
OPORTUNIDADES E DESAFIOS DO SETOR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Opportunities and challenges of the photovoltaic solar energy in Brazil

Janaina Ottonelli

Administradora de Empresas. Pós-Doutorado em Administração pelo Núcleo de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal da Bahia - NPGA /UFBA. Av. Reitor Miguel Calmon, s/n, Vale do Canela, Salvador/BA, CEP: 40.110-903. janainaottonelli@gmail.com

Ulysses de Brito Cruz

Engenheiro Elétrico. Engenheiro Eletricista da Universidade Federal de Sergipe – UFS.
Doutor em Administração pelo NPGA/UFBA. ulyssescruz@infonet.com.br

Adriano Costa Rosa

Advogado. Mestrando em Administração no NPGA/UFBA. adriano@crvadogados.com.br

José Célio Silveira Andrade

Engenheiro Químico. Doutor em Administração. Professor Titular da Escola de Administração da UFBA. jcelio.andrade@gmail.com

Resumo: As emissões de gases do efeito estufa resultantes do uso de fontes fósseis de energia são a principal causa da ocorrência de eventos de mudanças climáticas que impactam diretamente no equilíbrio dos ecossistemas e na vida humana. Uma forma de contribuir com a redução das emissões é ampliar o uso de fontes renováveis de energia. A energia solar fotovoltaica é um exemplo de energia limpa que mais cresce no mundo e o Brasil reúne níveis favoráveis de irradiação solar para geração de energia elétrica. Desse modo, este estudo tem como objetivo identificar as oportunidades de desenvolvimento e os desafios enfrentados pelo setor de geração de energia solar fotovoltaica no país. Para tal, fez-se uma revisão da literatura buscando recuperar publicações nacionais e internacionais dos últimos 5-10 anos. Os resultados apontam que, além da redução dos gases de efeito estufa, as principais oportunidades do setor são a geração de emprego, a garantia de segurança energética e o desenvolvimento de tecnologias para o setor. Entre os desafios impostos ao setor estão o desenvolvimento da indústria fotovoltaica no país, a criação de políticas públicas voltadas ao setor que garantam segurança jurídica, a ampliação de acesso ao financiamento e a reciclagem dos painéis fotovoltaicos.

Palavras-chave: Energia Renovável; Geração Centralizada; Geração Distribuída; Transição Energética; Energia Solar Fotovoltaica.

Abstract: Greenhouse gas emissions resulting from the use of fossil fuels have led to climate change events that directly impacts the balance of ecosystems and human life. Increasing the use of renewable energy sources may contribute to reducing emissions. Photovoltaic solar energy is an example of the fastest growing clean energy worldwide and Brazil has good levels of solar irradiation for electricity generation. This work aims to identify the development opportunities and challenges faced by the photovoltaic energy generation sector in Brazil. We conducted a literature review considering national and international publications from the last 5-10 years. Results show that, in addition to the reduction of greenhouse gases, the main sector's opportunities identified are the generation of new jobs, and the guarantee of energy security, technological development. The challenges faced by the photovoltaic energy sector are the development photovoltaic industry in the country, the creation of policies to stimulate the sector, the expansion of financing and the establishment of recycling companies of the silicon purification and doping industry, creation of policies that can ensure the demand and stimulate the establishment of panel photovoltaic companies.

Keywords: Renewable Energy; Centralized Generation; Distributed Generation; Energy Transition; Photovoltaic Solar Energy

1 INTRODUÇÃO

A queima de combustíveis fósseis, tais como os derivados do petróleo, o carvão mineral e o gás natural, resultam na emissão de gases do efeito estufa na atmosfera. Os principais gases emitidos pelo uso de fontes de energias não renováveis são os gases carbônico (CO₂) e metano (CH₄) responsáveis pelo efeito estufa que causa mudanças climáticas como o aumento da temperatura média mundial, o derretimento das calotas polares, mudanças nos padrões de precipitação, o aumento do nível do mar, maior incidência e intensidade de eventos climáticos como tempestades, furacões, incêndios e inundações.

A Organização das Nações Unidas (ONU) tem contribuído para a discussão pública sobre os problemas ambientais e suas consequências para o ecossistema natural e para a vida humana (UNITED NATIONS, 1972; 1992), bem como sobre ações para o desenvolvimento sustentável (WCED, 1987). Em 2015, a ONU lançou “Agenda 2030” que estabelece os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para elevar o desenvolvimento no mundo; entre eles está o ODS7 que visa assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível a fontes renováveis limpas de energia (UNITED NATIONS, 2015b). No mesmo ano, 195 países aprovaram o Acordo de Paris na 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima (UNFCCC) com o objetivo de reduzir emissões de gases de efeito estufa e limitar o aumento da temperatura mundial em 2°C em relação aos níveis pré-industriais (UNITED NATIONS, 2015a). Esse objetivo busca fortalecer a resposta global à ameaça da mudança no clima no contexto do desenvolvimento sustentável e reforçar a capacidade dos países em promover ações de mitigação e adaptação visando maior resiliência climática.

O Brasil assinou o Acordo de Paris em 2016 e estabeleceu as Contribuições Nacionalmente Determinadas, ou seja, os compromissos oficiais para a redução das emissões de gases de efeito estufa em 37% em 2025 e em 43% em 2030, considerando como referência o ano de 2005 (BRASIL, 2015). As ações propostas pelo País foram: zerar o desmatamento ilegal na Amazônia; restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas e 15 milhões de hectares de pastagens degradadas; adotar tecnologias limpas no setor industrial; promover melhorias na infraestrutura de transportes e no transporte público; alcançar uma participação de 10% de ganhos de eficiência energética no setor elétrico, 18% no uso de bioenergia sustentável (etanol e biodiesel) e de 45% em energias renováveis (biomassa, hídrica, eólica e solar) na composição da matriz energética. Em 2020, o Brasil incluiu um novo compromisso à NDC de alcançar neutralidade climática em 2060, desde que o País seja contemplado com transferências de órgãos internacionais de pelo menos US\$ 10 bilhões por ano, para que possa investir na conservação de florestas (BRASIL, 2020).

Um dos compromissos a ser alcançado pelo País é o aumento da participação de energias renováveis na matriz elétrica. Em 2019, a energia solar fotovoltaica cresceu 22% no mundo (IEA, 2020b) e, juntamente com a energia eólica, tem sido a fonte de energia mais resiliente às medidas de lockdown da pandemia do Coronavírus (IEA, 2020a). No mundo, os países que mais geram energia solar fotovoltaica em 2018 foram China (177 GW), EUA (63 GW), Japão (56 GW), Alemanha (46 GW) e Índia (33 GW) (ABSOLAR, 2020b). No Brasil, a alta incidência de irradiação solar favorece a geração centralizada de energia solar fotovoltaica em usinas solares e a geração distribuída em residências, estabelecimentos públicos e prédios comerciais (EPE, 2012). Em 2019, a participação da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica foi de 1,1% totalizando 6,6 GWh de energia gerada, com um crescimento de 92,1% em relação a 2018 (EPE, 2020a).

Quando comparado com outros países do mundo, apesar do alto potencial, a geração de energia solar fotovoltaica ainda é incipiente no Brasil. A energia solar pode ter um papel fundamental para que o Brasil consiga atender aos compromissos de ampliar a participação de fontes renováveis e reduzir emissões. Assim, este estudo tem como objetivo identificar as oportunidades de desenvolvimento e os desafios enfrentados pelo setor de geração de energia solar fotovoltaica no País. Para isso, na seção 2 são detalhados os procedimentos metodológicos empregados no estudo; na seção 3, são

apresentadas as principais características da energia solar fotovoltaica e um panorama do setor no Brasil; na seção 4, são identificadas as principais oportunidades e desafios do setor no Brasil; por fim, na seção 5, são apresentadas as considerações finais.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo exploratório qualitativo conduz uma revisão da literatura a partir da utilização de três etapas e duas estratégias metodológicas (pesquisas bibliográfica e documental) para recuperar publicações relevantes sobre o setor de energia solar fotovoltaica, oportunidades de desenvolvimento e desafios enfrentados pelo setor. Na primeira fase, foi feita uma pesquisa bibliográfica para buscar artigos científicos nacionais e internacionais no Google-Scholar, Scielo e Science-Direct através do uso das palavras-chave combinadas (nas línguas portuguesa e inglesa): “energia solar fotovoltaica”, “Brasil”, “oportunidades”, “desafios”. Na segunda fase, foi feita uma pesquisa documental nos websites das principais instituições relacionados ao setor de energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo, tais como, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (AB-SOLAR), Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE), *International Energy Agency* (IEA), *International Renewable Energy Agency* (IRENA), entre outras, visando coletar relatórios institucionais, trabalhos técnicos, anuários estatísticos, legislações, instruções normativas e working-papers, para complementar a pesquisa bibliográfica realizada na primeira etapa. Convém salientar que nas duas primeiras etapas foram adotadas as seguintes delimitações linguística e temporal – foram recuperados trabalhos, em português e inglês, publicados preferencialmente nos últimos 5-10 anos. Já na terceira e última fase, foi criada uma base de publicações, relacionadas ao setor de energia solar fotovoltaica, recuperadas nas duas primeiras fases da pesquisa, e após a leitura exaustiva dessas publicações, foram selecionadas as referências utilizadas para a construção deste artigo, tendo como critério de seleção a aderência do trabalho lido ao objetivo perseguido por este artigo..

