

Empreendedorismo, inovação e sustentabilidade: Proposta de uma plataforma de gestão para implantação de uma usina solar fotovoltaica

Entrepreneurship, innovation and sustainability: Proposal for a management platform for the implementation of a photovoltaic solar plant

Emprendimiento, innovación y sostenibilidad: Propuesta de plataforma de gestión para la implementación de una planta solar fotovoltaica

Recebido: 10/09/2023 | Revisado: 23/09/2023 | Aceitado: 24/09/2023 | Publicado: 26/09/2023

Merivaldo de Freitas Brito

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9885-3783>
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
E-mail: merivaldo@mbritto.com.br

Fabio Mendes de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4766-9432>
Universidade de Campinas, Brasil
E-mail: fabio.unicamp@hotmail.com

Mayara Oliveira Fonseca

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9288-0386>
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
E-mail: mayara10fonseca@gmail.com

João Batista Furlan Duarte

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4674-100X>
Universidade de Fortaleza, Brasil
E-mail: furlan@unifor.com

Elissandro Monteiro do Sacramento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4808-7224>
Instituto Federal do Ceará, Brasil
E-mail: elissandro.monteiro@ifce.edu.br

Lutero Carmo de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7313-729X>
Universidade Estadual do Ceará, Brasil
E-mail: luterodelima@gmail.com

Resumo

Cada vez mais, a geração distribuída se torna uma prática comum, encontrando aplicação tanto em residências e estabelecimentos comerciais quanto em instalações de geração centralizada, como grandes usinas fotovoltaicas. O principal objetivo está na proposta da plataforma Solar Energy 4.0 para impulsionar a integração entre empreendedorismo, inovação e sustentabilidade no contexto da implantação de usinas de energia solar fotovoltaica. A formação de profissionais qualificados e a criação de empresas especializadas podem beneficiar a economia local, gerando oportunidades de trabalho e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades. No contexto atual, a energia solar fotovoltaica representa uma parte significativa do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, e essa proposta visa fortalecer ainda mais esse setor em rápido crescimento. A proposta busca atender a essa demanda crescente, capacitando empreendedores e profissionais do setor de energia renovável a adotar abordagens sustentáveis e inovadoras em seus projetos fotovoltaicos. Para alcançar esse objetivo, apresenta-se uma plataforma de gestão que permitirá o planejamento, execução e monitoramento eficiente de projetos solares. Como metodologia se baseou em uma revisão bibliográfica de caráter narrativo, e foi realizada uma busca de forma sistemática de livros, artigos científicos e periódicos online publicados entre o período 2013 a 2023, nas bases de dados periódicos CAPES e Google acadêmico, que abordam sobre a energia solar na atualidade e as perspectivas após a implementação das novas regulamentações para os consumidores e geradores de energia solar fotovoltaica. Dentre os resultados, buscaram-se alinhar empreendedorismo, inovação e sustentabilidade na gestão de projetos de energia solar fotovoltaica. Com a plataforma de gestão proposta e a capacitação dos profissionais, espera-se impulsionar o crescimento do setor de energia solar, contribuindo para um futuro mais sustentável e econômico.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; Empreendedorismo; Inovação; Sustentabilidade; Gestão.

Abstract

Increasingly, distributed generation is becoming a common practice, finding application both in homes and commercial establishments and in centralized generation facilities, such as large photovoltaic plants. The main objective is to

propose the Solar Energy 4.0 platform to boost the integration between entrepreneurship, innovation and sustainability in the context of the implementation of photovoltaic solar energy plants. The training of qualified professionals and the creation of specialized companies can benefit the local economy, generating job opportunities and contributing to the socioeconomic development of communities. In the current context, photovoltaic solar energy represents a significant part of Brazil's Gross Domestic Product (GDP), and this proposal aims to further strengthen this rapidly growing sector. The proposal seeks to meet this growing demand, enabling entrepreneurs and professionals in the renewable energy sector to adopt sustainable and innovative approaches in their photovoltaic projects. To achieve this objective, a management platform is presented that will allow the efficient planning, execution and monitoring of solar projects. The methodology was based on a bibliographical review of a narrative nature, and a systematic search was carried out for books, scientific articles and online journals published between the period 2013 and 2023, in the CAPES and Google Scholar periodical databases, which address the issue of solar energy today and the prospects after the implementation of new regulations for consumers and generators of photovoltaic solar energy. Among the results, we seek to align entrepreneurship, innovation and sustainability in the management of photovoltaic solar energy projects. With the proposed management platform and the training of professionals, it is expected to boost the growth of the solar energy sector, contributing to a more sustainable and economical future.

Keywords: Photovoltaic solar energy; Entrepreneurship; Innovation; Sustainability; Management.

Resumen

Cada vez más, la generación distribuida se está convirtiendo en una práctica común, encontrando aplicación tanto en hogares y establecimientos comerciales como en instalaciones de generación centralizada, como grandes plantas fotovoltaicas. El principal objetivo es proponer la plataforma Energía Solar 4.0 para impulsar la integración entre emprendimiento, innovación y sostenibilidad en el contexto de la implantación de plantas de energía solar fotovoltaica. La formación de profesionales calificados y la creación de empresas especializadas pueden beneficiar la economía local, generando oportunidades laborales y contribuyendo al desarrollo socioeconómico de las comunidades. En el contexto actual, la energía solar fotovoltaica representa una parte importante del Producto Interno Bruto (PIB) de Brasil, y esta propuesta tiene como objetivo fortalecer aún más este sector en rápido crecimiento. La propuesta busca satisfacer esta creciente demanda, permitiendo a emprendedores y profesionales del sector de las energías renovables adoptar enfoques sostenibles e innovadores en sus proyectos fotovoltaicos. Para lograr este objetivo se presenta una plataforma de gestión que permitirá la planificación, ejecución y seguimiento eficiente de proyectos solares. La metodología se basó en una revisión bibliográfica de carácter narrativo, y se realizó una búsqueda sistemática de libros, artículos científicos y revistas en línea publicados entre el período 2013 y 2023, en las bases de datos periódicas CAPES y Google Scholar, que abordan el tema de La energía solar hoy y las perspectivas tras la implementación de nuevas regulaciones para consumidores y generadores de energía solar fotovoltaica. Entre los resultados, buscamos alinear el emprendimiento, la innovación y la sostenibilidad en la gestión de proyectos de energía solar fotovoltaica. Con la plataforma de gestión propuesta y la formación de profesionales se espera impulsar el crecimiento del sector de la energía solar, contribuyendo a un futuro más sostenible y económico.

Palabras clave: Energía solar fotovoltaica; Emprendimiento; Innovación; Sostenibilidad; Gestión.

1. Introdução

A energia solar é uma fonte de energia confiável e estável devido à sua dependência do sol, uma fonte inesgotável de luz. Isso proporciona segurança energética aos consumidores e reduz a instabilidade associada a outras formas de energia, como os combustíveis fósseis. Ao investir nesse setor, você estará imerso em um ambiente de constante inovação tecnológica, com oportunidades para aproveitar essas melhorias. A proposta de estabelecer empresas voltadas para atender às demandas por sistemas solares fotovoltaicos é relevante para superar os desafios técnicos e científicos existentes no mercado atual de produtos e serviços.

A energia fotovoltaica é produzida através do efeito fotovoltaico, que envolve a conversão de energia eletromagnética em energia elétrica por meio da geração de tensão elétrica em uma célula composta por semicondutores. Quando um circuito elétrico é formado entre dois eletrodos, isso resulta na criação de uma corrente elétrica (Purificação et al., 2020).

A amplitude e profundidade dessas mudanças sinalizam a transformação de sistemas inteiros de produção, gestão e governança, como mencionado por Schwab (2017). Uma das tecnologias que têm um impacto significativo na Indústria 4.0 é a digitalização, a qual permeia a vida das pessoas de diversas maneiras, incluindo e-books, aplicativos de transporte e música em formato digital, entre outros exemplos. Associada às Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), a digitalização se apresenta como um instrumento crucial para enfrentar desafios nacionais relacionados à mobilidade urbana, ao desenvolvimento

de tecnologias para cidades inteligentes (*smart cities*), à criação de redes elétricas inteligentes (*smart grid*), soluções de saúde à distância e ao progresso na área industrial (Confederação Nacional da Indústria [CNI], 2019).

