

**2º CICLO**

ECONOMIA E GESTÃO DO AMBIENTE

# **Energia Solar Fotovoltaica Centralizada e Distribuída: o Caso do Brasil**

Lara Pugliesi Avelino

**M**

**2020**

---

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CENTRALIZADA E  
DISTRIBUÍDA: O CASO DO BRASIL

**Lara Pugliesi Avelino**

---

Dissertação

Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente

---

Orientado por

**Professora Doutora Susana Maria Almeida Silva**

---

2020

## RESUMO

O Brasil tem uma matriz elétrica com predominância de recursos próprios, renováveis, e de baixas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE); mas altamente dependente da hidroeletricidade. A ocorrência de eventos climáticos severos nas últimas décadas, com grande impacto na geração hídrica, despertou o país para a necessidade de diversificar sua matriz elétrica. O potencial técnico para a geração fotovoltaica (FV), que no país é significativamente elevado, somado à redução dos custos tecnológicos, transformou a geração FV em uma alternativa viável para alcançar a diversificação, e aumentar a oferta elétrica. Os últimos anos foram marcados por um desenvolvimento expressivo da geração FV no país. De 2017 para 2018 a oferta interna de energia solar cresceu 316,1%. Em 2019 a expansão continuou, com destaque para micro e minigeração distribuída fotovoltaica (GDFV) que praticamente quadruplicou sua participação. Não obstante a evolução significativa, essa tecnologia participou com apenas 1% da matriz de oferta elétrica nacional. Entretanto, apesar do pequeno percentual de participação da energia solar na matriz de produção, já ocorre no país uma discussão entre os *stakeholders* do setor elétrico sobre o valor e os benefícios da geração FV, especialmente os da GDFV. Nesse contexto surge a questão: as políticas públicas deveriam priorizar um dos tipos de geração FV, ou promover ambas? Esta dissertação apresenta os benefícios da geração FV em geral, e aqueles específicos à geração centralizada sem armazenamento, e à GDFV para autoconsumo, com o objetivo de contribuir para este debate. Após análise comparativa dos benefícios de ambas, e considerando a conjuntura energética nacional atual, conclui-se existir evidência de que o Brasil talvez devesse priorizar a GDFV, uma vez que essa modalidade lhe permitiria atender aos objetivos energéticos, ao mesmo tempo que promoveria desenvolvimento socioeconômico mais abrangente do que a geração FV centralizada.

Palavras-chave: Geração fotovoltaica, Centralizada, Distribuída, Benefícios

## ABSTRACT

Brazil's electricity matrix is composed mainly of renewable energy sources with low greenhouse gas emissions (GHG) and predominance of domestic resources, however, it is highly dependent on hydroelectricity. The occurrence of severe weather events in the last decades, with a major impact on hydropower generation, has aroused the country to the necessity to diversify its electrical mix. The country's technical potential for photovoltaic (PV) generation, which is highly significant, coupled with decreases in technologies' costs, has made PV electricity a viable alternative to accomplish the diversification of the electrical matrix and increase the electricity supply. In the last years, Brazil has experienced a sharp increase in PV generation. From 2017 to 2018 photovoltaic power generation grew by 316.1%. In 2019 it continued to evolve, with emphasis on micro and mini photovoltaic distributed generation (PVDG), which share roughly fourfold. Notwithstanding the significant development, this technology participates with only 1% of the production matrix. However, despite the small percentage of PV energy participation, there is already a discussion among stakeholders about the value and benefits of PV generation, especially the PVDG. In this context, the question arises whether public policies should prioritize one of the PV technologies, or to promote both. This dissertation presents the benefits of PV generation in general, and those specific to centralized generation without storage and PVDG, to contribute to this debate. After a comparative analysis of the benefits of both, it is concluded that Brazil should prioritize PVDG, since this technology would allow the country to meet its energy's objectives, while promoting broader socioeconomic development than the centralized PV generation.

Keywords: Centralized, Distributed, Photovoltaic Generation, Benefits

# ÍNDICE

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMO .....                                                                   | i   |
| ABSTRACT .....                                                                 | ii  |
| ÍNDICE .....                                                                   | iii |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                                         | v   |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                            | 1   |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA .....                                                 | 4   |
| 3. CONTEXTUALIZAÇÃO .....                                                      | 10  |
| 3.1 Geral.....                                                                 | 10  |
| 3.2 Econômica .....                                                            | 11  |
| 3.3 Energética.....                                                            | 14  |
| 3.3.1 Cenário energético atual.....                                            | 14  |
| 3.3.2 Emissões do setor de energia .....                                       | 16  |
| 3.3.3 Histórico do setor elétrico brasileiro .....                             | 18  |
| 3.3.4 Sistema Elétrico Nacional .....                                          | 19  |
| 4 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL .....                                         | 23  |
| 4.1 Potencial FV.....                                                          | 23  |
| 4.2 Evolução da Energia FV no Brasil .....                                     | 25  |
| 5 ENERGIA FOTOVOLTAICA: GERAÇÃO CENTRALIZADA E<br>DISTRIBUÍDA.....             | 30  |
| 5.1 Benefícios da Geração Fotovoltaica para o Brasil .....                     | 31  |
| 5.1.1 Ambientais .....                                                         | 31  |
| 5.1.2 Diversificação da matriz elétrica e complemento à hidroeletricidade..... | 33  |
| 5.1.3 Desenvolvimento Socioeconômico.....                                      | 34  |
| 5.1.4 Contribuir para atender a demanda .....                                  | 36  |

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.5 Impactar o preço da eletricidade .....                                                                         | 37        |
| <b>6 BENEFÍCIOS DA GERAÇÃO CENTRALIZADA FOTOVOLTAICA PARA O BRASIL .....</b>                                         | <b>39</b> |
| 6.1 Técnico-operacionais .....                                                                                       | 39        |
| 6.2 Socioeconômicos .....                                                                                            | 40        |
| <b>7 BENEFÍCIOS DA MINI E MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA (GDFV) PARA O BRASIL.....</b>                        | <b>42</b> |
| 7.1 Técnico-operacionais .....                                                                                       | 42        |
| 7.2 Ambientais e Socioeconômicos .....                                                                               | 43        |
| <b>8 ANÁLISE COMPARATIVA DOS BENEFÍCIOS DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA, CENTRALIZADA E DISTRIBUÍDA, PARA O BRASIL .....</b> | <b>48</b> |
| 8.1 Energéticos.....                                                                                                 | 48        |
| → Diversificação da matriz elétrica.....                                                                             | 48        |
| → Técnico-operacionais .....                                                                                         | 49        |
| → Econômicos .....                                                                                                   | 51        |
| 8.2 Não energéticos .....                                                                                            | 53        |
| → Ambientais.....                                                                                                    | 53        |
| → Socioeconômicos .....                                                                                              | 54        |
| 8.3 Desvantagens e desafios .....                                                                                    | 56        |
| <b>9 CONCLUSÃO.....</b>                                                                                              | <b>58</b> |
| <b>10 LISTA DE REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                  | <b>63</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Taxa de Crescimento do PIB brasileiro de 2003 a 2017. ....                                                         | 12 |
| Figura 2 : Oferta interna de energia em 2018.....                                                                            | 15 |
| Figura 3: Oferta interna de energia elétrica por fonte em 2018. ....                                                         | 15 |
| Figura 4: Governança do setor elétrico brasileiro.....                                                                       | 21 |
| Figura 5: Ambientes de comercialização de energia.....                                                                       | 22 |
| Figura 6: Potencial de Geração Solar : Rendimento Energético Anual .....                                                     | 24 |
| Figura 7: Evolução da potência instalada e geração das UFVs em operação. ....                                                | 27 |
| Figura 8: Evolução da GDFV no Brasil.....                                                                                    | 28 |
| Figura 9: Uso de água por tecnologia de geração .....                                                                        | 32 |
| Figura 10: Número de empregos por tecnologia renovável .....                                                                 | 35 |
| Figura 11: Menores preços de projetos FV no mundo em 2018.....                                                               | 41 |
| Figura 12: Empregos gerados na elaboração de projetos e instalações fotovoltaicas,<br>por segmento de mercado nos E.U.A..... | 54 |

## 1. INTRODUÇÃO

A energia sempre foi um recurso decisivo no desenvolvimento econômico das nações, e fator chave para o bem-estar social. As importantes transformações do século XX, só foram possíveis devido à disponibilidade, e acesso aos recursos energéticos. Por muito tempo, uma das maiores preocupações das nações era garantir o abastecimento desses recursos, o que fez da energia um fator crucial na geopolítica mundial. Desde os anos 70, são os combustíveis fósseis que dominam o setor energético com 60-70% do mercado global de geração de energia (Bloomberg New Energy Finance [BNEF], 2018). Entretanto, o poder demasiado dos países detentores das riquezas energéticas, e a insegurança daqueles que deles dependiam, acabou por motivar um número cada vez maior de países a dedicar grandes esforços para aumentar suas disponibilidades de energia endógena, de forma a garantir independência e segurança energética.

Gradualmente outras questões somaram-se à necessidade de segurança energética, adicionando importância e iminência na reavaliação do modelo de desenvolvimento predominante. Fatores como: escassez dos recursos fósseis, mudanças climáticas, poluição e seu impacto na saúde das pessoas, urbanização e eletrificação das economias, ascensão social de milhões de pessoas e, conseqüente crescimento do consumo, entre outros, foram determinantes para uma mudança de percepção. A partir dessa nova consciência, se inicia uma busca por alternativas que diminuam os impactos da carbonização resultante do uso de recursos fósseis, e surge a necessidade de apostar em novas fontes de energia, onde as energias renováveis não convencionais desempenham papel fundamental (International Energy Agency [IEA], 2018). O consumo global de energia cresce constantemente, e o aumento de 2,3% em 2018, configurou o mais alto desde 2010 (Enerdata, 2019). A adoção progressiva da eletricidade como fonte de energia por diversas economias, fez com que seu consumo ampliasse em ritmo ainda maior, 4% em 2018 (IEA, 2019).

O setor mundial de energias renováveis tem apresentado notável avanço nas últimas décadas. Em 2017, ano recorde, as renováveis adicionaram 178 GW de capacidade instalada, ultrapassando o total acrescido pelos setores de combustíveis fósseis e nuclear juntos, e responderam por 25% da produção global de eletricidade. A evolução das energias renováveis dá-se essencialmente no setor elétrico, é suportado por políticas públicas, e

beneficiado pela redução dos custos tecnológicos (IEA, 2018). Dentre as novas renováveis, a energia solar, especialmente a fotovoltaica (FV), se sobressai e está cada vez mais relevante. Em 2017, essa foi a tecnologia renovável que mais investimentos recebeu, excluindo grandes hidroelétricas, e a que mais aumentou a capacidade instalada no mundo. Do total anual adicionado, incluindo as de outras renováveis, nuclear e combustíveis fósseis, 38% foi acrescido pela energia solar. Sendo assim, poderá ser possível afirmar que a energia solar é a fonte de energia renovável com maior potencial de desenvolvimento (Frankfurt School of Finance and Management, UN Environment Programme, & Bloomberg New Energy Finance, 2018). Espera-se que as renováveis respondam por mais de 70% do crescimento mundial de geração de eletricidade, passando a atender em 2023, 12,4% da procura mundial de energia, e 30% da de eletricidade. A energia solar FV liderará essa expansão, adicionando uma capacidade aproximada de 600 GW, alcançando 1 TW até 2023 (IEA, 2018).

A participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, é uma das mais altas do mundo (IEA, 2018). Em 2018, as renováveis responderam por 83% da matriz elétrica, com elevada participação da hidroeletricidade, que sozinha ofertou 60% (Empresa de Pesquisa Energética [EPE], 2019). Entretanto, os recorrentes e fortes eventos de escassez de água vivenciados pelo Brasil neste século, impactam fortemente a geração hídrica, e ameaçam a confiabilidade da oferta de eletricidade. A compreensão dessa vulnerabilidade, e da necessidade de diversificação de sua matriz elétrica, junto com a redução dos custos tecnológicos, fizeram com que finalmente o país percebesse seu notável potencial solar como recurso energético de grande utilidade (Gomes et al., 2018). Nos últimos anos, a geração FV vem apresentando desenvolvimento expressivo, com crescente importância no setor elétrico nacional (Souza & Cavalcante, 2017). A geração FV centralizada e em sistemas distribuídos conectados à rede, insignificante no início desta década, atualmente possui mais de 4 mil MW de potência instalada. A micro/minigeração distribuída fotovoltaica (GDFV) praticamente quadruplicou sua potência instalada em 2019. Ainda assim, a eletricidade FV representou apenas 0,5 % da produção elétrica brasileira em 2018 (EPE, 2019), e aproximadamente 1% em 2019 (MME, 2019). Apesar da pequena participação FV, mas devido à vertiginosa evolução recente, os *stakeholders* do setor elétrico brasileiro já debatem o valor da energia solar, seus impactos, e a relevância de seus incentivos, especialmente aqueles relacionados à GDFV. Os interesses conflitantes e as limitações de recursos, levantam a questão se o Brasil deveria privilegiar uma das duas

modalidades de geração FV, centralizada de larga escala e micro/minigeração distribuída, ou ambas. Este trabalho pretende investigar, através da revisão sistemática da literatura, os benefícios da geração FV em geral, e aqueles específicos a cada modalidade de geração, para então desenvolver uma análise comparativa, com o objetivo de contribuir para esta discussão.

A maioria dos estudos dedicados a geração FV relativamente ao Brasil, desenvolvem análises sob as perspectivas econômica (custos e viabilidade), técnica (exequibilidade e impactos), e regulatória; e em geral enfocam os impedimentos, dificuldades e desafios de sua participação no sistema elétrico. Até onde sabemos, não há nenhum estudo que analisa e compara as modalidades de geração FV centralizada e distribuída, com foco nas vantagens para o Brasil. Direcionar o foco do debate para os benefícios, além dos energéticos, resultaria em uma compreensão mais abrangente sobre o que a energia FV pode representar para o país, e chamaria a atenção dos tomadores de decisão para uma análise mais abrangente, de forma a priorizar aquela que mais favoreça o Brasil.

É importante ressaltar que o escopo desta investigação compreende a geração FV centralizada sem armazenamento, cujas instalações são denominadas no Brasil por usinas de geração fotovoltaicas (UFV), e a micro/minigeração distribuída fotovoltaica (GDFV) para autoconsumo, conectadas à rede elétrica. A estrutura desta dissertação é a seguinte; após esta introdução, o Capítulo 2 apresenta uma revisão sistemática da literatura; e o Capítulo 3 contextualiza os cenários geral, econômico, e energético do Brasil. A partir de então, abordam-se os aspectos sobre a energia FV no Brasil. O Capítulo 4 apresenta o potencial, e a evolução da geração FV no país. O Capítulo 5 abrange os benefícios, para o Brasil, compartilhados pelas duas configurações de geração FV contempladas neste estudo, e os Capítulos 6 e 7 expõem aqueles específicos a cada modalidade de geração FV, centralizada e micro/minigeração distribuída, respectivamente. O Capítulo 8 elabora uma análise, e compara as duas tecnologias FVs. Finalmente, a Capítulo 9 expõe as principais conclusões resultantes desta investigação, e apresenta a configuração de geração FV escolhida como a que mais benefícios traria ao Brasil.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A primeira aplicação da tecnologia FV para geração de eletricidade no Brasil, foi em sistemas isolados (não conectados à rede), geralmente híbridos, para eletrificação de zonas rurais e de outras regiões remotas do país sem ligação com o sistema elétrico nacional. Por isso, os primeiros estudos nacionais sobre energia FV abordavam essa temática (Diniz et al., 1998; Rüther et al., 2000; Valente & Almeida, 1998). Em 2000 e 2006, foram publicados dois trabalhos importante sobre os recursos solares do território nacional: o Atlas Solarimétrico Brasileiro, e o Atlas Brasileiro de Energia Solar 1ª Edição (Pereira et al., 2006; Tiba et al., 2000). Ambos comprovaram o elevado potencial técnico solar do país para o aproveitamento energético. Em 2008, foi desenvolvida uma série de dois estudos sobre a energia FV no Brasil. No primeiro, apresentaram os principais resultados do SWERA<sup>1</sup>, sobre o potencial solar técnico brasileiro (Martins et al., 2008). O segundo, discutiu duas finalidades para a geração FV no Brasil: sua utilização para fornecimento elétrico fora da rede na região amazônica, e conectada à rede para áreas urbanas, confirmando a elevada potencialidade dessas aplicações no país (Martins et al., 2008a).