3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar é um tipo de energia renovável proveniente da luz e do calor do sol. Os principais sistemas de aproveitamento da energia solar são os coletores planos, os concentradores e os painéis fotovoltaicos. Os coletores planos são usados para o aquecimento ou refrigeração de água e ar. Os concentradores solares utilizam um arranjo de espelhos alinhados a um receptor para captar a luz solar com o objetivo de aquecer água e gerar vapor para movimentar turbinas a vapor para produção de energia elétrica. Por fim, os painéis fotovoltaicos permitem a geração de corrente elétrica a partir da radiação (calor e luz) sobre materiais semicondutores (ex. silício purificado e dopado), que é levada ao inversor solar para transformação da corrente elétrica contínua em alternada para ser distribuída para consumo (PINHO; GALDINO, 2014; SILVA, 2014).

A cadeia produtiva de sistemas de geração de energia fotovoltaica inclui a fabricação das placas solares (materiais semicondutores como silício grau solar ou filmes finos), estrutura metálica, cabos, colas e adesivos, *string box*, inversores e baterias para o armazenamento da energia excedente para ser utilizada nos horários em que não há incidência de sol (CELA-SEBRAE, 2018). Hoje 90% das placas solares utilizadas são feitas de silício, exigem baixa manutenção, possuem eficiência de 20-22%, com garantia de 10 anos dos fabricantes e têm vida útil média de 25 anos (DANTAS; POMPERMAYER, 2018; REN21, 2019). A China domina a produção global de células fotovoltaicas, bem como o mercado mundial de energia solar fotovoltaica, sendo as dez principais fabricantes em 2018, responsáveis por 60% dos módulos entregues, as empresas: JinkoSolar, JA Solar, Tri-

na Solar, LONGi Solar, Risen Energy, GCL-SI e Talesun (todas da China), Canadian Solar (China/Canadá), Hanwha Q-CELLS (Coreia do Sul) e First Solar (Estados Unidos) (REN21, 2019).

Os sistemas de geração de energia solar fotovoltaica podem ser instalados em estruturas de construções residenciais, públicas, comerciais ou industriais, cobrindo os telhados e paredes laterais, e também podem ser instalados usinas/plantas solares em terras disponíveis (LACCHINI; SANTOS, 2013). Os projetos de energia solar fotovoltaica envolvem empresas de assessoria e consultoria, distribuição de equipamentos, agentes financiadores, seguradoras, empresas de desenvolvimento de projetos, de engenharia e de manutenção, bem como empresas de editoração, associações e instituições de ensino e pesquisa (CELA-SEBRAE, 2018).

Segundo o REN21 (2019), a energia solar fotovoltaica é a fonte de energia que mais cresce no mundo, sendo que no fim de 2018, pelo menos 32 países tinham uma capacidade acumulada de 1 GW ou mais e a produção anual no mundo foi de 640 TWh representando 2,4% da geração de eletricidade global anual. Os países líderes de capacidade acumulada em 2018 foram China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Índia. A produção energia solar fotovoltaica em sistemas de flutuação hídrica também cresceu nos últimos anos, principalmente na China, e é uma alternativa em países que não dispõem de muitas terras, precisam reduzir os efeitos da variabilidade dos recursos solares ou que precisam evitar a evaporação de água dos reservatórios.

A energia solar fotovoltaica também permite o bombeamento de água para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura; a geração de energia para dessalinização da água; o resfriamento de laticínios; a iluminação pública; os sistemas de eletrificação coletivos (hospitais, escolas, empresas); e a geração de energia no espaço, como em satélites (DINIZ et al., 2011; KANNAN; VAKEESAN, 2016; REN21, 2019).

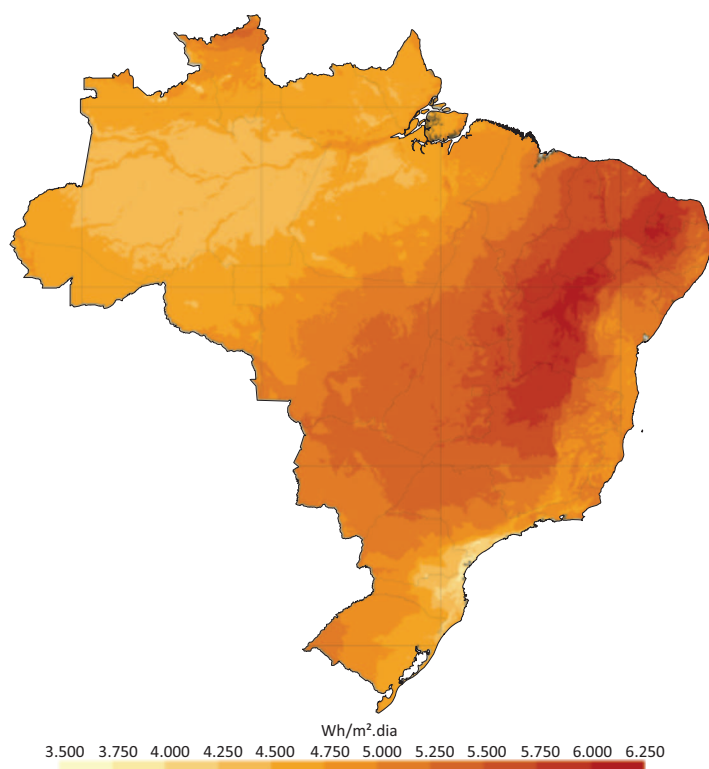
Os preços dos módulos fotovoltaicos caíram nos últimos anos, que levou a uma redução nos custos de instalação dos sistemas e da geração da energia, bem como a um aumento da instalação dos sistemas no mundo. Pesquisadores trabalham no desenvolvimento de tecnologias para aumentar a eficiência e a estabilidade da produção de energia das placas solares, bem como para substituir metais pesados por materiais mais ecológicos. Além disso, produtores de módulos também desenvolvem tecnologias avançadas e sistemas de informação como os módulos bifaciais e rastreadores de eixos para aumentar a captação da luz do sol (REN21, 2019).

A seguir, são apresentados os dados do setor fotovoltaico no Brasil, evolução ao longo do tempo e detalhes da geração centralizada e geração distribuída no País.

3.1 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

A produção da energia solar fotovoltaica no Brasil é favorecida pela posição geográfica do País entre o Equador e o Trópico de Capricórnio (SILVA, 2014). Outro fator impulsionador é a grande quantidade de terras disponíveis, que permite a instalação de sistemas solares que combinam alta incidência de radiação solar durante todos os meses do ano, baixas latitudes e reduzidos índices pluviométricos (EPE, 2012). A Figura 1 mostra um mapa de irradiação anual média para o Brasil em que a produção de energia solar fotovoltaica pode ser realizada em todos os estados do País, sendo os estados localizados na Região Nordeste os que recebem a maior incidência da irradiação solar (PEREIRA et al., 2017).

