

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ROBERTA LOPES TEIXEIRA DE CARVALHO

**GERAÇÃO DISTRIBUIDA COMO PILAR DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA
BRASILEIRA**

RIO DE JANEIRO

2024

ROBERTA LOPES TEIXEIRA DE CARVALHO

**GERAÇÃO DISTRIBUIDA COMO PILAR DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA
BRASILEIRA**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do MBA de Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, Universidade Federal do Paraná.

Prof. Dr. Clodomiro Unsihuay Vila

RIO DE JANEIRO

2024

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COMO PILAR DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA

Roberta Lopes Teixeira de Carvalho

RESUMO

O setor elétrico enfrenta desafios significativos devido aos impactos das mudanças climáticas, especialmente em relação à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Estudos recentes e relatórios do Instituto Acende Brasil destacam a vulnerabilidade do setor, ressaltando a importância de adaptar a matriz energética para mitigar esses efeitos. No Brasil, onde a geração hidrelétrica é predominante, a redução da disponibilidade hídrica afeta diretamente a capacidade de geração e a infraestrutura de transmissão. A transição para fontes renováveis, como solar e eólica, é considerada uma resposta crucial, embora desafios como custos e coordenação entre geração e demanda devam ser enfrentados. Neste trabalho é abordado o papel da Geração Distribuída (GD) na transição energética, assim como a sua expansão, impulsionada pela redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos, oferece benefícios como menor necessidade de investimento em redes de transmissão e redução das perdas técnicas. No entanto, essa transição também traz desafios econômicos e financeiros, especialmente para as distribuidoras e consumidores não adotantes, destacando a necessidade de políticas e regulamentações adequadas, como o sistema de Net Metering.

Palavras-chave: Setor Elétrico. Transição Energética. Geração Distribuída. Mudanças Climáticas

ABSTRACT

The electric sector faces significant challenges due to the impacts of climate change, especially regarding the generation, transmission, and distribution of electricity. Recent studies, and technical reports from the Acende Brasil Institute, highlight the sector's vulnerability, emphasizing the importance of adapting the energy matrix to mitigate these effects. In Brazil, where hydroelectric generation is predominant, the reduction in water availability directly affects generation capacity and transmission infrastructure. The transition to renewable sources, such as solar and wind, is considered a crucial response, although challenges such as costs and coordination between generation and demand must be addressed.

In this paper, this work addresses the role of Distributed Generation (DG) in the energy transition, as well as its expansion, driven by the reduction in costs of photovoltaic systems, offering benefits such as reduced need for investment in transmission networks and reduction in technical losses. However, this transition also brings economic and financial challenges, especially for non-adopting distributors and consumers, highlighting the need for appropriate policies and regulations, such as the Net Metering system.

Keywords: Electric Sector. Energy Transition. Distributed Generation. Climate Change

1. INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro, estruturado em geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia, constitui-se como um componente vital da infraestrutura nacional, responsável por garantir o abastecimento energético em todo o seu território. Com uma matriz energética diversificada, composta por hidrelétricas, termelétricas, nucleares, eólicas e solares, o Brasil busca assegurar a segurança do suprimento, a universalização da distribuição e tarifas justas para os consumidores.

A complexidade desse sistema é evidenciada pela presença de diversos agentes públicos e privados, encarregados de regular e fiscalizar o setor. Nesse contexto, o Sistema Interligado Nacional (SIN) desempenha um papel fundamental, concentrando a maior parte da capacidade de produção e transmissão de energia, embora pequenos sistemas independentes atendam a demandas específicas na Região Amazônica.

No entanto, desafios significativos surgem diante dos fenômenos climáticos globais, que afetam diretamente a produção e distribuição de energia. Eventos extremos, como estiagens prolongadas e tempestades, representam ameaças à infraestrutura elétrica nacional, sobretudo devido à alta dependência de fontes hídricas na geração de energia. Diante desse cenário, a adaptação do setor elétrico torna-se uma prioridade, exigindo o desenvolvimento de estratégias resilientes capazes de enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Nesse contexto, a expansão da Geração Distribuída (GD) emerge como uma solução promissora para fortalecer a resiliência do setor elétrico brasileiro. A GD, caracterizada pela geração de energia próxima ao ponto de consumo, oferece uma série de benefícios, que vão

desde a redução das perdas técnicas e congestionamentos nas redes de transmissão até a diversificação da matriz energética e a mitigação dos impactos das mudanças climáticas. No entanto, sua implementação não está isenta de desafios, especialmente em um contexto de transição energética marcado pela descarbonização, descentralização e digitalização do sistema elétrico.

Este artigo propõe uma análise abrangente da expansão da Geração Distribuída no Brasil, explorando seus benefícios, desafios e impactos para o setor elétrico. Ao examinar o papel da GD na promoção da resiliência energética e na transição para uma matriz energética mais justa e sustentável, busca-se compreender seus impactos sociais e econômicos, que englobam a formulação de políticas públicas, aspectos reguladores, empresas do setor e outros interessados no futuro da energia no país.

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho é analisar o papel da geração distribuída no processo de transição energética no Brasil.

1.1.3 Objetivos Específicos

O presente trabalho busca:

- Descrever o setor elétrico brasileiro
- Analisar os efeitos das mudanças climáticas e da transição energética no setor elétrico nacional
- Analisar os desafios e oportunidades da Geração Distribuída no Brasil
- Apontar as contribuições do Marco Regulatório para a Geração Distribuída
- Pontuar os impactos sociais da Geração Distribuída no Brasil

2. ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

No Brasil, o setor elétrico é organizado em geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. São hidrelétricas distribuídas em 16 bacias hidrográficas, usinas térmicas e nucleares e, na última década, também usinas solares e eólicas.

Agentes públicos e privados regulam e fiscalizam o setor, de forma a garantir a segurança do abastecimento de energia, a universalização da distribuição e tarifas justas para os consumidores. Entre eles estão o Ministério de Minas e Energia (MME); O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS); e a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

Já a comercialização de energia é feita de duas formas: pelas distribuidoras, que atendem os consumidores residenciais e têm os preços regulados pelo governo; ou pelas comercializadoras, que são autorizadas a comprar e vender energia para os consumidores livres, que demandam em larga escala.

O Sistema Interligado Nacional (SIN), detém quase a totalidade da capacidade de produção de energia elétrica do país, com exceção de pequenos sistemas independentes localizados na Região Amazônica, que atendem a demanda residual.