Várias análises da viabilidade econômica de sistemas de GDFV para autoconsumo, foram desenvolvidas após a publicação da Resolução Normativa nº 482 (2012), que regulamenta a geração distribuída para autoconsumo no país. Mitscher e Rüther (2012) analisaram a competitividade econômica de sistemas GDFV residenciais, com base no custo nivelado de eletricidade, e no valor presente líquido. Os resultados obtidos demonstravam que se disponibilizados financiamento de longo prazo a juros baixos, em 2012, a GDFV já seria competitiva com as tarifas elétricas; porém, ao custo da tecnologia na época, sem esses apoios os sistemas de GDFV eram economicamente inviáveis. Entretanto, os autores previam que a queda do custo da tecnologia somada às taxas de juros baixas, garantiriam a viabilidade econômica dessa modalidade no país no curto prazo. Holdermann et al. (2014) utilizaram o método de fluxo de caixa descontado, para examinarem a viabilidade econômica de sistemas de GDFV nos segmentos residenciais e

---

<sup>1</sup> O “Solar and Wind Energy Resource Assessment” (SWERA) foi um projeto financiado pelo The United Nations Environment Programme e Global Environmental Facility, que visou levantar dados dos recursos solar e eólico, no intento de fomentar a inserção dessas novas energias em países em desenvolvimento (Martins et al., 2008).

comerciais, nas 63 redes brasileiras de distribuição. Taxas, impostos e tarifas de eletricidade foram compreendidos no cálculo. O estudo concluiu que nas condições no período da análise, a GDFV não era economicamente viável em nenhum dos segmentos, e em nenhuma das redes de distribuição. Mas, em cenários projetados que consideravam menores custos dos sistemas, e taxa de descontos inferiores, a GDFV tornar-se-ia viável. Vale et al. (2017) avaliaram a viabilidade da instalação de sistemas de GDFV em dois projetos do “Minha Casa Minha Vida”, programa habitacional do governo brasileiro para famílias de baixa renda, em dois estados do país: São Paulo e Piauí. Concluíram que, a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) adotado por São Paulo, lhe garantiria vantagem, mesmo esse estado apresentando características de irradiação inferiores às do Piauí. Gomes et al. (2018) estimaram a demanda residencial mínima, de diferentes áreas de concessão de distribuição do país, necessária para garantir a viabilidade econômica de sistemas de GDFV. Também foi estimado o potencial de penetração dessa tecnologia, no segmento residencial, para os próximos 25 anos, e recomendadas políticas de financiamento do capital inicial para consumidores individuais, como forma de promoção da GDFV no país. As análises constataram que a GDFV era técnico-economicamente viável na maioria das regiões, e apresentava potencial de gerar 3.666 MWp.

A GDFV no Brasil apresentou uma evolução extraordinária nos últimos anos, o que acabou por motivar mais estudos sobre esse tema. Garcez (2017) elaborou uma ampla análise sobre a nova conjuntura política após a regulamentação da geração distribuída. Através da abordagem econométrica, criada a partir de um modelo de regressão linear, identificou os determinantes do sucesso das políticas adotadas nos estados da federação. Foi observado que o fator decisivo para a adoção de sistemas de GDFV pelos consumidores, não era o potencial solar, mas as altas tarifas de eletricidade. Ademais, constatou-se que o Ministério de Minas e Energia (MME), órgão responsável pelo planejamento energético do país, demonstrava forte preferência ao regime centralizado. Conclusão semelhante foi alcançada por Assunção e Schutze (2017), que analisaram 5.563 municípios brasileiros. Os autores identificaram que o desenvolvimento da GDFV não ocorria somente pelas características do recurso solar, mas por aspectos da demanda como renda, tamanho da população e valor da tarifa de energia. Silva et al. (2019) aplicaram uma abordagem analítica para avaliar as políticas e os ajustes regulatórios para a difusão da

GDFV, em diversos países inclusive no Brasil, com o intuito de identificar padrões e suas implicações. Apesar de não reconhecerem um padrão, constataram que a maioria dos países analisados implementavam sucessivas mudanças regulatórias para diminuir o impacto do aumento da inserção de GDFV no sistema elétrico.

Frate e Brannstrom (2017) desenvolveram um estudo que visava identificar as barreiras e as motivações, para a implantação de UFVs em larga escala no estado brasileiro de Minas Gerais (MG), sob a perspectiva dos *stakeholders* do setor elétrico. Com a aplicação da metodologia Q ( *Q-method*), constatou-se as principais barreiras às UFVs: a percepção social negativa, e a falta de infraestrutura elétrica. Um panorama da energia FV no Brasil, que compreendeu as características de geração, e a evolução dos incentivos regulatórios para seu fomento, foi apresentado por Ferreira et al. (2018). Os autores reconheceram os esforços empenhados para promover a tecnologia FV, mas concluíram que os incentivos vigentes eram insuficientes. Enfatizaram também que o desenvolvimento de uma cadeia de valor solar, poderia contribuir para uma importante redução nos custos dos sistemas. Faria et al. (2017) elaboraram estudo similar, mas concentraram-se na geração distribuída. A investigação contemplou o desenvolvimento da GDFV no país, as principais barreiras para sua utilização em larga escala, e os incentivos implementados. Além disso, foram apresentadas outras políticas que poderiam ser adotadas para uma promoção mais eficiente. Ambos estudos enfatizaram a relevância da geração FV, para a diversificação da matriz elétrica brasileira.

Diferentes cenários de difusão da energia FV no Brasil, são apresentados em diversos estudos. Jannuzzi e Melo (2013) simularam algumas hipóteses de disseminação de sistemas FVs residenciais até 2030. Utilizaram uma abordagem de função LOGIT, para apreciar a penetração da GDFV com a adoção de três ferramentas de promoção: mecanismo de medição líquida, tarifas *feed-in*, e subsídios diretos para as instalações. Os resultados da investigação mostraram que a tecnologia FV distribuída, era uma boa alternativa para a diversificação da matriz energética, com potenciais benefícios econômicos e ambientais. Entretanto, a falta de objetivos a longo prazo para a energia solar, e a insuficiência de meios de apoio, poderiam comprometer seu desenvolvimento. Uma nova metodologia, que consiste na aplicação de diferentes modelos de análise para a projeção e difusão de sistemas FVs em residências de baixa voltagem, foi apresentada por Santos e Bernardon (2018). Esse estudo constatou a necessidade de financiamento e

incentivos para estimular a adoção desses sistemas, por consumidores de baixa voltagem. Dantas e Pompermayer (2018) retrataram o cenário da GDFV no Brasil, suas perceptivas e viabilidade econômica. Constataram que de modo geral, a GDFV era viável para o consumidor. Também alertaram para os impactos da inserção em grade escala da GDFV no sistema energético, e os possíveis prejuízos para as concessionárias e consumidores. Contudo, admitiram que ainda havia ampla margem para o desenvolvimento nacional dessa tecnologia. Pillot et al. (2018) aplicaram a abordagem probabilística de Monte Carlo para avaliarem a paridade de rede da GDFV com as tarifas elétricas, no sul do país. Suas análises atestaram que a viabilidade econômica de muitos sistemas FVs residenciais em operação nessa região, não era garantida devido às elevadas necessidades de capital próprio e de capacidade nominal. No entanto, quando se considerava o endividamento, sistemas com capacidade nominal superior a 7 kW apresentavam níveis de confiança significativos quanto à sua viabilidade. Por fim, foi destacado que a paridade de rede de sistemas de GDFV era determinada por quatro fatores: financeiro, política tributária estadual, empresa elétrica, e classe de consumo.

Embora não haja em operação no país, até os dias de hoje, nenhuma central heliotérmicas de geração concentrada, esse é um tema presentes em estudos de geração FV no Brasil (Soria et al., 2015; Fichter et al., 2017). Viana et al. (2011) estimaram a produção das centrais solares de alta concentração, com o objetivo de demonstrar que essas seriam mais vantajosas do que a geração FV centralizada com eixos fixos, sem concentração. Entretanto, concluíram que os altos custos da tecnologia concentrada limitavam sua viabilidade para níveis de radiação direta (RD) acima de 1800 kW h/m<sup>2</sup>/ano. Malagueta et al. (2014) também avaliaram a potencial de geração concentrada de energia solar, e seus impactos no sistema elétrico brasileiro até 2040. Foi constatado que centrais heliotérmicas não eram competitivas frente a outras opções, mesmo se adicionadas tecnologias avançadas para a diminuição de custos. Porém, ressaltaram que essa modalidade poderia contribuir para o desenvolvimento socioeconômico de regiões pobres do semiárido, e garantir a independência elétrica da região Nordeste. Um terceiro estudo confere aos altos custos nivelados da energia gerada por centrais heliotérmicas, a razão pela qual Brasil e China não privilegiavam essa tecnologia (Souza & Cavalcante, 2017).

Alguns estudos buscaram analisar e comparar as gerações FV centralizada e distribuída. Tsuchida et al. (2015) simularam cinco cenários com diferentes parâmetros:

inflação, custos financeiros, de implantação etc., para 2019. Compararam o custo de geração FV por MWh de uma central com 300 MW de capacidade, aos de 60 mil sistemas residenciais FV de 5 kW cada. Por fim, estimaram que o custo da geração residencial seria mais que o dobro daqueles das centrais FV. Sun et al. (2017), desenvolveram um estudo com o objetivo de averiguar qual dos sistemas energéticos, geração centralizada (solar térmica ou eólica térmica) com transmissão por longas distâncias, ou geração distribuída (FV e eólica), a China deveria priorizar. Para isso, elaboraram uma análise sob duas perspectivas: a taxa de integração e o custo social total (CST). Examinadas as taxas de integração, verificou-se que essas eram maiores quando adotada somente a geração distribuída. Por outro lado, constatam que o CST ainda era menor em sistemas de geração em larga escala. Não obstante, concluíram que a China deveria privilegiar a geração e consumo local de eletricidade, pois previam que esse modelo seria mais competitivo no curto prazo, do que sistemas centralizados. Martín-Martínez et al. (2017) discutiram as relações entre as tecnologias centralizada e distribuída, para geração térmica e elétrica, revisaram seus benefícios, discutiram a recuperação dos custos ociosos, e identificaram os fatores (demandas térmicas, requisitos de segurança, perdas, recursos distribuídos, taxas de acesso etc.) que deveriam ser considerados nessa complexa investigação. Os autores defenderam a utilização de modelos computacionais, capazes de conduzir tal comparação, apresentaram um modelo matemático de otimização, que buscava minimizar os custos de todo o sistema, e o aplicaram no caso da Espanha. A pesquisa constatou que a GDFV trazia benefícios ao sistema elétrico, e por fim, entendeu-se que a GDFV parecia ser uma melhor opção frente à geração centralizada, considerando os custos de investimentos, manutenção, e especialmente os custos dos sistemas de transmissão. Porém, enfatizam que as conclusões quantitativas, eram específicas ao caso espanhol.

A maior parte dos estudos de avaliação das tecnologias FVs de geração, enfatizam tópicos econômicos, e/ou técnicos. O aumento da participação da GDFV, e as discussões sobre seus impactos, tem contribuído para o surgimento de estudos que buscam uma análise mais ampla. Farrell (2016) questionou as crenças arraigadas do setor energético, especialmente a de que maior é sempre melhor, e contestou a preponderância do custo de geração na avaliação das tecnologias FV e eólica. Argumentou que a apreciação de uma tecnologia ou modalidade de geração elétrica, deve compreender não só custos, mas também as demais consequências energéticas, ambientais e socioeconômicas. Para o autor a

geração distribuída traz benefícios mais abrangentes do que o modelo centralizado. Uma valoração mais criteriosa dos *tradeoffs* entre as tecnologias distribuída e centralizada para o fornecimento elétrico, incluindo à FV, é defendida por Burger et al. (2019). O estudo destaca a necessidade de se avaliarem os custos adicionais, a escala sustentável, e o valor locacional dos recursos distribuídos, de forma a garantir que sua adoção não seja indiscriminada, mas utilizada quando essa for a opção mais favorável para o sistema elétrico e sociedade. O Massachusetts Institute of Technology (MIT, 2016) elaborou uma análise abrangente, na qual abordou diversos aspectos relacionados a atual transformação energética contemporânea, especialmente os impactos da participação dos recursos distribuídos, entre os quais a GDFV. O objetivo não foi comparar, mas contribuir para uma melhor, e mais fácil integração dos modelo distribuído e centralizado, de forma a garantir uma evolução eficiente do sistemas elétricos.

### 3. CONTEXTUALIZAÇÃO

#### 3.1 Geral

O Brasil é um país de superlativos, com extensão territorial de 8.515.767,049 Km<sup>2</sup> é o maior da América Latina, 5º maior do mundo e o 6º país mais populoso, habitado por 209.468.278 milhões de pessoas ((World Atlas, 2019; World Bank, 2019). Seu território é dividido em 5 regiões: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, que compreendem 27 unidades federativas, sendo 26 estados e 1 Distrito Federal (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística[IBGE], 2019). O país faz fronteira com 10 dos 12 países da América Latina, exceto Chile e Equador, e tem uma costa de 7.491 km de extensão (Central Intelligence Agency , 2019).

As regiões brasileiras são bastante distintas entre si, com suas particularidades físicas, climáticas, culturais e demográficas, além de diferentes potenciais econômicos. Do centro ao sul, o país é mais desenvolvido em termos socioeconômicos, dispõe de melhores infraestruturas públicas, e de bens e serviços de mais qualidade. A região Sudeste é a mais industrializada e economicamente forte do país. O Norte é em grande parte dominado pela Floresta Amazônica, concentra 80% da água disponível para uso, mas agrega somente 5% da população (Agência Nacional de Águas [ANA], n.d). O Centro-Oeste é a região onde o setor de agronegócios tem grande peso; e vem nos últimos anos liderando a produção agrícola no país (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA], 2017). O Nordeste destaca-se por seu forte potencial turístico, que devido a suas culturas exuberantes, e à beleza de sua costa, é o destino preferido do brasileiro (Ministério do Turismo & Fundação Getúlio Vargas, 2017). É também nessa região onde se localizam os estados com menores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) (IBGE, 2010), e que sofrem com mais frequência com a escassez de água. Do total de pessoas afetadas pelas secas registradas no país de 2013 a 2016, 83% vivem nessa região (ANA, 2017).

Com sua extensão continental, o Brasil possui grande variedade de climas e vegetações. O clima predominante é o tropical, com verões úmidos e invernos secos; mas sofre imensas variações de acordo com as regiões, e mesmo dentro de uma região. A vegetação também é bastante diversa, com biomas singulares de enorme biodiversidade. A maior parte do território nacional é coberta por florestas como a Mata Atlântica, e a

Floresta Amazônica, está sozinha cobre 59,12% da área do país (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente & Organização do Tratado de Cooperação Amazônica, 2008). O Cerrado ocupa 22% do território brasileiro, sobretudo o centro; mas, o país abriga também a Caatinga, o Pantanal e os Pampas. Toda essa variedade de biomas configura o Brasil como um país com uma das maiores biodiversidades no mundo. Estima-se que o território nacional abrigue 20% do total de espécies (aquáticas e terrestres) do planeta. Contudo, apesar das riquezas próprias de seu território, são as espécies exóticas que mais participam da economia nacional. Culturas tradicionais na história brasileira, e importantes atividades econômicas como: cana-de-açúcar, arroz, café, soja, laranja, cacau, silvicultura com eucaliptos, bovinos, abelhas etc., são todas oriundas das mais variadas regiões do mundo (Ministério do Meio Ambiente [MMA], 2019).

### **3.2 Econômica**

O Brasil é a nona maior economia mundial, dotado de diversas riquezas naturais e grande potencial econômico (World Bank, 2019a). Apesar disso, é um país subdesenvolvido que enfrentou ao longo de sua existência, e continua apresentando, enormes desafios ao seu desenvolvimento. Em sua história recente, o país viveu um período de progresso entre 2003 e 2008, com crescimento econômico médio de 4,2% ao ano, queda na taxa de desemprego, e aumento de crédito (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social [BNDES], 2018). Entre 2003 e 2013 houve melhoras no nível de renda em 4,4% da população em geral, e de 7,7% dos mais pobres, o que possibilitou que 29 milhões de brasileiros saíssem da pobreza. De 2011 a 2014 o desempenho econômico foi caracterizado pela desaceleração, com taxa de crescimento médio de 2,1% ao ano (World Bank, 2019).

O biênio 2015-2016 foi marcado pela piora dos cenários político, e recessão econômica importante, com recuo de 3,5% em cada ano. A desaceleração da economia a partir de 2011, a degradação das contas públicas, e o acirramento da política monetária foram alguns dos fatores que contribuíram para essa contração. Além disso, o avanço da “Operação Lava-jato”, de combate a corrupção, impactou de forma contundente empresas de setores importantes para a economia nacional, como os do petróleo, gás, e construção civil. A situação econômica delicada acompanhada da persistente incerteza política, atingiram fortemente empresas e famílias, levando ao aumento na taxa de desemprego e

queda no consumo. No final de 2016, o nível de investimento havia caído 30% frente aos níveis apresentados em 2013. Nesse ano, após a destituição do cargo da presidente da República e ascensão do novo governo, a nova equipe econômica adotou uma política baseada em responsabilidade fiscal, equilíbrio interno e controle da inflação. Pretendia-se recuperar a credibilidade do Banco Central, e diminuir a intervenção do Estado na economia. No fim daquele ano foi aprovada a principal medida da reforma fiscal, que limitava o crescimento das despesas públicas através da regra do Teto do Gasto (Emenda Constitucional nº 95, 2016). Outras medidas importantes também foram tomadas, o que colaborou para a percepção de menor risco, e impactou as taxas de juros. No ano seguinte, a soma de fatores como o contexto internacional favorável, política monetária mais expansionista, excepcional safra agrícola, produção recorde de petróleo e minérios, e a confiança dos agentes na nova política econômica, convergiram para que o país apresentasse um crescimento de 1% do PIB, indicando um início de recuperação (Fig. 1). Além disso, registrou-se queda na taxa de desemprego, melhorias nas condições de crédito, e houve a liberação dos recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS). Tais fatores culminaram com o aumento do consumo das famílias. Os investimentos no segmento de máquinas e equipamentos também demonstraram recuperação com aumento de 3% (BNDES, 2018).