Figura 1 – Média anual da irradiação global horizontal do Brasil



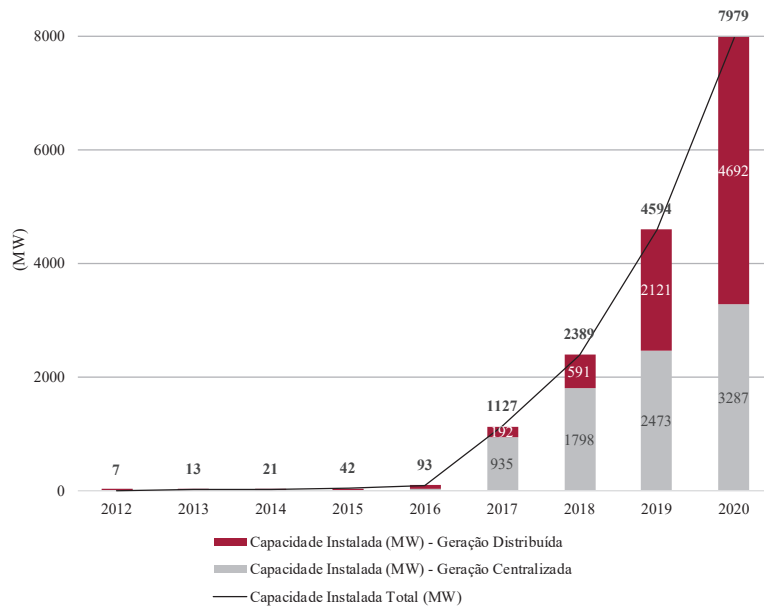
Fonte: Atlas brasileiro de energia solar (PEREIRA et al., 2017).

O Brasil possui grandes reservas de quartzo de qualidade que podem ser transformadas em silício grau metalúrgico utilizadas na geração de energia solar fotovoltaica, sendo as maiores nos estados da Bahia, Minas Gerais e Goiás (CGEE, 2010). Contudo, o processo industrial de purificação do silício para o grau solar não é realizado no País (SOUZA; CAVALCANTE, 2016). As lâminas de silício grau solar são importadas e representam o item mais caro da placa fotovoltaica (MCTIC, 2018) devido ao alto valor agregado do beneficiamento do silício e a alíquota zero dos impostos de ICMS e IPI (ESPOSITO; FUCHS, 2013).

O setor produtivo de energia solar brasileiro tem apresentado grande crescimento nos últimos anos. A queda nos preços das placas solares associada ao aumento da eficiência da geração de energia elétrica, a qualidade dos materiais e a regulação do setor no País impulsionaram o crescimento da adoção da geração solar fotovoltaica (ABSOLAR, 2020b).

A Figura 2 mostra a evolução da capacidade instalada de potência (MW) para geração centralizada e geração distribuída da fonte solar fotovoltaica no Brasil de 2012 a 2020 a partir de dados da EPE (2020a, 2021) e da ABSOLAR (2021). Apesar de um início tímido em 2012, observa-se que a partir de 2016 houve crescimento acelerado da capacidade instalada total, passando de 93 MW para 1127 MW em 2017, 2389 MW em 2018, 4594 MW em 2019 e 7979 MW em 2020. A geração centralizada representava a maioria da potência instalada no país, contudo em 2020 a geração distribuída alcançou a posição de liderança no setor com mais de 58% da capacidade instalada total. Segundo previsões da ABSOLAR (2021), o setor solar irá ultrapassar 10 GW de potência instalada em 2021.

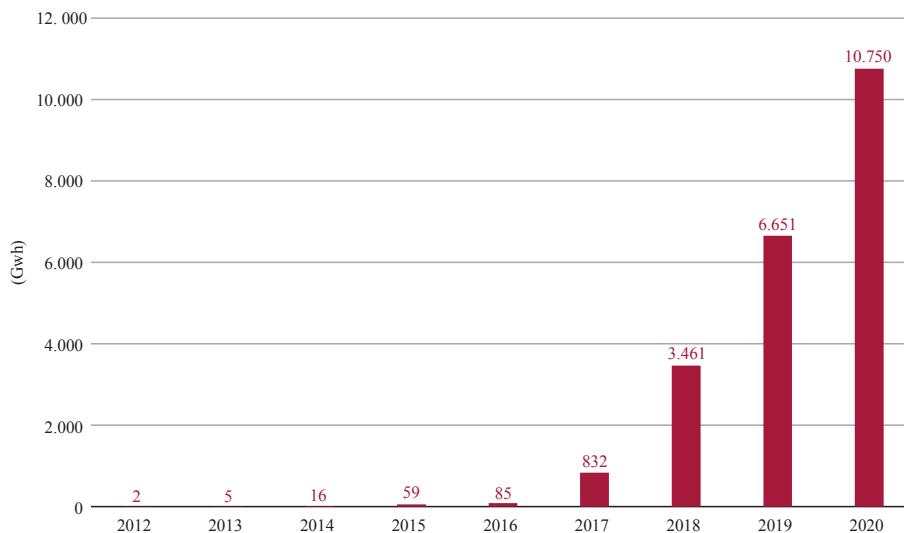
Figura 2 – Capacidade instalada da fonte solar fotovoltaica no Brasil



Fonte: EPE (2020a, 2021) e ABSOLAR (2021).

A Figura 3 mostra a evolução da geração de eletricidade pela fonte solar fotovoltaica total de 2012 a 2020 a partir de dados da EPE (2020a, 2021), somadas a geração centralizada e a geração distribuída. Observa-se que houve um aumento significativo a partir de 2016, passando de 85 GWh para 832 GWh gerados em 2017 (variação anual de 878%), 3461 GWh em 2018 (316%), 6651 GWh em 2019 (92,1%) e 10750 GWh em 2020 (61,5%).

Figura 3 – Geração de eletricidade da fonte solar fotovoltaica no Brasil



Fonte: EPE (2020a, 2021).

CELA-SEBRAE (2018) destaca incentivos voltados ao setor fotovoltaico. Entre eles, está a isenção do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias (ICMS) para equipamentos destinados à geração de energia elétrica por células fotovoltaicas, mas não inclui todos os equipamentos como inversores e medidores (CONFAZ, 1997). Outro incentivo é o Programa de apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS) que consiste em

um conjunto de incentivos fiscais destinado a contribuir para a atração de investimentos na área de semicondutores e displays, usados como insumo para produtos eletrônicos, incluindo as células e módulos fotovoltaicos, por meio de desoneração de determinados tributos federais incidentes na planta industrial, na produção e comercialização dos dispositivos como redução a zero de alíquotas de Imposto de Importação, PIS/PASEP e COFINS incidentes na venda no mercado interno ou de importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos (BRASIL, 2007, 2014). Além disso, é possível que o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e o Imposto de Renda (IR) sejam objeto de alíquota zero, quando condicionados a investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), e a Lei da Informática pode oferecer benefícios tributários para bens de informática e de automação, também condicionados a investimentos em P&D (BRASIL, 1991, 2004).

O setor de serviços relacionado a instalação de placas solares tem encontrado grande espaço para se estabelecer e é grande impulsionador na geração de empregos (CARSTENS; CUNHA, 2019; CARVALHO; MESQUITA; ROCIO, 2014). Segundo levantamento realizado pela ABSOLAR (2020a), existem mais de 14 mil prestadores de serviço na área e desde 2012 o setor de energia solar fotovoltaica gerou mais de 160 mil postos de trabalho, sendo que apenas no primeiro semestre de 2020 foram gerados mais de 40 mil empregos.

A geração de energia solar fotovoltaica pode ocorrer através da geração centralizada e da geração distribuída. Em 2017, a geração centralizada representava em torno de 80% da potência instalada no País, contudo a geração distribuída cresceu ao longo do tempo e em 2020 respondeu por 60% da potência instalada no País (ABSOLAR, 2021). A seguir, são apresentadas informações referentes a cada um desses tipos de geração no Brasil.

3.1.1 Energia Centralizada

A geração centralizada de energia elétrica consiste na instalação de usinas de energia solar fotovoltaica com capacidade superior a 5 MW. Esta modalidade foi impulsionada pela contratação de energia solar pelo Governo Federal através de leilões de energia desde 2014 com grande deságio no mercado regulado: de 88 para 18 US\$/MWh em 5 anos e pelo crescimento da instalação de usinas para geração e comercialização de energia no mercado. Segundo estudo da GREENER (2020), 5 usinas fotovoltaicas entraram em operação em 2014, alcançando 105 usinas em 2020 com capacidade instalada de 2,69 GW. Os estados com a maior potência instalada em operação em 2020 foram Piauí com 1033 MW, Bahia com 776 MW e Minas Gerais com 537 MW (ABSOLAR, 2021). Entre os incentivos fiscais destinados a este tipo de geração de energia estão o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) que concede a suspensão de contribuição para o PIS, PASEP e COFINS, no caso de aquisição ou importação de máquinas aparelhos e instrumentos e equipamentos novos, de materiais de construção utilizados e destinados a obras de infraestrutura, entre as quais, de energia solar fotovoltaica (CELA-SEBRAE, 2018).

