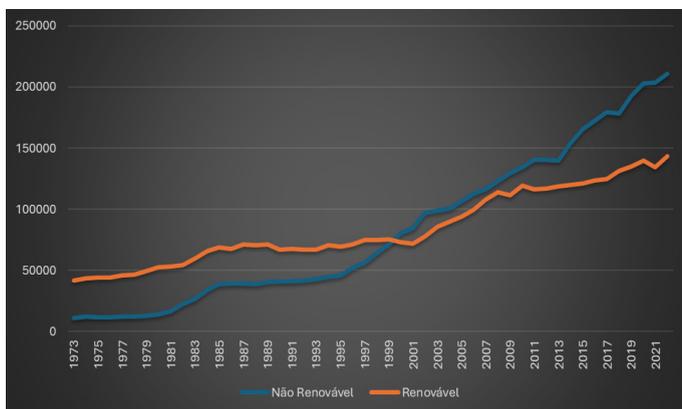


Figura 1 – Evolução da produção de energia primária no Brasil, por fontes não renováveis e renováveis, de 1973 a 2022

Nota-se um crescimento muito acentuado na produção de energia no Brasil ao longo desses anos. Ademais, percebe-se uma evidente inversão na participação no início dos anos 2000, quando a produção por fontes não renováveis ultrapassou as fontes renováveis.

2.4 Marcos regulatórios

Em virtude de haver regulação dos mercados energéticos por meio de marcos regulatórios, em especial o de energia elétrica, no presente tópico são abordados os principais marcos que regulam o setor elétrico brasileiro.

O marco regulatório é definido como um conjunto de normas, leis e diretrizes que regulam o funcionamento dos setores nos quais os agentes privados prestam serviços de utilidade pública. Os marcos estabelecem as regras para o funcionamento do setor, contemplando a fiscalização do cumprimento das normas por meio de auditorias técnicas, e estabelecem os indicadores de qualidade. A criação de um marco regulatório é fundamental para estimular a confiança de investidores e consumidores, e para o bom andamento do setor (IPEA, 2006).

No início, a utilização da energia elétrica no Brasil limitava-se a alguns serviços públicos e à atividade fabril, não havendo regulação específica para o setor. Existiam apenas algumas empresas de energia elétrica que ofertavam serviços públicos e eletricidade para fins fabris, que eram locais e independentes (GOMES e VIEIRA, 2009). Antes da década de 1930, as decisões sobre geração e expansão da capacidade instalada de geração eram comandadas pelo mercado. O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) era comandado por empresas privadas e estrangeiras capazes de tomar decisões em função do grau de rentabilidade que esse setor poderia lhes assegurar (MACEDO, 2016).

A histórica concentração da geração de energia elétrica por fonte hidráulica, fortemente dependente das variações climáticas, despertou a necessidade de implantar um sistema interligado de transmissão com despacho operacional centralizado das usinas geradoras, resultando o surgimento do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e do Sistema Interligado Nacional (SIN). Outro grande desafio do Brasil, no que tange ao suprimento de energia elétrica, está ligado à extensão continental do país. Por esse motivo, o SIN é composto por quatro subsistemas, denominados Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte, este último abrangendo apenas parte da região. A configuração do SIN resultou na desverticalização da indústria de energia elétrica, e compartimentação do setor de energia elétrica em quatro segmentos operacionais: geração, transmissão, distribuição e comercialização (CHAVES, 2017).

O SIN, modelo único no mundo, foi estruturado, portanto, pela dimensão continental do país, além de a MEB ter composição forte-

mente hídrica. A dependência das hidrelétricas provocou a necessidade de compensar, via sistema, os períodos de estiagem nas regiões mais secas, assegurando o fornecimento de energia elétrica.

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), criado em 2002, um marco regulatório importante, foi instituído com o objetivo de aumentar a participação de energia elétrica renovável e alternativa no SIN, fomentando projetos de produtores independentes autônomos de energia elétrica, concebidos com base em energia eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e biomassa (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, 2012).

Em fevereiro de 2019, um novo marco regulatório do setor elétrico começou a tramitar no Senado. O projeto dispõe sobre o modelo comercial do setor elétrico, a portabilidade da conta de luz e as concessões de geração de energia elétrica (CENTRO DE LIDERANÇA PÚBLICA, 2021).

2.5 Estudos anteriores sobre a MEB

A busca dos estudos anteriores sobre a temática estudada se deu no portal de periódicos CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, nas bases *Web of Science*, *Scopus* e *Directory of Open Access Journals* (DOAJ), nos últimos 20 anos. O objetivo principal da pesquisa bibliográfica é obter subsídios teóricos ou metodológicos que influenciam o desenvolvimento de hipóteses e as escolhas metodológicas (AQUINO et al., 2008). O critério adotado para a seleção dos oito artigos abaixo indicados foi a relevância, uma vez que os estudos abordam, sob algum aspecto, a característica, a história ou a evolução da matriz elétrica no Brasil. Foram selecionadas, também, duas dissertações de mestrado e uma tese de doutorado identificadas através das leituras dos artigos.

Na Tabela 1 apresenta-se a lista, em ordem cronológica crescente, dos estudos que trazem contribuição para esta pesquisa.

Tabela 1 – Estudos anteriores sobre a MEB

Autor (es)	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Mauricio T. Tolmasquim, Amílcar Guerreiro e Ricardo Gorini	2007	Apresentar uma prospectiva do setor energético brasileiro para o período 2005-30.	Análise documental com levantamento de dados históricos e dados de mercado.	Análise indica a necessidade de desenvolvimento de estudos e planejamento contínuo do setor.
Fabrizio Luiz Bronzatti e Alfredo Iarozinski Neto	2008	Projetar a capacidade de produção e a demanda para cada matriz energética.	Levantamento feito através de balanço energético simplificado para identificação das fontes de energia.	Petróleo e usinas hidroelétricas com desenvolvimento em curto-prazo e necessidade de investimentos. O gás natural tende a aumentar sua participação. A energia eólica e solar devem aumentar a participação na matriz energética brasileira.

Tabela 1 – Estudos anteriores sobre a MEB (cont.)