Devido a sua complexidade, bem como à existência de restrições físicas e geográficas associadas à transmissão de energia elétrica em todas as regiões, o SIN foi subdividido em quatro submercados: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Norte e Nordeste. A disponibilidade de energia entre os diferentes subsistemas varia de acordo com as características hidrográficas de cada região, o que acaba refletindo na diferença de preços da energia no curto prazo (divulgados semanalmente pela CCEE – Câmara Comercializadora de Energia Elétrica).

Diferentemente de outros sistemas de redes, como saneamento e gás, a energia elétrica não pode ser armazenada, o que implica na necessidade de equilíbrio constante entre oferta e demanda. Portanto, toda a energia consumida deve ser produzida instantaneamente e, quando há desequilíbrios, mesmo que por frações de minuto, todo o sistema corre o risco de desligamentos em cascata, os chamados “apagões”. (ABRADEE – Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica, 2024).

No entanto, falhas no fornecimento de energia, como o episódio registrado em 2001 apontam a necessidade de diversificação da matriz energética. Neste contexto, a transição para fontes de energia limpa confere uma nova dinâmica de expansão do setor elétrico nacional, cujo objetivo é descarbonizar todos os processos de produção de bens e serviços para enfrentar o risco global das mudanças climáticas. Uma das principais medidas de descarbonização é a eletrificação verde das cadeias produtivas, ou seja, utilizar energia elétrica gerada por fontes renováveis em substituição a combustíveis fósseis, tais como carvão, petróleo e gás natural.

Com o crescimento da viabilidade econômica de pequenos geradores elétricos, dentre os quais, os geradores de fontes renováveis, apresenta-se de forma crescente um novo paradigma de operação dos sistemas elétricos: a geração distribuída (GD). A partir da descentralização crescente da geração, o que tem ocorrido em diversos países no mundo, as redes de distribuição passam a ter papel protagonista na operação do sistema, contrabalançando os efeitos intermitentes desses pequenos geradores e aumentando a qualidade do fornecimento de energia.

3. IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

As questões relacionadas às mudanças climáticas vêm trazendo transformações na produção da energia, nos hábitos de consumo, na economia, na legislação e, conseqüentemente, na forma de planejar o sistema energético. Nesse sentido, projeções climáticas e seus potenciais impactos estão sendo discutidos e avaliados no planejamento de longo prazo do setor, auxiliando no desenvolvimento de um sistema capaz de manter suas funções em cenários adversos. (Caderno Mudanças Climáticas: Resiliência e Adaptação do Setor Elétrico Brasileiro, EPE, 2024).

Em 2019, os desastres naturais resultaram em perdas econômicas globais de US\$ 229 bilhões. Projeções do Fórum Econômico Mundial indicam que até 2050 poderão ocorrer 14,5 milhões de mortes e US\$ 12,5 trilhões em perdas econômicas devido às mudanças climáticas.

No contexto específico do setor elétrico, os impactos das mudanças climáticas estão intrinsecamente ligados ao sistema como um todo, incluindo geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Estudos, como o de Yalew et al. (2020) e relatórios do Instituto Acende Brasil (2021), ressaltam que as vulnerabilidades variam conforme as características da matriz elétrica de cada país, sugerindo que mudanças no mix de tecnologias de geração possam mitigar esses efeitos.

No Brasil, as mudanças climáticas se manifestam principalmente por meio de eventos climáticos extremos, como estiagens prolongadas, ondas de calor e tempestades, além de alterações no regime hidrológico. Esses fenômenos representam ameaças diretas à infraestrutura do setor elétrico nacional. Com 53,4% da geração elétrica brasileira proveniente

de fontes hidrelétricas, conforme dados do Instituto Acende Brasil (2021) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), a redução da disponibilidade hídrica afeta a capacidade de geração e compromete as redes de transmissão.

O Plano Nacional de Adaptação (MMA, 2016) aponta que o Sistema Interligado Nacional possibilita a compensação natural dos efeitos dos impactos climáticos devido à interconexão do sistema de geração elétrica. Essa compensação proporciona ao sistema elétrico uma capacidade intrínseca de adaptação.

Como exemplos dessa capacidade, podemos citar a diversidade da matriz elétrica que implica em uma complementariedade natural da oferta de energia entre diversas fontes; o sistema de gerenciamento de despacho de energia centralizado em um órgão com abrangência nacional; a reserva de geração que, no caso de eventos conjunturais extremos, é acionada para a estabilidade da oferta de energia. (Caderno Mudanças Climáticas: Resiliência e Adaptação do Setor Elétrico Brasileiro, EPE, 2024)

Portanto, a resiliência do sistema elétrico brasileiro ocorre de forma integrada, considerando suas potencialidades e suas diversas estruturas e componentes relacionados à produção, geração, transmissão e consumo, de modo a atender o objetivo de fornecimento de energia elétrica de maneira segura e confiável.

FIGURA 1 – OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SISTEMA ELÉTRICO

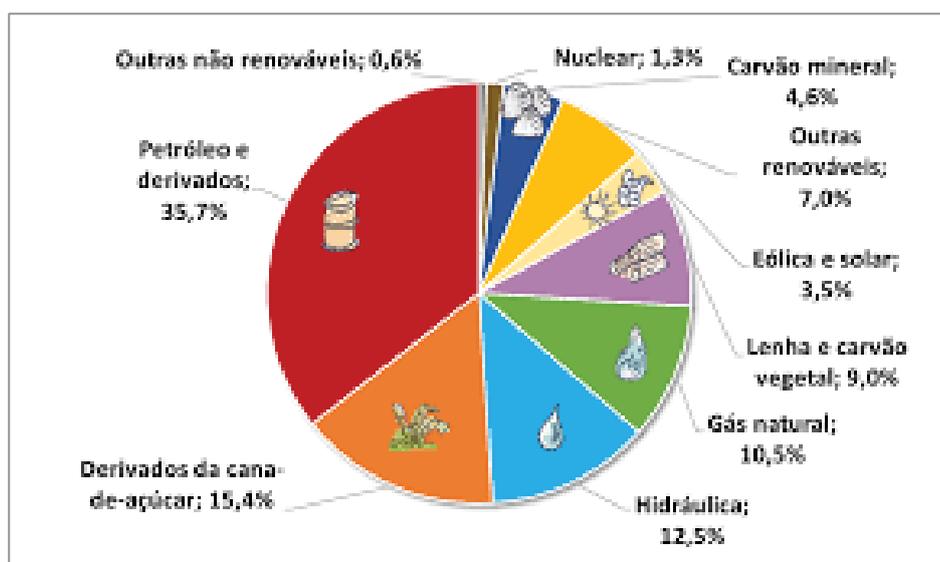


FONTE: EPE (2024)

Entre os potenciais impactos das mudanças climáticas no sistema elétrico nacional, destacam-se a disponibilidade de recursos, com variações nos padrões de precipitação e vazão, radiação solar, ventos que influem na oferta de recursos para a geração elétrica. Também se percebe maior demanda por eletricidade, uma vez que variações na temperatura resultam em aumento da necessidade por conforto térmico. Outro ponto a observar, é que mudanças climáticas reduzem a eficiência de equipamentos de geração e transmissão de energia elétrica e podem afetar infraestruturas, interferindo no fornecimento de energia.