FIGURA 1: TAXA DE CRESCIMENTO DO PIB BRASILEIRO DE 2003 A 2017.

Fonte: BNDES (2018, p.9).

Com a melhoria registrada em 2017, projetou-se para o ano seguinte um crescimento de 2,4% do PIB; contudo, 2018 apresentou um aumento de apenas 1,1% (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico [OCDE], 2018). A greve dos caminhoneiros e a crise na Argentina, entre outros fatores, contribuíram para esse

desempenho modesto. Entretanto, apesar desse resultado, houve uma melhora na composição dos indicadores frente a 2017. A demanda interna apresentou uma evolução positiva, com o aumento no consumo das famílias de 1,9%, e na formação bruta de capital fixo de 4,1%. Dos setores produtivos, o de serviços apresentou o melhor resultado, com crescimento de 1,3%, e a indústria cresceu 0,6%. Por outro lado, o setor agrícola teve um ano praticamente de estagnação com apenas 0,1% de crescimento (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada [IPEA], 2019). Em 2019, a produção doméstica repetiu o fraco desempenho do ano anterior, cresceu 1,1%, mas a economia brasileira apresentou um melhor desempenho macroeconômico. As melhorias nas atividades da indústria e serviços continuaram, houve expansão do crédito livre, redução da taxa de desocupação, e aumento da renda. A inflação ficou abaixo da meta, e os juros atingiram seus menores patamares históricos. Medidas importantes de ajuste fiscal e a aprovação da reforma da previdência, contribuíram para uma redução importante do risco país. Essa conjuntura favorável melhorou a confiança dos empresários, consumidores, e investidores, e indicaria uma recuperação mais consistente (Ministério da Economia [ME], 2020). Ainda assim, o país continua apresentando uma situação desfavorável, com importantes obstáculos a um desenvolvimento efetivo. O Brasil apresenta um dos mais altos níveis de desigualdade social (OCDE, 2018).

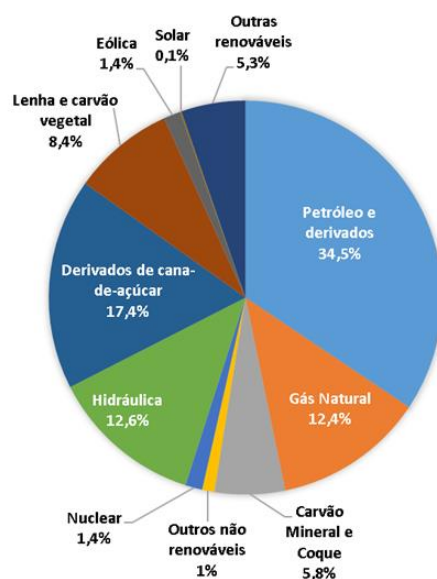
Em 2017, o déficit orçamentário correspondeu a 8,5% do PIB, e em fevereiro de 2018 a dívida pública atingiu 75% da produção nacional (BNDES, 2018). O alto endividamento público, e o excessivo comprometimento do orçamento com despesas de pessoal e previdenciária, resultam em baixa disponibilidade de recursos para investimentos, e prejudica uma alavancagem no desenvolvimento do país (World Bank, 2017). Outros importantes fatores, ameaçam o desenvolvimento estável do país. As barreiras tarifárias e não tarifárias, colocam o Brasil como um dos países mais fechados do mundo, o segundo com mais baixo nível de comércio internacional, atrás somente do Sudão. Seu sistema tributário é defasado e complexo, o que eleva os custos, aumenta a insegurança jurídica, e afeta a competitividade das empresas nacionais. A infraestrutura deficitária e de má qualidade, pior do que a de países como Índia, China, México e Argentina, agravam essa condição. Outro aspecto crítico é referente à qualificação do capital humano, que mesmo com o aumento nos investimentos em educação, convergindo para as médias mundiais, não resultaram em melhoria na qualidade do ensino. Apesar desses enormes desafios,

esperava-se que o país crescesse de 2,2 % a 3% ao ano, entre 2020 e 2023 (BNDES, 2018). Para 2020 havia a expectativa de que o ritmo de atividade no país seria maior. O governo brasileiro previa o crescimento do PIB de 2,4% (ME, 2020), enquanto o International Monetary Fund (IMF, 2020) esperava um aumento de 2,2%. Contudo, a pandemia do Coronavírus impacta a economia nacional de uma forma ainda difícil de prognosticar, mas é certo que ocorrerão prejuízos importantes que impedirá um resultado econômico positivo em 2020, e acarretará implicações no anos subsequentes (IMF, 2020a).

### **3.3 Energética**

#### **3.3.1 Cenário energético atual**

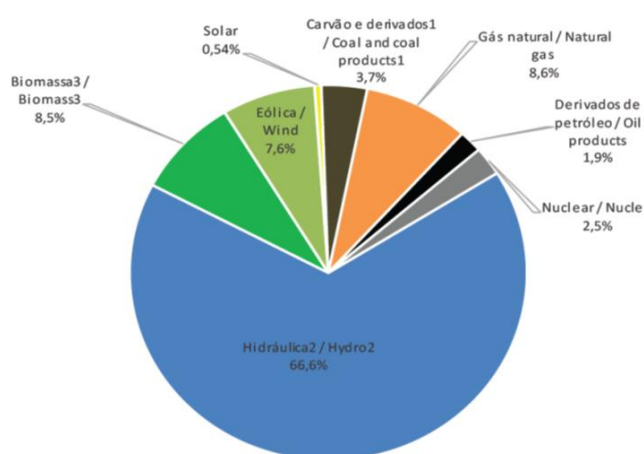
O Brasil configura-se entre os maiores produtores e consumidores mundiais de energia; em 2018 foi o décimo e o nono, respectivamente (Enerdata, 2019). Ademais, é o maior mercado de energias renováveis da América Latina (IEA, 2018). O país detém grande disponibilidade e diversidade de recursos energéticos endógenos; possui abundantes fontes hídricas, reservas de petróleo com produção crescente, significativa produção de etanol, produção nuclear doméstica etc. Em 2018, 45,2% da oferta interna de energia foi proveniente de fontes renováveis. As renováveis com maior participação na matriz energética são os derivados da cana com 17,4%, e a hidráulica com 12,6%; ainda assim, os recursos fósseis participaram da oferta com mais de 50% (EPE, 2018, 2019)(Fig.2, p.15). A riqueza de recursos próprios, e a expressiva participação de fontes não poluentes, faz com que o Brasil, não só possua um sistema de geração de energia entre os mais limpos do mundo, mas também goze de baixa dependência energética externa. A diferença entre a produção interna e a demanda interna foi em média 9% entre 2008 e 2015, de 2,3% em 2016 e de 0,5% em 2017, com maior dependência externa do carvão e do gás natural (GN). Em 2018, pela primeira vez, o país registrou superávit de energia de 1,3% (EPE, 2019).



**FIGURA 2 : OFERTA INTERNA DE ENERGIA EM 2018.**

Fonte: elaboração própria com bases nos dados da EPE (2019).

A participação das renováveis na matriz elétrica é ainda mais significativa. De toda eletricidade ofertada no país em 2018, 83,2% foi oriunda de fontes renováveis; com participação preponderante da hidroeletricidade, mas também de biomassa, eólica e solar. Os setores de maior consumo no ano foram o industrial, residencial, e comercial com 37,5%, 25,4% e 16,9% respectivamente (EPE, 2019).



**FIGURA 3: OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE EM 2018.**

Fonte: EPE (2019, p 16).

Com uma situação energética em muitos aspectos cômoda, o Brasil não possuía as motivações comuns à grande parte dos países desenvolvidos, pioneiros na adoção das

novas energias renováveis. Esses, começaram a desenvolver as novas fontes renováveis, nomeadamente eólica e solar, para minimizar suas dependências energéticas e diminuir a participação dos combustíveis fósseis, altamente poluentes e escassos; conjunturas bem diferentes do Brasil. Por outro lado, a matriz elétrica brasileira apresenta uma demasiada alta dependência da hidroeletricidade. Nas últimas duas décadas, o país passou a registrar a ocorrência de eventos climáticos extremos com maior frequência. Os volumes das chuvas têm sido expressivamente abaixo das médias, o que resultou na redução significativa da recarga dos reservatórios hídricos. Para se ter uma ideia do impacto do baixo volume de chuvas, a região hidrográfica do Tocantins-Araguaia teve o tempo de retorno da vazão média estimada em mais de 20 anos, e a região hidrográfica São Francisco maior que 100 anos. Por diversas vezes, condições hídricas negativas acrescentaram pressão ao sistema elétrico, e afetaram a oferta de eletricidade. Como consequência, a população enfrentou racionamentos de energia, “apagões”, e aumentos desmedidos das tarifas elétricas (ANA, 2017). A recorrente escassez hídrica, e a crescente oposição pública às construções de novas usinas de hidroeletricidade, devido a seus impactos socioambientais negativos, colocou o país em estado de alerta. Esse novo contexto, acabou por despertar as autoridades energéticas para a necessidade de diminuir a dependência da hidroeletricidade; e assim surge o interesse do país nas energias eólica, e mais recentemente na solar. Ademais, o país se comprometeu, através da Contribuição Nacionalmente Determinada (CND), a alcançar 45% do total de sua geração energética através de fontes renováveis, e diminuir em 43% as emissões de gases do efeito estufa (GEE) até 2030, em relação aos níveis de 2005. Com isso, tem se verificado um crescimento do investimento em outras fontes renováveis, como a solar FV (MMA, n.d.).

### **3.3.2 Emissões do setor de energia**

É notória a importância da energia no desenvolvimento econômico das nações, e no bem-estar humano (United Nations, 2014), contudo, a predominância dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial, faz desse setor o maior emissor de GEE, respondendo por dois terços das emissões globais, e mais de 80% das emissões de CO<sub>2</sub>. Em 2016, 36% do total de emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis, foram oriundas da eletricidade e do aquecimento. Em 2018, o setor elétrico sozinho foi responsável por 38% das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia (IEA, 2019, 2019a).

O Brasil, mesmo com um percentual significativo de fontes renováveis em sua matriz energética, ainda apresenta a participação de aproximadamente 55% de combustíveis fósseis, o que o coloca na 13ª posição entre os países mais emissores de CO<sub>2</sub> (Global Carbon Atlas, 2017). Contudo, o perfil de suas emissões contraria as de ordem global. O setor de energia, maior emissor no cenário global, no Brasil é o terciário, responsável por 19% das emissões totais. No que se refere ao uso de fontes primárias, a maior parte das emissões nacionais de CO<sub>2</sub> vem do uso do petróleo, e não do carvão que corresponde por 45% das emissões globais. Enquanto a eletricidade e o aquecimento juntos, são as maiores fontes de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis no mundo, responsáveis por 42% do total das emissões, no Brasil corresponderam a 20% em 2015; isso devido a predominância de recursos renováveis na matriz elétrica (Observatório do Clima & Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2018). As emissões do setor energético no Brasil passaram de 192 Mt CO<sub>2</sub> em 1990, para 423 Mtco<sub>2</sub> em 2016, com o pico de emissões em 2014, quando atingiu 481 Mtco<sub>2</sub>; entre 2015 e 2016, o setor de energia diminuiu suas emissões em 7,3%. O segmento de transporte é responsável por 43,2% das emissões do setor, e a geração de eletricidade por 12,8%. Enquanto as emissões totais de GEE diminuíram 2,3% no Brasil em 2017, aquelas relacionadas ao setor energético aumentaram, depois de 2 anos consecutivos de queda (Observatório do Clima, 2018a); mas em 2018 foi registrada nova queda nas emissões associadas à matriz energética nacional (EPE, 2019).

No setor elétrico nacional, as emissões estão diretamente relacionadas à disponibilidade hídrica, uma vez que essa fonte responde por mais de 60% da geração de eletricidade. Anos com condições hidrológicas desfavoráveis, provocaram o despacho das termoeletricas à combustíveis fósseis. Em 2015, ano de severa escassez hídrica e diminuição da geração de hidroeletricidade, essas centrais responderam por 23,5% da oferta de eletricidade. Em 2016, a redução de 28% da geração térmica diminuiu as emissões por geração de eletricidade em 30% (Observatório do Clima & Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2018). Assim sendo, mesmo que as emissões do setor energético, especialmente do segmento elétrico, sejam significativamente menores do que a de diversos países; e que o alcance das metas da CND, referentes à redução nas emissões de dióxido de carbono, já esteja praticamente garantida, o país deve estar atento à crescente participação de combustíveis fósseis na geração elétrica, e consequente aumento das emissões nesse segmento (EPE, 2019).

### 3.3.3 Histórico do setor elétrico brasileiro

No início do século XX, duas empresas estrangeiras dominavam o setor elétrico brasileiro; a canadense Light e a norte-americana AMFORP. Ambas possuíam uma capacidade instalada muito maior do que as empresas nacionais, e nos anos 20 acabaram por incorporá-las, configurando o monopólio do setor. Entre 1930 e 1945, período do governo de Getúlio Vargas, o setor elétrico passou a sofrer forte intervenção do Estado. Nessa época, era papel exclusivo do Estado legislar, outorgar concessões, e regular, e foi adotada, entre outras medidas, a tarifa de custos históricos, baseada no custo do investimento e não corrigida pela inflação. Tais mudanças acabaram por resultar em uma crise devido à falta de investimentos no setor. Em 1962, foi instituída a holding federal Eletrobrás, cuja responsabilidade ia do planejamento, à construção de hidroelétricas (UHE) e de redes de transmissão. Mais tarde, a Eletrobrás adquiriu as duas empresas estrangeiras, mencionadas anteriormente. Por fim, foram criadas empresas públicas de distribuição em todos os estados da federação, tornando todo o sistema elétrico estatizado (Bezerra, 2013).

Nos anos 80, o setor vivenciou uma crise ocasionada pelo impedimento do autofinanciamento. A necessidade de crédito coincidiu com o Consenso de Washington, que instituiu diversas condições para a concessão de empréstimos, as quais incluíam exigências de políticas de ajuste estrutural, liberalização, e privatização. Essas imposições acabaram por propiciar às mudanças que aconteceriam na década seguinte. Em 1995, foram promulgadas leis que especificavam o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos, e estabelecia normas para a outorgas, concessões etc. (Lei nº 8.987, 1995). A Lei nº 9.074 (1995) separou os segmentos de transmissão e distribuição objetivando a desverticalização, privatização, concorrência, e garantiu o livre acesso ao uso desses sistemas. Entretanto, a falta de uma regulação adequada e de uma reforma institucional setorial, acabou por paralisar o processo de privatização, uma vez que gerou insegurança e coibiu maiores investimentos por parte dos investidores. Apesar disso, as privatizações contribuíram para a redução do endividamento público, pois transferiu parte de suas dívidas para o setor privado (Esposito, 2012; Goldenberg & Prado, 2003).

A falta de investimentos na expansão do setor elétrico, acabou por fazer com que o século XXI começasse com racionamento de energia, impondo à sociedade uma diminuição compulsória de 20% do seu consumo elétrico. Essa medida afetou de maneira

considerável distribuidoras, geradoras e consumidores. Em 2001, o país vivenciou uma crise energética grave, que culminou com “apagões”. Com a ascensão de um novo governo em 2003, iniciou-se uma nova reestruturação do setor elétrico, e finalmente em 2004 foi instituído o Novo Marco Regulatório (Esposito, 2012; Velloso et al., 2014). O novo modelo criou novos agentes, como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), responsável por estudos e pela retomada do planejamento do setor; a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), cuja função é acompanhar e avaliar o setor eletroenergético, e também foi instituída a segmentação do mercado (ANEEL, 2008). Essa configuração priorizava investimentos na expansão de ativos de geração e transmissão, para os quais se concedia financiamento público a longo prazo, e forçava a competição através dos leilões. Atualmente, o sistema elétrico brasileiro integra uma maior participação da iniciativa privada, e seus ativos são de propriedade pública, privada ou mista (MMA, 2006; Esposito, 2012). Porém, a ocorrência em 2012 da pior crise hídrica em 60 anos, prejudicou a intenção do governo em diminuir as tarifas do mercado regulado, e comprometeu o equilíbrio financeiro das geradoras e distribuidoras. Em 2016, o novo governo após o processo de *impeachment*, promoveu mudanças significativas na estrutura de governança energética, e retomou o processo de privatização, com o objetivo de reduzir o papel do Estado como gerador, e reforçar seu papel de regulador e planejador do setor (Nivalde & Rosental, 2016). O governo atual sinaliza a continuação do processo de desestatização, com a apresentação do Projeto de Lei Nº 5.877 (2019) que dispõe sobre a privatização da Eletrobrás. Se aprovado, a União continuaria acionista relevante, mas as empresas gozariam de liberdade para negociar livremente nos mercados de eletricidade.