A Tabela 1 apresenta a capacidade fotovoltaica contratada no Brasil por leilões. O primeiro leilão ocorreu no estado de Pernambuco em 2013. Os demais leilões foram nacionais e iniciaram em 2014. Em 2016, os leilões foram cancelados e não houve contratação de energia. Em 2019, o número de projetos de energia solar fotovoltaica contratados foi pequeno mesmo com o baixo preço médio do MW. Além dos leilões citados na Tabela 1, em 2019 a EPE realizou o leilão para suprimento a Boa Vista-RR e localidades conectadas onde foram contratados 9 empreendimentos, totalizando 294 MW de potência, sendo que um dos projetos é híbrido, pois considera a produção local de biocombustíveis líquidos combinada com a produção fotovoltaica (EPE, 2020b).

Tabela 1 – Capacidade Fotovoltaica Contratada no Brasil por Leilões

| Leilão | Data | Inscritos e Capacidade | Venda (Projetos e Capacidade) | Preço teto (R\$/MW) | Preço médio R\$/MW | Início da operação |
|-------------|-----------|------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Pernambuco | Dez. 2013 | 37 Projetos (1GW) | 5 Projetos (92 MW) | 250,00 | 242,66 | Jan. 2017 |
| LER 2014 | Out. 2014 | 400 Projetos (12,3 GW) | 31 Projetos (890 MW) | 262,00 | 215,12 | Out. 2017 |
| 1ª LER 2015 | Ago. 2015 | 382 Projetos (12,5 GW) | 30 Projetos (834 MW) | 359,00 | 301,79 | Ago. 2017 |
| 2ª LER 2015 | Nov. 2015 | 649 Projetos (20,9 GW) | 33 Projetos (929 MW) | 381,00 | 297,37 | Nov. 2018 |
| A-4/2017 | Dez. 2017 | 574 Projetos (18,3 GW) | 20 Projetos (790 MW) | 329,00 | 145,68 | Jan. 2021 |
| A-4/2018 | Dez. 2018 | 620 Projetos (20 GW) | 29 Projetos (228,5 MW) | 312,00 | 118,07 | Jan. 2022 |
| A-4/2019 | Jun. 2019 | 751 Projetos (26,2 GW) | 6 Projetos (203,70 MW) | 276,00 | 67,48 | Jan. 2023 |
| A-6/2019 | Out. 2019 | 685 Projetos (24,7 GW) | 11 Projetos (59,5 MW) | 209,00 | 84,38 | Jan. 2025 |

Fonte: Elaborado com base em CELA-SEBRAE (2018) e EPE (2020b).

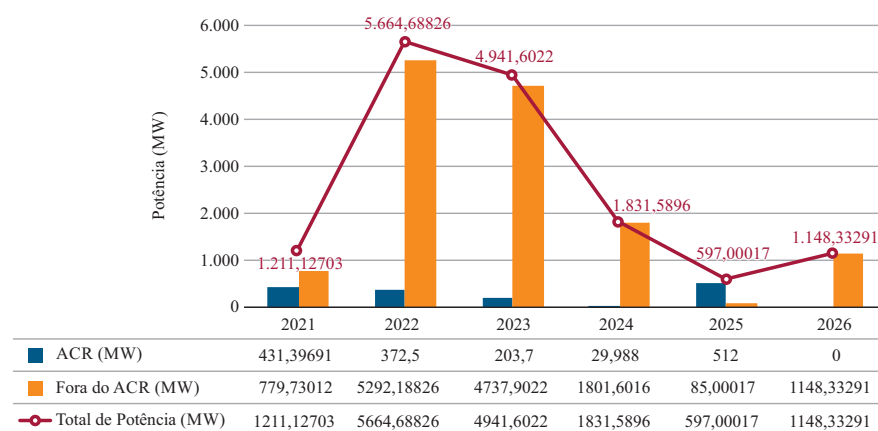
Notas:

- (1) A sigla LER significa Leilão de Energia de Reserva;
- (2) Existem duas modalidades de Leilão de Energia Nova que indicam o horizonte de tempo de contratação do leilão, ou seja, A-4 é a contratação em 4 anos e A-6 a contratação em 6 anos.

Os dados apresentados na Tabela 1 apontam para uma redução dos preços do MWh, indicando que os custos relacionados a instalação de sistemas fotovoltaicos têm reduzido ao longo do tempo e que o desenvolvimento de projetos solar fotovoltaicos se tornam mais acessíveis. Por outro lado, o número e a capacidade dos projetos contemplados nos últimos leilões têm sido menores, mesmo com um elevado número de projetos inscritos. Além disso, não houve novos leilões de energia solar fotovoltaica.

A Figura 3 apresenta a previsão da ANEEL (2021), da capacidade das 392 usinas fotovoltaicas que estão sendo implementadas, somando a potência de 15.394,34 MW de geração de energia elétrica nos anos de 2021 a 2026. O gráfico mostra os valores para a potência contratada em Ambiente de Contratação Regulado (ACR), contratada fora do ACR e o valor total da potência a entrar em operação em cada ano. A potência contratada em ACR é inferior à potência de usinas fora do ACR na maioria dos anos. O ano de 2022 mostra o maior valor de potência a entrar em operação (5665 MW), contudo, nos anos seguintes, a quantidade da potência a entrar em operação caiu, especialmente em 2025, voltando a crescer em 2026.

Figura 4 – Previsão de início de operação (ano) de geração centralizada de energia solar fotovoltaica por Ambiente de Contratação Regulado (ACR), Fora do ACR e Potência Total



Fonte: ANEEL (2021).

A Figura 3 indica que a geração de energia proveniente de leilões só supera a geração de energia fora de leilões em 2025, indicando uma reduzida contratação de energia pelo setor público e maior participação da contratação fora de leilões ao longo do tempo. Contudo, a previsão de contratações fora do ACR também cai ao longo do tempo. Esse cenário mostra que o Governo Federal tem diminuído o estímulo ao setor, reduzindo as contratações de projetos que poderiam impulsionar a participação dessa fonte de energia na matriz elétrica nacional, e o setor privado também enfrenta dificuldades em manter o crescimento da instalação de usinas para comercialização no mercado.

3.1.2 Energia Distribuída

A geração distribuída de energia é a energia gerada pelos consumidores em residências, condomínios, comércios, indústrias, propriedades rurais, prédios públicos, sistemas de autoconsumo remoto ou sistemas compartilhados (consórcios e cooperativas). A geração distribuída foi regulamentada pelas Resoluções Normativas da ANEEL 482/2012 (ANEEL, 2012) e 687/2015 (ANEEL, 2015) permitindo que os projetos de microgeração (até 75 kW) e minigeração (de 75kW a 5MW) de energia elétrica acessem os sistemas de distribuição de energia e injetem a energia excedente de sua autoprodução gerando créditos, que possuem validade de 60 meses para serem compensados.

Segundo a ANEEL (2021), a potência instalada de geração de energia solar fotovoltaica na microgeração e minigeração distribuída em 10 de maio de 2021 era de 5,578 GW com mais de 478 mil sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Segundo dados da ABSOLAR (2021), Minas Gerais lidera o ranking estadual de potência instalada de geração distribuída por radiação solar com 982 MW seguido por São Paulo com 699 MW e Rio Grande do Sul com 692 MW em 2021. A geração distribuída tem papel crucial para o aumento da resiliência climática nos centros urbanos. Os incentivos fiscais que podem ser oferecidos pelos estados ao setor são a concessão de isenção do ICSM N. 16/2015 sobre a energia elétrica de projetos de geração distribuída no sistema de compensação de energia elétrica regulado pela Resolução 482/2012, da ANEEL (CONFAZ, 2015), a isenção de PIS/COFFINS sobre a energia produzida pela Lei N. 13.169/2015 (BRASIL, 2015) e o desconto no IPTU do imóvel por meio de leis municipais de cada cidade.