Dessa forma, fica evidente que as mudanças climáticas têm implicações profundas e multifacetadas no fornecimento de energia elétrica no Brasil, destacando a necessidade urgente de políticas e investimento voltados para a adaptação e resiliência do setor frente a esses desafios.

FIGURA 2 – MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA



FONTE: EPE (2022)

A expansão da GD é crucial para tornar o sistema elétrico mais resiliente e confiável. Por se tratar de sistemas de geração de pequena ou média escala, próximos ao local de consumo, a GD possibilita a redução (i) da demanda por energia durante os picos de carga, (ii) das perdas técnicas e (iii) da congestão nas redes de transmissão e distribuição (NARUTO, 2017). Também oferece uma alternativa de fornecimento de energia nos períodos de alta demanda, complementando o fornecimento principal e aliviando a carga durante os picos de energia (NARUTO, 2017).

Além disso, a GD contribui para aumentar a capacidade total de geração e diversificar a matriz elétrica, reduzindo o impacto das alterações no ciclo hidrológico. Por estar próxima aos centros de consumo, a GD minimiza danos físicos às linhas de transmissão, que são vulneráveis a intempéries como ventos, tempestades e descargas atmosféricas, que podem interromper o fornecimento de energia. A proximidade da GD ao ponto de consumo não apenas reduz as perdas técnicas, inerentes ao transporte de energia por longas distâncias, mas também melhora a qualidade e a segurança do abastecimento de energia (NARUTO, 2017; TAVARES et al., 2018).

Portanto, conclui-se que os sistemas de armazenamento e geração distribuída, seja de forma individual ou combinada, desempenharão um papel vital no aumento da resiliência do setor elétrico.

Além disso, esses sistemas ajudarão a mitigar os impactos das mudanças climáticas, reduzindo as interrupções causadas por danos nas linhas de transmissão e aumentando a flexibilidade do setor, permitindo que o sistema elétrico se adapte a eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes.

3.1. PRINCIPAIS CRISES DE ABASTECIMENTO ELETRICO NO BRASIL

Apagão (ou blecaute) é uma interrupção temporária do abastecimento de energia elétrica para parte da população de uma localidade. Esse corte de energia está atrelado às questões estruturais, como sobrecarga do sistema elétrico; e/ou naturais, como a ocorrência de tempestades. Segundo levantamento da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), em 2023, o consumidor ficou 10,4 horas sem eletricidade, com cinco cortes de fornecimento no ano.

Em agosto, um apagão no sistema elétrico atingiu diversas as regiões do Brasil, deixando milhares de residências sem energia elétrica. Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), uma ocorrência na rede de operação do Sistema Interligado Nacional (SIN) interrompeu 16 mil megawatts (MW) de carga.

Ao longo das últimas décadas alguns apagões ocorreram no Brasil, seja por falta de geração de energia, ou falhas em sua transmissão. Destacam-se os episódios do blecaute em 1999 (conhecido como “Apagão de 1999”) e a crise de energia elétrica de 2001 (ROSA, 2002). Enquanto o blecaute atingiu 11 estados do Brasil e interrompeu o fornecimento de energia

elétrica no Paraguai por 15 minutos, o “apagão” atingiu 70% do território nacional, afetando 76 milhões de consumidores brasileiros. A crise de 2001 foi um colapso de fornecimento e distribuição de energia elétrica, que incluiu medidas governamentais de racionamento compulsório de eletricidade entre junho de 2001 e fevereiro de 2002.

Na época, o Governo Federal atribuiu a crise à escassez de chuvas. Em 2001, a geração hidrelétrica era responsável por mais de 90% do atendimento ao consumo de eletricidade. Em 2001, o sistema elétrico tinha uma capacidade instalada de 67 GW e um consumo anual de aproximadamente 300.000 GWh.

Segundo Rosa (2002), as verdadeiras causas da crise foram a falta de planejamento para reconhecer a tendência declinante dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas, falta de investimentos suficientes em geração para ampliar a capacidade instalada e diversificar a matriz elétrica e falta de investimentos em transmissão, o que aumentaria a capacidade de intercâmbio de eletricidade entre os subsistemas.

Em suma, a crise de 2001 ocorreu por falta de investimentos suficientes na expansão da geração elétrica. O consumo crescia mais do que a capacidade instalada. De 1980 a 2000, houve um crescimento de 170%, uma média de 5,0% ao ano. No mesmo período, a capacidade instalada aumentou 120%, média de 4,1% ao ano.

Apesar das externalidades negativas trazidas pela crise, esta evidenciou a necessidade de modificar a estrutura do setor elétrico brasileiro. Dessa forma, de acordo com Tolmasquim (2015), em 2003 se iniciaram as discussões sobre a reformulação da política energética, em especial, o mercado de eletricidade brasileiro.

A partir de então, após todos os trâmites burocráticos do Governo Federal (Conversão da Medida Provisória no 144, em Lei Ordinária no 10.848 de 15/03/2004) (BRASIL, 2004), houve a consolidação do Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro. Dentre os principais aperfeiçoamentos trazidos pelo novo Marco Legal, destacam-se:

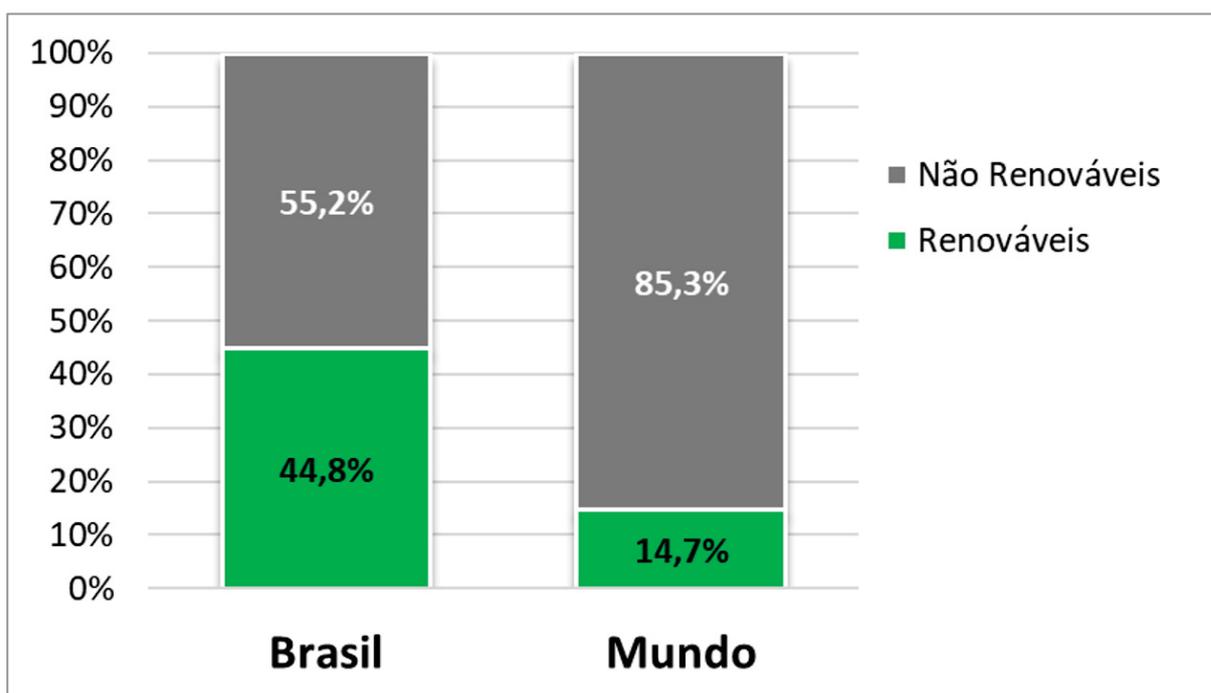
- Modificações no processo de comercialização, especialmente com a criação do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e do Ambiente de Contratação Livre (ACL);

- Criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que gerencia e fiscaliza o ACL;

3.2. TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

A matriz energética global, historicamente baseada em combustíveis fósseis como carvão e petróleo, tem gerado impactos ambientais significativos, incluindo mudanças climáticas evidentes, como o aumento do aquecimento global, causado pelo chamado "efeito estufa" decorrente das emissões de carbono. Diante desse cenário, surge a necessidade premente de uma transição energética, visando a substituição gradual dos combustíveis fósseis por fontes renováveis, em um movimento conhecido como "descarbonização da matriz energética". No Brasil, esse processo ganha destaque com a crescente adoção de fontes renováveis na geração de energia elétrica, com ênfase nas fontes eólica e solar.

FIGURA 3 – FONTES FÓSSEIS X FONTES RENOVÁVEIS NO BRASIL E NO MUNDO



FONTE: EPE (2022)

O debate sobre mudanças climáticas e descarbonização não é recente e remonta à década de 1970, impulsionado, em parte, pelo primeiro choque do petróleo em 1973. Organizações como a National Academy of Sciences, dos EUA, e a International Energy Agency (IEA), fundada em 1974, têm discutido a redução das emissões de CO₂ e a necessidade de mudanças na matriz energética global.

No Brasil, o avanço das mudanças climáticas e a crescente preocupação ambiental têm colocado a transição energética como tema central no debate sobre o futuro do setor energético. A necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa enquanto se garante a segurança do suprimento energético torna-se um desafio complexo. A expansão das fontes renováveis, como solar e eólica, é apontada como uma resposta para superar esses desafios, conforme recomendado pelo IPCC e reiterado no Acordo de Paris em 2015.

Entretanto, a transição para uma matriz energética baseada em fontes renováveis não está isenta de desafios. A intermitência da geração de energia, característica das fontes solar e eólica, implica em dificuldades na garantia da segurança do abastecimento. Além disso, a descentralização da geração de energia, especialmente com a popularização da Geração Distribuída Solar Fotovoltaica (GDFV), está mudando o papel tradicional do consumidor, transformando-o em um "prossumidor", que produz e consome energia de forma ativa.

A transição energética é caracterizada por três "Ds": descarbonização, descentralização e digitalização. Descarbonização refere-se à substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis. A descentralização representa a geração de energia mais próxima dos consumidores, com a popularização da GDFV. E a digitalização envolve o uso de tecnologias digitais para facilitar a gestão energética e torná-la mais inteligente. (REVOLUSOLAR, 2021)

Assim, a transição energética no setor elétrico brasileiro traz consigo desafios e oportunidades significativas, exigindo não apenas mudanças tecnológicas, mas também transformações organizacionais e institucionais adequadas para garantir a segurança do suprimento energético e promover uma transição sustentável para uma economia de baixo carbono.

3.3. IMPACTO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Frente às preocupações crescentes com as mudanças climáticas, expressas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), governos, empresas e consumidores têm se empenhado em reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, os altos custos associados à geração de energia a partir de fontes fósseis e a redução de incentivos para essas fontes têm impulsionado a busca por alternativas renováveis. Essas medidas convergem com os objetivos de desenvolvimento sustentável delineados na agenda 2030 da Organização das

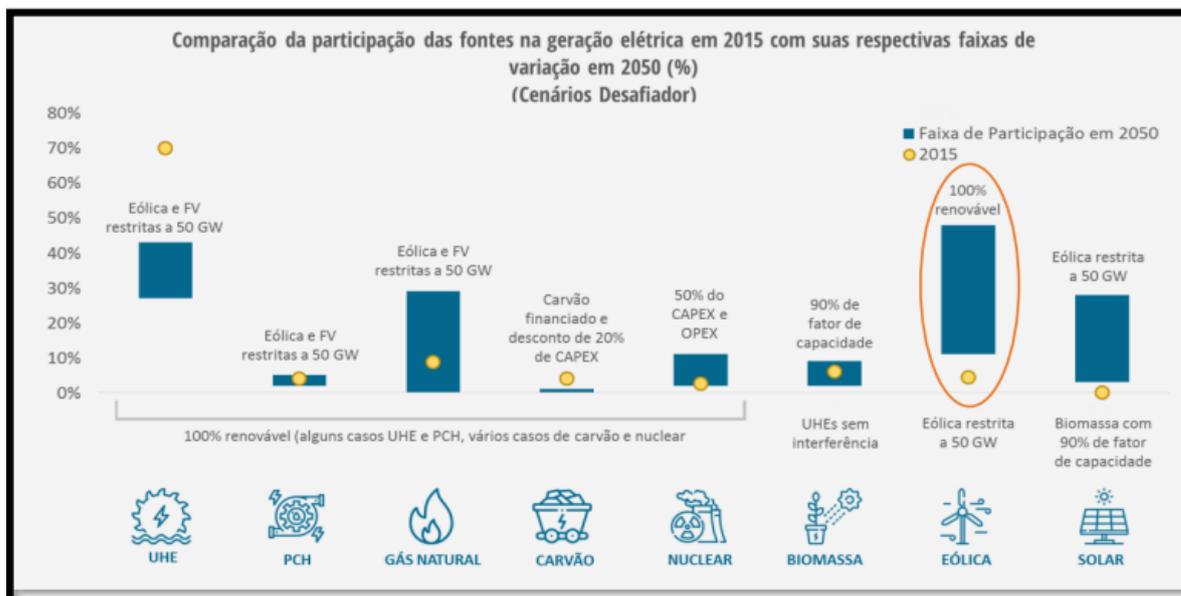
Nações Unidas (ONU) (CARTER; HULME, 2000; NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2022; EPE, 2021a).