### 3.3.4 Sistema Elétrico Nacional

O sistema elétrico nacional brasileiro compreende o Sistema Interligado Nacional (SIN) e sistemas isolados, estes predominantemente na região Norte. O SIN agrega todas empresas de geração e transmissão de eletricidade, que compõem quatro subsistemas elétricos, e abrange integralmente as regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, e parte da região Norte. Roraima, situado na região Norte, é o único estado brasileiro não integrado ao sistema elétrico nacional, tendo sua demanda atendida através de usinas

térmicas locais, e da interligação Brasil-Venezuela (Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL], 2008).

O direito à exploração dos bens públicos do setor elétrico é concedido pela ANEEL através de licitações, por períodos de 30 anos para sistemas de transmissão e de distribuição, e de 35 anos para novas concessões de geração (Lei Nº 9.074, 1995). Atualmente são 216 concessões e 136 empresas de transmissão, que operam 154.430 km de linhas da rede básica (Operador Nacional do Sistema Elétrico [ONS], 2019; MME, 2019). Essa extensa malha elétrica é justificada pela grande dimensão territorial do país, e pela característica do sistema de geração, composto majoritariamente por hidrelétricas situadas em diferentes localidades, e geralmente distantes dos centros de consumo. Os serviços públicos de distribuição de energia elétrica de determinada região, são prestados por uma única empresa que detém o monopólio daquela área. Esse setor é composto por 105 distribuidoras, que operam em tensões de até 230 kV, com algumas exceções (ANEEL, 2008; 2018).

Existem três tipos de consumidores de eletricidade no Brasil: livres, especiais e cativos. Os livres e especiais são aqueles a quem é permitido comprar eletricidade no ambiente de comércio livre. O primeiro pode escolher de quem comprar, se diretamente de um gerador ou agente comercializador, e o tipo de energia (convencional ou renovável); além de ter certa flexibilidade quanto a quantidade a ser adquirida. O Especial, um único ou um conjunto de consumidores, também tem o direito a uma negociação livre com o vendedor, mas diferente dos consumidores livres, a carga demandada total deve ser maior ou igual a 500 kW e menor que 2.500 kW, e só podem adquirir eletricidade de fontes especiais (usinas eólicas, solares, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas). As condições contratuais como preço, prazo, indexação etc., são acordados livremente entre as partes. O consumidor cativo é aquele que possui uma demanda elétrica abaixo de 500 kW, inclui comércios, pequenas indústrias e todos consumidores residenciais. Essa classe não dispõe de escolha de fornecedor, ao contrário, é compulsório o consumo da rede de distribuição que serve sua área. Não lhe é permitido negociar preço, nem escolher o tipo de eletricidade adquirir, e sua tarifa elétrica é regulada e isonômica para uma mesma classe de consumo. Entretanto, a qualidade da energia e o nível de segurança de suprimento é igual para todos tipos de consumidores (ANEEL, 2008; CCEE, 2018).

A governança do setor elétrico no país compreende diversas instituições (Fig.4), as principais são o MME, responsável por definir as políticas públicas do setor elétrico, e a ANEEL, encarregada da regulação e fiscalização (Lei nº 9.427, 1996); cujas funções da abrangem a produção, o transporte e a comercialização da energia elétrica do SIN, e dos sistemas isolados. Suas atribuições compreendem, por exemplo, estabelecer tarifas elétricas, outorgar concessões de geração e serviços elétricos, gerir contratos, e mediar conflitos. Também, é de sua responsabilidade regular o ONS, e a CCEE (ANEEL, 2008).



FIGURA 4: GOVERNANÇA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Fonte: CCEE (2018, p.4).

A CCEE é incumbida de viabilizar e gerir a comercialização da eletricidade entre os agentes membros, que podem negociar entre si, independente das restrições físicas de geração e distribuição. As relações comerciais acontecem em dois ambientes: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) (Fig.5, p.22). O ACR é voltado para geradoras e distribuidoras, e as compras e vendas de energia são realizadas através de leilões; o menor preço ofertado é a principal variável que define o vencedor nos leilões. Os contratos negociados nesse ambiente são sujeitos às condições específicas reguladas pela ANEEL, não passíveis de alterações. No ambiente livre (ACL) os agentes possuem independência para estabelecerem o volume, o preço, e o prazo, em seus contratos de compra e venda. Em ambos os ambientes, os contratos firmados são registrados na CCEE, que então contabiliza as diferenças entre a energia medida e contratada de cada agente, para serem liquidadas no Mercado de Curto Prazo (MCP), com

a valoração do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). O gerador que produziu mais energia do que o volume de seu contrato, tem direito de receber o valor equivalente, enquanto aquele que gerou menos deverá pagar a diferença. Os agentes envolvidos não realizam contratos entre si, a intermediação entre as contrapartes, e a liquidação que ocorre mensalmente, é administrada pela CCEE (CCEE, 2019).

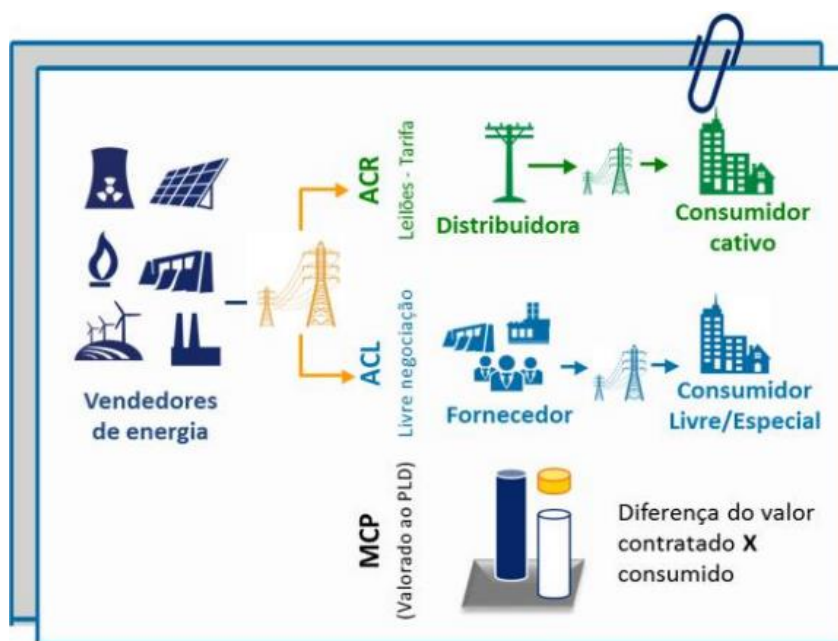


FIGURA 5: AMBIENTES DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA

Fonte: CCEE (2018, p.12).

O ONS é responsável por toda gestão e controle das operações de geração e transmissão de eletricidade do SIN, e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados. Sua missão é garantir o fornecimento elétrico seguro e confiável de forma contínua para todo o país, com a melhor qualidade e menor custo possíveis, e assegurar o acesso à rede de transmissão de forma não discriminatória (ONS, 2020).

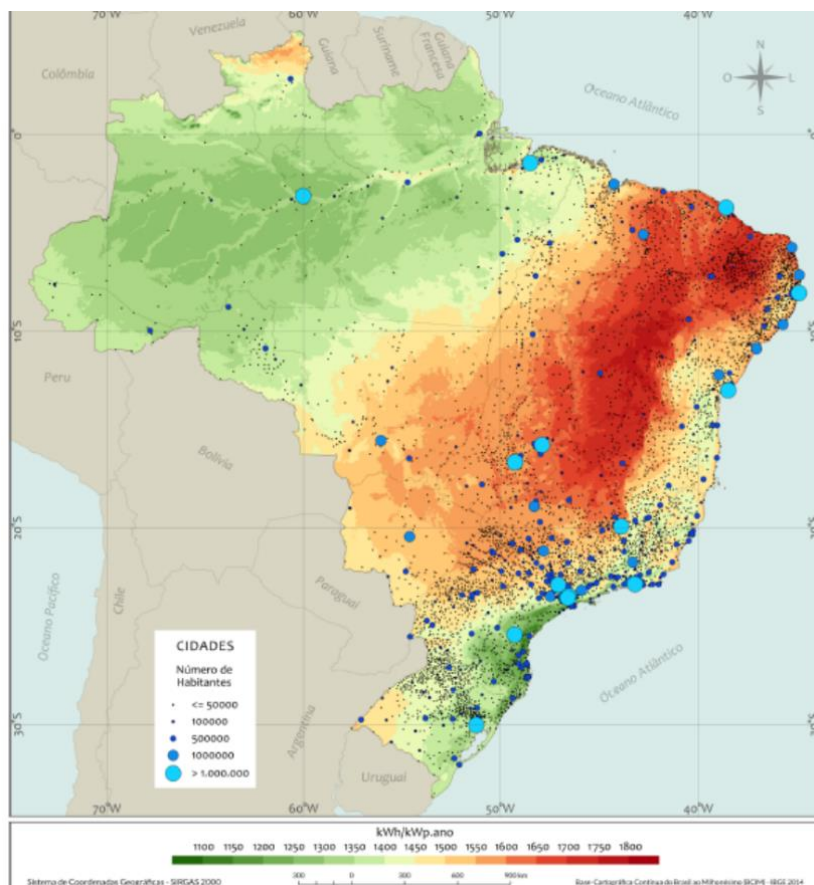
## 4 ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

### 4.1 Potencial FV

O Sol é um recurso inexaurível e amplamente disponível, que pode ser aproveitado como fonte energética para suprir as necessidades da sociedade (Viana et al., 2010 *in* EPE, 2018). O Brasil possui grande potencial para a geração FV, tanto centralizada como distribuída. A quase totalidade de seu território está situada entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, que se caracterizam por uma incidência mais vertical dos raios solares, e resultam em elevados índices solarimétricos, inclusive no inverno (Fig.6, p.24). A irradiação global horizontal anual do país varia a uma taxa de 1500 a 2200 kWh/m<sup>2</sup>, o que possibilita o aproveitamento solar para geração FV, em grande parte do território nacional (EPE 2014; 2018). “Atualmente, todos estados brasileiros teriam condição de suprir seu consumo elétrico residencial de forma integral com o advento da energia fotovoltaica” (EPE, 2018, p.142).

De acordo com Pereira et al. (2017), quando se avalia o potencial solar FV de determinado local, a disponibilidade do recurso solar é essencial, mas é também de grande importância conhecer sua variabilidade; essas duas variáveis juntas determinarão a capacidade de geração, aspectos técnicos de qualidade e de segurança. O Brasil congrega esses dois fatores: apresenta altos níveis de irradiância, e variabilidade temporal interanual baixa, e em algumas localidades muito baixas. As regiões Nordeste, Centro-Oeste, e Sudeste apresentam os maiores rendimentos médios anuais do país, e por isso são as regiões preferidas para instalações de UFVs. Do território nacional, a região Nordeste é a que apresenta o maior potencial FV, pois agrega a maior média de irradiação normal anual, menor variabilidade interanual com valores extremos entre 5,39 kWh/m<sup>2</sup> e 5,59 kWh/m<sup>2</sup>, e menores amplitudes em todas as estações do ano; características que garantem maior estabilidade na produção de energia solar. Essa região apresenta irradiação solar média mensal superior, e variabilidade mensal inferior, às dos países ibéricos. A região Sudeste é onde ocorre a maior variabilidade, com médias entre 4,97 kWh/m<sup>2</sup> e 5,11 kWh/m<sup>2</sup>; e o Norte apresenta as mais baixas médias interanuais de irradiação, resultado da frequente nebulosidade e consequente redução da irradiância solar na superfície. O Sul é marcado por latitudes mais altas, com maior diferença na duração dos dias, e entre as estações do ano, por isso, registra baixo nível de irradiação direta normal, e alta variabilidade. Suas

características são mais similar às dos países europeus, principalmente no que se refere a variabilidade mensal. Entretanto, tanto a região Sul quanto o estado de São Paulo (Sudeste) apresentam alta média de irradiação no verão, e estão mais próximos dos grandes centros de consumo. Ambas regiões possuem maior capacidade de concentração de carga, e maior disponibilidade de conexão à rede, significando menor necessidade de investimentos em novas linhas de transmissão. Por fim, o declínio progressivo do custo da tecnologia, e a possível saturação das regiões atualmente priorizadas, podem tornar competitivas as regiões com menor irradiação solar e variabilidade mais alta. Sobretudo, admite-se que “no local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha” (Pereira et al., 2017, p.57).



**FIGURA 6: POTENCIAL DE GERAÇÃO SOLAR : RENDIMENTO ENERGÉTICO ANUAL**

Fonte: Pereira et al. (2017, p.59).

Além do comprovado potencial para aproveitamento FV, o Brasil também possui grande disponibilidade de áreas propícias para a geração FV centralizada de larga escala. Em publicação sobre o potencial dos recursos energéticos do país, a Empresa de Pesquisa

Energética (2018c) apresentou o mapeamento das áreas aptas às instalações de centrais FV em território nacional. O estudo considerou aptas, somente aquelas antropizadas com declividade inferior a 3%, e com dimensões superiores a 0,5 km<sup>2</sup>. Foram excluídas do cálculo áreas sob proteção ambiental, terras indígenas, urbanas, e outras com qualquer restrição legal ou física (hidrografia etc.). Considerando somente as áreas com maior nível de irradiação, entre 6,0 kWh/m<sup>2</sup> e 6,2 kWh/m<sup>2</sup>, a análise evidenciou que o país possui potencial técnico para a instalação de 307 GWp em UFVs, o que seria capaz de gerar 506 TWh/ano. Além da grande disponibilidade de terras, o país também oferece áreas aquáticas interiores e *offshore*, para a implantação de UFVs flutuantes. Além dos rios e lagos, existem no país grandes reservatórios hídricos para a geração de eletricidade, onde poderiam ser instalados sistemas flutuantes, quando essa opção apresentar bom custo-benefício, ou em localidades onde houver limitações para a ocupação do solo (EPE, 2018; Sahu et al., 2016).

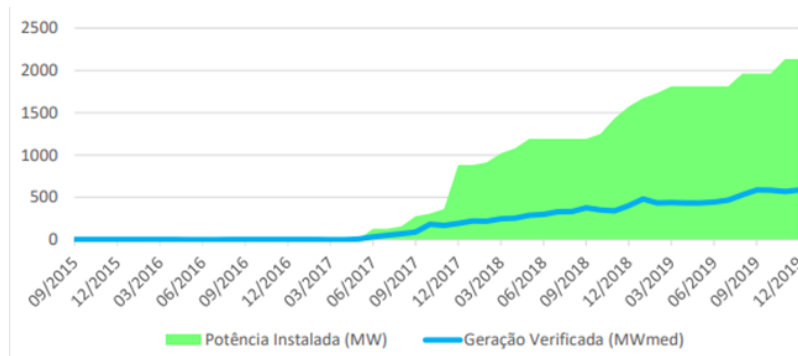
O potencial técnico para a GDFV no Brasil, apenas no segmento residencial, seria de 287.505 GWh/ano, e praticamente todo território nacional teria condições de adotá-la (EPE, 2014). A proximidade da linha do equador, fazem do Norte e Nordeste as regiões com as melhores qualidades técnicas, e maior possibilidade de integração da tecnologia FV às edificações (Tolmasquim, 2016). Entretanto, as regiões com maior potencial para a GDFV residencial, não são as com as melhores características técnicas para a geração FV, mas aquelas mais povoadas, com maior número de residências etc. (Assunção & Schutz, 2017; Miranda et al., 2015). Porém, em tese, não existe uma limitação (recurso solar) que impeça que 100% do consumo elétrico residencial nacional, seja suprido pela GDFV (EPE, 2018). Quanto maior as tarifas elétricas, mais viável é a adoção de um sistema de GDFV; mas como esses sistema ainda são caros para a maioria dos brasileiros, a renda é outro fator determinante (Garcez, 2017).