Segundo dados da ABSOLAR, na geração distribuída de energia, para cada R\$ 1 investido em sistemas fotovoltaicos de pequeno e médio portes usados para abastecer residências, comércios, indústrias, propriedades rurais e prédios públicos, o setor devolve mais de R\$ 3 em ganhos elétricos, econômicos, sociais e ambientais aos brasileiros (PORTAL SOLAR, 2020). A geração distribuída apresenta os benefícios de ter baixo impacto ambiental, reduzir cargas da rede, diversificar a matriz elétrica e diminuir as perdas do sistema (DANTAS; POMPERMAYER, 2018). Alguns exemplos de implementação de sistemas fotovoltaicos ou usinas fotovoltaicas para a geração de energia elétrica são uso em instituições públicas de ensino superior (UFSC, 2009; IFRN, 2016; UFSM, 2018; UFS, 2019). Outro exemplo é o Aeroporto Internacional de Salvador que será o primeiro aeroporto do País a contar com uma usina de energia solar que irá suprir 30% do consumo atual de energia elétrica (CICLOVIVO, 2019).

Os sistemas de geração distribuída ajudam a aliviar a demanda junto ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), economizando água das hidrelétricas e reduzindo o uso de termelétricas caras e poluentes, trazendo economia mesmo aos cidadãos que nunca investiram na energia solar. Atualmente a ANEEL discute com representantes do setor e com a sociedade a revisão da Resolução 482/2012 com o objetivo de reduzir os subsídios concedidos na compensação dos créditos gerados pela geração distribuída dos valores da taxa do uso da rede de distribuição (TUSD) e taxa da energia elétrica (TE). Caso as regras vigentes sejam mantidas sem a redução dos subsídios, a ABSOLAR projeta que a geração distribuída solar fotovoltaica pode acrescentar mais de R\$ 13,3 bilhões em benefícios líquidos para todos os consumidores do setor elétrico até 2035 (ABSOLAR, 2020a). Os benefícios incluem ganhos pela energia evitada, diminuição de perdas de transmissão e distribuição e redução de contratação de novas usinas de geração (PORTAL SOLAR, 2020).

4 PANORAMA DO DESENVOLVIMENTO DO SETOR DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Esta seção revisa estudos anteriores para identificar as principais oportunidades de desenvolvimento do setor de energia solar fotovoltaica, bem como os principais desafios enfrentados pelo setor apontados pela literatura.

Em um estudo pioneiro, Ferreira (1993) investigou o cenário da inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil no início da década de 1990. Segundo a autora, o desenvolvimento do mercado de energia solar fotovoltaica poderia trazer vantagens, como: a substituição das tradicionais formas de geração (hídrica e térmica); a possibilidade de geração de energia em locais específicos e em locais remotos; a facilidade de instalação associada aos baixos custos de engenharia civil, quando comparada com os custos de instalação de outras formas de geração de energia (ex. hidrelétricas); a geração rápida de energia no local; os reduzidos riscos de acidentes; a redução de danos ao ambiente no entorno das instalações; a inserção e desenvolvimento de novas tecnologias no País; a utilização da energia em bombeamento de água e irrigação de culturas; a geração de energia em prédios residenciais, governamentais e empresariais. O estudo também indicou a tendência da redução do custo das placas fotovoltaicas e o aumento da eficiência das células solares ao longo do tempo. Em 2010, quando surgiam os primeiros sistemas fotovoltaicos no País, o Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE, 2010) elaborou um documento para subsidiar os tomadores de decisão sobre as ações político-institucionais para promover o estabelecimento do setor fotovoltaico no Brasil, especialmente relacionado à indústria do silício. O documento sugeriu quatro propostas centrais necessárias ao desenvolvimento do mercado fotovoltaico:

- a. Incentivo à pesquisa e à inovação tecnológica;
- b. Criação de mercado consumidor;
- c. Estabelecimento de indústrias de células solares e de módulos fotovoltaicos, e;
- d. Estabelecimento de indústrias de silício grau solar e grau eletrônico.

Além disso, o estudo apontou que o governo brasileiro se encontrava em fase de posicionamento sobre a definição de políticas públicas de incentivo ou regulamentação para a inserção dessa energia limpa e renovável nas redes concessionárias de eletrificação. Entre as vantagens do desenvolvimento da cadeia produtiva em energia solar foram citadas a geração de empregos de alto nível no País; geração e distribuição de riqueza socioeconômica; desenvolvimento de parque industrial competitivo internacionalmente; e produção de energia renovável e ambientalmente limpa.

A ABINEE (2012) produziu um relatório com a participação de empresas interessadas no desenvolvimento da cadeia produtiva de sistemas fotovoltaicos no Brasil. O País estava atrasado e perdendo a oportunidade de se posicionar como um ator importante dentro de uma indústria altamente estratégica devido à falta de políticas e programas governamentais para impulsionar o crescimento da demanda pelos sistemas fotovoltaicos. Os custos de instalação fotovoltaicas apresentavam tendência de queda devido à corrida tecnológica para melhoria dos processos de fabricação de células de silício e busca de materiais semicondutores mais econômicos ou soluções “híbridas. Os potenciais benefícios do setor fotovoltaico para o Brasil consistiam no desenvolvimento de tecnologias domésticas, expansão da criação de empregos qualificados, redução dos impactos ambientais, saldos comerciais (via exportação ou substituição das importações) e arrecadação de impostos e tributos. O relatório indicava a necessidade de o governo promover leilões específicos para a contratação de grandes volumes de energia da fonte solar fotovoltaica centralizada para incentivar o desenvolvimento do setor, bem como criar um ambiente regulatório e comercial favorável ao desenvolvimento da geração distribuída, disponibilizando linhas de financiamento voltadas

à cadeia produtiva do setor. Por outro lado, entre as barreiras à expansão do setor foram citados o alto custo de operação e manutenção de indústrias para a purificação do silício para grau solar e a instalação de plantas para a fabricação de células e módulos fotovoltaicos, de modo a atingir uma estrutura de custos que seja competitiva aos preços internacionais, o que depende de um conjunto de incentivos fiscais.

Devido aos altos custos da produção do silício purificado para geração de energia solar, Esposito e Fuchs (2013) sugeriram o uso de outros materiais semicondutores tais como filme fino, células orgânicas e células multijunção. Entre as vantagens da expansão do uso da energia solar, os autores citam a redução do uso de combustíveis fósseis e consequente redução de emissões de gases de efeito estufa, a geração de empregos qualificados, o desenvolvimento tecnológico e a criação de valores ambiental, social e econômico. Entre os fatores que estariam inibindo o desenvolvimento da indústria de energia solar no País foram citados a falta de articulação entre as políticas industriais e de inovação com a política energética; a ausência de uma política de ampliação das redes elétricas inteligentes; a inadequação dos regimes fiscais existentes, que muitas vezes desestimulam a produção local de placas fotovoltaicas; o alto custo da energia elétrica que inviabiliza a produção do silício grau solar, cujo processo demanda cerca de cinco vezes mais energia elétrica do que a consumida na fabricação do alumínio; atraso no apoio a iniciativas de pesquisa, desenvolvimento e inovação, bem como de educação para capacitação de pessoas. O Brasil ainda precisava realizar esforços para integrar questões fiscais, regulatórias, energéticas e industriais para fomentar o estabelecimento de indústrias de tecnologias de energia solar.

Após o início dos leilões de energia solar em 2014 e da publicação da Resolução 482/2012 da energia distribuída, Camargo (2015) apontou como benefícios da energia solar: a diversificação da matriz elétrica brasileira, a redução do uso de usinas termoeletricas e das emissões de gases do efeito estufa, a geração de empregos, a diminuição da necessidade de criação de novas linhas de transmissão com a produção local de energia e aumento da segurança energética. Os desafios citados foram a necessidade de políticas de estímulo a geração centralizada através do aumento de leilões de energia para garantir o desenvolvimento da cadeia produtiva nacional de equipamentos, de incentivos à geração distribuída com a criação de financiamentos para a aquisição de sistemas fotovoltaicos e de incentivos tributários diretos, como isenção fiscal aos fabricantes de células fotovoltaicas para transferência de tecnologia ao País.

Silva (2015) elaborou um estudo com sugestões de aperfeiçoamentos legislativos para estimular o desenvolvimento do setor fotovoltaico no País. O autor destaca que alguns obstáculos institucionais e tributários do setor podem ser suplantados com a incidência, por prazo determinado, de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), somente no consumo líquido de energia de geração distribuída; pela inclusão da energia solar como um dos critérios de repartição dos recursos do Fundo de Participação dos Estados (FPE) e Fundo de Participação dos Municípios (FPM); com a destinação de verbas do Orçamento Geral da União para pesquisa e desenvolvimento; autorização para o uso do FGTS na aquisição de sistemas fotovoltaicos; flexibilização da obrigação das distribuidoras de energia elétrica aplicarem 60% dos recursos destinados à eficiência energética para beneficiários da Tarifa Social de Energia Elétrica na substituição de lâmpadas e geladeiras, para facilitar a instalação de sistemas fotovoltaicos; e instalação de sistemas de geração de energia fotovoltaico em edificações de órgãos públicos. O crescimento do setor pode ser estimulado por linhas de financiamento e desenvolvimento de modelos de negócio do tipo leasing que reduz os custos da contratação da instalação e manutenção dos sistemas.