Autor (es)	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Joaquim Francisco de Carvalho	2009	Definir a sustentabilidade baseada na segunda lei da termodinâmica, desatrelando crescimento econômico do uso de recursos naturais.	Aplicação do princípio da precaução para o planejamento energético.	A tese demonstra que o Brasil tem condições de se tornar independente de fontes não renováveis.
Lucas Lyrio de Oliveira	2017	Definir a participação de cada fonte na geração de energia elétrica, em cada região do País, para que a demanda prevista pela EPE seja atendida.	Teoria moderna de portfólios.	Resultados foram comparados com os da matriz projetada pelo Plano Decenal de Expansão de Energia 2024.
Ana Thereza Carvalho Costa	2017	Analisar se os leilões de energia elétrica estão levando à construção de uma matriz estratégica, conforme o planejamento do setor.	Consolidação de todos os resultados de leilões de energia nova ocorridos entre 2005 e 2016, bem como os acréscimos programados pelo Plano Decenal de Expansão de Energia no mesmo período.	Evidenciou-se a correlação direta entre os leilões e o futuro da matriz elétrica brasileira, sendo esse um mecanismo fundamental para sua expansão.
Danielle Rodrigues Raimundo, Ivan Felipe Silva dos Santos, Geraldo Lúcio Tiago Filho e Regina Mambeli Barros	2018	Estimar as emissões de CO2 evitadas em decorrência do crescimento dos parques eólicos no Brasil no período compreendido entre 2001 e 2016, e do crescimento projetado até 2030.	Foram realizados cálculos das emissões de CO2 evitadas em três cenários, considerando variações na matriz elétrica ao longo dos anos e o fator de capacidade médio de geração eólica no país.	As emissões evitadas projetadas no período de 2017 a 2030 foram muito maiores do que as emissões evitadas históricas no período de 2001 a 2017. Credita-se ao fato de que a energia eólica no Brasil só começou a se tornar significativo em 2011.
Fabiano Baldez da Costa Brito, Jairo Lúcio Gomes Siqueira, Mariana Bachelar Turra, Marcos Antônio Cruz Moreira e Flávia Ribeiro Villela	2019	Analisar a evolução da participação das fontes de energia eólica e fotovoltaica (EFV) na matriz brasileira de geração de energia elétrica no período de 2013 a 2017.	Os dados utilizados foram levantados da ANEEL, utilizando métodos de Estatística Descritiva, tanto gráficos quanto de resumos numéricos, assim como métodos de normalização e de correlação de Pearson.	Constatou-se o aumento da participação dessas fontes de energia na matriz energética brasileira mesmo com as limitações climáticas ocorridas em determinadas estações.
Andreas Joachim Krell e Carolina Barros de Castro e Souza	2020	Analisar os aspectos jurídicos do panorama regulatório da matriz energética brasileira diante da preocupação da comunidade internacional com o meio ambiente, e com o questionamento se a matriz pode ser considerada "sustentável".	Análise documental dos marcos regulatórios do setor que abrangem o tema sustentabilidade.	Evidenciou-se que a divergência entre a legislação e a realização de políticas públicas viola os direitos fundamentais.

Tabela 1 – Estudos anteriores sobre a MEB (cont.)

Autor (es)	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Donisete da Silva Pereira e Romeu e Silva Neto	2020	Analisar a MEB.	Análise documental das bases ANEEL, MME, CCEE.	Confirma a exagerada dependência da matriz elétrica da fonte hídrica, principalmente hidrelétricas, e a necessidade de diversificação da MEB.
Bianca Reichert e Adriano Mendonça Souza	2021	Identificar as relações existentes entre as fontes geradoras brasileiras diante de cenários adversos.	Modelo de Vetor Autorregressivo (VAR) para identificar relações positivas entre fontes de energia, variáveis econômicas e aumento da tarifa de eletricidade.	Destaca a conhecida dependência entre as fontes hidroelétricas e térmicas, expondo os efeitos reversos dessa dependência, ampliando o uso de fontes não convencionais, como a biomassa e a energia eólica.
Donisete da Silva Pereira e Silva Neto	2021	Analisar estudos de temas relacionados à diversificação de fontes geradoras da MEB.	Estudo bibliométrico.	Identificou que, apesar de ocorrer uma breve movimentação em prol dessa diversificação, há necessidade de intensificar ações que promovam menor dependência entre a MEB e o uso dos recursos hídricos, confirmando a necessidade de a MEB ser diversificada.

Os estudos indicam que no início do século XXI o Brasil demonstrava preocupação com os destinos da matriz elétrica e, conforme Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), as economias que melhor se posicionassem quanto ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e de baixo impacto ambiental obteriam vantagens competitivas. Enfatizavam, ainda, que nas próximas décadas a questão se apresentaria como um desafio, porque o desenvolvimento econômico e social demandaria grande quantidade de energia com alto grau de sustentabilidade energética, e como uma oportunidade, porque o Brasil dispunha de recursos energéticos renováveis e tecnologias com capacidade para transformar suas riquezas naturais.

O artigo de Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007) já indicava a tendência de diversificação da matriz energética brasileira, ressaltando que em 1970 apenas duas fontes de energia (petróleo e lenha) respondiam por 78% do consumo total do país. Já em 2000, três fontes correspondiam a 74% do consumo (petróleo, lenha e energia hidráulica), e projetavam quatro fontes para atender 77% do consumo em 2030, que seriam petróleo, energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural. Destacavam uma redução da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira que em 1970 era superior a 58%, com predominância da lenha, caindo para 53% no ano 2000 e chegando a 44,5% em 2005. Entretanto, visualizavam que essa tendência possivelmente se reverteria a partir de 2010.

Bronzatti e Iarozinski Neto (2008) identificaram que nas regiões mais desenvolvidas do país boa parte do potencial hidráulico já havia sido aproveitado. Ressaltavam também que haveria o aproveita-

mento da Bacia Amazônica tentando preservar, na medida do possível, o meio ambiente. Os autores davam ênfase ao fato de o Brasil possuir uma das maiores reservas de urânio no mundo, além de dominar o processo de fabricação do combustível nuclear. Mas, indicavam que a exploração era incipiente e exigia investimentos em tecnologia de enriquecimento do urânio.