## **4.2 Evolução da Energia FV no Brasil**

O interesse na tecnologia solar FV não é algo novo no Brasil, nos anos 50 já se buscava seu desenvolvimento, e em 1958 foi realizado o 1º Simpósio Brasileiro de Energia Solar. Na década de 70, a tecnologia FV nacional equiparava-se à dos países de vanguarda, entretanto, a inconstância e insuficiência dos incentivos para pesquisa e desenvolvimento nessa área, fizeram com que nos anos 90, a tecnologia FV brasileira ficasse defasada em relação à países como Alemanha e Japão. No Brasil, até o início do século XXI, a

tecnologia solar mais difundida era para aquecimento de água abaixo de 100°C, utilizada em residências como alternativa aos chuveiros elétricos ou a gás, e em processos industriais; sua utilização para a geração de eletricidade era limitada a poucas e pequenas unidades de geração em sistemas isolados do SIN, e para consumo próprio. Os primeiros sistemas FV conectados à rede elétrica no país foram instalados em concessionárias de energia elétrica, universidades, e centros de pesquisas, tais como a Hidroelétrica do São Francisco, Universidade de São Paulo, e o Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (Pereira et al., 2017; Pinho & Galdino, 2014).

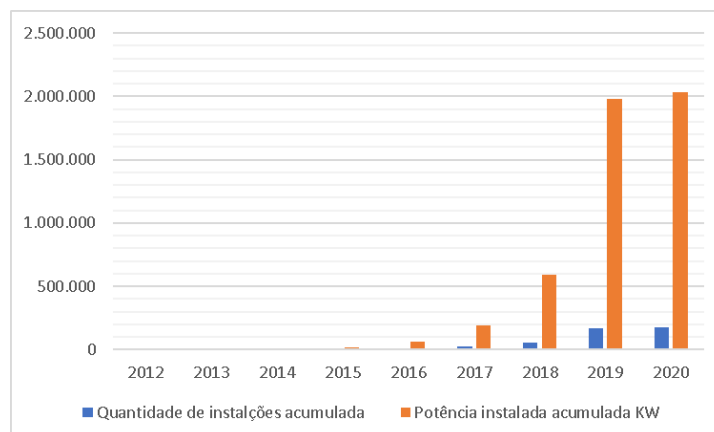
Relativamente à geração elétrica FV em grade escala, o país é um retardatário, tendo sua primeira UFV comercial, um empreendimento privado situado no estado do Ceará, inaugurada em 2011 com 1 MWp. O maior desenvolvimento dessa tecnologia no país ocorreu somente na última década com a realização de leilões, especialmente aqueles específicos à fonte FV (Dias et al., 2017). No Brasil, os leilões são o principal meio de promoção da geração FV centralizada de larga escala (EPE 2018). Em 2013, foi promovido o 1º leilão destinado à compra de energia de novos empreendimentos, que contemplava a geração FV. Entretanto, nessa ocasião nenhuma energia FV foi contratada, uma vez que os projetos candidatos não apresentaram o custo marginal de referência exigido (Pinho & Galdino, 2014). Nos dois anos seguintes, foram realizados leilões exclusivos para a energia FV, quando foi contratado um total de 1.724 MW (EPE, 2018a). Em 2015, entraram em operação as primeiras usinas solares do SIN, com potência instalada de 10 MW. Desde então, leilões para a contratação de energia FV vêm acontecendo com certa regularidade, e consequentemente a capacidade instalada em UFVs tem aumentado (ONS, 2020a) (Fig.7, p.27). Nos leilões de contratação de energia nova dos últimos três anos, a maioria dos projetos vencedores foram de geração FV. Em janeiro de 2020, eram 3.870 UFV em operação no país, com potência fiscalizada de 2.473.532 kW; de 2020 a 2022 serão adicionados mais 1.400 MW (ANEEL, 2020; EPE, 2018a, 2019b; MME & EPE, 2020). Ainda assim, a geração por UFVs corresponde a apenas 1,4% da potência instalada nacional (MME, 2019).



**FIGURA 7: EVOLUÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA E GERAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS EM OPERAÇÃO.**

Fonte: ONS (2020a, p.6).

No Brasil, a micro e minigeração distribuída tornou-se possível em 2012, quando a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482 (2012). Essa regulação permitiu aos consumidores de baixa tensão gerarem sua eletricidade, estabeleceu as condições para o acesso dos sistemas de geração distribuída à rede de distribuição, e adotou a medição líquida como mecanismo de compensação de energia. O consumidor que se torna também produtor é então denominado de prosumidor. Após algumas atualizações, a versão vigente caracterizava microgeração distribuída sistemas com potência instalada máxima de 75 kW, e minigeração aqueles acima de 75 kW até 5 MW. A GDFV é permitida exclusivamente para o autoconsumo, portanto, não é permitida a venda da produção excedente. De acordo com as normativas, a distribuidora local é obrigada a conectar os sistemas de GDFV à sua rede, receber o excesso gerado por eles, e fornecer eletricidade aos prosumidores quando esses necessitarem. A eletricidade injetada na rede será compensada com créditos para utilização em até 60 meses. Os créditos podem ser compensados: 1) pela própria unidade geradora, 2) por outra unidade consumidora (UC), em outro local, desde que de propriedade do mesmo titular da unidade geradora (autoconsumo remoto), 3) por múltiplas UCs, no caso da geração em condomínios, e 4) por UCs de diferentes titularidades, desde que os consumidores se unam em um consórcio ou cooperativa (geração compartilhada). Os créditos poderão ser utilizados somente dentro da área atendida por uma mesma concessionária de distribuição. Nos últimos anos, a geração distribuída vem apresentando um desenvolvimento expressivo no país, como demonstrado na Figura 8 (p.28). A tecnologia FV domina esse segmento (Tab.1, p.29), e a vasta maioria dos projetos, 72,59%, são de consumidores residenciais, seguido pelos consumidores comerciais com 18% (ANEEL, 2020a)



**FIGURA 8: EVOLUÇÃO DA GDFV NO BRASIL ATÉ JANEIRO DE 2020.**

Fonte: elaboração própria baseada nos dados da ANEEL (2020a).

Além da RN° 482 (2012), outros incentivos contribuíram para a crescente adesão da GDFV nos últimos anos. Sobre a conta de luz do brasileiro, incidem diversas taxas e impostos, dentre os quais o ICMS é um dos mais onerosos. Sua alíquota pode variar de 15,9% a 27,8% dependendo do estado e da faixa de consumo (ANEEL, n.d.-a). Desta forma, outra medida determinante para a evolução exponencial do GDFV no país, foi a ratificação do Convênio 16 do Conselho Nacional de Política Fazendária (2015), que autoriza todos os estados brasileiros e o Distrito Federal, a isentarem o excedente de energia elétrica injetada na rede por micro e minigeração, do pagamento do ICMS. A adesão era voluntária, mas atualmente todas as unidades federativas participam do convênio. O maior desenvolvimento do setor após a adesão dos estados, confirma a eficiência dessa legislação na promoção da geração distribuída no país (Gomes et al, 2018). Outros incentivos à energia solar são compreendidos em diversas leis de desoneração de contribuições obrigatórias ou isenção de impostos, que incidem sobre a venda, importação, e aquisição de produtos da cadeia solar; como a desoneração da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS), e as isenções do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e do ICMS, para produtos da cadeia FV (Lei nº 11.484, 2007; Convênio ICMS 101/97, 1997).

Tabela 1:

Geração distribuída por fonte em janeiro de 2020.

| Tipo         | Quantidade     | Quantidade de Ucs<br>que recebem créditos | Potencia Instalada<br>(KW) | %              |
|--------------|----------------|-------------------------------------------|----------------------------|----------------|
| CGH          | 100            | 8.472                                     | 96.681,80                  | 4,38%          |
| EOL          | 61             | 105                                       | 10.401,86                  | 0,47%          |
| <b>UFV</b>   | <b>175.149</b> | <b>220.341</b>                            | <b>2.035.346,21</b>        | <b>92,28%</b>  |
| UTE          | 213            | 4.527                                     | 63.158,04                  | 2,86%          |
| <b>Total</b> | <b>175.523</b> | <b>233.445</b>                            | <b>2.205.587,91</b>        | <b>100,00%</b> |

Fonte: adaptado da ANEEL (2020a).

Existem também no país, linhas de financiamento públicas e privadas para sistemas FVs. De acordo com levantamento da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) e Clean Energy Latin America (2019), em março de 2019 havia mais de 70 linhas de financiamento relacionados a geração FV no Brasil, a maioria oferecidos por bancos ou agentes públicos. Sete linhas eram exclusivas para pessoas físicas, 29 para empresas, e 29 contemplavam ambos. As condições de financiamento para aquisição de sistemas FV por pessoas físicas, contam em geral com altas taxas de juros, que variavam entre 1,4% e 12,68% ao ano, podendo ser ainda mais elevadas, e prazos de amortização de 4 a 20 anos. Porém, essas condições não são suficientemente atrativas, o que faz com que esses sistemas sejam acessíveis a apenas uma pequena parcela dos brasileiros. Para a geração centralizada FV são concedidos financiamentos que podem contemplar centenas de milhões, a taxas de juros anuais de 1,33% a 2,9%, e prazos de amortização entre 5 e 20 anos. Entretanto, cláusulas que condicionam a utilização de conteúdo nacional (equipamentos, matéria-prima etc.) para a concessão de empréstimos, como é o caso de alguns contratos do BNDES, maior financiador dos projetos FV, e a cobrança de IPI sobre os insumos para a fabricação de painéis solares, são importantes entraves (Suaia & Koloszuk, 2019); assim como os custos ainda altos de sistemas de GDFV.

## **5 ENERGIA FOTOVOLTAICA: GERAÇÃO CENTRALIZADA E DISTRIBUÍDA.**

A geração de energia FV pode ser configurada de forma centralizada ou distribuída, esta em micro e mini escala. A geração FV centralizada se caracteriza pela implantação de projetos de grande porte e alta capacidade operacional, instalados preferencialmente em locais com atributos técnicos que otimizem a produção, geralmente distantes dos centros consumidores. Esse modelo necessita da conexão com uma rede de transmissão de alta tensão, para transportar a eletricidade gerada até os centros de distribuições, e então aos consumidores finais. A GDFV é constituída por sistemas de pequeno porte com potência limitada, que permitem gerar a energia elétrica no próprio local de consumo ou em sua proximidade, desde que dentro dos limites da área de concessão de uma única empresa distribuidora (Brasil); por isso, sua eletricidade não transita pela rede básica (Villalva & Gazoli, 2015, ANEEL, 2016). Ambas modalidades de geração necessitam da rede de distribuição, mas cada qual apresenta características próprias quanto à sua utilização. Na geração centralizada, a energia percorre um fluxo unidirecional, das subestações de distribuição ao consumidor, enquanto na geração distribuída para autoconsumo, a eletricidade não consumida no próprio local, é injetada pelas diversas unidades geradoras diretamente na rede de distribuição, e flui em sentido inverso à energia consumida da rede (Faria et al., 2017).

Na maior parte das vezes, as UFVs são instaladas em solo, mas tem crescido sua implantação sobre a água: no mar, em rios ou em grades reservatórios hídricos. As instalações centralizadas podem utilizar sistemas FV com eixos fixos, onde os arranjos de módulos FVs são inclinados e orientados ao norte, ou sistemas de rastreamento que acompanham a trajetória aparente do sol; os quais podem possuir um ou dois eixos. Atualmente no Brasil, as UFVs são majoritariamente instaladas em solo, e utilizam sistemas fixos ou com seguimento da trajetória aparente do sol em um eixo Leste-Oeste, este o mais utilizado. A maior complexidade e o alto custo dos sistemas de dois eixos, fazem com que esses sejam pouco adotados no país. As UFVs são preferencialmente instaladas em áreas do país com grande disponibilidade solar, mas o custo da terra também é considerado (EPE, 2018a; Pereira et al., 2017). A micro e minigeração distribuída, que no Brasil é dominada pela tecnologia FV, está pulverizada por todo o país, entretanto, os três estados

com o maior número de conexões são Minas Gerais e São Paulo ambos na região Sudeste, e Rio Grande do Sul na região Sul (ABSOLAR, 2019a).

## **5.1 Benefícios da Geração Fotovoltaica para o Brasil**

### **5.1.1 Ambientais**

Sob a perspectiva ambiental, a geração de energia FV oferece inúmeros benefícios. Acima de tudo, seu “combustível” é abundante, gratuito, e disponível para a grande maioria dos locais habitáveis do planeta. Sua exploração não implica escassez de recursos, não produz resíduos líquidos ou sólidos nem danos ambientais significativos. Durante a operação dos sistemas FVs, não há emissões de GEE, nem de outras substâncias poluentes. Essas características, fazem com que a geração FV possa acontecer bem próximo do consumidor, sem oferecer malefícios à sua saúde ou bem-estar; ao contrário, pode beneficiá-lo, principalmente o residente urbano. A diminuição da poluição pode diminuir a incidência ou agravamento de diversas doenças crônicas, como as do sistema respiratório e do coração etc. (Hosenuzzaman et al., 2015; IEA, 2018a).

Devido à escassez hídrica, e a ainda pequena participação das “novas fontes” renováveis, tem se verificado um crescimento da geração termoeletrica, para atender a demanda elétrica total no Brasil (ANA, 2017). As termoeletricas nacionais são, em sua maioria, movidas a combustíveis fósseis, com predominância do GN, e apesar de esse combustível ser menos emissor relativamente a outros fósseis, o aumento de participação das térmicas caracteriza a carbonização da matriz elétrica brasileira (Souza & Cavalcante, 2017). Se em 2001 as centrais térmicas a GN geraram 2.329 ktep, em 2018 atingiram 12.176 ktep, mas já alcançaram o pico de 18.857 Ktep (EPE, 2019a). Também nesse aspecto a tecnologia FV pode afetar positivamente, na medida que tem grande impacto na aceleração e ciclagem do GN. Pela manhã, por exemplo, quando a geração FV aumenta rapidamente, a geração a GN diminui, e pode até ser suspensa. A energia FV sozinha, pode não ser suficiente para zerar a necessidade das termoeletricas, mas ao menos em parte, substituiria a geração a gás (MacDonald et al., 2016). Em suma, além de não emitir CO<sub>2</sub> no processo de geração, a inserção de energia FV na matriz elétrica pode diminuir as emissões do setor devido à substituição ou diminuição na utilização de fontes fósseis.

Outra vantagem ambiental da geração FV é relativa ao consumo de água. Sistemas FVs consomem muito menos água do que outras tecnologias de geração (Fig.9), tais como as movidas a combustíveis fósseis, e centrais heliotérmicas. Esse é um aspecto bastante relevante em regiões com pouca disponibilidade de água, e naquelas que vem sofrendo com severos e frequentes períodos de estiagens, como é o caso de muitas regiões brasileiras (MacDonald et al., 2016). Para comparação, o consumo de água para arrefecimento das plantas termoelétricas nacionais pode variar entre 40 m<sup>3</sup>/MWh e 250 m<sup>3</sup>/MWh em sistemas de resfriamento aberto, e entre 2 m<sup>3</sup>/MWh e 5 m<sup>3</sup>/MWh em sistemas semifechados, nestes, o desperdício por evaporação pode chegar a 80%. Em ambos os casos, os volumes destinados ao esfriamento podem ser suficientes, ou superiores, ao necessário para o abastecimento público de pequenas e médias cidades brasileiras, e ainda podem afetar negativamente as bacias hidrográficas nas quais se localizam as plantas térmicas (Viscondi et al., 2016). Já uma UFV requer apenas 0,02 m<sup>3</sup>/MWh de água, para a limpeza dos painéis (Fthenakis & Zweibel, 2003, *in* Frate & Brannstrom 2017, p.347).

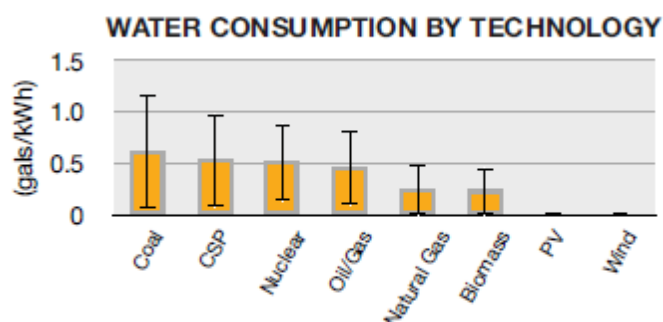


FIGURA 9 : USO DE ÁGUA POR TECNOLOGIA DE GERAÇÃO

Fonte : Fthenakis & Hyung (2010) ( *in* Rock Mountain Institute, 2013, p.40)

Além disso, o caráter modular de um sistema FV permite sua implantação em diferentes escalas, de quilowatts até centenas de megawatts, e em uma variedade de locais, como em grandes áreas no solo, na água, em terrenos urbanos, nos telhados e em fachadas prediais. Essa versatilidade, além de ser uma vantagem técnico-operacional, possibilita a escolha por opções de menor impacto ambiental, e que não imponham concorrência ao uso do solo (Pereira et al., 2017). Contudo, se considerarmos todo o ciclo de vida da tecnologia FV, essa também apresenta danos ao ambiente tanto na fabricação como no descarte dos módulos (Yang et al., 2014). Impactos no solo e na vegetação coberta por

painéis FV, referente à absorção do CO<sub>2</sub> etc. ainda são pouco conhecidos. Por isso esses fatores precisam ser encarados com seriedade, para que sejam mitigados a fim de garantir que os benefícios da energia FV sejam sempre superiores aos possíveis prejuízos. Por fim, é importante frisar que danos ambientais existem em todos os tipos de gerações de energia disponíveis hoje (Tsoutsos et al., 2005).