Com apenas 2 milhões de pessoas atualmente envolvidas na geração de energia solar, fica evidente que há uma vasta oportunidade a ser explorada. Com mais de 89 milhões de pessoas potencialmente capazes de contribuir, percebemos claramente o amplo espaço para o empreendedorismo. É importante observar que, conforme dados de 2021, esse setor corresponde a 68% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil. Desde a Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL) e, mais recentemente, com a aprovação do Marco Geral da Geração Distribuída, a Lei 14.300/2022 (Brasil, 2022), torna-se cada vez mais evidente a importância de discutir a geração distribuída, em particular, a geração de energia fotovoltaica.

Este problema abrange questões relacionadas à gestão eficiente de projetos de energia solar, à incorporação de práticas empreendedoras, à adoção de inovações tecnológicas e à garantia de que esses projetos sejam verdadeiramente sustentáveis. É um desafio complexo que requer uma abordagem integrada para enfrentar as barreiras existentes e promover o desenvolvimento sustentável do setor de energia solar fotovoltaica.

Analisando o contexto acima, a problemática pode ser abordada mediante o seguinte questionamento: como desenvolver uma estratégia eficaz de gestão para projetos de energia solar fotovoltaica, incorporando empreendedorismo, inovação e sustentabilidade, visando a superação dos desafios enfrentados pelo setor e aproveitar as oportunidades de crescimento?

Desta forma, busca-se como proposta a capacitação e disponibilidade de uma plataforma que viabilize a gestão eficiente de todo o ciclo do seu produto, desde a oferta da solução solar fotovoltaica até a administração da mão de obra envolvida. Isso não apenas expandiu o mercado de energia solar, mas também promoveu o crescimento do empreendedorismo e da economia de forma geral.

Verifica-se a importância da energia solar fotovoltaica apresenta diversos benefícios sociais, que justificam a análise das oportunidades de serviços e novas tecnologias sob a ótica da Lei 14.300/2022. A partir de uma abordagem teórica, é possível explorar as implicações legais e regulatórias da referida Lei e como a mesma afeta a implementação de sistemas solares fotovoltaicos. Além disso, pode-se analisar as teorias e conceitos relacionados à transição energética, inovação tecnológica e desenvolvimento sustentável, identificando como esses aspectos se aplicam ao contexto da energia solar fotovoltaica. O mercado de energia solar fotovoltaica está em expansão e oferece oportunidades significativas para empresas e profissionais que atuam nesse setor. O mercado de energia solar fotovoltaica está em expansão e oferece oportunidades significativas para empresas e profissionais que atuam nesse setor. A Lei 14.300/2022, ao estabelecer diretrizes e incentivos, impulsiona o crescimento do mercado e implementa um ambiente favorável para investimentos e negócios no segmento de energia solar.

O objetivo principal da plataforma Solar Energy 4.0 é fomentar a convergência entre empreendedorismo, inovação e sustentabilidade no processo de implantação de usinas solares fotovoltaicas. Essa plataforma visa capacitar empreendedores e profissionais do setor de energia renovável, incentivando a adoção de práticas sustentáveis e soluções inovadoras em suas atividades.

2. Metodologia

A metodologia utilizada sobre as oportunidades de serviços e novas tecnologias em energia solar fotovoltaica foi a da Revisão Biblioteca Narrativa, que tem como finalidade fornecer uma revisão de literatura atualizada do conhecimento existente, tornando-a apropriada para embasar teoricamente artigos, dissertações, teses e trabalhos de conclusão de curso (Correia & Mesquita, 2014).

Desta forma, foram utilizados livros, artigos e periódicos online para obter informações teóricas e técnicas sobre energia solar fotovoltaica, transição energética, políticas energéticas, regulamentação do setor, incentivos fiscais e financeiros, inovação

tecnológica, entre outros temas relevantes. Utilizar livros, artigos científicos, relatórios técnicos, documentos normativos e publicações de órgãos governamentais como fontes de referência (Gil, 2017).

Realiza-se uma análise detalhada de dados coletados, buscando identificar padrões, tendências e *insights* relevantes (Gil, 2017). A interpretação dos resultados foi obtida por meio da análise dos dados, relacionando-os com os objetivos específicos da pesquisa. Foi realizada uma busca de forma sistemática de artigos científicos publicados entre o período 2013 a 2023, sendo executada nas bases de dados periódicos CAPES e Google acadêmico. A referida busca foi possível mediante a busca pelos seguintes descritores: Energia Solar Fotovoltaica; Empreendedorismo; Inovação; Sustentabilidade; Gestão.

Sendo assim, foi possível analisar as publicações que tratam sobre os dados do setor de energia solar fotovoltaica, bem como às disposições legais, resoluções, diretrizes, incentivos e requisitos específicos estabelecidos pela legislação (Lei 14.300/2022). Utilizaram-se ainda estudos e relatórios de instituições governamentais e não governamentais que tratam do setor de energia solar fotovoltaica. A coleta de dados relevantes visa analisar fontes confiáveis e atualizadas para obtenção de informações precisas sobre a energia solar fotovoltaica, a legislação vigente e as práticas de mercado.

Por fim, a metodologia Revisão Bibliográfica Narrativa teve como finalidade demonstrar ser eficaz na condução de uma discussão apropriada em relação ao objeto de estudo definido no presente projeto de pesquisa, com o objetivo de alcançar uma conclusão inovadora e estimular o desenvolvimento de futuras investigações (Marconi & Lakatos, 2017).

3. Resultados e Discussão

3.1 Energia solar fotovoltaica e geração distribuída

O efeito fotovoltaico foi inicialmente descoberto pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839, utilizando placas de platina e prata. Desde então, houve contínuo progresso em pesquisas e desenvolvimento de tecnologias nessa área. Em 1954, surgiu o marco da "célula solar moderna," criada por Russell Shoemaker Ohl, Calvin Fuller e Gerald Pearson, que utilizavam células de silício (Mosqueira, 2020).

Conforme apontado por Ferreira (1993), alguns anos após esse avanço, durante a corrida espacial que teve início nos anos 50 do século XX, os países começaram a adotar a energia solar e obtiveram resultados promissores. A partir desse ponto, a tecnologia solar começou a ser comercializada para uso na Terra. No entanto, devido aos custos elevados em comparação com os combustíveis fósseis, seu crescimento não foi significativo até a crise energética dos anos 70, quando ocorreu o aumento do preço do petróleo. No Brasil, o processo de regulamentação da micro e minigeração distribuída teve início com a promulgação da Resolução Normativa n° 482/2012, estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (ANEEL, 2012).

O Brasil se destaca internacionalmente devido ao seu considerável potencial em energia limpa, com 72,3% da capacidade total de geração elétrica proveniente de fontes renováveis. A fonte hidráulica é a principal matriz energética do país, representando 63,9% desse total (EPE, 2021).

No início do século XXI, a energia solar fotovoltaica experimentou um notável crescimento em todo o mundo. De acordo com a energia solar ganhou destaque como uma matriz energética com um potencial significativo para atender à demanda por energia de fontes limpas. Isso foi alcançado ao conciliar interesses econômicos, focando na economia de escala, onde a produção em grande quantidade de células solares resulta em custos unitários mais baixos (Mosqueira, 2020).

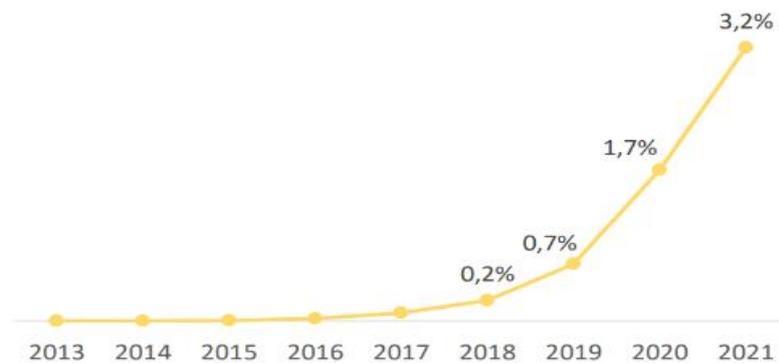
Conforme apontado por Mosqueira (2020), a presença da energia solar fotovoltaica no Brasil só se tornou relevante a partir de 2012, com a regulamentação do setor de micro e minigeração distribuída pela ANEEL, por meio da Resolução Normativa 482/2012. Essa regulamentação teve um impacto transformador no setor de energia elétrica do país.

A Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) refere-se à geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis em pequena escala, geralmente em residências, empresas ou empreendimentos de pequeno porte. Essa geração distribuída permite que os consumidores produzam sua própria energia por meio de painéis solares fotovoltaicos, por exemplo, e injetar o excedente

na rede elétrica, recebendo créditos pela energia gerada. Nos últimos anos, o Brasil tem experimentado um crescimento significativo na capacidade instalada de energia solar distribuída. Essa expansão é impulsionada por vários fatores, incluindo o crescente interesse em fontes de energia renovável, a redução dos custos dos painéis solares e os incentivos governamentais para a geração distribuída, como o sistema de compensação de energia elétrica (conhecido como "Net Metering") (EPE, 2022).

A seguir apresenta-se a Figura 1 apresenta um percentual de consumo:

Figura 1 - Percentual do consumo de eletricidade cativo nacional atendimento por MMGD.



Fonte: EPE - Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída (2022).

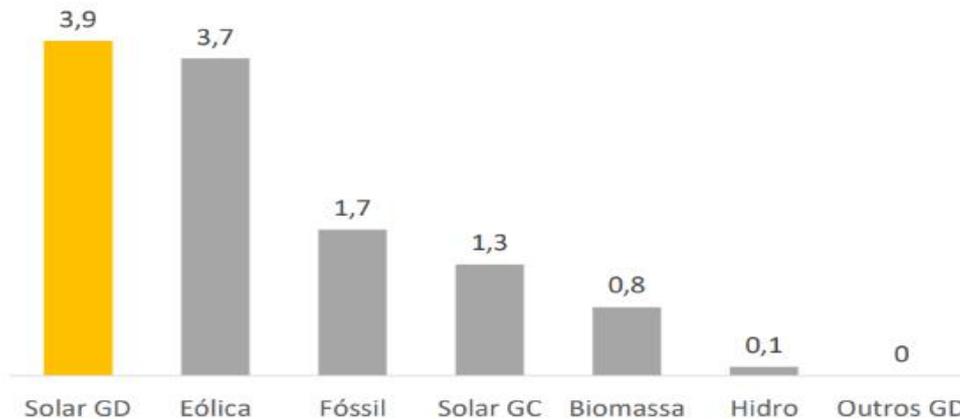
Verifica-se na figura acima, que atingiu o percentual de consumo de 3,2% em 2021. Entende-se que a integração de energia renovável, como a solar fotovoltaica, na rede elétrica tem vários benefícios. Em primeiro lugar, ajuda a diversificar a matriz energética, reduzindo a dependência de fontes não renováveis, como o carvão e o gás natural. Além disso, a geração distribuída reduz as perdas de transmissão e distribuição de energia, pois a geração ocorre mais próxima dos pontos de consumo. Isso pode melhorar a eficiência do sistema elétrico como um todo (EPE, 2022).

Busca-se ainda incluir iniciativas de educação e conscientização sobre os benefícios e a importância da energia solar fotovoltaica. Muitas vezes, a falta de conhecimento sobre o assunto é um dos principais obstáculos para a adoção em larga escala dessa tecnologia. Através de programas educacionais e campanhas de conscientização, é possível superar essa barreira, tornando a energia solar mais compreensível e incentivando sua adoção (ANEEL, 2022).

Em termos ambientais, a expansão da energia solar fotovoltaica e outras fontes renováveis contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação das mudanças climáticas. A energia solar é uma fonte limpa e sustentável, que utiliza a luz solar como recurso abundante e renovável. Ao promover a transição para fontes renováveis, podemos reduzir os impactos ambientais negativos associados à queima de combustíveis fósseis e à geração de eletricidade a partir de fontes não renováveis (ANEEL, 2022).

A geração distribuída, vem ganhando proporções satisfatória no setor elétrico, desde 2012 com a Resolução 482/2012, cada vez mais a fonte solar em geração distribuída vem alavancando com seus resultados em 2021, a GD ganhou espaço após ultrapassar a fonte eólica, com isso o GD se colocou no topo, após logicamente e fonte hídrica, como mostra a Figura 2 abaixo:

Figura 2 - Expansão da oferta de geração de energia elétrica em 2021 (GW) - Entrada em Operação.



Fonte: ANEEL/Ministério de Minas e Energia - Painel interativo do RALIE (Jan/22) e base de MMDG (2022).

Verificou-se na figura acima, que GD tanto em minigeração como em microgeração, tem demonstrado que gerar energia através de uma fonte junta a carga, ou mesmo com fontes remotas, e uma oportunidade para gerar sustentabilidade e também rentabilidade, esses dois fatores em conjunto tem feito o consumidor final, seja ele residencial, comercial, industrial ou no agronegócio, investir em sua própria geração de energia. Com isso a fonte solar fotovoltaica pelo seu custo benefício e sua tecnologia de rápida implantação, levando em consideração outras fontes de energia se torna cada dia mais interessante, uma vez que irradiação já é algo favorável em todo Brasil.

No entanto, é importante considerar alguns desafios relacionados à integração da energia renovável na rede elétrica. Um deles é a variabilidade e intermitência da geração renovável, como a energia solar, que depende das condições climáticas. Para garantir um suprimento contínuo e confiável de energia, é necessário desenvolver sistemas de armazenamento de energia e aprimorar a gestão da rede elétrica, por meio de tecnologias avançadas de monitoramento e controle (ANEEL, 2022).

Em resumo, a expansão da capacidade de micro e minigeração distribuída, com destaque para a energia solar fotovoltaica, tem desempenhado um papel significativo na transição energética no Brasil. Essa expansão reflete o crescente interesse em fontes de energia limpa e sustentável, assim como os benefícios econômicos, ambientais e técnicos associados à integração de energia renovável na rede elétrica.

3.2 Políticas energéticas e transição energética

Com o aumento dos investimentos em energia distribuída pela população como uma estratégia para reduzir os gastos com energia elétrica, a ANEEL iniciou o processo de consulta pública nº 010/2018. Essa consulta pública ocorre sempre que a agência precisa tomar decisões significativas relacionadas ao setor elétrico, convocando a sociedade e os atores do setor para participarem das discussões. O foco da consulta estava na Resolução Normativa nº 482/2012, que permitiu aos consumidores brasileiros gerarem sua própria energia a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e até mesmo fornecer o excesso de energia à rede de distribuição local (Sampaio, 2021).

O sistema de Net Metering (compensação de energia) no Brasil foi inicialmente estabelecido em 2012 por meio da Resolução Normativa (RN) 482/2012 e posteriormente passou por uma revisão abrangente com a introdução da Resolução Normativa 687/2015. Em 2018, iniciou-se uma nova fase de discussão visando revisar as Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015, com o objetivo principal de modificar a forma como a energia excedente gerada e injetada na rede pública é compensada. Essa revisão propõe uma mudança significativa, passando da compensação integral para uma compensação parcial, o que implicaria em uma remuneração às concessionárias de distribuição pelo uso das suas linhas de transmissão (ANEEL, 2015).

Através da Resolução Normativa 687/2015, ficou estabelecida a definição de microgeração distribuída como uma central de geração de energia elétrica com uma capacidade instalada de até 75 kW. Essa central pode utilizar cogeração qualificada, de acordo com as regulamentações da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica. A conexão à rede de distribuição é realizada por meio das instalações das unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

De acordo com a ANEEL citado por Sampaio (2021), o crescimento da Geração Distribuída (GD) e os debates nas audiências públicas tinham como objetivo encontrar a melhor forma de adequar o sistema de compensação de energia elétrica. Esse sistema permite que o excedente de energia gerado seja injetado na rede elétrica e utilizado por outros consumidores da concessionária quando necessário.

O Projeto de Lei (PL) 5829/2019, conhecido como o Marco Legal da Geração Distribuída, é uma proposta legislativa que tem como objetivo regulamentar a geração de energia elétrica por consumidores, empresas e empreendimentos de pequeno porte para seu próprio consumo e eventual venda do excedente à rede elétrica. O referido projeto define GD como a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, conectada diretamente às instalações de consumo ou próxima a elas. Este PL diferencia entre microgeração distribuída, que tem capacidade de até 75 kW (quilowatts), e minigeração distribuída, com capacidade de até 5 MW (megawatts). Ambas podem gerar energia a partir de fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa, entre outras (Brasil, 2019).