Bronzatti e Iarozinski Neto (2008) concluíram que o petróleo continuaria como principal fonte de energia pelo menos até 2020, bem como o crescimento do gás natural. Indicavam queda na participação da energia hidroelétrica em 2020, chegando a 80% do aproveitamento do potencial de geração com os 20% restantes sofrendo restrições ambientais quanto ao uso da fonte. Projetavam que a deficiência seria, então, suprida por outras fontes energéticas para geração de eletricidade, como por exemplo o gás natural, a partir de 2010, com relevância na geração de energia elétrica em usinas termelétricas. Já a partir de 2020, as fontes eólica e solar apresentariam maior maturidade e menor custo, e aumentariam a participação na matriz energética.

Carvalho (2009) sugere um comportamento inercial do consumidor, que reluta em adaptar suas necessidades a se ter maior acesso às fontes sustentáveis, o que reforça a exigência de contribuição por parte da administração pública, empresários, universidades e público em geral, no sentido de cooperar para a transição de uma matriz poluente para uma matriz sustentável. Reforça a necessidade de políticas públicas que não visem somente lucro, baseadas unicamente na minimização de custos e que também foquem na redução dos impactos ambientais e na emissão dos gases de efeito estufa (GEE). As políticas baseadas nos custos acabam definindo a direção da matriz elétrica do Brasil. O autor ressalta que uma vez que o país dispõe de fontes renováveis em abundância, não deve esperar que as condições ambientais se tornem mandatórias obrigando a transição de uma matriz insustentável para uma matriz sustentável de forma abrupta e não planejada.

Após oito anos do último estudo sobre a MEB, Oliveira (2017), usando a teoria de portfólios, fez um estudo comparativo entre a matriz elétrica projetada no Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (PDE 2024) e o resultado identificado nas composições de fontes para a matriz elétrica via teoria de portfólios. O estudo tem foco nos custos de implantação e de operação das fontes que compõem a matriz elétrica, considerando a disponibilidade da fonte primária e a região onde a geração será instalada. O autor conclui que as hidrelétricas diminuem a participação na matriz elétrica quando há menor tolerância ao risco e maior aceitação de alto custo médio. Quanto a redução de risco a fonte que ganha participação é a eólica, apesar de apresentar custo médio acima das hidrelétricas, mas com menor variabilidade.

Costa (2017), em sua pesquisa, conclui que o planejamento do

setor elétrico, iniciado no período entre 1945 e 1964, é imprescindível para um país de dimensões continentais como o Brasil. Naquele período implantou-se uma rotina de planejamento para o setor ao ser realizado o primeiro plano integrado de longo prazo. A autora constatou a posterior modernização do setor, que estabeleceu um novo modelo de alta complexidade, quando foi necessário reajustar o papel de algumas entidades já existentes, como a ANEEL, e criação de outras entidades para exercer novas funções, como a EPE. O novo modelo implementou inovações, e o principal instrumento para viabilizar a contratação de capacidade de geração de energia elétrica foram os leilões. É através dos leilões que se definem os projetos a serem implantados, bem como as fontes que comporão a matriz elétrica futura.

Costa (2017) identificou que existem grandes variações entre as versões do Plano de Desenvolvimento de Energia (PDE), demonstrando não uniformidade entre os estudos e os direcionamentos para o setor elétrico. Constatou que, apesar dos leilões serem eficientes na contratação de eletricidade para atender a demanda projetada, não conseguem indicar as fontes que comporão a matriz elétrica.

Raimundo et al. (2018) demonstram o benefício que a energia eólica traz para o meio ambiente no que tange à emissão de GEE, especialmente porque se tornou uma importante fonte de energia no Brasil. Os autores reforçam que o crescimento da fonte eólica é de extrema importância para a construção de uma matriz energética diversificada, limpa e renovável. Ressaltam, também, que o aumento global da temperatura aumentará a taxa de evaporação de água, impactando principalmente a região nordeste do país, que sofrerá nos períodos de seca quando as condições de vento são extremamente favoráveis, e que podem ser amplamente aproveitadas com implantação de usinas eólicas *onshore* e *offshore*.

Brito et al. (2019) destacam que a diversificação de fontes de energia, principalmente com as renováveis, é uma tendência mundial e atende o objetivo nº 7 da Agenda 2030. O Brasil se destaca no cenário mundial, pois tem atendido grande parte de sua demanda elétrica com fontes renováveis, com resultados superiores à média mundial. Reforçam que as energias eólica e fotovoltaica vêm crescendo fortemente em participação na matriz energética brasileira.

Os autores avaliam se a geração total de energia elétrica proveniente das fontes eólica e solar atende à demanda socioeconômica independentemente das condições climáticas, ou seja, se as variações na geração fotovoltaica são dependentes somente das condições climáticas ou se são afetadas também pelas condições socioeconômicas. Concluíram que a geração de energia elétrica através das fontes eólica e solar dependem, exclusivamente, das condições climáticas, aspecto que deve ser considerado para composição da matriz.

Krell e Souza (2020) abordam o assunto da diversificação da

matriz elétrica brasileira sob a ótica do Direito Administrativo. Destacam que a geração de energia elétrica depende dos recursos naturais. Por se tratar de um bem imprescindível, o Estado se incumbiu da regulação da geração, controle e distribuição dos serviços de energia elétrica, que são considerados serviços públicos.

Entretanto, Krell e Souza (2020) observam que o Brasil possui fontes não renováveis em sua matriz, e que não há matriz energética ambientalmente sustentável. Ressaltam que a matriz elétrica do país é dominada pelas usinas hidrelétricas e constata a expansão das hidrelétricas, indicando que a geração de eletricidade caminha na contramão dos interesses socioambientais defendidos na legislação federal. Concluem a análise identificando que “as políticas energéticas nacionais não cumprem o dever de substituir gradualmente os combustíveis fósseis no âmbito do uso sustentável da biodiversidade”, quando desconsideram que as energias limpas são essenciais à matriz energética, portanto apresentando uma contradição entre a legislação vigente, o discurso político e as políticas públicas setoriais.