### **5.1.2 Diversificação da matriz elétrica e complemento à hidroeletricidade**

A hidroeletricidade é a fonte elétrica mais importante do Brasil; domina a matriz com mais de 60% da oferta interna (EPE, 2019). Entretanto, se por um lado, a hidroeletricidade é essencial para garantir o atendimento da demanda nacional, por outro, essa predominância caracteriza uma alta dependência, e adiciona vulnerabilidade ao sistema elétrico. Neste contexto, a energia FV contribuiria para diversificar a matriz elétrica, e diminuir essa fragilidade (Gomes et al., 2018; Pereira et al., 2017).

Grande parte do território brasileiro é marcado por duas estações bem definidas: chuvosa e seca, que determinam uma maior ou menor disponibilidade de água. Essa sazonalidade peculiar do país, impacta os níveis dos reservatórios das hidroelétricas e diminui drasticamente sua capacidade de geração nos períodos de estiagem. Entre janeiro e julho, período das águas, a hidroeletricidade supre em média 52% da demanda elétrica, mas pode alcançar 80% da oferta total. Já entre junho e outubro, período seco, abastece em média 19% (MME, 2019a; Tomaschek et al., 2016). Além dessa sazonalidade característica, o país tem vivenciado a ocorrência mais frequente e rigorosa de eventos climáticos, como secas severas, o que intensifica os impactos da carência hídrica. A alta dependência hídrica em um cenário de menor disponibilidade de água pressiona o sistema elétrico, compromete o suprimento, e favorece a ocorrência de racionamentos e “apagões”. Todavia, períodos secos e reservatórios das UHEs vazios são, quase sempre, sinônimo de altos índices de radiação solar. Grande parte do Norte, Nordeste e Centro-Oeste garantem condições propícias para geração FV durante praticamente todo o ano. No verão do Sul e Sudeste, o período de maior geração solar coincide com os máximos da demanda elétrica registrados pelo ONS (Pereira et al., 2017). Por isso, parte do débito da hidroeletricidade poderá ser compensado pelo aumento da geração FV, que ainda contribuiria para um maior controle hídrico dos reservatórios. A situação se inverte no período das chuvas, quando a maior

disponibilidade de água aumenta a produção nas UHEs, e a radiação solar diminui. Nessa ocasião, caberá às UHEs desempenharem a função complementar (Jong et al., 2013).

Outro aspecto suplementar relevante, é a capacidade das UHEs funcionarem como sistemas de *backup* para a fonte solar. A característica variável do recurso solar, implica oscilações na geração, e por esse motivo, exige meios que assegurem o fornecimento frente a essas variações. Pelas suas características operativas e seus reservatórios, as centrais hídricas possuem flexibilidade e poder de rampa, que lhes permitem o despacho de carga em períodos de insuficiência ou indisponibilidade de eletricidade solar (Pereira et al., 2017); esses atributos, diminuem a necessidade de acionamento térmico fóssil para esta função. Sendo assim, a diversificação da matriz elétrica através de geração FV poderá minimizar os prejuízos decorrentes da falta de água, adicionar flexibilidade ao sistema elétrico, e contribuir para diminuir as emissões resultantes da geração termoeletrica. Por todo o exposto, a geração FV é entendida como um perfeito complemento à hidroeletricidade (Mitscher & Rüther, 2012, Tolmasquim, 2016).

### 5.1.3 Desenvolvimento Socioeconômico

Se analisarmos os índices socioeconômicos do Brasil, constataremos que suas regiões são bastante díspares quanto ao nível de desenvolvimento. As regiões mais ao sul do país, especialmente Sudeste e Sul, são as de melhor desempenho econômico, e contribuíram respectivamente com 53,2% e 17% para o PIB brasileiro de 2016; o estado de São Paulo sozinho respondeu por 32,5 % de toda produção do país (IBGE, 2018). São essas mesmas regiões que apresentam os mais altos IDHs. Na outra ponta, estão os estados nordestinos, que juntos contribuíram com 14,3% do PIB nacional, e onde historicamente são registrados os menores IDHs (IPEA, PNUD & FJP, 2019a). O contrário acontece quando se analisa o potencial solar brasileiro. Os maiores níveis de irradiação solar, menor nebulosidade, e menor variação são registrados no Nordeste, especialmente na região do semiárido, justamente a região mais atrasada em termos de desenvolvimento socioeconômico (Pereira et al., 2017). Essa afinidade faz com que a promoção da geração FV, além de seus benefícios ao ambiente e ao setor elétrico, seja vista também como importante ferramenta de desenvolvimento regional, capaz de oferecer às populações tradicionalmente desfavorecidas, oportunidades de aumentar sua renda, e melhorar sua qualidade de vida (Souza & Cavalcante, 2017).

Entretanto, os potenciais benefícios socioeconômicos não são exclusivos às áreas desprivilegiadas, mas podem abranger todo o país. O desenvolvimento da tecnologia FV repercute diretamente na geração de empregos, e no surgimento de novos modelos de negócios, onde quer que ela seja empregada. De acordo com a International Renewable Energy Agency (IRENA, 2019), a energia solar FV é a maior geradora de postos de trabalho renováveis no mundo, empregando mais de 3,6 milhões de trabalhadores (Fig.10). Neste quesito, dois aspectos são muito importantes para que o setor FV resulte em um maior número de vagas de trabalho: possuir indústria e mercado domésticos. Países que dispõem de uma indústria solar própria, e um mercado interno com crescimento de capacidade instalada, são os que concentram a maior parte dos empregos FVs, como é o caso da China, Índia e outros países asiáticos. Já em países com mercados FV maduros, a empregabilidade no setor solar é menor, e se aglutina (1/3) nas atividades de operação e manutenção (IRENA, 2019; Solar Power Europe, 2018).

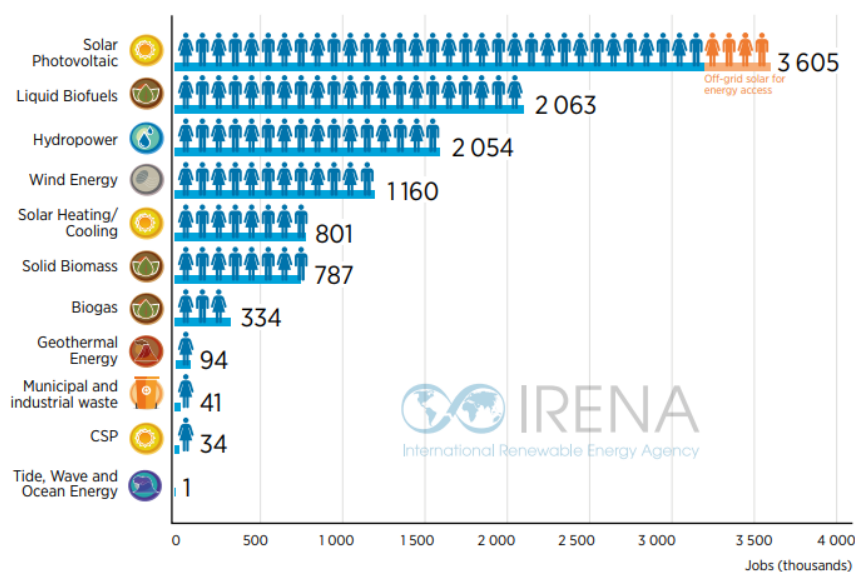


FIGURA 10: NÚMERO DE EMPREGOS POR TECNOLOGIA RENOVÁVEL

Fonte: IRENA (2019, p 14).

No Brasil, a promoção da tecnologia FV pode resultar tanto em avanços sociais como impulsionar a economia estagnante. Acredita-se que a produção doméstica de painéis solares e outros equipamentos FVs, alargaria os benefícios socioeconômico, e ainda poderia impactar fortemente o custo e o preço da energia solar (Souza & Cavalcante, 2017). Sistemas FVs não são constituídos apenas por células e módulos, mas também por diversos outros componentes tais como: inversores, estruturas de suporte, rastreadores,

controladores de carga etc., cujas fabricações demandam inúmeros outros itens. Muitos desses artigos podem ser produzidos sem grande *know-how*, e com pequenas adaptações nas linhas de produção de indústrias já existentes no Brasil, como as dos setores metalúrgico, químico, eletrônico e petroquímico. A cadeia solar FV é bastante ramificada, e seu desenvolvimento além de impactar a geração de empregos, acabaria alavancando outros setores da indústria nacional. O país dispõe de boa parte das matérias-primas requisitadas para a manufatura de produtos FV, e possui alguns elos da cadeia produtiva solar. O silício, usado na produção de células FVs, por exemplo, já é beneficiado em grau metalúrgico. Indústrias nacionais produzem alumínio, vidro, componentes elétricos etc. Um setor produtivo nacional, contribuiria para reduzir os preços dos equipamentos, devido ao aumento de escala, e geraria mais clareza dos custos dos projetos, o que poderia atrair investimentos. Com legislação, incentivos efetivos, e acordos de cooperação para transferência de tecnologia, seria possível fomentar a indústria solar nacional, e fazê-la competitiva, de forma que essa pudesse abastecer o mercado interno, e inclusive conquistar parte do mercado mundial. Por fim, uma indústria e um mercado FV pungente poderia impulsionar o desenvolvimento de tecnologia nacional, em um setor no qual o Brasil já foi relevante (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica [ABINEE], 2012; IRENA, 2019; Ramos et al., 2018).

#### **5.1.4 Contribuir para atender a demanda**

Para o Brasil, é esperada uma constância no crescimento da população, mesmo que a menores taxas, melhoria da renda *per capita*, e aumento do número de domicílios. Como resultado estima-se que o consumo de energia continue expandindo nas próximas décadas, assim como a participação da eletricidade na economia. Considerando o crescimento do PIB de 1,6% ou de 3% ao ano, é previsto um incremento na demanda de energia de 1,4% e 2,2% ao ano, respectivamente. No cenário de melhor desempenho econômico, o consumo final de energia dobraria até 2050, com base no ano de 2015 (EPE, 2018b). A British Petroleum (2018) antevê um crescimento de 60% da demanda brasileira de energia até 2040. Para suprir essa necessidade, o Brasil terá que ampliar sua capacidade de geração, e para isso conjectura-se o crescimento das fontes renováveis em detrimento do carvão e do petróleo, mas também um aumento importante no uso de gás e da energia nuclear.

A eletricidade é a segunda fonte com maior participação na matriz energética do país, e está disponível para 95% dos brasileiros. Em 2017, seu consumo no Brasil cresceu 1,2% em relação a 2016, após 2 anos de queda, e em 2018 aumentou 1,4%. A maior acessibilidade à eletricidade, e a melhoria na renda de parcela considerável da população, foram alguns dos fatores que resultaram no crescimento do consumo elétrico. O maior poder de compra do cidadão brasileiro, possibilitou a aquisição de eletrodomésticos antes economicamente inacessíveis, com implicações nos hábitos cotidianos e no perfil de demanda de eletricidade no Brasil. Um bom exemplo é a crescente utilização de ar-condicionados, motivada pelas altas temperaturas do território nacional, pela maior parte do ano. O consumo de eletricidade pelo uso desses equipamentos nas residências, mais que triplicou nos últimos 12 anos, e foi capaz de deslocar o pico de consumo para o meio da tarde; das 12h às 16h (EPE, 2018c). O setor comercial da maioria das capitais do país, também registra máximo de demanda elétrica durante o dia devido à utilização de ar-condicionados (Rüther et al., 2008). Nos meses de dezembro a março, os períodos de maior demanda de eletricidade nos estados do Sul e Sudeste, coincidem com o período de altos níveis de irradiação; quando ocorre a maior geração e injeção de energia solar na rede (Pereira et al., 2017). Assim sendo, a energia FV aumenta a carga do sistema, e com isso contribui para atender a demanda e suavizar os picos diurnos, promovendo uma melhor estabilidade no sistema (Martins et al., 2008a).

### **5.1.5 Impactar o preço da eletricidade**

Outro possível benefício da inserção da eletricidade FV no sistema elétrico brasileiro, seria seu impacto no preço da eletricidade. As inovações tecnológicas, e a economia de escala permitiram que os preços globais dos painéis FV, e de outros componentes, caíssem substancialmente, cerca de 80% desde 2010 (BNEF, 2018); no Brasil, o custo dos módulos solares reduziram em média 47%, entre 2013 e 2017 (IRENA, 2019a). Esse desempenho, favoreceu significativamente os custos dos sistemas, e da geração de eletricidade FV (The Solar Foundation, 2019). De outro modo, uma grande participação da energia FV, também beneficiaria o custo do suprimento elétrico. Por apresentar custo marginal de geração zero, a energia FV propiciaria uma maior competitividade, e diminuiria o preço da energia elétrica comercializada no mercado atacadista. Além disso, a redução da demanda da rede, e o fornecimento de carga,

resultantes da integração da GDFV ao sistema elétrico, promoveria economia e, consequentemente, menor custo à distribuidora; o que poderia significar decréscimo no preço da eletricidade pago pelo consumidor. Em alguns países, a eletricidade FV centralizada já é competitiva com outras fontes, e a GDFV se torna a cada ano mais viável, e em alguns casos, já apresenta paridade de rede. Entretanto, no longo prazo, se o aumento da geração FV, ocasionar redução da oferta por outras fontes, como no caso de centrais despachadas com frequência se aposentarem etc., o efeito poderá ser inverso, com elevação do preço da energia elétrica (Dantas & Pompermayer, 2018; Daymark Energy Advisors et al., 2018).

## **6 BENEFÍCIOS DA GERAÇÃO CENTRALIZADA FOTOVOLTAICA PARA O BRASIL.**

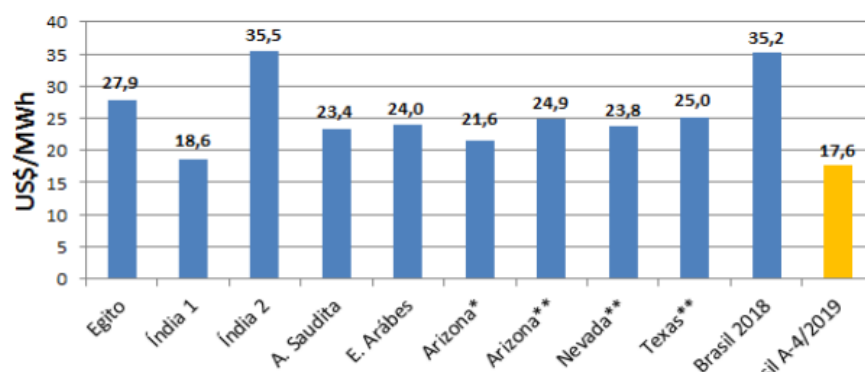
### **6.1 Técnico-operacionais**

Historicamente, a geração elétrica foi dominada pela geração centralizada, e essa continua prevalecendo na atualidade. Esse paradigma tem sua razão de ser, uma vez que apresenta diversos benefícios (Martín-Martínez et al., 2017). No Brasil, país de grande extensão territorial, muitos de seus recursos energéticos, como os hídricos, encontram-se longe dos principais centros de consumo, e só foram passíveis de exploração devido à configuração centralizada. Esse modelo foi essencial para o desenvolvimento elétrico do país (ANEEL, 2008).

Em um sistema elétrico centralizado, centrais de geração coexistem com vastos sistemas de transmissão. O Brasil possui quatro subsistemas interconectados, que formam um amplo sistema interligado, que abrange quase todo seu território. Essa rede, composta por extensas linhas de alta tensão, permite o transporte de grandes quantidades de energia por longas distâncias (Martín-Martínez et al., 2017), o que possibilita a geração em locais muito distantes dos centros de consumo. Viabiliza, por exemplo, que a eletricidade FV seja gerada no semiárido nordestino, local com melhores características de irradiância, variabilidade etc., e consumida no Sudeste, ou em qualquer outro ponto do SIN. Essas características proporcionam maior disponibilidade de energia, adicionam confiabilidade ao sistema elétrico nacional, e propiciam que mesmo locais sem condições climáticas e meteorológicas para a geração FV, possam se beneficiar da energia solar (MacDonald et al., 2016). Ademais, se as UFVs forem bem posicionadas poderão usufruir da infraestrutura de transmissão já existente, diminuindo a necessidade de investimento em novas instalações. Outra qualidade intrínseca a um sistema elétrico centralizado, portanto, estendida à geração em FV em larga escala, é o fluxo unidirecional de energia; que lhe confere menor complexidade operacional, técnica e gerencial, e no qual o país tem vasta experiência. Por fim, as UFVs oferecem vantagens técnicas decorrentes de sua localização privilegiada e dos equipamentos que utiliza, tais como eixos de painéis solares com rastreamento da irradiação, que lhes garante maior eficiência na geração FV (ANEEL, 2008).