Muitos estudos enfatizam a importância do domínio das tecnologias e desenvolvimento da indústria nacional das lâminas de silício para competitividade do setor (CARVALHO; MESQUITA; ROCIO, 2014; FARIA JR.; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017; FERREIRA et al., 2018; RIGO et al., 2019) através da criação de condições favoráveis ao setor pelo Governo (CARVALHO; ABREU; CORREIA NETO, 2017; SOUZA; CAVALCANTE, 2016), com objetivos de longo prazo e incentivos fiscais, de forma a promover o crescimento econômico nacional e desenvolvimento

local e regional, bem como criar oportunidades mais atrativas para os investidores e cursos de treinamento profissional (CARSTENS; CUNHA, 2019).

Existe uma preocupação especial com a criação de linhas de financiamento voltadas ao setor fotovoltaico (FERREIRA et al., 2018; RIGO et al., 2019). Jesus et al. (2021) apresentaram um mapeamento das políticas públicas de fomento ao setor de energias renováveis, com foco na energia solar fotovoltaica, e destacam que os financiamentos disponíveis no mercado visam atender pessoas jurídicas e não pessoas físicas, dificultando o acesso aos recursos para geração de energia distribuída. Além disso, existe a necessidade de modificações regulatórias e incentivos tributários para alavancar o desenvolvimento do setor (CARVALHO; ABREU; CORREIA NETO, 2017; FARRIA JR.; TRIGOSO; CAVALCANTI, 2017). Alencar, Stedile e Urbanetz (2018) citam a falta no País de incentivos para o estabelecimento de parques híbridos, que combinem a energia solar com outros tipos de energia.

A ABSOLAR (2020b) destaca que a cadeia produtiva do setor solar fotovoltaico precisa receber mais incentivos governamentais para poder se estabelecer. Em 2019, o número de fabricantes cadastrados no FINAME do BNDES eram 70 que produziam o kit do sistema solar fotovoltaico, 10 de inversores fotovoltaicos, 11 de rastreadores solar, 8 de módulo fotovoltaico, duas de *string box* e uma de baterias. A associação defende que o Brasil precisa de uma política industrial competitiva para o setor, de modo a reduzir os preços dos componentes produzidos no País e, assim, gerar empregos, tecnologia e inovação. Além disso, ainda não é discutida a necessidade do estabelecimento de empresas para fazer a reciclagem dos módulos fotovoltaicos que são compostos por muitos materiais que podem causar danos ao meio ambiente, se forem descartados inadequadamente (MCDONALD; PEARCE, 2010; RIGO et al., 2019).

O Brasil possui grande potencial para o desenvolvimento da cadeia produtiva do setor solar, contudo ainda depende do esforço dos gestores públicos para que consigam efetivamente estabelecer e desenvolver a indústria fotovoltaica no País. Atualmente está em discussão o Projeto de Lei Nº 5.829 de 2019 (BRASIL, 2019) que visa garantir segurança jurídica e regulatória, com prazos para a manutenção dos incentivos dos atuais consumidores que possuem geração distribuída de modo a beneficiar a geração distribuída de energia.

Acompanhando a evolução do setor, muitos pesquisadores em intuições de ensino e pesquisa tem como foco o desenvolvimento de soluções e tecnologias voltadas à geração de energia solar fotovoltaica. Um exemplo é o Laboratório de Certificação de Componentes para Energia Solar Fotovoltaica – Labsolar – que iniciou suas operações em 2019 no Parque Tecnológico da Bahia e conta com pesquisadores do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia (UFBA, 2019).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (EPE, 2020c) prevê que, caso a regulamentação atual não seja alterada, a geração distribuída irá alcançar 32 GW de capacidade instalada até o fim de 2029. Caso a regulamentação seja alterada com a aplicação de tarifas, a estimativa cai para 11 GW de capacidade instalada para o período, com predomínio das instalações residenciais e encolhimento da produção remota. O estudo aponta que a geração centralizada pode chegar até 15 GW até 2029. Adicionalmente, um estudo da IRENA (2019) analisa o futuro da energia fotovoltaica no mundo e sugere que em 2050 a energia proveniente do sol poderá atingir uma capacidade instalada total dezoito vezes maior do que a capacidade instalada de 2018, de 480 GW, sendo em torno de 60% da geração centralizada e os restantes 40% de geração distribuída, e mitigar 4,9 Gt de reduções de emissões de CO₂, representando 21% das reduções gerais de emissões do setor de energia necessárias para atender às metas climáticas de Paris.

4.1 Oportunidades e Desafios do Setor

As oportunidades e desafios identificados por este estudo foram reunidos em duas tabelas. A Tabela 2, identifica 19 oportunidades do setor de energia solar fotovoltaica apontadas pela literatura.

Tabela 2 – Oportunidades do setor de energia solar fotovoltaica

| Oportunidades | Referências |
|--|--|
| 1. Substituição do uso de fontes não renováveis para geração de energia | Ferreira (1993), Esposito e Fuchs (2013), Camargo (2015) |
| 2. Redução da emissão de gases do efeito estufa durante a geração de energia | Ferreira (1993), CGEE (2010), ABINEE (2012), Esposito e Fuchs (2013), Camargo (2015) |
| 3. Redução de danos ambientais durante a instalação e operação dos sistemas | Ferreira (1993), Esposito e Fuchs (2013), ABINEE (2012), Camargo (2015) |
| 4. Redução de riscos de acidentes durante a instalação e manutenção dos sistemas | Ferreira (1993) |
| 5. Geração de energia em áreas remotas/isoladas | Ferreira (1993), EPE (2020b) |
| 6. Utilização da energia gerada para abastecer residências, instalações governamentais e empresariais e na produção econômica de culturas (ex. bombeamento de água, irrigação) | Ferreira (1993) |
| 7. Instalação de sistemas fotovoltaicos para geração distribuída e centralizada de energia em todas as regiões do país devido à alta incidência de irradiação solar | CGEE (2010) |
| 8. Promoção da segurança energética | ABINEE (2012), Camargo (2015) |
| 9. Ampliação da contratação de energia a partir de leilões governamentais para incentivar o desenvolvimento do setor | ABINEE (2012) |
| 10. Desenvolvimento tecnológico com incentivo a pesquisa voltada a novas tecnologias e inovações para o setor | Ferreira (1993), CGEE (2010), ABINEE (2012), Esposito e Fuchs (2013) |
| 11. Estabelecimento de indústrias de silício grau solar | CGEE (2010) |
| 12. Incentivar fabricantes nacionais de inversores, estruturas metálicas, cabos, disjuntores etc. | ABINEE (2012) |
| 13. Produção híbrida de energia (ex. solar e eólica) | ABINEE (2012) |
| 14. Ampliação das redes elétricas inteligentes | Esposito e Fuchs (2013) |
| 15. Geração de valor adicionado na produção local dos diferentes elos da cadeia | CGEE (2010), ABINEE (2012) |
| 16. Arrecadação de impostos e tributos | ABINEE (2012) |
| 17. Criação de empregos qualificados | CGEE (2010), ABINEE (2012), Esposito e Fuchs (2013), Camargo (2015) |
| 18. Incentivo à criação de cursos educacionais de capacitação voltadas ao setor | Esposito e Fuchs (2013) |
| 19. Facilitar o acesso aos sistemas fotovoltaicos por famílias de baixa renda | Silva (2015) |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os itens 1-4 enfatizam oportunidades que podem gerar benefícios ambientais e sociais como a ampliação do uso de energias limpas e redução do uso de combustíveis fósseis, redução da emissão de gases nocivos durante a geração de energia, redução de danos ambientais e de acidentes com a instalação e manutenção dos sistemas. Os itens 5-8 enfatizam os benefícios econômicos e sociais da geração de energia em locais remotos ou de difícil acesso, diretamente em residências, prédios empresariais/comerciais e edifícios públicos, bem como a facilidade de geração de energia em todo o território nacional e a garantia de segurança energética ao assegurar a regularidade no fornecimento de energia. Os itens 9-16 têm como foco os benefícios econômicos e tecnológicos para o desenvolvimento e estabelecimento do setor no País, como a ampliação da contratação de energia solar fotovoltaica em leilões governamentais, incentivar a pesquisa para o desenvolvimento de novas tecnologias e inovações, estabelecimento da indústria para fabricação do silício grau solar e da cadeia produtiva do setor, ampliação da produção híbrida de energia e das redes elétricas inteligentes. O desenvolvimento deste mercado implica o aumento da geração de valor da cadeia produtiva e da arrecadação de impostos e tributos resultantes da comercialização dos produtos. Por fim, os itens 17-19 indicam o caráter social do setor, com a criação de oportunidades de emprego, criação de cursos profissionalizantes e ampliação do acesso a geração distribuída por famílias de baixa renda.