Pereira e Silva Neto (2020) observam que a MEB é composta essencialmente por hidrelétricas, provocando insegurança no abastecimento elétrico e, nos períodos de estiagem, exigindo a entrada das termelétricas para complementar o fornecimento de energia. As termelétricas, além de agredir o meio ambiente, por se tratar de fonte poluente, impacta a população usuária que se submete ao regime de bandeiras tarifárias: bandeiras verde, amarela e vermelha, que indicam que a energia custa mais ou menos a depender das condições de geração. Sob este enfoque defendem a diversificação da MEB, privilegiando, na sua composição, fontes renováveis.

Os autores reconhecem que a geração por fonte hídrica se caracteriza por ser renovável, mas não é uma fonte limpa e nem sustentável em função da perturbação que provoca na fauna e na flora. Além disso as hidrelétricas têm alto custo de implantação, processo de construção longo e estão localizadas em regiões distantes dos centros urbanos, exigindo altos investimentos na infraestrutura de transmissão. Destacam a preocupação com o país basear o desenvolvimento em fonte única e à mercê das condições climáticas.

Reichert e Souza (2021) verificaram as relações entre as principais fontes geradoras da matriz elétrica brasileira, analisando os efeitos diante de cenários adversos. Destacaram a conhecida dependência das fontes hidrelétricas e térmicas e expuseram os efeitos dessa dependência, com a necessidade de ampliação do uso de fontes como biomassa e eólica. Os autores dão como alternativa para reduzir essa dependência, e aumentar a segurança, a criação de políticas públicas que incentivem a expansão da energia solar.

Reichert e Souza (2021) sugerem a revisão e modernização das usinas termelétricas a gás natural já existentes, compensando a

instabilidade da fonte renovável por meio de fonte térmica de baixo carbono. Reforçam que o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) precisa, a longo prazo, implementar soluções de armazenamento de energia, diminuindo a dependência térmica da matriz brasileira e mantendo a estabilidade do fornecimento de energia elétrica.

Pereira e Silva Neto (2021) observam que o Brasil, com potencial de geração elétrica de diversas fontes, possui hoje uma matriz elétrica baseada predominantemente em hidroeletricidade. Considerada por muitos como uma fonte de “energia limpa”, as hidrelétricas do ponto de vista ambiental não podem ser consideradas uma solução ecológica e, diante disso, a geração de energia elétrica por fontes renováveis vem crescendo na composição da matriz elétrica brasileira.

Os autores concluem na análise que existe a necessidade de diversificar a matriz elétrica brasileira. Portanto, há uma forte tendência de que a matriz seja mais diversificada, constituída principalmente por fontes renováveis de energia. A diversificação é vislumbrada como um elemento estratégico necessário para aumentar a confiabilidade do sistema, garantindo maior sustentabilidade, segurança e eficiência. O principal obstáculo que deverá ser superado para atingir o objetivo de diversificar a MEB será estabelecer e implantar políticas públicas que orientem o setor na direção do desenvolvimento sustentável.

Baseando-se nos estudos citados, identifica-se claramente a necessidade de diversificar a MEB baseada fortemente em hidrelétricas e compensadas pelas térmicas em períodos de estiagem. A diversificação da matriz deverá ter o objetivo de conduzir a transição energética requerida pela mudança climática que o planeta enfrenta, provocada pela emissão de carbono, tendo como consequência desastres naturais, comprometimento da produção agrícola e da sobrevivência das gerações futuras.

Esta pesquisa difere dos estudos anteriores quando prospecta, considerando a visão de especialistas do setor elétrico no Brasil, quais os possíveis direcionamentos que poderão ser dados às políticas públicas que regulam os órgãos competentes no sentido de diversificar e promover a sustentabilidade da MEB.

Portanto, este estudo poderá contribuir levantando questões que poderão e deverão ser consideradas para a construção de uma matriz elétrica limpa e sustentável. Limpa, no sentido de evitar a emissão de carbono, e sustentável no sentido de garantir o suprimento, independente das condições climáticas e sazonalidades.

3. METODOLOGIA

Quanto à natureza, a pesquisa caracteriza-se como mista, com perspectiva pragmática justificada por não estar comprometida com nenhum sistema filosófico e buscar várias abordagens para coletar e

analisar os dados. O método misto tem por objetivo integrar esses dados (CRESWELL, 2020). Em uma pesquisa científica, os tratamentos quantitativos e qualitativos dos resultados podem se complementar, enriquecendo a análise e as discussões finais (MINAYO, 1997).

Quanto aos fins, a pesquisa tem caráter descritivo. Tais pesquisas têm como principal objetivo avaliar e descrever características pertinentes à questão de pesquisa (COLLIS e HUSSEY, 2005). Segundo Gil (2007), a pesquisa descritiva tem por objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou estabelecer relações entre suas variáveis. Uma de suas principais características baseia-se na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados.

Quanto aos procedimentos, o presente estudo é definido como pesquisa de campo. As pesquisas de campo têm considerável grau de flexibilidade metodológica, não necessitando de padrões rígidos para sua elaboração, tratando com profundidade as características de um único grupo ou comunidade, além de não requerer equipamentos especiais para a coleta de dados, tornando-a mais econômica (GIL, 2007).

Os dados primários foram coletados em dois grupos. No primeiro, foi aplicado um *survey* junto a 40 profissionais do setor de energia, dos quais 18 responderam efetivamente. O período de envio e coleta dos dados se deu nos meses de maio e junho de 2023.

No segundo grupo, foram realizadas entrevistas com cinco especialistas do setor, considerados de “notório saber”. O principal critério para definir os entrevistados como notório saber foi a senioridade, já que todos os participantes tinham mais de 10 anos de atuação no setor elétrico. Ademais, a maioria participa de organizações como ANEEL, ABNT e CREA. Outras características indicativas de conhecimento no setor, são a formação acadêmica em nível de pós-graduação nacional e internacional, experiência profissional internacional e atuação em nível de diretoria de empresas do setor.