## 6.2 Socioeconômicos

Uma das principais vantagens econômicas imputada à geração FV centralizada é a economia de escala; capaz de garantir um menor custo unitário de geração e armazenagem (Burger et al., 2019). O aumento da eficiência energética, e a diminuição dos custos da tecnologia FV, impactaram a economia de escala tornando as UFVs ainda mais competitivas. A média ponderada global dos custos nivelados da geração de eletricidade FV, caiu em apenas um ano 13% (2017/2018), e 77% de 2010 a 2018 (IRENA, 2019a). Em alguns países, as UFVs sem subsídios já são mais competitivas do que algumas centrais a combustíveis fósseis. Nos EUA, por exemplo, elas geram eletricidade a um custo menor do que as centrais termoeleétrica a GN de ciclo combinado, a tecnologia de geração fóssil mais barata naquele país (Lazard, 2019). Além disso, sem o custo de aquisição de combustível, os custos da geração FV são mais previsíveis a longo prazo que os de combustíveis fósseis, e pode completar o portfólio de energia das concessionárias com preços voláteis (The Solar Foundation, 2019). No Brasil, o custo total do kW instalado de energia solar FV em escala utilitária foi de USD 1.519,00 em 2018, abaixo dos registrados no Japão, Austrália e EUA, mas ainda assim o sétimo maior entre os países do G20, e quase o dobro da Índia, país com menor custo (IRENA, 2019a). Não obstante, a média dos custos dos projetos das UFVs declarados no leilão A-4/2018, demonstraram uma redução da ordem de 14% frente aos do leilão A-4/2017 (EPE, 2018a). Os preços da energia FV comercializada no ACR vem apresentando uma trajetória descendente desde 2015; e a cada novo leilão um novo recorde de preço baixo é alcançado. No leilão realizado em junho de 2019 foram contratados 203,70 MW de novos projetos FV, 50,7% do total de potência ofertada, ao preço médio de R\$ 67,48/MWh (USD 17,6), mínima histórica mundial (Fig.11, p.41), resultado que colocou o país entre os mais competitivos nesta tecnologia (EPE, 2019b). Esses preços baixos poderiam implicar benefício ao consumidor final, caso fossem refletidos na tarifas elétricas.



**FIGURA 11: MENORES PREÇOS DA ENERGIA DE PROJETOS FV NO MUNDO EM 2018**

Fonte: Solar Power Europe, 2019, adaptado pela EPE (2019b, p 4).

A geração FV centralizada também contribuiria para o desenvolvimento socioeconômico das regiões onde são instaladas. Empregos são gerados principalmente nas etapas de construção das centrais e dos sistemas de transmissão. No ápice das obras da primeira fase do parque solar construído em Pirapora, Minas Gerais, foram contratados 1.000 trabalhadores; e a implantação de uma extensa linha de transmissão pode gerar milhares de empregos (BNDES 2017, 2018a). Isso acaba sendo ainda mais relevante quando se constata que, as regiões do território nacional com características técnicas mais propícias para a instalação de UFVs, são aquelas que apresentam limitado desenvolvimento econômico, e os menores IDHs do país (Souza & Cavalcante, 2017).

## **7 BENEFÍCIOS DA MINI E MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA (GDFV) PARA O BRASIL.**

### **7.1 Técnico-operacionais**

As características solares do Brasil, fazem com que a GDFV seja tecnicamente viável na maior parte do seu território, com potencial para suprir todo o consumo elétrico residencial do país (EPE, 2018). A inserção da GDFV no sistema elétrico colabora para a diversificação da modalidade de geração, e não só do portfólio das fontes energéticas, atributo que agrega confiabilidade e resiliência ao suprimento elétrico. Sua participação reduziria os níveis de demanda de eletricidade, diminuindo o consumo da carga líquida da rede, já que parte da demanda é atendida pela autogeração. Ao mesmo tempo, contribuiria para atender a demanda de pico diurno, visto que a injeção na rede do excedente gerado pelo prosumidor, aumentaria a potência energética disponível nesse período (MIT, 2016). O fornecimento parcial de cargas pelos sistemas de GDFV, associado à redução de perdas de energia, devido à menor carga em linhas e transformadores, possibilitaria a redução de 3% a 9,3% do consumo diário de rede, e poderia fornecer entre 2,7% e 8,4%% da demanda diária, de acordo com a menor ou maior irradiação de determinado período do ano (Viana et al., 2018).

A complexidade dos processos inerentes aos sistemas elétricos, dependem de vários serviços ancilares para garantir a confiabilidade do suprimento de energia de qualidade; muitos desses auxílios podem ser oferecidos pela GDFV. A energia de reserva, necessária em casos de interrupções de geração e transmissão para manutenção, ou para quando ocorre uma maior demanda elétrica, em razão de pequenas flutuações da carga normal, ou a erros de previsão da carga líquida, poderá ser fornecida por sistemas de GDFV. Esses geradores conseguiriam suprir parte ou, em alguns casos, toda reserva essencial, e com isso reduzir a necessidade por reservas tradicionais e mais custosas. Quando associada a inversores inteligentes, a GDFV contribuiria para o controle da voltagem do sistema de transmissão; e ajudaria no suporte de tensão no nível de distribuição etc., mitigando problemas derivados das grandes flutuações, como os danos aos equipamentos, e consequentemente diminuindo a necessidade por controladores de corrente (Castro et al., 2018). Além disso, sistemas de distribuição alimentados por diversas unidades de geração, são menos suscetíveis a interrupções e falhas totais (MIT, 2016).

Outra faculdade altamente valorizada proveniente da participação da GDFV em sistemas elétricos, seria sua contribuição para a evitar e reduzir as perdas na transmissão e distribuição (Martín-Martínez et al., 2017; Viana et al., 2018). O Brasil já registrou perdas de 19% de sua carga total (EPE, 2014, 2019c); das quais, parte significativa são de natureza técnica, associadas ao carregamento e as configurações das redes. Grandes perdas significam energia desperdiçada, que implicam aumento de custo e preços mais altos aos consumidores finais. A título de exemplo, a GDFV seria capaz de reduzir de 10% a 12% das perdas marginais de sistemas de distribuição de quatro empresas de eletricidade de Maryland, EUA, de acordo com o grau de penetração dessa tecnologia, ou se são conjugados com a existência de mecanismos de gestão do consumo (Daymark Energy Advisors et al., 2018).

## 7.2 Ambientais e Socioeconômicos

### → Ambientais

No que se refere à questão ambiental, a integração da GDFV em sistemas elétricos pode oferecer benefícios específicos. Sistemas de GDFV são preferencialmente instalados em edificações ou em outros espaços urbanos, e por isso não oferecem nenhum prejuízo adicional ao ambiente, uma vez que os danos mais importantes já ocorreram no período da urbanização. A oferta de energia pela geração distribuída diminui a necessidade de novas centrais de geração, e de sistemas de transmissão, e como consequência, evita os impactos ambientais decorrentes da ampliação ou construção dessas infraestruturas. Além disso, a GDFV contribui para a redução das emissões de GEE que seriam provenientes das centrais a combustíveis fósseis, como das usinas térmicas. As emissões também seriam minimizadas em decorrência da diminuição das perdas no transporte de eletricidade (Castro et al., 2018).

### → Mercado abrangente

No âmbito socioeconômico, a GDFV teria condições de causar importantes impactos. A possibilidade de ser adotada na maior parte do território nacional, faz com que seus benefícios sejam abrangentes e distribuídos. O desenvolvimento da GDFV não depende exclusivamente do potencial solar, mas de aspectos da demanda como altas tarifas de energia, PIB por densidade demográfica etc. No Brasil, a grande maioria dos sistemas de

GDFV se concentram no Sudeste e Sul, regiões com características solares inferiores a outras localidades do país. Isso significa que a GDFV possui um mercado potencial abrangente, mesmo onde a irradiação solar é mais baixa, o que caracteriza uma vantagem econômica (Assunção & Schutze, 2017; Garcez et al, 2017). Os ganhos para a sociedade também são amplos e inclusivos. A cadeia de suprimento da GDFV possibilita a participação de pequenas empresas, propicia a abertura de comércios de equipamentos FV, prestadoras de serviço e novos modelos de negócios, e ainda promove a geração de empregos locais e renda permanente. Essas qualidades favorecem o desenvolvimento das economias locais, e faz com que grande parte dos proveitos socioeconômicos permaneçam nas comunidades (Basav, 2017; Ramos et al., 2018).

#### → Impacta investimentos e custos

A GDFV permite que o consumidor gerador supra, ele próprio, parte de suas necessidades energéticas, e injete na rede sua geração excedente; assim sendo, ocorreria redução da demanda elétrica da rede e, ao mesmo tempo, aumento da disponibilidade de energia para o sistema de distribuição. Dessa forma, haveria uma menor necessidade de adicionar nova capacidade de geração por centrais, e de ampliação ou construção de sistemas de transmissão, consequentemente, investimentos nesses projetos seriam evitados, diminuídos ou postergados. Essas infraestruturas demandam altas aplicações de capital, que em grande maioria são oriundos de financiamentos públicos a longo prazo; minimizar os investimentos significaria reduzir despesas financeiras (Siffert et al., 2019 ). Os significativos aprimoramentos nos sistemas de distribuição, indispensáveis quando ocorre aumento de carga, também seriam deslocados (Daymark Energy Advisors et al., 2018). Além disso, menor carga na rede, menores perdas elétricas, maior controle de frequência, e outras melhorias derivadas da participação da GDFV, aliviariam o estresse do sistema de distribuição e aumentaria a vida útil dos equipamentos; o que implicaria diminuição, ou adiamento de *upgrades*, de custos de operação, e manutenção (Burger et al., 2019; ONS, 2019a). Essas economias, podem afetar positivamente os custos das distribuidoras, o custo do suprimento elétrico, e beneficiar todos os consumidores.

#### → Empoderamento do Consumidor

No Brasil, os serviços públicos de distribuição de energia elétrica são prestados por empresas que, através de contratos de concessão adquiridos por meio de licitações públicas,

exploram uma determinada área. Cada concessionária detém o monopólio de seu território, o que faz da grande maioria dos consumidores brasileiros de eletricidade, e 100% dos residenciais, consumidores cativos (ANEEL, 2008). São 83 milhões de consumidores cativos no país, dos quais mais de 70 milhões são residenciais sem alternativa de fornecimento de elétrico (EPE, 2019c). Essa classe não pode escolher de quem comprar, que fonte energética consumir, nem quanto pagar. Nesse cenário, a GDFV proporcionaria ao prosumidor maior poder de escolha e menor dependência da concessionária, já que o permite gerar parte de sua demanda elétrica. Altas tarifas de energia elétrica são comuns no país, e a possibilidade de diminuir sua conta de luz e ainda contribuir com o meio ambiente, faz da GDFV uma possibilidade atrativa para a maioria dos brasileiros (Camilo et al., 2017).

Normalmente, o crescimento da participação da geração distribuído na matriz elétrica é acompanhado da disponibilidade de tecnologias de resposta de demanda. Essas ferramentas permitiriam uma melhor gestão do consumo doméstico, e oportunizariam a escolha de quanto e quando utilizar a eletricidade da rede, em resposta à incentivos como, a variação do preço da eletricidade durante o dia. Assim, os indivíduos poderiam reduzir sua demanda da rede nos períodos de pico, marcado por preços mais elevado, e planejar seu maior consumo para quando o preço for menor. Dessa forma, a GDFV beneficiaria os agentes residentes, conferindo-lhes maior poder de decisão e controle, e o fornecimento de energia, aumentando sua flexibilidade e confiabilidade. Neste âmbito o Brasil vem estudando a adoção de novos formatos de tarifas, que possibilitaria perceber a variação do valor da energia ao longo do dia (EPE, 2019d). Desde o início de 2020, passou a vigorar no país a Tarifa Branca, acessível a todas as unidades consumidoras de baixa tensão, com exceção daquelas que já recebem outro benefício tarifário. Diferente da tarifa elétrica convencional, que tem um único valor ao longo do dia, a Tarifa Branca possui três valores diferentes. O agente que conseguir concentrar sua demanda da rede nos períodos fora de ponta, onde o valor é menor, seria beneficiado (ANEEL,2020b).

#### → Viabilidade econômica

A fim de que o prosumidor usufrua dos inúmeros benefícios associados à GDFV, é essencial garantir a viabilidade econômica desses sistemas. Para tal, os ganhos precisam compensar os investimentos e custos, de modo que no final, o custo total do suprimento

elétrico, da autogeração e da rede, seja menor que se a demanda fosse 100% fornecida pela concessionária de distribuição. Pesquisa junto às empresas brasileiras de instalação, revela que o preço nacional de um sistema de GDFV com potência de até 5 kWp, caiu de R\$ 8,69/Wp para R\$ 6,29/Wp entre 2013 e 2017 (Instituto Ideal & Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha [AHK-RJ], 2018). Um segundo estudo avaliou os preços em 2017, e demonstrou que um sistema com 10 placas solares e potência de 2.650 Wp custava R\$ 12.710,00, o que significa R\$ 4,80/Wp (Dantas & Pompermayer, 2018). Ambos estudos constatarem que mesmo para a geração distribuída, quanto maior a capacidade operativa, menor o custo unitário por unidade de potência. Porém, apesar do decréscimo nos custos, sistemas de GDFV ainda são bastante caros, o que inviabiliza sua adoção pela maioria dos brasileiros. Ainda assim, atualmente a GDFV é economicamente viável em muitas cidades brasileiras.

Mitscher e Rüther (2012) entenderam que a GDFV poderia ser competitiva com as tarifas elétricas no Brasil, mesmo no estágio de desenvolvimento da indústria solar no período analisado. Porém, assim como verificado por outros estudos (Assunção & Schutze, 2017; Garcez, 2017), essa competitividade estaria condicionada à combinação de alguns fatores como, a disponibilidade de financiamentos com taxas de juros e prazo atrativos, e tarifas elétricas altas. Para os autores, garantidas essas premissas, a GDFV alcançaria a paridade da rede em muitas cidades brasileiras, dentro de um curto período. Para Holdermann et al. (2014), a GDFV não era economicamente viável à época, e somente o decréscimo nos custos dos investimentos e nas taxas de descontos garantiriam sua viabilidade. O alto investimento também foi percebido como um impeditivo para a competitividade da GDFV por Pillot et al. (2018), juntamente com a necessidade de uma elevada capacidade nominal. A ausência dessas condições não garantiam a viabilidade dessa modalidade no sul do país. Para essa região, mesmo com o acesso à financiamento de capital, apenas sistemas com capacidade nominal mediana, especialmente os acima de 7 kW de potência, apresentavam os níveis de confiança desejados. Por outro lado, assegurados financiamento e escala, e dependendo do custo da eletricidade local, alguns estados brasileiros já apresentariam paridade de rede. Ao contrário, Dantas e Pompermayer (2018) através do cálculo do valor unitário de energia, verificaram que “em todos os municípios brasileiros o custo de geração fotovoltaica é menor que o da energia fornecida pelas distribuidoras na tarifa residencial com tributos” (p.21). Por certo, atualmente a GDFV é

competitiva com as tarifas elétricas em diferentes cidades do país (BNDES, 2018a); mas sua efetiva viabilidade econômica depende de fatores socioeconômicos, e seus elevados custos impedem sua adoção irrestrita. Finalmente, existe um consenso entre os estudiosos sobre a crescente viabilidade, e um futuro promissor da GDFV no Brasil. A continuidade no decréscimo dos custos, e a manutenção do incentivo de medição líquida, garantiriam um ambiente mais favorável (ABSOLAR, 2019).

Possíveis fatores condicionantes da viabilidade econômica, e competitividade de sistemas de GDFV no Brasil.

- ✓ Custo dos sistemas
- ✓ Taxas e prazos dos financiamentos
- ✓ Renda do consumidor/ Classe de consumo
- ✓ Tarifa elétrica local
- ✓ Política tributária e demais incentivos

## **8 ANÁLISE COMPARATIVA DOS BENEFÍCIOS DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA, CENTRALIZADA E DISTRIBUÍDA, PARA O BRASIL**

O Brasil é privilegiado quanto ao potencial para a geração FV, e apesar dessa tecnologia conectada à rede elétrica ser algo recente no país, tem-se registrado um avanço significativo nos últimos anos. Em 2015, a potência instalada em UFVs era de 10 MW, atualmente são mais de 2.400 MW; a GDFV passou de 148 kW ao final de 2011 para mais de 2 milhões de kW de potência instalada em janeiro de 2020 (ANEEL, 2020, 2020a). Entretanto, mesmo após essa evolução significativa, a energia solar ainda registra baixa participação na oferta elétrica nacional. Não obstante, já existe no país uma discussão entre os agentes do setor energético e da sociedade, sobre o valor, o papel, e os impactos da geração FV no Brasil. Integrantes do setor energético exigem uma posição mais contundente do governo, e de suas políticas públicas referentes à energia solar. As concessionárias de energia questionam os benefícios do aumento da GDFV, e pressionam o governo para modificar a regulação vigente. Por outro lado, consumidores e empresas do setor de GDFV reivindicam mais apoio, e defendem a manutenção da regulamentação vigente, alegando que qualquer alteração das regras nesse momento, seria prematura (Montenegro, 2018). Neste capítulo será apresentada uma comparação dos benefícios, intuindo colaborar para uma melhor avaliação dessas duas tecnologias FV de geração.