No contexto nacional, o planejamento do setor elétrico é conduzido considerando horizontes de curto, médio e longo prazos, como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) desempenhando um papel central nesse processo. A transição energética, vista pela EPE, engloba diversos temas que impactam tanto socialmente quanto tecnicamente o setor elétrico, incluindo mudanças climáticas, inovações tecnológicas, digitalização, eficiência energética, desenvolvimento sustentável, fontes renováveis e eletrificação.

A eletricidade assume um papel crucial nesse cenário, não apenas como produto de fontes renováveis, mas também devido à sua crescente demanda, impulsionada pelo processo de digitalização. No entanto, o Brasil ainda carece de uma política integrada para a transição energética, que inclua não apenas a produção de energia renovável, mas também o fomento à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e a participação ativa da indústria.

Em resumo, a transição energética apresenta desafios, mas também oportunidades significativas para o país. A flexibilidade nos sistemas elétricos é fundamental, exigindo novos modelos de mercado e de negócios que sejam capazes de se adaptar às mudanças. No Brasil assim como em todo o mundo, modelos de negócios baseados na digitalização estão emergindo como forma de agregar flexibilidade aos sistemas elétricos e integrar tecnologias importantes para a transição energética.

FIGURA 4 – COMPARAÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DAS FONTES DE ENERGIA



A PNE 2050 mostra concentração de resultados das simulações (64) majoritariamente entre 80-90% de renováveis na geração elétrica. Cenário 100% renovável também foi simulado.

FONTE: EPE (2023)

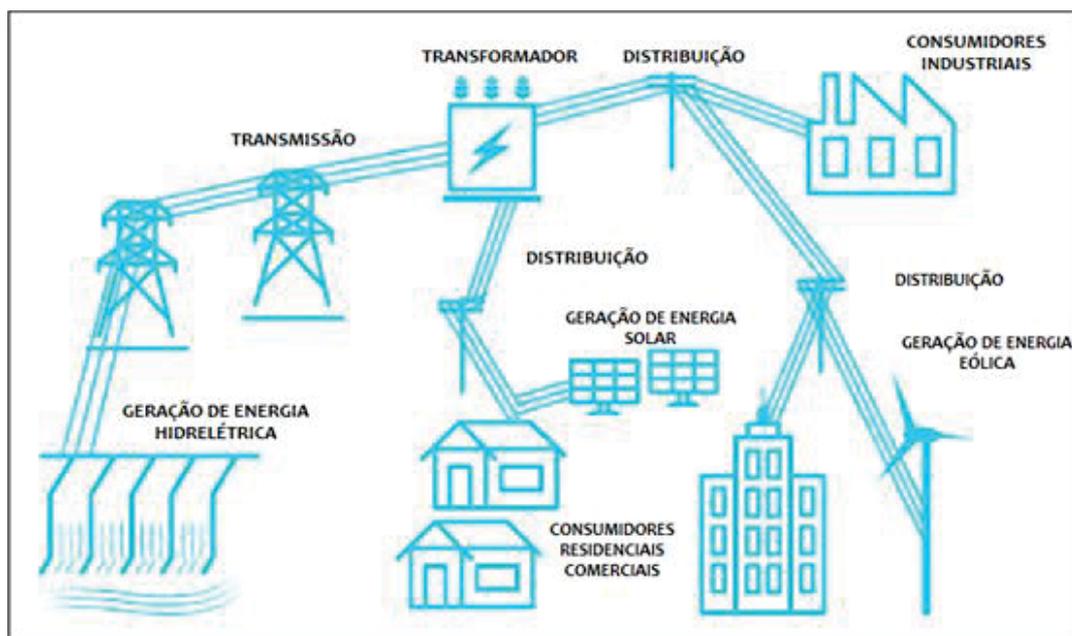
Os estudos de planejamento desempenham um papel crucial na definição de estratégias sólidas para a transição energética, apoiando a construção de modelos de mercado e um arcabouço legal e regulatório que promovam a flexibilidade, garantam a segurança energética, protejam o meio ambiente, estimulem o desenvolvimento socioeconômico e atraiam investimentos para uma economia de baixo carbono.

4. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DO BRASIL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

A geração distribuída (GD) permite a produção de energia elétrica no local ou próximo ao ponto de consumo, diferenciando-se da geração centralizada, que envolve usinas de grande porte conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN). A GD pode servir a uma única estrutura, como uma casa ou empresa, ou pode ser parte de uma micro rede, que é uma rede menor mas também está ligada ao sistema de distribuição de eletricidade maior. Quando conectada às linhas de distribuição de baixa tensão da concessionária, a geração distribuída pode apoiar o fornecimento de energia limpa e confiável para clientes adicionais e reduzir as perdas de eletricidade ao longo das linhas de transmissão e distribuição (ANEEL, 2017a).

As fontes utilizadas na GD incluem energia eólica, solar e biomassa, sendo a tecnologia solar fotovoltaica responsável por mais de 98% das instalações no Brasil. Na figura 5 é apresentado a localização da GD num sistema elétrico de potência.

FIGURA 5 – A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA



Fonte: ANEEL (2021)

O arranjo mostrado acima trata-se do que conhecemos como micro e minigeração distribuída de energia elétrica MMGD. Esses sistemas ainda são divididos em relação à potência:

- Minigeração distribuída: a refere-se aos sistemas de geração de energia ou cogeração qualificada que estejam conectados a uma rede de potência superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW (megawatts). Essas duas categorias possuem algumas diferenças peculiares, principalmente no quesito tensão de fornecimento e de participação financeira da distribuidora nos custos de adequação ou melhorias na rede.
- Microgeração distribuída: Refere-se a sistemas de geração de energia elétrica ou cogeração qualificada, onde nessa classificação de geração distribuída a rede é limitada à potência de até 75 kW (quilowatts).