Vale ressaltar que o PL 5829/2019 gerou debates e discussões intensas no Congresso Nacional e na sociedade, com diferentes partes interessadas apresentando argumentos a favor e contra a proposta. A regulamentação da geração distribuída é um assunto complexo e de grande impacto, uma vez que pode afetar tanto os consumidores quanto as empresas de distribuição de energia elétrica. Portanto, é importante acompanhar os desenvolvimentos legislativos e regulatórios relacionados a esse projeto para entender como ele pode impactar o setor de energia no Brasil (Brasil, 2019).

Como mencionado por Sampaio (2021), essas discussões também abordaram alternativas viáveis para o sistema, uma vez que as distribuidoras de energia expressaram insatisfação. Elas alegaram que havia custos não considerados, pois os sistemas de geração utilizavam a infraestrutura da concessionária para transmitir a energia gerada, resultando em custos de manutenção. Esses custos eram repassados aos consumidores que não tinham sistemas de geração própria, impactando o preço das tarifas de energia. Isso criava uma situação em que os proprietários de sistemas geradores se beneficiam de forma injusta em relação aos outros consumidores.

Analisando as regulamentações relacionadas à Microgeração Distribuída (MMGD), torna-se possível perceber por diversas mudanças promovidas pela ANEEL, a incorporação de melhorias que afetam aspectos como os limites de potência instalada e as formas de participação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Isso foi realizado através das Resoluções Normativas, como a nº 687 de 24 de novembro de 2015 e a nº 786 de 17 de outubro de 2017. Posteriormente, uma nova atualização, originalmente planejada para 2019, foi efetivada pela Resolução Normativa nº 1.059 de 7 de fevereiro de 2023. Esta ação teve como objetivo ajustar as regulamentações da ANEEL às disposições da Lei nº 14.300 de 7 de janeiro de 2022, além de incorporar as conclusões de estudos realizados desde 2018. Adicionalmente, essa atualização consolidou as diretrizes relativas à MMGD e ao SCEE dentro das condições gerais de fornecimento de energia (ANEEL, 2022).

A partir da consulta pública nº 010/2018, ficou evidente a necessidade de uma nova regulamentação no setor de geração de energia distribuída. Isso visava proporcionar maior segurança jurídica e promover um crescimento sustentável do setor, culminando na promulgação da Lei 14.300/2022. Com isso buscar um modelo de geração sustentável, esbarra também na qualificação e profissionalização do setor para que pessoas e empresas possam de fato levar uma solução que gere rentabilidade e sustentabilidade ao consumidor final com a geração de energia solar fotovoltaica (Brasil, 2022).

A Lei da Geração Distribuída estabelece as diretrizes para a aplicação do sistema de compensação de energia elétrica e define regras para a conexão dos sistemas de micro e minigeração à rede elétrica. Ela busca simplificar os procedimentos

burocráticos, reduzir os custos de instalação e incentivar o crescimento da capacidade instalada de geração distribuída no país. A Lei da Geração Distribuída traz algumas diretrizes importantes para esse contexto, incluindo (Brasil, 2022):

- **Sistema de Compensação de Energia Elétrica:** Estabelece o sistema de compensação de energia elétrica, no qual o consumidor que gera energia excedente recebe créditos que podem ser utilizados para abater o consumo da energia da rede em momentos de menor geração, como à noite.
- **Conexão à Rede Elétrica:** Determina as condições técnicas e os procedimentos para a conexão dos sistemas de micro e minigeração distribuída à rede elétrica, garantindo a segurança e a qualidade do sistema.
- **Modalidades de Geração Distribuída:** Define as modalidades de geração distribuída, como o autoconsumo remoto (quando a geração é realizada em uma unidade consumidora diferente da unidade onde a energia é consumida) e a geração compartilhada (quando vários consumidores se reúnem para compartilhar a geração de energia).
- **Benefícios Tarifários:** Estabelece que a energia elétrica gerada pelos sistemas de micro e minigeração distribuída está isenta de encargos e tarifas, como a tarifa de uso do sistema de distribuição.
- **Revisão Tarifária:** Determina que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) deve realizar revisões tarifárias periódicas para garantir a adequação dos valores cobrados dos consumidores com sistemas de geração distribuída.

A Lei da Geração Distribuída tem sido considerada um importante marco para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil, pois proporciona incentivos e segurança jurídica para os consumidores que desejam investir nessa forma de geração de energia limpa e sustentável. Ela contribui para a redução da dependência de fontes não renováveis de energia, estimula o mercado de energia solar e promove a transição para um sistema elétrico mais sustentável e descentralizado (Brasil, 2022). Em suma, verifica-se a importância no desenvolvimento de empresas para atender as demandas com a implantação de sistemas solares fotovoltaicos é relevante na superação dos desafios técnico-científicos dos produtos/serviços existentes no mercado. Ao buscar soluções inovadoras, integrar sistemas de forma eficiente, utilizar componentes de alta qualidade, inovar em modelos de negócios e promover a educação e conscientização, torna-se possível avançar no setor e impulsionar a implementação da energia solar fotovoltaica como uma alternativa sustentável e eficiente.

3.3 Economia e mercado de energia solar fotovoltaica

Em 1983, de acordo com Miranda (2013), a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica era modesta, atingindo apenas 15 MWp¹. No entanto, nos anos subsequentes, houve um crescimento significativo, alcançando 579 MWp em 1995 e 941 MWp em 1997. Esse crescimento continuou de forma constante desde então, chegando a aproximadamente 38 GWp em 2010. Nesse mesmo período, o Brasil possuía poucos sistemas fotovoltaicos, totalizando apenas 7 MW em 2012, que coincidiu com a publicação da REN 482/2012 e o início da expansão substancial dessa forma de energia no país (ANEEL, 2022).

A geração de energia solar fotovoltaica pode ocorrer de duas formas: distribuída e centralizada. Nos últimos anos, a geração distribuída cresceu consideravelmente em comparação com a geração centralizada. Ao final de 2017, a geração distribuída representava apenas 190 MW (16%) do total, enquanto a geração centralizada era responsável por 968 MW (84%). Entretanto, em 2022, a situação se inverteu, com a geração distribuída atingindo 16,39 GW (68%), enquanto a geração centralizada alcançou 7,61 GW (32%). Esse crescimento expressivo demonstra a ascensão da geração de energia solar fotovoltaica na forma distribuída nos últimos anos (ANEEL, 2022).

Para confirmar o crescimento gradual da geração centralizada, dados do Relatório de Acompanhamento de Empreendimentos de Geração de Energia Elétrica (RAPEEL) do terceiro trimestre de 2022 (ANEEL, 2022) indicam um aumento significativo no número de usinas nesse período. Em maio de 2022, havia 980 usinas registradas com CEG (código de identificação do empreendimento de geração de energia elétrica, necessário para usinas com capacidade superior a 5 MW). Em

setembro do mesmo ano, esse número cresceu para 1375 usinas, representando um aumento de 395 usinas registradas. Isso evidencia a tendência de expansão contínua da geração centralizada (ANEEL, 2022).

No ano de 2022, a geração de energia solar fotovoltaica experimentou uma expansão extraordinária, alcançando um total de 24,00 GW até o final do ano. Isso representou 11,20% da matriz energética brasileira e implicou em uma adição significativa de 9,85 GW em comparação com o ano anterior. Em relação a 2017, quando a capacidade era de apenas 1,16 GW, esse crescimento foi impressionante, com um aumento de mais de vinte vezes em apenas cinco anos (ANEEL, 2022).

De acordo com Salhab (2021), em 2021, o Brasil já se destacava como um dos poucos países com uma capacidade instalada de energia solar superior a 10 GW. Atualmente, esse número já ultrapassou 24 GW. O país ocupava a 14ª posição no ranking da Agência Internacional para Energias Renováveis (IRENA, 2021, conforme citado por SALHAB, 2021), sendo o único da América Latina incluído pela agência.

No momento de estabelecer as premissas econômicas para o Plano Decenal de Energia (PDE) de 2032, as expectativas em relação ao consumo de eletricidade em 2022 foram dentro de cenários que projetaram uma situação de estagnação do Produto Interno Bruto (PIB) em 2022 (ANEEL, 2022).