Ambos os conjuntos de dados foram levantados de forma virtual, sendo o *survey* por e-mail, via *Google Forms*, e a entrevista pré-agendada *online*, seguindo um roteiro predefinido.

O tratamento dos dados deu-se por meio de estatística descritiva e análise de conteúdo. A análise dos dados do *survey* baseou-se nos indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável e na relação que têm com os objetivos específicos. Tais indicadores são guias para o planejamento das matrizes energéticas dos países em todo o mundo.

No tocante às entrevistas, parte do método misto em que consiste a etapa qualitativa, utilizou-se a análise de conteúdo, que, segundo Bardin (2016), trata-se de técnicas de análise das comunicações que buscam obter indicadores que permitam inferir conhecimentos relativos às condições de produção/recepção dessas mensagens.

Como a análise de conteúdo é uma maneira de converter sistematicamente textos em variáveis numéricas, por meio de códigos pré-estabelecidos (COLLIS e HUSSEY, 2005), codificou-se a pesquisa com base nos objetivos específicos, de modo que cada um constituiu uma categoria de análise, possibilitando a qualificação e a quantificação dos dados, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Categorias de análise

Objetivo específico	Categoria
1 Analisar os marcos regulatórios para o setor	Transição energética
2 Analisar as políticas de diversificação da matriz	Hidrogênio verde
3 Mapear as estratégias para uma matriz renovável	Compensação ambiental
4 Mapear as estratégias para uma matriz sustentável	Geração distribuída
5 Identificar as características da matriz elétrica para o futuro	Armazenamento de energia

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O início desta seção é pela apresentação do perfil dos respondentes do survey. Segue com os resultados obtidos com o survey e com as entrevistas. É finalizada com uma síntese dos resultados obtidos nas duas etapas.

4.1 Perfis dos respondentes do survey e dos entrevistados

Dos 40 questionários enviados, obteve-se resposta de 18, constituindo-se no seguinte perfil: 15 (83,3%) do gênero masculino; distribuição homogênea entre as três faixas etárias; profissionais com elevado nível de escolaridade (mais da metade possui graduação universitária e 1/3 deles cursou mestrado); 55,5% dos respondentes atuam na iniciativa privada; 50,1% ocupam cargos de alta direção; e 38,9% têm mais de 20 anos de atuação no setor elétrico (Tabela 3).

Tabela 3 – Perfil dos respondentes

Gênero		Faixa etária		Escolaridade	
Feminino	3	20 a 40	6	Ensino superior	10
Masculino	15	41 a 60	6	Mestrado	6
Total	18	61 a 80	6	Outra	2
		Total	18	Total	18

Tabela 3 – Perfil dos respondentes (cont.)

Ocupação		Cargo		Experiência (anos)	
Iniciativa privada	10	Conselheiro	1	Menos de 5	2
Funcionário público	2	Coordenador	3	5 e 10	4
Autônomo	4	Diretor	5	10 e 15	2
Aposentado	1	Gerente	1	15 e 20	3
Empresário	1	Presidente	3	20 e 25	2
Total	18	Supervisor	2	Mais de 25	5
		Outro	3	Total	18
		Total	18		

A Tabela 4 apresenta os perfis dos cinco entrevistados.

Tabela 4 – Perfil dos entrevistados

Entrevistado	Nível de escolaridade	Cargo	Tempo de experiência no setor (anos)	Data da entrevista
E1	Engenheiro eletricista com pós-graduação	Secretário estadual	22	19/06/2023
E2	Engenheiro eletricista e engenheiro mecânico	Consultor de energia e membro de conselhos de administração de empresas públicas e privadas	57	06/06/2023
E3	Engenheiro civil	Empresário e membro de conselhos de administração de empresas privadas	28	09/06/2023
E4	Engenheiro mecânico	Presidente de conselho de empresa privada de geração de energia elétrica	45	12/06/2023
E5	Doutor	Presidente de empresa vinculada a órgão público	10	14/06/2023

Conclui-se que os participantes das duas etapas de pesquisa estão qualificados para avaliar a MEB com propriedade.

4.2 Resultados evidenciados a partir do survey

No que se refere ao primeiro objetivo (analisar os marcos regulatórios para o setor), identificou-se uma resistência à implantação de térmicas e de pequenas centrais hidrelétricas. Essa oposição indica que o setor pode estar posicionado contra a emissão de gases de efei-

to estufa e de uso de água para fins de geração de energia elétrica e estabilização do suprimento.

Quanto ao segundo objetivo (analisar as políticas de diversificação da matriz), identificou-se um ponto de divergência quanto a diversificar a matriz com fontes nuclear e hidrotérmica. Percebe-se uma divergência quanto à expansão da fonte hídrica ou da sua combinação com outras fontes, como biomassa e eólica, para dar estabilidade ao sistema. Conclui-se que as hidrelétricas não fazem mais parte da escolha do setor no sentido da diversificação da MEB.

Quanto ao terceiro objetivo (mapear as estratégias para uma matriz renovável), observou-se discordância quanto ao impacto ambiental causado pela fonte eólica. Também discordam da combinação de fontes e da utilização de pequenas centrais hidrelétricas para estabilizar o sistema. O resultado sugere que as fontes renováveis causam impacto ambiental e que o problema de suprimento de energia elétrica não deverá ser resolvido com a fonte hídrica.

No que tange ao quarto objetivo (mapear as estratégias para uma matriz sustentável), observou-se divergência quando se faz referência à sustentabilidade ambiental, ou seja, fontes renováveis causam impacto. No tocante à sustentabilidade do suprimento, as respostas indicam que a matriz não é sustentável e discordam do uso de hidrelétricas para estabilizar o sistema.

Quando ao quinto objetivo (identificar as características da matriz elétrica para o futuro), os resultados indicam que o Brasil tem a matriz do futuro, renovável e com baixa emissão de carbono. Não concordam com combinações que incluam as hidrelétricas, em especial de pequeno porte. Indicam, também, uma divergência quanto ao aspecto de descarbonização, porém a maioria concorda que a emissão de carbono será reduzida, apesar de não ser eliminada.