A MMGD está se tornando protagonista da expansão da capacidade instalada no Brasil. Em 2023, a fonte solar distribuída superou a expansão de todas as fontes centralizadas. A MMGD também tem ganhado importância em termos de contribuição energética, atendendo cerca de 3% do consumo cativo nacional e a quase 10% em algumas distribuidoras do Brasil (EPE, 2024)

Segundo a Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD), o Brasil já conta com mais de 3,6 milhões de unidades consumidoras (UCs) utilizando geração própria de energia, incluindo residências, estabelecimentos comerciais e outros imóveis abastecidos por micro ou miniusinas, todas utilizando fontes renováveis.

A extensão territorial e as condições climáticas favoráveis do Brasil têm impulsionado o crescimento da GD, especialmente com a instalação de sistemas fotovoltaicos em residências, comércios e indústrias. Avanços tecnológicos e incentivos do poder público vem tornando a geração distribuída cada vez mais atrativa, resultando em queda nos custos de aquisição, instalação e manutenção dos equipamentos.

No debate sobre os rumos da GD no país, surge um argumento contrário ao modelo atual, apontando que ele beneficia os mais ricos em detrimento dos mais pobres, uma espécie de "Robin Hood às avessas". No entanto, análises indicam que a GD pode gerar benefícios líquidos significativos para todos os consumidores até 2035, conforme cálculos da ABSOLAR.

Um estudo publicado na revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, em março de 2021, ressalta que os consumidores com GD não são devidamente compensados pela energia injetada na rede, sugerindo a necessidade de uma reforma regulatória para garantir equidade.

Para garantir que o consumidor com GD não seja prejudicado e não passe a subsidiar injustamente as companhias de energia elétrica, propõe-se a realização de uma reforma regulatória. Além disso, é importante considerar os desafios e oportunidades que a GD oferece para o Brasil, buscando criar um ambiente propício para o desenvolvimento sustentável do setor.

Apesar do crescimento significativo da GD, persistem desafios como a necessidade de atualização da infraestrutura de rede e barreiras regulatórias. No entanto, as oportunidades são vastas, pois a GD pode contribuir para a transição do Brasil para uma economia de baixo carbono, reduzindo emissões de gases de efeito estufa e promovendo o desenvolvimento local, criação de empregos e redução da pobreza energética.

4.1 MARCO LEGAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A difusão de geração distribuída pode ser considerada um case de sucesso no Brasil. O ponto de partida crucial foi a Resolução Normativa nº 482/2012, atualizada pela 687 de 17

de outubro de 2017 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabeleceu as condições regulatórias das micro e mini geração distribuída no Brasil (GESEL, 2021).

O Marco Legal da Geração Distribuída no Brasil, estabelecido pela Lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022, regulamenta as modalidades de micro e minigeração distribuída de energia. Essa legislação permite que os consumidores produzam sua própria eletricidade e economizem na conta de luz por meio de um sistema de compensação de créditos com a concessionária de distribuição. A criação desse mercado teve início em 2012 com a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a REN 482, e a Lei 14.300 promove ajustes nessa regulamentação.

A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 estabeleceu as bases para a geração distribuída, posteriormente aprimoradas pela REN 687/2015, definindo limites de potência para micro e minigeração. Além disso, introduziu o sistema de compensação de energia elétrica, permitindo que o consumidor injete o excedente gerado na rede e receba créditos na conta de luz. (PORTAL SOLAR, 2024)

A sanção do PL 5829/19 e a conversão do marco legal da geração distribuída (GD) na Lei 14.300 de 06/01/2022 foi mais uma etapa na regulação e legislação de um mercado iniciado em 2012, com a criação do sistema de compensação de energia elétrica, por meio da Resolução Normativa nº 482. Desde então, o segmento de micro e minigeração distribuída viabilizou o crescimento do setor solar no Brasil. Confira a linha do tempo da regulação e legislação da GD no Brasil (PORTAL SOLAR, 2024):

- Abril de 2012: A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) publica a REN 482, que estabelece o sistema de compensação de energia elétrica.

- Novembro de 2015: A Aneel publica a REN 687, que introduz melhorias em relação à REN 482, como novos limites de potência, prazo de resposta da distribuidora, padronização de solicitação de acesso, ampliação da validade dos créditos e novas modalidades de GD.

- Outubro de 2019: A Aneel apresenta uma proposta de revisão da REN 482 vista por agentes do setor como extremamente desfavorável ao mercado de energia solar.

- Novembro de 2019: Apresentação do Projeto de Lei 5829/19, de autoria do Deputado Silas Câmara (Republicanos-AM), propondo a criação do marco legal da micro e minigeração distribuída.

- Agosto de 2021: Aprovação do PL 5829/19 no plenário da Câmara dos Deputados com placar de 476 votos a favor e 3 contra.

- Dezembro de 2021: Aprovação do PL 5829/19 por meio de votação simbólica no plenário do Senado. O texto teve acolhimento integral e parcial de 15 emendas sugeridas por senadores. Um dia depois, a Câmara rejeitou 14 emendas e aprovou novamente o texto, também em votação simbólica.

- Janeiro de 2022: O presidente da República, Jair Bolsonaro, sancionou o PL 5829/19 com dois vetos, convertendo o marco legal da GD na Lei 14.300 de 06/01/2022

5. ANÁLISE SOCIO ECONOMICA DA GD NO BRASIL

A transição da geração centralizada de energia para a Geração Distribuída (GD) traz uma série de impactos sociais significativos, capazes de remodelar não apenas a matriz energética, mas também as dinâmicas sociais e econômicas das comunidades.

Ao gerar energia perto do local de consumo, as famílias reduzem drasticamente suas despesas com eletricidade, liberando recursos que podem ser direcionados para outras necessidades básicas, contribuindo assim para a melhoria da qualidade de vida e redução da desigualdade econômica. (REVOLUSOLAR, 2022).

Diante do aumento constante das tarifas de energia elétrica, especialmente para as famílias de renda mais baixa, a adoção da energia solar fotovoltaica proporciona uma solução viável para mitigar esse ônus financeiro.