Já a Tabela 3, identifica 7 desafios da energia solar fotovoltaica encontrados na literatura. Os desafios apresentados nos itens 1-5 dependem de decisões do poder público para incentivar o

desenvolvimento do setor, como criar políticas públicas para estimular o setor, com maior contratação de energia em leilões de energia nova e incentivo à geração distribuída, estabelecendo regras claras e garantindo segurança jurídica ao setor. A regulamentação de parques híbridos pode facilitar o uso de um espaço para a geração de energia a partir de mais de uma fonte renovável de energia. O destino de verbas públicas para desenvolvimento de pesquisas e inovação, não apenas para universidades e centros de pesquisa, mas para empresas privadas, pode estimular o desenvolvimento de novas soluções para o setor. Além disso, o desenvolvimento da indústria de silício purificado e o estabelecimento de uma cadeia produtiva voltada a montagem das placas e produção de equipamentos são fundamentais para que o País deixe de ser importador de tecnologias para se tornar produtor, mas isso demanda incentivos tributários, financeiros e fiscais para que empresas privadas queiram fazer parte da cadeia. O item 6 cita a dificuldade de oferta de linhas de financiamento para a aquisição de sistemas fotovoltaicos, principalmente no que diz respeito à geração distribuída, o acesso das pessoas físicas ao crédito para produção de energia local. Por fim, mesmo que as placas fotovoltaicas tenham expectativa de funcionamento superior a 25 anos, as placas sofrem desgaste com o tempo e também há o surgimento de novas tecnologias que resultam no fim do ciclo de vida das placas que necessitam ser recicladas. Mesmo que a indústria de reciclagem voltada para esses equipamentos e componentes ainda esteja em desenvolvimento, com o crescimento do setor, haverá a necessidade de fazer a correta disposição final dos materiais.

Tabela 3 – Desafios do setor de energia solar fotovoltaica

| Desafios | Referências |
|--|--|
| 1. Criação de políticas públicas de estímulo ao setor solar fotovoltaico | CGEE (2010), Esposito e Fuchs (2013), Camargo (2015), Silva (2015), Souza e Cavalcante (2016), Faria Jr., Trigos e Cavalcanti (2017), Abreu e Correia Neto (2017), Rigo et al. (2019), ABSOLAR (2020b) |
| 2. Regulamentação de parques híbridos de energia (ex. energia solar e eólica) | Alencar, Stedile e Urbanetz (2018) |
| 3. Criação de incentivos à pesquisa e inovação tecnológica voltadas ao setor | CGEE (2010), Esposito e Fuchs (2013), Carvalho, Mesquita e Rocio (2014), Silva (2015), Abreu e Correia Neto (2017), Carstens e Cunha (2019) |
| 4. Desenvolvimento da indústria de silício purificado | CGEE (2010), ABINEE (2012), Esposito e Fuchs (2013), Carvalho, Mesquita e Rocio (2014), Souza e Cavalcante (2016), Carstens e Cunha (2019) |
| 5. Estímulo ao estabelecimento de indústrias de módulos e componentes fotovoltaicos | CGEE (2010), Esposito e Fuchs (2013), Camargo (2015), Silva (2015), Souza e Cavalcante (2016), ABINEE (2012), Faria Jr., Trigos e Cavalcanti (2017), Rigo et al. (2019), ABSOLAR (2020b) |
| 6. Oferta de linhas e mecanismos de financiamento do setor | ABINEE (2012), Camargo (2015), Silva (2015), Faria Jr., Trigos e Cavalcanti (2017), Carvalho, Abreu e Correia Neto (2017), Ferreira (2018), Rigo et al. (2019) |
| 7. Estímulo ao estabelecimento de empresas para a reciclagem dos módulos fotovoltaicos e componentes | McDonald e Pearce (2010), Rigo et al. (2019) |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados apresentados nas tabelas indicam que o setor de energia solar tem grande potencial de crescimento no Brasil, podendo gerar receitas, emprego, desenvolvimento local e nacional. Contudo, necessita de iniciativas públicas para garantir segurança jurídica para o desenvolvimento do setor com estabelecimento de uma cadeia produtiva nacional voltada para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil reúne características naturais e geográficas extremamente favoráveis para a geração de energia solar fotovoltaica. A geração de energia elétrica fotovoltaica pode suprir demanda energética em centros urbanos, em comunidades rurais isoladas e otimizar os processos produtivos

industriais. Outra vantagem da energia solar fotovoltaica é que ela fornece energia nos horários de pico, aumentando a segurança energética.

Entre as oportunidades oferecidas pela geração de energia solar, está a geração de empregos. Embora o desenvolvimento de uma indústria de semicondutores para energia fotovoltaica no País seja ainda bastante incipiente, o setor de serviços relacionado a instalação de placas solares tem encontrado grande espaço para se estabelecer. Assim, dado ao fato de ainda não existirem fábricas de placas solares no Brasil, o setor de instalação tem sido um grande impulsionador na geração de empregos. Além disso, a energia solar pode gerar economia de custos, uma alternativa de renda e ganho de produtividade que reduz a dependência de outras fontes de energia, aumentando a segurança no suprimento de energia, reduzir impactos ambientais e favorecer o desenvolvimento sustentável, o desenvolvimento tecnológico e a distribuição de riqueza socioeconômica.

Para o aumento da competitividade do setor de energia fotovoltaica no Brasil, alguns desafios precisam ser enfrentados, tais como:

- a. Investir no desenvolvimento da indústria e cadeia produtiva nacional para produção de módulos fotovoltaicos;
- b. Incentivar o desenvolvimento tecnológico do setor visando aumentar a eficiência da geração de energia elétrica, uma vez que hoje as placas aproveitam somente em torno de 25% da radiação do sol incidente sobre a superfície da célula fotovoltaica, além de apresentarem perda de capacidade de produção ao longo do tempo, bem como o desenvolvimento de novos materiais semicondutores;
- c. Estabelecimento de políticas públicas para incentivar o crescimento do setor, principalmente ampliando a segurança jurídica, oferecendo vantagens tributárias e ampliando a oferta de linhas de financiamento para pessoas físicas, e;
- d. Desenvolver tecnologias de logística reversa para redução do passivo ambiental através da reciclagem das placas no final da sua vida útil.

Existe também a necessidade da regulamentação para parques híbridos de energia (eólica/solar e hidráulica/solar) viabilizando empreendimentos solares via compartilhamento das infraestruturas já instaladas para parques eólicos e usinas hidroelétricas: redes de alta e média tensões, linhas de transmissão, reservatórios com potencial para instalação de parques solares flutuantes etc. Além de incentivar o mapeamento de outras áreas com potencial solar ao redor de subestações já existentes contribuindo para aumentar a viabilidade de novos empreendimentos via redução do custo de implantação. Somente assim o Brasil poderá alcançar os países que lideram o mercado de energia fotovoltaica no mundo.

Este estudo exploratório qualitativo consistiu em uma revisão da literatura para identificar as atuais oportunidades e desafios do setor de energia solar. Além de estudos sobre formulação de estratégias competitivas visando à superação dos desafios descritos acima, pesquisas futuras poderão investigar quais os cobenefícios econômicos, ambientais e sociais gerados pelo setor produtivo da energia solar fotovoltaica no País, e verificar se estes cobenefícios se relacionam com a geração centralizada e a geração distribuída. Tais pesquisas poderão contribuir para o aumento das vantagens competitivas do setor de energia fotovoltaica no Brasil, o que ainda precisa ser estimulado para que o Brasil figure entre os principais players deste mercado no mundo.