Nos cenários de referência, previu-se um crescimento moderado, com taxas de 0,6%. No cenário superior, antecipou-se um crescimento mais robusto, atingindo 2%. A dinâmica econômica mais vigorosa no segundo quinquênio resultou em um aumento no consumo médio de eletricidade por unidade consumidora, chegando a 197 kWh/mês ao final do período decenal no cenário de referência. Esse cenário de referência baseou-se na promoção de investimentos em infraestrutura, perspectivas favoráveis para os setores produtores de commodities e melhorias na competitividade devido a reformas estruturais (ANEEL, 2022).

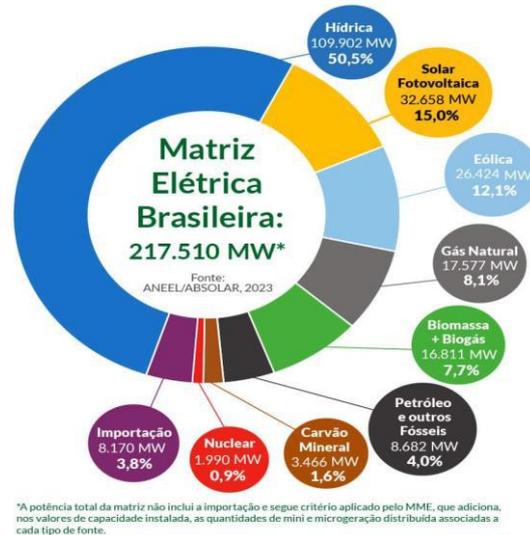
No primeiro quinquênio, houve uma retomada na produção de plantas eletrointensivas, especialmente nas indústrias de alumínio, pelotização e soda-cloro. Os setores exportadores de commodities, como pelotização, siderurgia e celulose, se beneficiaram de um novo ciclo de preços das commodities. A demanda de eletricidade na rede por parte de setores como celulose e siderurgia foi limitada devido à sua capacidade de autoprodução de eletricidade. No entanto, o consumo no setor de Comércio e Serviços começou a ganhar impulso ao longo do período decenal.

As outras classes de consumo, menos influenciadas por flutuações cíclicas na economia, apresentaram variações relativamente pequenas, com taxas médias anuais de crescimento variando entre 4% no cenário inferior e 4,7% no cenário superior. Em relação ao consumo total de eletricidade na rede, observou-se o seguinte: a) cenário de referência, o crescimento anual médio foi de 3,4%; b) cenário superior, registrou-se um crescimento anual de 4,1%; c) cenário inferior, o crescimento anual foi de 2,8% (ANEEL, 2022).

Essas projeções levaram em consideração as diversas variáveis econômicas e setoriais, bem como as perspectivas de crescimento, reformas estruturais e ciclos de commodities, influenciando assim o consumo de eletricidade ao longo do período analisado no PDE 2032.

A fonte solar fotovoltaica vem revolucionando a matriz energética no Brasil, como mostra o Gráfico 1 abaixo, já ocupando a segunda potência em geração de energia. Os números que se consolidam a cada dia mais, devido ao grande número de telhados disponíveis em todo Brasil e ótima irradiação a nível Brasil, faz com que a economia circular possa gerar energia com economia ao consumidor e empregabilidade às empresas prestadoras de serviço.

Gráfico 1 – Matriz elétrica brasileira: 217.510 mw.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2022).

O gráfico acima apresenta como o Brasil expandiu sua força na geração solar fotovoltaica, demonstrando que 50,5% da Matriz Elétrica brasileira encontra-se de forma hídrica, em seguida a solar fotovoltaica com 15%, que ultrapassou a Eólica (12,1%). A seguir o Gráfico 2, apresenta a Geração Distribuída (potência instalada - MW) de acordo com o ranking dos estados brasileiros.

Gráfico 2 – Geração Distribuída (GD) – Ranking Estadual.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2022).

Conforme o gráfico anterior, verifica-se que os estados de Minas Gerais e São Paulo, mesmo com maior potência solar fotovoltaica, não se encontram entre os melhores em irradiação, isso aponta o potencial que ainda tende a crescer em todo Brasil. Com maior potência instalada, Estado de Minas Gerais e São Paulo, tem melhores políticas públicas que promovem o

desenvolvimento da geração distribuída com a fonte solar fotovoltaica. Já outros estados brasileiros não têm a mesma abertura. Sendo assim, cada estado determina suas premissas, fato que suas políticas públicas se apresentam como maiores entraves para crescimento da geração distribuída.

Já o Gráfico 3, apresenta como a geração distribuída (potência instalada - MW), demonstrando as cidades que possuem telhados gerando energia.

Gráfico 3 – Geração Distribuída (GD) – Ranking Municipal.

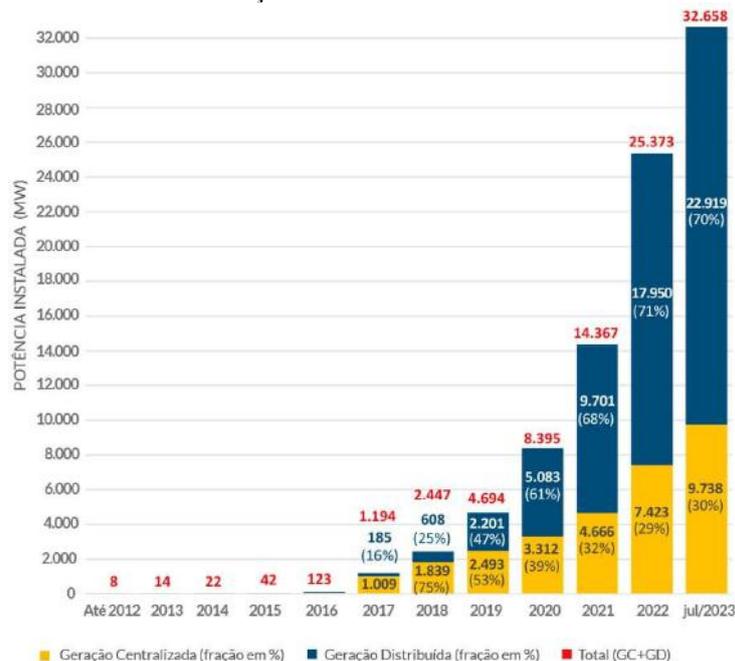


Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2022).

O Gráfico 3 demonstra que assim como nos Estados, os municípios com maior potência instalada, não corresponde aqueles com melhor irradiação, ou seja, que ainda tem muito a alavancar em outros municípios com irradiações mais favoráveis.

O crescimento da geração solar fotovoltaica, se deve muito a força da geração distribuída, como mostra o Gráfico 4, que ano após ano, a geração distribuída supera a geração centralizada.

Gráfico 4 – Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2022).

Verifica-se que o desenvolvimento da fonte solar fotovoltaica, encontra-se ligada diretamente à geração de energia principalmente na geração distribuída, o direito de gerar sua própria energia após publicação da Resolução 482/2012, fez com que a fonte solar fotovoltaica pudesse gerar economia ao consumidor final.

Analisando os benefícios proporcionados pela energia solar fotovoltaica para o Brasil, citam-se (ABSOLAR, 2023): a) mais de 32,6 gigawatts (GW) em capacidade operacional; b) Um influxo de mais de R\$ 159,1 bilhões em novos investimentos; c) A geração de mais de 979,7 mil empregos; d) Uma arrecadação de tributos que ultrapassa os R\$ 45,5 bilhões; e) A prevenção da emissão de mais de 41,0 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera.

Esses números refletem o impacto positivo da energia solar fotovoltaica no país, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, demonstrando seu potencial como fonte de energia limpa e sustentável. Dentre os principais fatores que influenciaram a escolha do integrador/fornecedor de sistemas fotovoltaicas foram os seguintes (ABSOLAR, 2022):

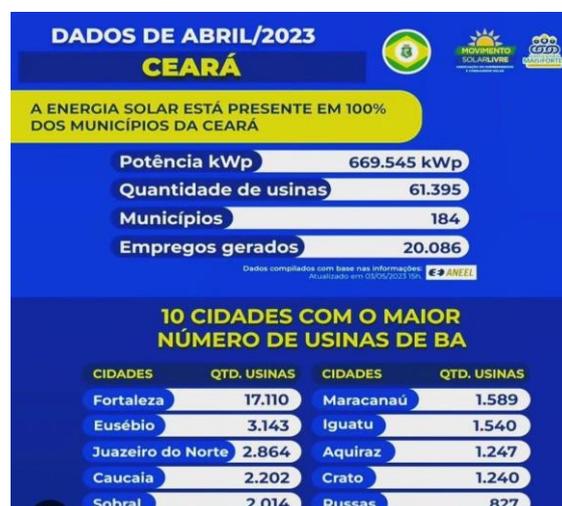
a) Confiança e Credibilidade: A confiança continua sendo o fator mais significativo, incluindo a credibilidade da empresa fornecedora e recomendações de outras fontes confiáveis.

b) Atendimento Diferenciado e Qualidade dos Equipamentos: O atendimento diferenciado por parte da empresa fornecedora se destacou, juntamente com a qualidade dos equipamentos. Isso sugere que os consumidores estão valorizando não apenas os produtos, mas também o nível de serviço prestado.