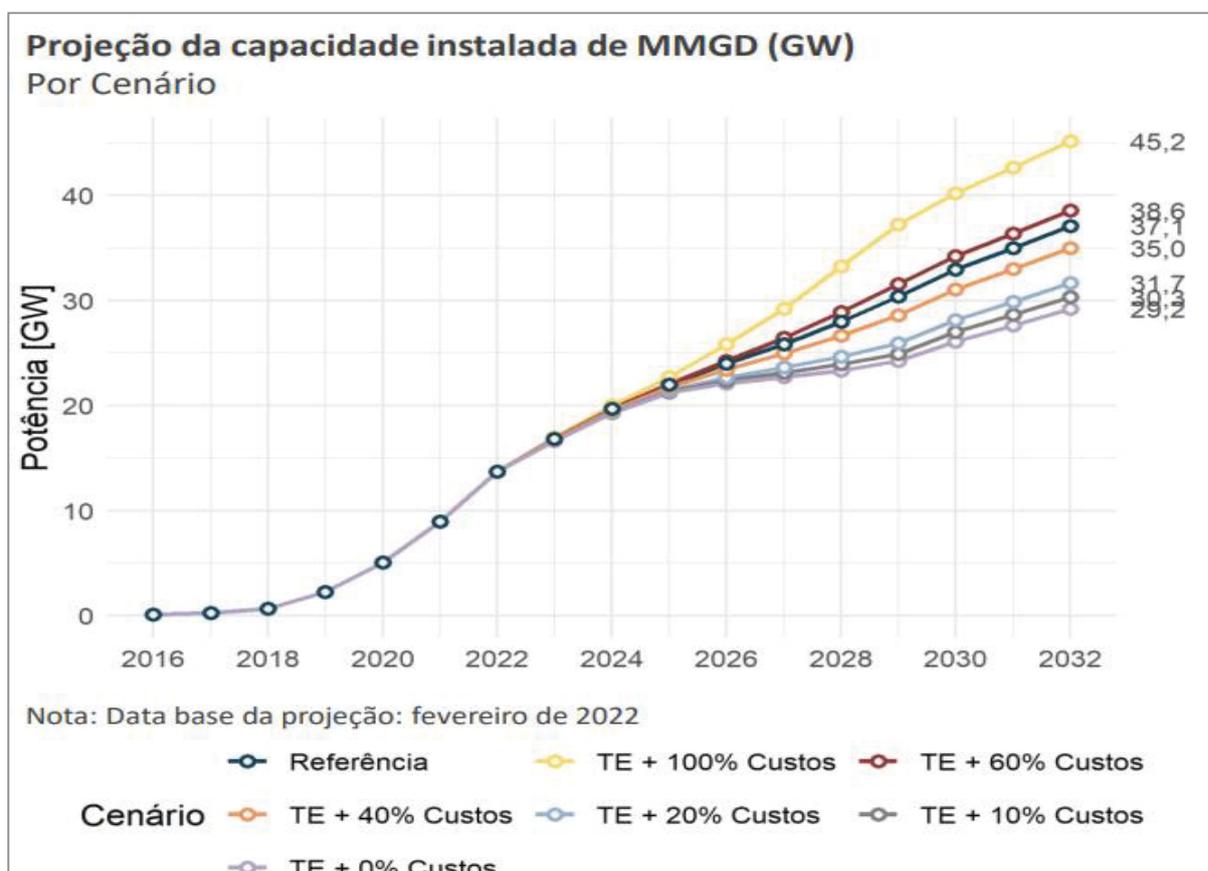
A GD possibilita o acesso à eletricidade em regiões isoladas e de difícil acesso, onde a expansão da rede elétrica tradicional seria economicamente inviável. Isso é especialmente importante para comunidades rurais e áreas remotas, onde a eletrificação convencional não é uma opção viável. A geração distribuída permite a criação de microrredes elétricas independentes, garantindo o fornecimento de energia de forma mais eficiente e confiável.

Também oferece a oportunidade de criar modelos de organização comunitária, baseados na cooperação e no compartilhamento de recursos. Por meio de cooperativas de energia, as comunidades podem se unir para investir em sistemas solares compartilhados, promovendo a autossuficiência energética e fortalecendo os laços sociais dentro da comunidade.

Outro driver da expansão da GD observada nos últimos anos foi a redução expressiva dos custos dos sistemas fotovoltaicos observada nos últimos anos. Dados da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) indicam uma redução de 90% do custo do módulo fotovoltaico entre 2010 e 2019. Impulsionadas por estes fatores, as projeções de crescimento da geração distribuída foram amplamente superadas. Cálculos da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) indicam que até 2035 serão gerados pela GD mais de R\$13,3 bilhões em benefícios líquidos para todos os consumidores brasileiros, inclusive os mais pobres.

De acordo com a EPE (2021), em 2020, a fonte solar distribuída superou a expansão de todas as fontes centralizadas. No cenário mais otimista apresentado no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2031, que considera a manutenção da regulação vigente, são projetados 41,6 GW de potência instalada de GD até 2031, conforme mostra a figura abaixo.

FIGURA 6 – CAPACIDADE DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUIDA POR CENÁRIO: 2017 – 2031 (GW).



Fonte: EPE (2024)

Em termos sociais, existem importantes projetos no Brasil que visam democratizar a GD para consumidores de todas as faixas de renda e classes sociais, incluindo os projetos desenvolvidos nas favelas da Babilônia e Chapéu Mangueira, no Rio de Janeiro. Nessas iniciativas, é evidente que a energia solar não é uma barreira, mas sim uma solução para a crise energética enfrentada diariamente pelos consumidores mais pobres (ABSOLAR, Artigo Energia solar como ferramenta de transformação social no Brasil, 2021).

A indústria solar é uma fonte significativa de geração de empregos, oferecendo oportunidades de trabalho localmente e impulsionando a economia das regiões onde são feitas as instalações. Além disso, os empregos no setor solar tendem a remunerar acima da média, aumentando a renda das famílias e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades.

Sabe-se que a população de baixa renda enfrenta altas taxas de desemprego, contas de energia que extrapolam seus orçamentos e serviços de baixa qualidade, com quedas frequentes de energia e atendimento precário. No Rio de Janeiro, por exemplo, a tarifa de energia elétrica mais que dobrou na última década, enquanto o preço da energia solar fotovoltaica tem caído rapidamente, tornando-se uma das fontes de energia mais competitivas da história.

Assim, a adoção de GD nas comunidades oferece uma oportunidade de redução significativa dos custos para acesso digno à energia elétrica. Além disso, ao gerar energia nos momentos de maior demanda, a GD pode reduzir a carga na ponta da rede e melhorar a qualidade do fornecimento nas favelas. Por seu modelo descentralizado, ela promove o empoderamento energético e novos modelos de organização coletiva para reivindicar direitos.

Propostas como a redução do valor dos créditos de energia elétrica pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) podem inviabilizar esse novo modelo, freando uma solução sustentável para os desafios enfrentados pelos mais pobres. Sem um marco legal adequado e justo, o futuro da GD nas comunidades de baixa renda fica incerto e ameaçado.