4.3 Resultados evidenciados a partir das entrevistas

4.3.1 Analisar os marcos regulatórios para o setor

O principal achado para esse objetivo está relacionado à necessidade mundial de proceder com a transição energética. Os entrevistados expuseram seus pontos de vista quanto à regulamentação do setor, e deram ênfase à atual necessidade de regulação, por causa do surgimento de novas fontes, como o hidrogênio verde, além da necessidade de expandir a geração de energia elétrica com usinas *offshore*.

Para que se esclareça, as usinas eólicas *offshore* são instaladas no mar, obtendo-se melhor aproveitamento da força do vento, porque este atinge maior velocidade e tem regime mais constante. Isso acontece devido à inexistência de barreiras.

4.3.2 Analisar as políticas de diversificação da matriz

O principal achado para esse objetivo está relacionado à produção de hidrogênio verde. O hidrogênio verde não será utilizado, a princípio, para geração de energia elétrica, mas será empregado para geração de outras fontes secundárias de energia, ou seja, será utilizado na matriz energética do país. Todos os entrevistados abordaram o assunto hidrogênio verde como alternativa à diversificação da matriz.

4.3.3 Mapear as estratégias para uma matriz renovável

Os entrevistados concordam que a MEB já é fortemente renovável. Entretanto, dois deles salientaram que o fato de a matriz elétrica ter característica renovável não exime o país de pensar em compensação ambiental, porque qualquer fonte geradora, mesmo renovável, vai gerar impacto social, econômico e ambiental. No mapeamento surge a necessidade de desenvolver tecnologias para captura de carbono.

4.3.4 Mapear as estratégias para uma matriz sustentável

O principal conceito que surgiu das entrevistas, correspondente a esse objetivo, foi o crescimento da geração distribuída. Todos enfatizaram que para a MEB ser sustentável pela ótica de fornecimento de energia, o Brasil terá que fazer opção por descentralizá-la, mesmo considerando o SIN uma grande vantagem para o país, em função das grandes distâncias para transmissão de energia elétrica.

4.3.5 Identificar as características da matriz elétrica para o futuro

O principal achado para atender a esse objetivo foi o fato de os entrevistados pautarem a necessidade de armazenar a energia gerada pelas fontes eólica e solar, consideradas fontes variáveis, opondo-se às despacháveis que geram ininterruptamente. Justificam que, como a fonte solar gera durante o dia e a fonte eólica gera com melhor desempenho à noite, há momentos de perda, porque não há consumo.

4.4 Relação entre respostas e objetivos

Estabelecendo-se uma relação entre as respostas do survey e as respostas das entrevistas na avaliação da MEB (Tabela 5), obtém-se uma síntese dos resultados da pesquisa.

Tabela 5 – Relação entre respostas e objetivos

Objetivo	Survey	Entrevistas	Conclusão
Analisar os marcos regulatórios para o setor	Discordam de geração com fontes fósseis, e o uso de PCH e CGH indicam que a regulação do setor caminhará no sentido de baixo carbono	Entendem que os marcos deverão ser analisados e adaptados às novas fontes geradoras de energia elétrica, sem privilegiar fonte fóssil ou hídrica	Convergem para a mesma visão, ou seja, regulação do setor sem uso de fontes fósseis e redução de uso da hídrica
Analisar as políticas de diversificação da matriz	Discordam sobre as fontes nuclear e fósseis concordam totalmente quanto ao hidrogênio verde, indicando que a diversificação da matriz será com fontes renováveis	A produção de hidrogênio verde figura como a principal alternativa de diversificação da Matriz Energética	Concordam totalmente que o futuro é o hidrogênio verde Sugerem, com pouca ênfase, a fonte nuclear, e concordam que as fontes fósseis deverão ser reduzidas
Mapear as estratégias para uma matriz renovável	Consideram a matriz brasileira fortemente renovável	Concordam que, mesmo com matriz fortemente renovável, o país precisa desenvolver tecnologias para captura de carbono	Concordam totalmente que o Brasil é um país com, potencialmente, praticamente 100% da matriz elétrica renovável
Mapear as estratégias para uma matriz sustentável	Concordam que a matriz é sustentável do ponto de vista ambiental. Quanto à sustentabilidade ligada ao fornecimento, concordam que, em razão da sazonalidade das fontes geradoras, a matriz não garante o suprimento	Sugerem que o país já percebeu que o rumo será investir em geração distribuída, reduzindo a distância entre geração e consumo. Esse é um caminho para garantir a sustentabilidade do suprimento	A pesquisa detecta a compreensão de matriz não sustentável pela ótica de suprimento, apesar de ser uma matriz sustentável pela ótica ambiental
Identificar as características da matriz elétrica para o futuro	Concordam em descarbonizar, e que fontes despacháveis, aquelas que não são dependentes dos aspectos sazonais, são benéficas para a matriz	Sugerem, para o futuro da matriz, o armazenamento de energia das fontes denominadas variáveis, ou seja, solar e eólica, garantindo o suprimento de energia e evitando desperdício do que pode ser gerado	Como o <i>survey</i> não aborda armazenagem de energia, esse aspecto não foi detectado pelos respondentes. Entretanto, tanto os respondentes quanto os entrevistados entendem que o país necessita de uma matriz sustentável pela ótica do suprimento

A partir destas análises, pode-se seguir para as considerações finais da pesquisa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O futuro da MEB está fundamentado estruturalmente na transição energética que o momento mundial exige, lastreado pelo imenso potencial de geração das fontes eólica e solar no Brasil, em especial no Nordeste. Em função dessa necessidade, existe um direcionamento no sentido de expandir a geração distribuída, visando reduzir os investimentos em infraestrutura de transmissão, além de garantir o fornecimento de energia elétrica às cinco regiões do país.

Observou-se, quanto aos marcos regulatórios (primeiro objetivo específico), que as regras e leis que forem definidas para a MEB deverão reduzir a geração de energia por fonte fóssil e reduzir o avanço das hidrelétricas, tendo como foco a transição energética.