Já em relação à satisfação com os sistemas fotovoltaicas (ABSOLAR, 2022): a) 93% dos consumidores entrevistados estão satisfeitos com seus sistemas fotovoltaicos; b) 6% dos consumidores não se consideram satisfeitos. Entre as razões para a insatisfação, a principal é a falta de alinhamento entre o desempenho real do sistema e as expectativas de retorno financeiro inicialmente projetadas no orçamento.

No entanto, eles ressaltam que o valor do investimento é considerado elevado, enfatizando a importância de escolher uma empresa com um bom suporte ao longo de todo o processo. Esses dados refletem a importância da confiança, atendimento de qualidade e qualidade dos equipamentos na decisão de investir em energia solar fotovoltaica, bem como a necessidade de alinhar as expectativas financeiras com os resultados reais obtidos após a instalação do sistema. Além disso, destacam a recomendação da tecnologia, desde que o investimento seja cuidadosamente avaliado e a escolha do fornecedor seja feita de forma criteriosa (ABSOLAR, 2022). Um dos estados (Ceará) com melhor irradiação para geração solar fotovoltaica, vem começando a ganhar o cenário brasileiro como mostra o Gráfico 5 abaixo.

Gráfico 5 – Dados da Energia Solar do Estado do Ceará (potência kWp, quantidade de usinas, municípios e empregos gerados) (Abr/23).



Fonte: ANEEL/Ministério de Minas e Energia - Painel interativo do RALIE e base de MMGD (2022).

Verifica-se que geração distribuída vem proporcionando que todos os municípios do Estado do Ceará tenham pelo menos um sistema solar fotovoltaico instalado, isso mostra o quanto a tecnologia é proporcional à renda do brasileiro, atendendo a todos níveis sociais com geração de energia e economia ao consumidor final.

Assim como gerar energia com custo baixo ao consumidor final, também os estados que mais geram energia através do sol, são os que mais geram empregos como mostra o Gráfico 6.

Gráfico 6 – Os estados que mais geraram empregos na Geração Distribuídas (Abr/23).



Fonte: ANEEL/Ministério de Minas e Energia - Painel interativo do RALIE e base de MMDG (2023).

Já nos números acima, percebe-se que a fonte solar fotovoltaica é uma das que mais criou empregos em todo mundo e no Brasil, com mais de 20 mil empresas que hoje atuam de forma direta e indiretamente na prestação de serviço em todo Brasil gerando renda e economia circular aos municípios.

A seguir apresenta como a energia solar gera empregabilidade em todo território, conforme mostra o Gráfico 7.

Gráfico 7 – Empregos gerados pela Energia Solar Distribuída por Unidade de Federação (2022).



Fonte: ANEEL/Ministério de Minas e Energia - Painel interativo do RALIE e base de MMDG (2022).

O Gráfico 7 demonstra como a energia solar contribui para gerar empregos, oportunidades, qualificação, e isso que a geração distribuída com fonte solar fotovoltaica vem ocasionando a toda população do Brasil.

Além de avaliar a satisfação dos consumidores de energia solar, o estudo da Greener também revelou que o segmento de varejo é o mais ativo na instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, compreendendo 41% dos clientes. Dentro desse segmento, merecem destaque os supermercados, responsáveis por 29% das instalações, seguidos pelos postos de combustível, com 11%. Já no setor de serviços, a área de alojamento, que inclui hotéis, corresponde a 17% dos sistemas instalados, seguida pelos serviços de saúde, com 12%. Quanto ao porte das empresas que adotaram sistemas fotovoltaicos, as micro e pequenas empresas lideram em número de unidades instaladas. Em conjunto, esses dois grupos representam 73% dos consumidores entrevistados que possuem sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Isso evidencia a adoção crescente da energia solar entre empresas de menor porte no Brasil. (GREENER, 2022).

3.4 Análise da produção e geração de energia solar fotovoltaica

A geração de energia elétrica, historicamente, era predominantemente realizada em grandes usinas, que se beneficiam das vantagens das economias de escala. No entanto, essas usinas muitas vezes estavam localizadas a uma considerável distância dos centros de consumo de eletricidade. Por outro lado, os sistemas de geração distribuída são caracterizados pela presença de múltiplos geradores distribuídos ao longo da rede elétrica, em contraste com a geração centralizada. Além disso, esses geradores têm a capacidade de ser desconectados da rede principal para produzir energia diretamente no ponto de consumo, em sistemas independentes, conforme detalhado por Cabello e Pompermayer (2013).

A produção de energia fotovoltaica (PV) é uma tecnologia madura e promissora para a geração de energia renovável. No entanto, o descarte de painéis solares pode representar um desafio significativo para a gestão de resíduos, devido à crescente utilização dessa forma de energia e à quantidade substancial de lixo eletrônico que ela gera. Os painéis solares contêm metais abundantes e materiais tóxicos, tornando sua gestão ambientalmente sensível (Sousa et al., 2023).

Abordam-se os impactos ambientais da energia solar fotovoltaica e da reciclagem de painéis fotovoltaicos no Brasil. Para lidar eficazmente com os problemas que surgem no final do ciclo de vida útil dos sistemas fotovoltaicos, serão necessárias soluções tecnológicas mais eficientes e desenvolvimentos de processos. Além disso, será fundamental o desenvolvimento e implementação de mecanismos políticos e estruturas regulatórias adequadas (Sousa et al., 2023).

A Austrália destaca-se como o país líder mundial em adoção de sistemas solares em telhados, com uma ampla presença dessa tecnologia em residências e empresas. Além disso, na Austrália, a implementação do BESS (Battery Energy Storage System - Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias) já está em andamento, acompanhada por um estudo abrangente que destaca as dificuldades que podem surgir. Isso aponta para os desafios que o Brasil também enfrenta à medida que mais sistemas de energia solar forem conectados às redes de telhados (Yildiz et al., 2023).

Uma observação importante é que, à medida que a adoção de sistemas de energia solar em telhados cresce no Brasil, há uma demanda crescente por sistemas de armazenamento de energia, o que já é permitido pela Lei 14.300. Isso segue a tendência da Austrália, onde o armazenamento de energia em baterias está se tornando uma solução cada vez mais viável para o futuro. Portanto, à medida que o Brasil busca expandir sua adoção de sistemas solares fotovoltaicos, é crucial considerar a implementação de sistemas de armazenamento de energia, que desempenham um papel fundamental na estabilidade do suprimento de energia e na eficiência do sistema. É fundamental aprender com as experiências de países como a Austrália para superar os desafios e garantir uma transição energética bem-sucedida e vantajosa para todos os envolvidos (Yildiz et al., 2023).

Ao discutir a tecnologia solar fotovoltaica como uma novidade, especialmente em relação à geração distribuída, é importante observar que, embora tenha ganhado uma presença mais notável recentemente na Europa, com a Alemanha sendo

uma das pioneiras na década de 90, e mais recentemente no Brasil, essa tecnologia já demonstrou sua eficácia e validade no espaço. Os satélites, por exemplo, há muito tempo são impulsionados pela energia solar.

É interessante notar que o efeito fotovoltaico, fundamental para a tecnologia solar, foi descoberto por Alexandre Edmond Becquerel em 1839. Portanto, sua base científica tem mais de um século de existência. Embora tenha levado algum tempo para que essa tecnologia se tornasse acessível e economicamente viável para aplicações na Terra, seu potencial já era conhecido e aplicado em outros contextos, como o espacial. Portanto, ao considerar a energia solar fotovoltaica, é importante reconhecer sua longa história e sua versatilidade, que vai além das instalações de geração distribuída mais recentes.