REFERÊNCIAS

- ABINEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica Brasileira**. São Paulo: ABINEE, 2012.
- ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia solar gera 40 mil empregos no ano e busca por cursos dispara**, 2020a. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-gera-40-mil-empregos-no-ano-e-busca-por-cursos-dispara/>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Infográfico Absolar**, 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 26 ago. 2021.
- ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Infográfico Absolar**, 2020b. Disponível em: <http://www.absolar.org.br>. Acesso em: 23 jan. 2020.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N. 482, de 17 de abril de 2012**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, DF, 2012.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N. 687, de 24 de novembro de 2015**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, DF, 2015.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Acompanhamento da implementação das centrais geradoras de energia elétrica**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, DF, 2021. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 10 mai. 2021.
- BRASIL. **Decreto nº 8.247, de 23 de maio de 2014**. Brasília, DF, 2014.
- BRASIL. **Intended Nationally Determined Contribution: Towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Brasília, DF, 2015.
- BRASIL. **Intended Nationally Determined Contribution: Towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change (Updated Submission in 08/12/2020)**. Brasília, DF, 2020.
- BRASIL. **Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991**. Brasília, DF, 1991.
- BRASIL. **Lei nº 11.077, de 30 de dezembro de 2004**. Brasília, DF, 2004.
- BRASIL. **Lei nº 11.484, de 31 de maio de 2007**. Brasília, DF, 2007.
- BRASIL. **Lei nº 13.169, de 06 de outubro de 2015**. Brasília, DF, 2015.
- BRASIL. **Projeto de Lei N. 5.829 de 2019**. Brasília, DF, 2019.
- CAMARGO, F. **Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas**. Brasília, DF, 2015.
- CARSTENS, D. D. S.; CUNHA, S. K. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. **Energy Policy**, v. 125, p. 396–404, 2019.
- CARVALHO, F. I. A.; ABREU, M. C. S.; CORREIA NETO, J. F. Financial alternatives to enable distributed microgeneration projects with photovoltaic solar power. **Revista de Administração Mackenzie (RAM)**, v. 18, n. 1, p. 120-147, 2017.

CARVALHO, P. S. L. d.; MESQUITA, P. P. D.; ROCIO, M. A. R. A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira? **BNDES Setorial**, Brasília, DF, v. 40, n. 1, p. 205–234, 2014.

CELA-SEBRAE – CLEAN ENERGY LATIN AMERICA-SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Cadeia de Valor da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Brasília, DF, 2018.

CONFAZ - CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. **Convênio ICMS 101/97, de 18 de dezembro de 1997**. Conselho Nacional De Política Fazendária, Brasília, 1997.

CONFAZ - CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. **Convênio ICMS 16/15, de 22 de abril de 2015**. Conselho Nacional De Política Fazendária, Brasília, 2015.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão**. Série Documentos Técnicos, Brasília, DF, 2010.

CICLOVIVO. **Aeroporto de Salvador é o primeiro do país a implantar usina solar**, 2019. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/aeroporto-de-salvador-e-o-primeiro-do-pais-a-implantar-usina-solar/>. Acesso em 15 jan. 2020.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro: IPEA, 2018. (Texto para Discussão, n. 2388)

DINIZ, A. S. A. C.; MACHADO NETO L. V. B.; CAMARA, C. F.; MORAIS, P.; CABRAL, C. V. T.; OLIVEIRA FILHO, D.; RAVINETTI, R. F.; FRANÇA, E. D.; CASSINI, D. A.; SOUZA, M. E. M; SANTOS, J. H.; AMORIM, M. Review of the photovoltaic energy program in the state of Minas Gerais, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 2696-2706, 2011.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020** - ano base 2019. Brasília, DF: Empresa de Pesquisa Energética, 2020a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 20 abr. 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Leilões de Energia**. 2020b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes>. Acesso em: 6 jan. 2020.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2020c. Disponível em: [epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf). Acesso em: 28 abr. 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético – Relatório Síntese 2021**, Ano base 2020. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2021.

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES**, Brasília, 2013.

-
- FARIA JR., H.; TRIGOSO, F. B. M.; CAVALCANTI, J. A. M. Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 469-475, 2017.
- FERREIRA, A.; KUNH, S. S.; FAGNANI, K. C.; SOUZA, T. A.; TONEZER, C.; SANTOS, G. R.; COIMBRA-ARAÚJO, C. H. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 181-191, 2018.
- FERREIRA, M. J. G. **Inserção da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- GREENER. **Estudo Estratégico: Grandes usinas solares 2020 – mercado livre e leilões**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/>>. Acesso em: 24 março. 2020.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2020: the impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions**. Paris, France: International Energy Agency (IEA), 2020a. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 17 mar. 2021.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Solar PV**. Paris, France: International Energy Agency (IEA), 2020b. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/solar-pv>. Acesso em: 17 mar. 2021.
- IFRN – INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. **Campus Natal-Central começa a produzir energia solar**. Natal, 2016. Disponível em: <http://portal.ifrn.edu.br/campus/reitoria/noticias/campus-natal-central-comeca-a-produzir-energia-solar>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects – A global energy transformation paper**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.
- JESUS, J. A. B.; SILVA, M. S.; LOPES, J. M.; CUNHA, F. B. F.; ARAÚJO, M. L. V. Políticas Públicas Brasileiras de Fomento ao Setor de Energia Fotovoltaica com foco em Inovação Tecnológica no Estado da Bahia. **Revista GEINTEC - Gestão, inovação e tecnologias**, v. 11, n. 1, p. 5760-5772, 2021.
- KANNAN, N.; VAKEESAN, D. Solar energy for future world: - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 1092-1105, 2016.
- LACCHINI, C.; SANTOS, J. C. V. Photovoltaic energy generation in Brazil - Cost analysis using coal-fired power plants as comparison. **Renewable Energy**, v. 52, p. 183–189, 2013.
- MCDONALD, N. C.; PEARCE, J. M. Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules. *Energy Policy*, v. 38, n. 11, **Energy Efficiency Policies and Strategies with regular papers.**, p. 7041–7047, 2010.
- MCTIC – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Relatório Final: grupo de trabalho solar fotovoltaico**, Brasília, 2018.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.
- PORTAL SOLAR. **Energia solar gera três vezes mais benefícios do que custos aos brasileiros**. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- REN21. **Renewables Global Status Report 2019**. Paris, France: REN21 Secretariat, 2019. ISSN 00164232.
-

RIGO, P. D.; SILUK, J. C.; LACERDA, D. P.; ROSA, C. B.; REDISKE, G. Is the success of small-scale photovoltaic solar energy generation achievable in Brazil? **Journal of Cleaner Production**, v. 240, p. 1–15, 2019.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado (Texto para Discussão no 166), 2015. Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em: 15 jul. 2019.

SILVA, E. P. **Fontes renováveis de energia: produção de energia para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

SOUZA, L. E. V.; CAVALCANTE, A. M. G. Towards a sociology of energy and globalization: Interconnectedness, capital, and knowledge in the Brazilian solar photovoltaic industry. **Energy Research and Social Science**, v. 21, p. 145–154, 2016.

UFS – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE. **Como a UFS se tornou a maior geradora de energia solar de Sergipe**. Aracaju, SE, 2019. Disponível em: <http://ciencia.ufs.br/conteudo/62696-como-a-ufs-se-tornou-a-maior-geradora-de-energia-solar-de-sergipe>. Acesso em: 10 jan. 2020.

UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **UFSC inaugura mais três “miniusinas solares”**. Florianópolis, SC, 2009. Disponível em: <https://noticias.ufsc.br/2009/06/ufsc-inaugura-mais-tres-“miniusinas-solares”/>. Acesso em: 10 jan. 2020.

UFSM – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **UFSM, RGE Sul e CPFL Energia inauguram Usina Fotovoltaica**. Santa Maria, 2018. Disponível em: <https://www.ufsm.br/2018/11/06/ufsm-rge-sul-e-cpfl-energia-inauguram-usina-fotovoltaica/>. Acesso em: 10 jan. 2020.

UNITED NATIONS. **Agenda 21**. United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), Rio de Janeiro, p. 351, 1992.

UNITED NATIONS. **Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment**. United Nations Environment Programme, Stockholm, p. 77, 1972.

UNITED NATIONS. **Paris Agreement**. Paris, France, 2015a.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development** United Nations. New York, NY, 2015b.

WCED – WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. Oxford University Press, Oxford: 1987.