Quanto às políticas de diversificação da matriz (segundo objetivo específico), os dois grupos discordam das térmicas. No *survey*, os respondentes discordam da fonte nuclear. Nas entrevistas, deixaram claro que as hidrelétricas, daqui em diante, não têm sentido, ou porque estão distantes dos centros de consumo ou porque a água deverá ser preservada para consumo humano e animal. Os cinco entrevistados citam o hidrogênio verde como a fonte do futuro, mesmo que não seja para fins de geração de energia elétrica.

Quanto à estratégia para uma matriz renovável (terceiro objetivo específico), há unanimidade nos dois grupos de que a MEB tem alta participação de fontes renováveis, atingindo 90% na sua composição. Entretanto, acreditam que as fontes fósseis permanecerão, mas com baixa emissão de carbono, por meio de tecnologia para captura de carbono.

Para o objetivo da estratégia para uma matriz sustentável (quarto objetivo específico), identificou-se que os dois grupos concordam com a sustentabilidade ambiental da matriz. Entretanto, ao abordar a sustentabilidade quanto ao suprimento, os dois grupos concordam que no Brasil ainda não é sustentável. Os entrevistados sugerem que o caminho será ampliar a geração distribuída, porque pode-se gerar próximo ao centro consumidor, reduzindo-se perdas e custos de transmissão.

Quanto ao quinto objetivo específico de identificar as características da matriz elétrica para o futuro, observou-se que se deve privilegiar fontes de baixo carbono, podendo ser eólica, solar, biogás, hidrogênio, nuclear ou qualquer outra, desde que não seja fóssil. O *survey* responde com fontes despacháveis, mas que não sejam as térmicas fósseis. Os entrevistados citam a necessidade de armazenar a energia excedente gerada em momentos em que o consumo é baixo, para que seja despachada em períodos de alto consumo ou em falhas no sistema.

Após contemplar e atingir todos os objetivos específicos, o

objetivo geral da pesquisa foi atingido, permitindo chegar a uma perspectiva ampla sobre a MEB na ótica de especialistas.

Conclui-se que a MEB é renovável, causa impactos ambientais independentemente da fonte, não é sustentável sob o aspecto de garantia de suprimento e não crescerá com a instalação de hidrelétricas. Existe dúvida quanto a seguir com fonte nuclear, apesar de limpa, e não concordam com as pequenas centrais hidrelétricas.

Este trabalho contribui com uma ótica diversa para o setor elétrico, já que discorre sobre o seu desenvolvimento e identifica o horizonte para o futuro da MEB, ressaltando a deficiência na garantia do suprimento de eletricidade para todas as regiões do país, e, por esse motivo pode ser classificada como não sustentável pela ótica do atendimento à demanda. Contribui para direcionar a academia, sinalizando quais as principais formações e qualificações exigidas pelo mercado de trabalho e orientando para as novas tecnologias em estudo no âmbito mundial. Contribui, também, para orientar as empresas que fazem parte da cadeia produtiva do setor, no sentido de se planejarem para aproveitar as oportunidades do momento riquíssimo que o país vive.

Dentre as dificuldades enfrentadas, destaca-se o acesso aos especialistas, atualmente dedicados a definir os marcos regulatórios da legislação ambiental, da utilização da costa para implantação de usinas eólicas *offshore* e da produção de hidrogênio verde, o que, pelo volume de trabalho necessário, os autores julgam ter sido o maior motivo da dificuldade na obtenção das respostas.

Ressalta-se que o assunto não se esgota com esta pesquisa. Ao contrário, está longe de ser encerrado, principalmente sob o olhar de gestão do setor elétrico, com o objetivo de pesquisar e sugerir alternativas de melhoria para incrementar a qualidade do atendimento a todas as regiões do Brasil, incluindo as mais remotas, abastecendo-as com preços acessíveis e atendendo aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

Finalmente, acredita-se que quanto melhor for o direcionamento das próximas pesquisas, maior será a contribuição ao setor elétrico, proporcionando alternativas para o acesso das comunidades mais carentes às condições mínimas que o suprimento de energia elétrica requer, e, quem sabe, reduzir as desigualdades sociais, problema secular no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARDIN, L. Análise de conteúdo. 3. ed. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BIZAWU, K.; AGUIAR, P. L. M. Energias renováveis e desenvolvimento sustentável: desafios e perspectivas para os países emergentes. *Conpedi Law Review*, v. 2, n. 4, p. 394-411, 2016.

BRITO, F. B. C.; SIQUEIRA, J. L. G.; TURRA, M. B.; MOREIRA, M. A. C.; VILLELA, F. R. Participação da geração eólica e fotovoltaica na matriz energética brasileira – 2013 a 2017. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 168-184, 2019.

BRONZATTI, F. L.; IAROSINSKI NETO, A. Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: Abepro, 2008.

BRUNDTLAND, G. Report of the World Commission on Environment and Development: our common future. New York: United Nations, 1987.

CARVALHO, J. F. O declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável. 2009. Tese (Doutorado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CENTRO DE LIDERANÇA PÚBLICA. O Brasil precisa flexibilizar sua matriz energética? Disponível em: <https://www.clp.org.br/nota-tecnica-novo-marco-regulatorio-do-setor-eletrico/>. Acesso em: 30 nov. 2021.

CHAVES, R. B. S. O trilema regulatório aplicado ao setor elétrico brasileiro: análise sociojurídica de disfunções sistêmicas. 2017. Dissertação (Mestrado em Direito, Estado e Constituição) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Direito, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

CORREA, N. B. O.; BENITE, C. R. M. Fontes renováveis de energia: uma abordagem interdisciplinar no estudo de física. Curitiba: Appris, 2019.

COSTA, A. T. C. Determinantes da matriz elétrica nacional: uma análise do planejamento do setor e a contratação via leilões. 2017. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Ed. Especial, v. 19, n. 1, p. 70-81, 2015.

ELKINGTON, J. Sustentabilidade, canibais com garfo e faca. São Paulo: M. Books do Brasil Editora, 2012.