A matriz elétrica do Brasil tem como principal fonte de geração de energia as fontes renováveis, representando aproximadamente 80% da capacidade instalada. A maior parcela dessa energia é proveniente de fontes hidrelétricas, embora seu crescimento tenha sido limitado a apenas 2,3% entre 2018 e 2019. Por outro lado, a geração solar, que contribui com um pouco mais de 8% da capacidade, experimentou um aumento significativo de 92,1% durante o mesmo período. Além disso, a energia eólica também se destaca, com um crescimento de 15,5% (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2022).

Este estudo inovador na Austrália investiga todos os três modos de resposta de qualidade de energia do inversor e desenvolve novos algoritmos para avaliar essa redução. Utilizando dados de medições reais de PV distribuído e energia de bateria de 1.300 residências em resolução de 1 segundo este estudo possui uma amostra de tamanho considerável. Pela primeira vez, o estudo compara a redução experimentada entre locais apenas com PV distribuído e locais com PV distribuído acoplado a sistemas de bateria (Yildiz et al., 2023).

Ao analisar a região da Austrália do Sul com mais de 40% de penetração de PV distribuído, a mais alta do mundo, o estudo revela que a perda média de redução foi de 1,5% para locais apenas com PV distribuído e 0,2% para sistemas de PV distribuídos com baterias. No entanto, alguns locais foram fortemente afetados, com perdas de até 25% na geração. As razões para maiores perdas foram identificadas como falhas de fiação e de conexão de rede, bem como pontos de regulação de alta tensão nas subestações locais correspondentes. A variação substancial nas perdas de geração entre os locais indica a necessidade de uma investigação mais aprofundada sobre o projeto e regulamentações dos modos de resposta de qualidade de energia (Yildiz et al., 2023).

As usinas termelétricas desempenham um papel estratégico na matriz elétrica brasileira, especialmente quando se trata de melhorar a segurança do Sistema Interligado Nacional (SIN). Essas usinas podem ser acionadas conforme necessário, dependendo da demanda de energia, das condições hidrológicas atuais, bem como dos recursos disponíveis de energia solar e eólica. Em áreas onde sistemas isolados são necessários, as usinas termelétricas muitas vezes representam a única alternativa viável para atender à demanda energética.

Os mecanismos regulatórios e os acordos setoriais para equipamentos elétricos e eletrônicos no Brasil já começaram a abordar parte dessas questões de resíduos. Esses acordos estabelecem a necessidade de sistemas de logística reversa para equipamentos e dispositivos específicos, visando uma gestão mais responsável dos resíduos industriais (Sousa et al., 2023).

No entanto, para garantir uma gestão sustentável e eficaz dos resíduos provenientes da energia solar fotovoltaica, será preciso ir além das soluções tecnológicas e dos desenvolvimentos de processos. Será fundamental a criação e implementação de políticas e estruturas regulatórias abrangentes que incentivem e orientem adequadamente as práticas de tratamento de resíduos industriais no final do ciclo de vida útil dos sistemas fotovoltaicos (Sousa et al., 2023).

Essa diversificação na matriz elétrica, com uma crescente participação de fontes renováveis, reflete os esforços do Brasil para garantir um suprimento de energia confiável e sustentável, ao mesmo tempo em que reduz a dependência de fontes não renováveis, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.

A redução dos sistemas de armazenamento de energia fotovoltaica (PV) e baterias distribuídas terá um impacto significativo na transição global do sistema energético. A Austrália serve como um estudo de caso único, com a maior taxa de

instalação de PV distribuído e uma frota em crescimento de sistemas de armazenamento de energia por bateria. No entanto, os inversores de PV e bateria na Austrália devem exibir modos de resposta de qualidade de energia responsivos à voltagem para evitar picos excessivos de voltagem causados pelo aumento das exportações de energia durante o dia. Esses modos podem reduzir a produção de energia e limitar o valor obtido com os ativos de energia renovável.

Analisando o desempenho de um sistema fotovoltaica com uma capacidade de 2,2 quilowatts-pico (kWp) que foi instalado na Universidade Estadual do Ceará na cidade de Fortaleza, foram analisadas as coordenadas geográficas da instalação são uma latitude de 3,40°S, uma longitude de 38,33°W, e a altitude de 31 metros acima do nível do mar. Verificou-se que o sistema FV atingiu um rendimento energético anual de 1.685,5 quilowatt-hora por quilowatt-pico (kWh/kWp). A média diária de referência, bem como os rendimentos finais do sistema, ficou em 5,6 kWh/kWp, 4,9 kWh/kWp e 4,6 kWh/kWp, respectivamente. Desta forma, as perdas médias diárias da matriz e do sistema foram calculadas em 1,05 kWh/kWp anualmente, enquanto as eficiências médias anuais do conjunto de painéis solares, do sistema como um todo e do inversor foram de 13,3%, 12,6% e 94,6%, respectivamente. A taxa de desempenho do sistema foi avaliada em 82,9%, e o fator de capacidade atingiu 19,2%. Esses números destacam o desempenho relativamente satisfatório dos sistemas fotovoltaicos instalados na região Nordeste do Brasil (Lima et al., 2017).

Esses resultados poderiam ter sido ainda melhores se o sistema fotovoltaico estudado não tivesse sido afetado pela sombra de um poste de concreto durante o período de três meses. Apesar disso, os dados de desempenho demonstram o considerável potencial de geração de eletricidade por meio da energia solar fotovoltaica no estado do Ceará, Brasil (Lima et al., 2017).

Além disso, o estudo avalia a conformidade do inversor utilizando dados operacionais reais para todos os três modos de resposta de qualidade de energia, revelando uma baixa taxa de conformidade com os padrões australianos. Houve diversas discrepâncias na execução desses modos, destacando a importância de reforçar as verificações de conformidade do inversor, dada a crescente importância da frota de inversores de PV e bateria para a operação e segurança da rede elétrica. Portanto, os resultados deste estudo incentivam uma investigação mais aprofundada sobre as causas dessas discrepâncias e a implementação de mecanismos apropriados para fortalecer as verificações de conformidade do inversor.

Há diversas maneiras de aproveitar a energia elétrica. Uma delas é a geração próxima ao ponto de consumo, que envolve a instalação de sistemas de microgeração ou minigeração distribuída diretamente no local onde a energia será utilizada. Esses sistemas podem ser de propriedade de pessoas físicas ou jurídicas. O conceito de autoconsumo remoto permite que a energia gerada por essas unidades seja compensada com o consumo de energia de outras unidades localizadas em diferentes locais de geração, desde que todas pertençam à mesma pessoa e estejam na mesma área de concessão, conforme regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2022).

Outra abordagem é a implementação de empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras. Isso ocorre quando várias unidades, geralmente localizadas em uma mesma propriedade ou em áreas adjacentes, compartilham a energia elétrica gerada por um sistema distribuído. Cada unidade recebe uma porção da energia gerada, enquanto as instalações nas áreas de uso comum são tratadas como uma única unidade de consumo. A administração ou o proprietário do empreendimento são responsáveis pelo gerenciamento desse sistema (ANEEL, 2022).

O Módulo dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) e, a partir de 2022, a REN 1000/2021, detalham os requisitos e procedimentos relacionados à conexão de unidades de microgeração e minigeração à rede de distribuição de energia elétrica. A REN 1000/2021 estabelece que as concessionárias de distribuição são responsáveis pelo custo das melhorias e reforços nos sistemas de distribuição necessários exclusivamente para a integração da microgeração distribuída. Nesse cenário, os consumidores não têm participação econômica nesses custos, a menos que estejam envolvidos em um projeto de geração compartilhada (ANEEL, 2022).

No entanto, para outras situações, como quando é necessário aumentar a carga acima de 50 kW, expandir o número de fases da rede de alta tensão no local ou conectar uma unidade de minigeração, os custos podem ser compartilhados entre a concessionária e os consumidores, de acordo com os critérios estabelecidos na REN 1000/2021. Caso os usuários do sistema desejem operar suas instalações em modo ilha, ou seja, de forma independente da rede de distribuição, eles devem garantir que a instalação esteja fisicamente desconectada da rede de distribuição (ANEEL, 2022).

A determinação do número de fases e do nível de tensão de conexão será realizada pela concessionária com base nas características técnicas da rede no local e nas normas vigentes. Além disso, os sistemas conectados à rede por meio de inversores devem atender aos requisitos de conformidade estabelecidos nas normas técnicas nacionais ou internacionais. Essas regulamentações visam assegurar a integração eficiente e segura da microgeração e minigeração distribuída à rede de distribuição elétrica no Brasil.