Finalmente, há de se destacar que, frente ao aumento acentuado da competitividade e atratividade econômica da geração fotovoltaica verificado nos últimos anos, políticas de incentivo como o *net metering*, antes imprescindíveis para o avanço da geração solar, perdem protagonismo, e podem ser gradativamente reavaliadas.

5.1 IMPACTOS ECONÔMICOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A expansão da Geração Distribuída (GD) traz uma série de benefícios e impactos para vários interessados no Setor Elétrico. Quando a energia gerada é consumida no mesmo momento, pode diminuir ou adiar a necessidade de investir em redes de transmissão e distribuição. No entanto, para que isso aconteça, a geração de energia solar precisa coincidir com os horários de maior demanda (MELHEM, 2013; BANSAL, 2017).

Além disso, como a geração acontece perto do ponto de consumo, as perdas de energia podem ser menores. Isso é mais perceptível com pequenas quantidades de GD, mas pode se inverter com grandes volumes, aumentando as perdas técnicas. Outros benefícios incluem a melhoria da qualidade e segurança da energia, redução de custos com serviços auxiliares e diminuição dos gastos com geração centralizada (HAJDSAÏD & SABONNADIÈRE, 2011; MELHEM, 2013; BANSAL, 2017).

Boa parte da GD é oriunda de fontes renováveis, especialmente energia solar, também vemos benefícios como: (i) redução de emissões de gases de efeito estufa; e (ii) criação de mais empregos em comparação com as fontes de energia convencionais (IRENA, 2016; IRENA, 2017.a; REN21, 2016).

Entre os seus impactos, os mais importantes são econômicos e financeiros. Eles resultam de vários fatores, como incentivos regulatórios para GD, características dos serviços de distribuição baseados em custos fixos e a estrutura tarifária para consumidores de baixa tensão.

Esses impactos podem afetar vários interessados no Setor Elétrico, principalmente as distribuidoras e os consumidores que não adotam a GD. Portanto, sua expansão pode afetar o fluxo de caixa das distribuidoras e sua capacidade operacional. Como a receita das distribuidoras depende do consumo de energia fornecida por elas, sua redução afeta o fluxo de caixa no curto prazo até que as tarifas sejam ajustadas, restabelecendo o equilíbrio econômico-financeiro das distribuidoras. (GESEL, 20218)

Na prática, como o pagamento pelo uso da rede é feito com base no volume consumido, os custos não são distribuídos corretamente entre os usuários, transferindo-se dos adotantes de GD para os não adotantes.

No Brasil, os consumidores que adotam a GD são faturados pelo sistema de compensação de energia, conhecido como *Net Metering*, que calcula a conta com base no volume líquido de energia consumida. Como a tarifa para baixa tensão é volumétrica, a redução do consumo líquido não só reduz os gastos com energia, mas também a contribuição desses usuários para o custeio da rede e o pagamento de encargos.

6. CONCLUSÃO

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a geração distribuída no Brasil tem crescido significativamente, impulsionada por políticas de incentivo e pelo aumento da conscientização sobre a importância da resiliência energética. Além disso, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) destaca que o armazenamento de energia é uma tecnologia emergente que pode complementar a GD, proporcionando maior estabilidade e segurança ao sistema elétrico.

Por sua vez, a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (Abradee) também ressalta a importância de um marco regulatório robusto para incentivar investimentos em tecnologias de geração distribuída e armazenamento de energia, garantindo que o setor elétrico brasileiro esteja preparado para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Estudos e planejamento são fundamentais para o fortalecimento da resiliência climática do setor elétrico brasileiro, acompanhando as transformações tecnológicas, antecipando os possíveis impactos e incorporando novos conhecimentos científicos, sobretudo em relação às modelagens climáticas. (Mudanças Climáticas: Resiliência e Adaptação do Setor Elétrico Brasileiro, EPE, 2024)

A Geração Distribuída (GD) tem emergido como uma alternativa promissora no contexto energético global, oferecendo uma série de benefícios socioeconômicos. No Brasil, onde a matriz energética é majoritariamente composta por fontes renováveis, a GD apresenta-se como uma oportunidade única para impulsionar o desenvolvimento sustentável, promover a inclusão social e fortalecer a resiliência do sistema.

Um dos seus principais benefícios é sua capacidade de promover a inclusão social, fornecendo acesso à energia para comunidades antes excluídas do sistema elétrico

convencional. A GD pode se tornar uma ferramenta eficaz na redução da desigualdade energética, especialmente em áreas rurais e remotas. Ao possibilitar que os consumidores gerem a própria energia, ela empodera comunidades e contribui para a melhoria da qualidade de vida e o desenvolvimento econômico local.

A implantação de projetos de GD também gera impactos positivos na economia, criando empregos e estimulando o crescimento do setor de energia renovável. De acordo com pesquisas da GESEL, a expansão da GD pode resultar em um aumento significativo na demanda por mão de obra qualificada, tanto na instalação e manutenção de sistemas quanto na fabricação de equipamentos. Além disso, o desenvolvimento de cadeias produtivas locais relacionadas à GD contribui para a geração de renda e o fortalecimento da economia regional.

A Resolução Normativa nº 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabeleceu as condições regulatórias das micro e minigeração distribuída no país, proporcionou sua expansão. Dentro desse contexto, a Geração Distribuída desempenhará um papel importante para tornar o sistema elétrico mais resiliente e confiável no Brasil. Sua difusão pode ser considerada um case de sucesso no Brasil.

REFERÊNCIAS

GOMES, José Vitor. **O impacto e a dimensão social da utilização de geração distribuída de energias renováveis nos postos de saúde em Itajubá**. Projeto de Pesquisa - Universidade Federal de Itajubá, 2022.

GESEL. **Impactos Econômicos da Geração Distribuída e Proposições Regulatórias**, 2018.

CASTRO, Nivalde. **Reflexões sobre impactos da Geração Distribuída no Mercado de Energia Elétrica do Brasil**, Rio de Janeiro, n.3, p.7-20 2021

CASTRO, Nivalde. O papel das distribuidoras na transição energética. **Valor Econômico**, Rio de Janeiro, 23 abr 2024

AVILA, Eduardo. **Energia solar como ferramenta de transformação social no Brasil**. Absolar. São Paulo, 24 jan 2021. Acesso em: 23 abr. 2024.

Os 5 Impactos Sociais da Geração Distribuída de Energia. Revolusolar. São Paulo, 16 mar 2021. Acesso em: 17 abr. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Caderno | Mudanças Climáticas: Resiliência e Adaptação do Setor Elétrico Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2024.

ABSOLAR, Artigo **Energia solar como ferramenta de transformação social no Brasil**, São Paulo, 2021.

IRENA. **Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2016**. Abu Dhabi: Irena, 2016b.