GIBSON, R. B. Specification of sustainability-based environmental assessment decision criteria and implications for determining "significance" in environmental assessment. Disponível em: https://static.twoday.net/NE1BOKU0607/files/Gibson_Sustainability-EA.pdf. Acesso em: 4 jul. 2021.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

GLOBAL GAS REPORT 2020. BloombergNEF / InternationalGas Union / Snam 2020. Disponível em: https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-IGU-Snam-2020-Global-Gas-Report_FINAL.pdf. Acesso em: 2 jan. 2022.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Disponível em: https://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/2ANALISE_DO_MARCO_REGULATORIO_PARA_GERACAO_EOLICA_NO_BRASIL.pdf. Acesso em: 30 nov. 2021.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia renováveis: um futuro sustentável. Revista USP, São Paulo, n. 72, p. 6-15, 2007.

GOMES, J. P. P.; VIEIRA, M. M. F. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. RAP –Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 43, n. 2, p. 295-322, 2009.

GUÐLAUGSSON, B.; FAZELI, R.; GUNNARSDOTTIR, I.; DAVIDSDOTTIR, B.; STEFANSSON, G. Classification of stakeholders of sustainable energy development in Iceland: utilizing a power-interest matrix and fuzzy logic theory. Energy for Sustainable Development, v. 57, p. 168-188, 2020.

GUNNARSDOTTIR, I.; DAVIDSDOTTIR, B.; WORRELL, E.; SIGURGEIRSDOTTIR, S. Review of indicators for sustainable energy development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 133, 2020.

GUNNARSDOTTIR, I.; DAVIDSDOTTIR, B.; WORRELL, E.; SIGURGEIRSDOTTIR, S. Sustainable energy development: history of the concept and emerging themes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 141, 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. O que é? Marco regulatório. Desafios do Desenvolvimento, v. 19, n. 3, 2006. Disponível em: http://desafios.ipea.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2093:catid=28&Itemid=23. Acesso em: 24 jul. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Analytical frameworks for electricity security. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/search?q=electricity%20security%202021>. Acesso em: 3 jul. 2021.

JANNUZZI, A. C. Regulação da qualidade de energia elétrica sob o foco do consumidor. 2007. Dissertação (Mestrado em Sistemas Elétricos de Potência) – Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

KRELL, A. J.; SOUZA, C. B. C. A sustentabilidade da matriz energética brasileira: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, v. 11, n. 2, p. 157-188, 2020.

KRISTJANPOLLER, W. R.; SIERRA, A. C.; SCAVIA, J. D. Dynamic co-movements between energy consumption and economic growth. A panel data and wavelet perspective. *Energy Economics*, v. 72, p. 640-649, 2018.

KUHLMAN, T.; FARRINGTON, J. What is sustainability? *Sustainability*, v. 2, p. 3436-3448, 2010.

MACEDO, L. D. Formação e estruturação do setor elétrico brasileiro: dos anos de 1930 a 1950. *Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho*, v. 5, n. 2, p. 30-51, 2016.

MARIANO, J. D.; SANTOS, F. R.; BRITO, G. W.; URBANETZ JÚNIOR, J.; CASAGRANDE JÚNIOR, E. F. Hydro, thermal and photovoltaic power plants: A comparison between electric power generation, environmental impacts and CO2 emissions in the Brazilian scenario. *International Journal of Energy and Environment – IJEE*, v. 7, n. 4, p. 347-356, 2016.

MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

MINAYO, M. C. S. *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 1997.

NADALETI, W. C.; LOURENÇO, V. A.; AMÉRICO, G. Green hydrogen-based pathways and alternatives: towards the renewable energy transition in South America's regions – Part A. *International Journal Hydrogen Energy*, v. 46, n. 43, p. 22247-22255, 2021.

NEMET, A.; KLEMEŠ, J. J.; DUIC, N.; YAN, J. Improving sustainability development in energy planning and optimization. *Applied Energy*, v. 184, p. 1241-1245, 2016.

OLIVEIRA, L. L. Análise da matriz de geração de energia elétrica no Brasil: uma aplicação da teoria de portfólios. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PAPP, L. Regulação jurídica, meio ambiente e energia: desafios e oportunidades da geração distribuída em áreas urbanas. *Revista de Direito da Cidade*, v. 11, n. 3, p. 496-515, 2019.

PASCON, B. Brasil precisa repensar sistema elétrico para garantir segurança energética. *Canal Energia*, 13 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/artigos/53172742/brasil-precisa-repensar-sistema-eletrico-para-garantir-seguranca-energetica>. Acesso em: 20 jul. 2021.

PEREIRA, D. S.; SILVA NETO, R. Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão sistemática. *Meio Ambiente*, v. 3, n. 1, p. 2-21, 2021.

PEREIRA, D. S.; SILVA NETO, R. Matriz elétrica brasileira: uma análise na distribuição de geração da matriz elétrica. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 369-385, 2020.

RAIMUNDO, D. R.; SANTOS, I. F.S.; TIAGO FILHO, G. L.; BARROS, R. M. Evaluation of greenhouse gas emissions avoided by wind generation in the Brazilian energetic matrix: a retroactive analysis and future potential. *Resources, Conservation & Recycling*, v. 137, p. 270-280, 2018.

REICHERT, B.; SOUZA, A. M. Interrelationship simulations among Brazilian electric matrix sources. *Electric Power Systems Research*, v. 193, 2021.

SILVEIRA, P. G. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. *Opinião Jurídica*, v. 17, n. 33, p. 123-147, 2018.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos Estudos*, Cebrap, v. 79, p. 47-69, 2007.

UDEMBA, E. N.; TOSUN, M. Energy transition and diversification: a pathway to achieve sustainable development goals (SDG) in Brazil. *Energy*, v. 239, parte C, 2022.

VERA, I. A.; LANGLOIS, L. M.; ROGNER, H. H.; JALAL, A. I.; TOTH, F. L. Indicators for sustainable energy development: an initiative by the International Atomic Energy Agency. *Natural Resources Forum*, v. 29, p. 274-283, 2005.

WIERSUM, K. F. 200 years of sustainability in forestry: lessons from history. *Environmental Management*, New York, v. 19, n. 3, p. 321-329, 1995.