4. Considerações Finais

Realizado o presente artigo foi importante destacar que a energia solar fotovoltaica está se tornando uma parte fundamental do cenário energético global. Verificou-se que o desenvolvimento e implementação da plataforma de gestão para projetos de energia solar fotovoltaica, com foco em empreendedorismo, inovação e sustentabilidade, representa um avanço significativo no setor de energias renováveis.

Sendo assim, a integração de práticas empreendedoras proporcionou uma abordagem ágil e inovadora na condução dos projetos, permitindo a adaptação às rápidas mudanças tecnológicas e às demandas do mercado. Além disso, a consideração constante da sustentabilidade como um pilar fundamental garantiu que os projetos desenvolvidos não apenas contribuíssem para a matriz energética limpa, mas também tivessem um impacto positivo no meio ambiente e na comunidade local.

A plataforma de gestão demonstrou sua eficácia na superação de obstáculos, como os custos iniciais elevados e a complexidade regulatória. Através de ferramentas avançadas de gestão de projetos e análise de viabilidade, foi possível otimizar a alocação de recursos e garantir a viabilidade econômica dos empreendimentos. Foi analisada ainda que a promulgação da Lei 14.300/2022 no Brasil se apresenta como um marco significativo nesse contexto. A regulamentação e o apoio governamental estão impulsionando o crescimento da geração distribuída e centralizada de energia solar, criando inúmeras oportunidades para o setor de serviços e inovações tecnológicas.

Torna-se fundamental o reconhecimento da transição para a energia solar fotovoltaica, que não apenas contribui para a diversificação da matriz energética e a redução das emissões de carbono, mas também gera empregos, promove a independência energética e impulsiona a economia. Nesse cenário, empresas e profissionais têm a chance de se destacar no desenvolvimento, instalação, manutenção e prestação de serviços relacionados à energia solar. A constante evolução tecnológica no setor oferece oportunidades para a criação de soluções mais eficientes e acessíveis, abrindo caminho para um futuro mais sustentável e energeticamente eficiente.

Do ponto de vista socioeconômico, a iniciativa teve um impacto positivo na geração de empregos e no desenvolvimento das comunidades locais. A capacitação dos profissionais do setor proporcionou um aumento significativo na qualidade dos serviços prestados, além de fomentar o empreendedorismo na área de energia solar. Em termos ambientais, os projetos implementados demonstraram uma redução substancial nas emissões de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. A sustentabilidade foi incorporada em todas as fases dos projetos, desde a seleção dos materiais até a disposição final dos componentes.

Em suma, a energia solar fotovoltaica não apenas reduz a dependência de fontes de energia poluentes, mas também contribui para a criação de empregos, a redução das emissões de carbono e o aumento da independência energética. Além disso, ela promove a segurança energética e a estabilidade do mercado de energia, beneficiando tanto consumidores quanto o meio

ambiente. As oportunidades de negócios e inovações tecnológicas estão se multiplicando, e os benefícios socioeconômicos são claros. Portanto, é essencial que empresas e profissionais estejam atentos a esse cenário em constante evolução e estejam preparados para aproveitar as vantagens que essa legislação oferece no caminho em direção a uma matriz energética mais limpa e sustentável.

Dentre as sugestões para trabalhos futuros, citam-se: a) maior integração da eficiência energética aos sistemas de energia solar fotovoltaica, com destaque nas melhorias do desempenho e qualidade da energia e a sustentabilidade destes sistemas; b) pesquisas e estratégias educacionais sobre a conscientização para maior promoção e adoção de energia solar fotovoltaica em comunidades locais e globais; c) maior capacitação de novas tecnologias na geração, armazenamento e análises via plataformas IOT, gerando assim maior sustentabilidade e empregabilidade no setor; d) aplicabilidade da bateria para mitigar falhas na rede de distribuição, bem como utilizar backups no momento que não possuir energia da rede e nem a irradiação; e) utilização dos sistemas híbridos no agronegócios e nas indústrias, por meio da pulverização e integração das fontes de energias (solar e hidrelétrica, solar e bateria) contemplando assim novos modelos de negócios para sistemas fotovoltaicos on-grid ou off-grid (microrredes e microgrids).

Agradecimentos

Agradecemos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização e sucesso deste artigo.

Referências

- ABSOLAR. (2022). *93% dos consumidores estão satisfeitos com seus sistemas*. – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). <https://www.absolar.org.br/noticia/93-dos-consumidores-estao-satisfeitos-com-seus-sistemas/>.
- ANEEL. (2015). *Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica*. Resolução Normativa Nº 687. Brasília. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>
- ANEEL. (2022). *Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída* – Resolução Normativa nº 482/2012 Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 003/2019-SRD/SGT/SRM/SCG/SMA/ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). <https://www.gov.br/aneel/pt-br/acao-informacao/institucional/a-aneel>.
- Brasil. (2019). *Projeto de Lei nº 5829, de 2019*: Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/matéria/149862>.
- Brasil. (2022). *Lei 14.300, de 06 de janeiro 2022*: Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm.
- Cabello, A. F. & Pompermayer, F. M. (2013). *Energia fotovoltaica ligada à rede elétrica*: atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico. Brasília: IPEA.
- CNI. (2019). *Indústria 4.0 pode mudar o futuro da energia*. Confederação Nacional da Indústria (CNI). <http://www.portaldaindustria.com.br/busca/?q=ENERGIA, 2019>.
- Correia, A. M. R. & Mesquita, A. (2014). *Mestrados e doutoramentos*. (2a ed.), Vida Econômica Editorial.
- EPE. (2021). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2031*. - Empresa de Pesquisa Energética (EPE). <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenas-de-expansao-de-energia-2031>.
- EPE. (2022). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2032: demanda de eletricidade*. Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenas-de-expansao-de-energia-2032>.
- EPE. (2022). *Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032. Micro e Minigeração Distribuída & Baterias*. Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno_MMGD_Baterias.pdf.
- GIL, A. C. (2017). *Como elaborar projetos de pesquisa*. (6a ed.), Atlas.
- Greener (2022). *Estudo Estratégico Geração Distribuída Mercado Fotovoltaico: 2º Semestre - 2021 Brasil*. <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategicogeracao-distribuida-2021-mercado-fotovoltaico-2-semester/>.
- IRENA (2022). *Dados do setor de energia solar*. Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA). https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2022.pdf.

- Lima, L. C., Ferreira, L. A. & Morais, F. H. B. L. (2017). Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. *Energy for Sustainable Development*, 37, 79–85.
- Marconi, M. A. & Lakatos, E. M. (2017). *Metodologia do trabalho científico*. (8a ed.), Atlas.
- Mosqueira, G. L. (2020). *A evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil*. Orientador: Carlos Buzzanelo 2020. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração Pública, Centro de Ciências Políticas e Jurídicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. https://scholar.google.com.br/scholar?hl=ptBR&as_sdt=0%2C5&q=A+EVOLU%C3%87%C3%83O+DA+ENERGIA+SOLAR+FOTOVOLTAICA+NO+BRASIL&btnG=
- Purificação, R. A. N., Ramos, H. R. & Kniess, C. T. (2020). Barreiras e facilitadores para o uso da energia fotovoltaica: uma revisão sistemática da literatura. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, [S. l.], 16(2). 10.17271/1980082716220202327.
- Salhab, R. M. (2021). Financiamento de energia solar fotovoltaica para clientes de varejo: desafios e oportunidades. *Revista BNDES*, 28(56), 437-474.
- Sampaio, M. F. (2021). *Impacto das alternativas da Aneel para o sistema de compensação das microgerações e minigerções distribuídas de energia elétrica*. Orientadora: Raphael Amaral. 69 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Centro de tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/62066>.
- Schwab, K. (2016). *A quarta revolução industrial*. Tradução de Daniel Moreira Miranda. World Economic Forum,
- Sousa, N. M., Oliveira, C. B. & Cunha, D. (2023). Photovoltaic electronic waste in Brazil: Circular economy challenges, potential and obstacles. *Social Sciences & Humanities Open* 7.
- Yildiz, B., Naomi, S., Klymenko, T., Samhan, M. S., Abramowitz, G., Bruce, A., MacGill, I, Egan, R. & Sproul, A. B. (2023). Real-world data analysis of distributed PV and battery energy storage system curtailment in low voltage networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186 (1), 1-17.