### **8.1 Energéticos**

#### **→ Diversificação da matriz elétrica**

Uma das principais motivações para a promoção da energia FV no Brasil é a necessidade de diversificar sua matriz elétrica, e diminuir a dependência da hidroeletricidade. Tsuchida et al. (2015) e IEA (2018b) argumentam que a geração centralizada obteria vantagem frente a GDFV, por ser uma maneira mais rápida de aumentar a participação de energia solar na capacidade total de geração elétrica, entretanto, essa afirmação é questionável. Quando se analisa o desenvolvimento da energia solar na Alemanha entre 2007 e 2011, por exemplo, verifica-se que 75% da capacidade FV adicionada provieram de sistemas com capacidades menores que 500 kW (Farrel, 2016). Essa constatação, induz ao entendimento de que a velocidade e o incremento da

capacidade FV, não dependem do tamanho individual de um projeto; ao contrário, sugere que a adoção de políticas eficazes à promoção da GDFV garantiria condições para essa modalidade contribuir para a diversificação da matriz elétrica brasileira aos níveis desejados, em um curto período de tempo.. Além disso, extensões de rede ou a implantação de novos sistemas de transmissão, necessários para conectar UFVs ao SIN, não podem ser concluídas rapidamente. Ademais, a expansão da GDFV proporciona a diversificação não só da fonte de energia, mas da modalidade de geração, o que contribuiria para a aumentar a confiabilidade do sistema elétrico (Zero et al., 2019). Entretanto, no quesito diversificação da matriz elétrica, ambas tecnologias FV contribuiriam para tal finalidade.

### → Técnico-operacionais

As tecnologias de geração FV possibilitam múltiplos benefícios técnico-operacionais. Em primeiro lugar, sua característica modular confere versatilidade aos sistemas, o que permite instalações em uma variedade de escalas, e implantação em diferentes locais. Enquanto a instalação de uma UFV é possível em solo e nas águas, *onsshore* e *offshore*, sistemas de GDFV podem ser implantados em edificações e demais áreas urbanas, bem próxima do consumo (Pereira et al., 2017; Tolmasquim, 2016).

Sistemas FV de geração centralizada, quando instalados em reservatórios das usinas hídricas, por exemplo, usufruiriam de um ambiente de maior controle para a instalação, operação e manutenção, e poderiam desfrutar da infraestrutura de transmissão já existente para a hidroeletricidade. Usinas flutuantes reduziriam a evaporação da água dos reservatórios, ao mesmo tempo que aumentaria o rendimento e a eficiência dos painéis solares. O maior rendimento se daria devido a menor presença de poeira na superfície dos módulos, enquanto a maior eficiência seria resultado da redução da temperatura dos painéis, como consequência da evaporação natural da água (Sahu et al., 2016). Sacramento et al. (2015) constataram ganhos de eficiência de 9,52% a 14,5% em sistemas flutuantes nos reservatórios do semiárido nordestino. Por outro lado, o resfriamento dos módulos devido a evaporação, pode não oferecer vantagem em localizações naturalmente húmidas, e não foi comprovado em estudo realizado no Ceará (Alencar et al., 2018; Galdino & Olivieri, 2016). Ainda assim, considerando que 25% da população brasileira vive em cidades litorâneas, UFVs flutuantes *offshore* podem ser uma alternativa para o fornecimento elétrico dessas localidades, reduzindo investimentos em sistemas de transmissão, e usufruindo dos

demais benefícios de uma geração próxima dos centros de consumo (EPE, 2018). As UFVs em solo também podem oferecer benefícios técnico-operacionais frente à GDFV. Primeiramente, suas instalações são quase sempre implantadas em locais com as melhores condições técnicas de irradiação e variabilidade, o que pode conferir maior eficiência na geração (Pereira et al., 2017). Segundo, as UFVs compartilham praticamente das mesmas etapas no transporte de eletricidade, da geração centralizada por outras fontes, processo em que o Brasil tem vasta experiência. O fluxo unidirecional em redes de transmissão e distribuição é tecnicamente mais acessível, e a inserção da eletricidade FV centralizada no sistema elétrico, exigiria poucas adaptações na rede e permitiria um gerenciamento menos complexo. Essa configuração, também proporciona maior disponibilidade de energia, uma vez que possibilita o compartilhamento da geração de diferentes regiões, aspecto que contribui para a segurança do suprimento elétrico (Martín-Martínez et al., 2017).

Todavia, a GDFV também possui características técnicas que podem proporcionar confiança e resiliência ao sistema elétrico. A diversificação do portfólio de geração com um maior número de geradores menores, distribuídos dentro da área de um sistema de distribuição, reduz riscos de interrupções de fornecimento. Sistemas de GDFV combinados com inversores inteligentes, tecnologias de controle e armazenagem, podem fornecer energia de reserva, diminuir o congestionamento, contribuir para o controle da tensão e voltagem, e auxiliar no ajuste da frequência, garantindo equilíbrio ao sistema (Castro et al., 2018; Rocky Mountain Institute, 2013). Ademais, a adoção de GDFV nos centros urbanos seria uma alternativa técnica para a redução dos picos de demanda diurnos decorrentes do aumento no uso de ar-condicionado em períodos do ano de altas temperaturas, característica muito frequente em diversas regiões do Brasil (EPE, 2018c). Outro importante benefício atribuído à GDFV frente à geração FV em escala utilitária, é sua capacidade de evitar perdas de eletricidade na transmissão e distribuição. O Brasil vem registrando diferenças e perdas de aproximadamente 19% de toda eletricidade injetada no SIN, das quais 7,5% em média, correspondem a perdas técnicas (EPE, 2014, 2019c). Das perdas na rede básica, 50% são repassadas aos consumidores, assim como parte das perdas ocorridas na rede de distribuição (ANEEL, 2019; EPE, 2019c). Dessa forma, considerando que os parques solares são comumente instalados longe dos centros de consumo, e dependem dos sistemas de transmissão, as perdas nessa etapa podem anular as vantagens das UFVs, derivadas da economia de escala, e maior eficiência na geração (Powers, 2010).

Esse desempenho consiste em grande desperdício, aumenta os custos e o preço final da eletricidade, onerando o consumidor (Martín-Martínez et al., 2017). Ao contrário, a geração FV por sistemas distribuídos pode reduzir significativamente as perdas na transmissão e na distribuição, e consequentemente otimiza o aproveitamento da energia e beneficia os custos elétricos. Entretanto, o aumento da participação da GDFV na matriz elétrica apresenta desafios importantes. A geração por múltiplas unidades, o fluxo inverso de energia etc., introduzem insegurança devido às suas complexidades técnico-operacionais. Para que essa nova configuração seja de fato efetiva e vantajosa, é imprescindível que a GDFV seja conjugada com adaptações no sistema elétrico e em seus equipamentos, e com a inserção de novas tecnologias inteligentes (Camilo et al., 2017; MIT, 2016).

### → Econômicos

A competitividade das UFVs frente a outras centrais elétricas é realidade em muitas localidades. Em alguns países, as UFVs sem subsídios já apresentam custo nivelado de eletricidade menor que centrais a combustíveis fósseis (The Solar Foundation, 2019). No Brasil, o valor da eletricidade FV comercializada no mercado regulado registra sucessivas quedas; em 2019 seu preço atingiu recorde negativo mundial, o que comprova a crescente competitividade dessa tecnologia no país (EPE, 2019b). Sistemas de GDFV também vem aumentando sua viabilidade, mas ainda representam um alto custo para o brasileiro, e por isso são restritos às famílias com melhores rendas (Camilo et al., 2017; Vale et al., 2017).

Quando comparadas à GDFV, a geração FV em centrais possui vantagens decorrentes de sua elevada capacidade produtiva. A economia de escala impacta os custos de geração, de implantação, os custos nivelados da eletricidade, e de armazenagem. Tsuchida et al. (2015) estimaram que os custos de geração de sistemas GDFV nos EUA, em 2019, seriam duas vezes maiores que os de UFVs. Em 2018 nesse país, sistemas FVs custavam USD 2,70/Wcd para sistemas residenciais, USD 1,06/Wcd e USD 1,47/Wcd para a geração centralizada com eixos fixos e com rastreamento, respectivamente (Fu et al., 2018). No Brasil, a média dos custos dos projetos de UFV reduziram cerca de 14% de 2017 para 2018. Os equipamentos respondiam por cerca de 70% do custo total de investimentos, e apesar de o preço médio de um painel solar no país ter caído 47% de 2013 a 2018, este ainda representa o maior custo entre os equipamentos (EPE, 2018a). Em 2017,

sistemas de GDFV residenciais no país custavam ao consumidor entre R\$ 4,60/Wp e R\$ 6,29/Wp, dependendo da potência. Módulos, inversores e estruturas metálicas, representavam 69% do custo total. (IDEAL & AHK-RJ, 2018). Os custos de sistemas FVs, e de armazenamento, na escala da distribuída podem ser mais que o dobro daqueles da larga escala. Dessa forma, geração FV centralizada deveras assegura menores custos unitários (Burger et al., 2019; CPUC, 2019).

Entretanto, apesar do decréscimo nos custos ter favorecido os investimentos, a implantação de uma UFV ainda envolve valores significativos, consoante a sua grande capacidade operacional; e exige uma vasta infraestrutura de transporte de energia, que inclui entre outros recursos, extensas linhas de transmissão e subestações (Martín-Martínez et al., 2017). Tome como exemplos os casos da usina hidrelétrica de Belo Monte, e o complexo hidrelétrico do Rio Madeira. Para que a eletricidade gerada nessas centrais possa ser aproveitada pelo SIN, são necessárias linhas de transmissão de aproximadamente 2 mil e 2.385 km, respectivamente (BNDES, 2018b; Interligação Elétrica do Madeira, 2018). Novas infraestruturas custam milhares de milhões em investimentos, a maior parte financiada por recursos públicos, demandam constante manutenção, e apresentam elevados custos operacionais. O sistema de transmissão para escoamento da energia da região Norte, e da UHE Belo Monte, para o Sudeste, custou R\$ 8,55 mil milhões de reais (MME, 2019). De 2020 a 2029 são previstos investimentos de 104 mil milhões em sistemas de transmissão (linhas e subestações), só para os empreendimentos já licitados no país. Dos investimentos em nova oferta de energia elétrica previstos, 303 mil milhões serão em novas centrais geradoras e 50 mil milhões em micro e minigeração distribuída (MME & EPE, 2020; ONS, 2019a). Também se observa uma tendência de crescimento dos custos de transmissão. As três principais empresas de energia da Califórnia, tem registrado aumentos contínuos de cerca de 10% ao ano (CPUC, 2019). Nos EUA, são esperados crescimentos na ordem de 18% a 24% até 2050, nos custos de transmissão e distribuição (U.S. Energy Information Administration, 2019). Em contrapartida, a GDFV favorece investimentos e custos. Na GDFV agentes privados alocam recursos próprios na geração elétrica, aumentando a disponibilidade de carga na rede. Como consequência, muitos dos investimentos em nova capacidade de geração centralizada, e em infraestruturas de transmissão, seriam desnecessários, retardados ou reduzidos. Além dos investimentos, diversos custos são beneficiados: manutenção e operação de sistemas da rede básica,

regularização ambiental, energia de reserva, serviços auxiliares, perdas elétricas, encargos etc. Esses resultados podem reduzir os custos do suprimento elétrico, impactar positivamente as finanças do setor, e diminuir a conta de luz de todos consumidores (Assunção & Schutze, 2017). Por outro lado, sistemas de distribuição com grande participação de sistemas de GDFV, principalmente aqueles onde a oferta de eletricidade distribuída supera a demanda limite (*threshold demand*), necessitariam de adaptações, que poderiam elevar os custos e sobrecarregar os consumidores (Martínez et al., 2017; MIT, 2016). Porém, os custos evitados pela geração distribuída seriam maiores que os custos acrescidos. Sistemas de GDFV teriam um impacto financeiro mínimo para os consumidores, menores daqueles oriundos da utilização de ares condicionados (Daymark Energy Advisors et al., 2018; Passey et al., 2018).

## 8.2 Não energéticos

### → Ambientais

A energia FV seja ela gerada de forma centralizada ou distribuída, oferece benefícios ambientais de muita importância e peso. Ambas não emitem GEE e outros poluentes prejudiciais à saúde e ao ambiente, não produzem resíduos na geração e operação, e consomem muito pouca água no processo produtivo. Uma maior capacidade instalada de geração FV, pode também, reduzir as emissões de centrais fósseis. Essas são qualidades altamente valorizadas em um cenário de escassez hídrica, e de mitigação das alterações climáticas. Contudo, cada modalidade de geração FV apresenta características específicas que podem configurar uma vantagem ou desvantagem.

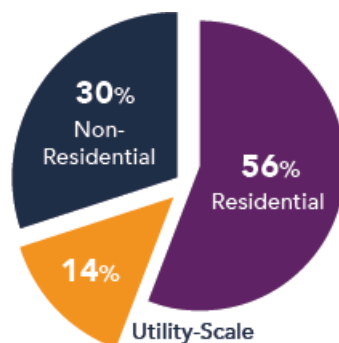
Devido a sua grande capacidade operacional, as UFVs poderiam impactar as emissões em uma escala maior, e de maneira mais rápida do que a GDFV. A geração centralizada de 300 MW consumiria menos água, e impactaria as emissões por volta de 50% a mais, que a mesma capacidade implantada em escala residencial (Tsuchida et al., 2015). Globalmente, os parques FV evitam emissões de 247 Mt por ano, o que é quase o total anual das emissões de países como Espanha e Tailândia (IEA, 2018b). Entretanto, Burger et al (2019) avaliam que a redução nas perdas, e na geração por centrais, derivadas da participação da GDFV, evitaria um pouco mais de emissões do que o modelo centralizado.

Em relação aos impactos nos biomas, a GDFV seria mais vantajosa, visto que a maioria desses sistemas são instalados nos telhados, nas fachadas de prédios, ou em outros espaços urbanos de uso compartilhado, como estacionamentos e praças; locais onde os maiores danos ambientais já aconteceram no período da urbanização. Isso significa que não seriam necessárias áreas no solo urbano, ou grandes extensões de terra, exclusivas para a geração elétrica, como no caso das UFVs. Dessa forma, a GDFV contribuiria para reduzir o impacto na biodiversidade e na perturbação no solo, não acarretaria a fragmentação da paisagem, e evitaria a competição no uso do solo entre a geração elétrica e outras atividades, como a produção de alimentos (Gomes et al., 2017; Hernandez et al., 2014;). Todavia, UFVs flutuantes também não resultariam em impactos no solo.

### → Socioeconômicos

Um dos mais relevantes benefícios socioeconômicos da adoção da geração FV, é referente à sua capacidade de promover empregabilidade. A energia FV é a fonte renovável de eletricidade que mais emprega no mundo, particularmente a indústria, e o setor de instalações de sistemas de GDFV (IRENA, 2019). No mercado norte-americano, a eletricidade FV gera duas vezes mais empregos que o setor de carvão, e quase 5 vezes mais do que a indústria nuclear. O setor de desenvolvimento de projetos e instalação, é responsável por dois terços do total de empregos, dos quais 86% são no segmento de GDFV, e 14% na produção em larga escala (The Solar Foundation, 2019)(Fig.12, p.55). Em 2016 na Europa, as atividades a jusante da cadeia de valor FV (engenharia, administração, instalação, operação e manutenção, vendas de energia e etc.), responderam por 75% dos empregos gerados, e as instalações em telhados empregaram três vezes mais que as de larga escala no solo (Ernst & Young e SPE, 2017). No Brasil, a maioria dos empregos concentram-se nas etapas de construção e instalação (ABSOLAR, 2019, *in* IRENA, 2019). Nas projeções para o Brasil, realizadas pelo Relatório Alvorada (Greenpeace, 2016), a GDFV seria capaz de gerar de 989 mil a 3,9 milhões de empregos diretos e indiretos até 2030, somente no segmento residencial; dependendo da capacidade adicionada e dos políticas de incentivos adotadas. Parece ser evidente, portanto, que no quesito criação de empregos, a GDFV apresenta vantagem sobre a geração em UFVs, atributo relevante em países com enormes disparidades socioeconômicas e elevado índice de desemprego, como o Brasil. A geração FV centralizada e as infraestruturas de

transmissão, oferecem menos postos de trabalho, em maioria provisórios durante a fase de implantação (IRENA, 2019).



**FIGURA 12: EMPREGOS GERADOS NA ELABORAÇÃO DE PROJETOS E INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS POR SEGMENTO DE MERCADO NOS E.U.A.**

Fonte: The Solar Foundation (2019), Infográfico.

O avanço da energia FV no Brasil também pode contribuir para seu desenvolvimento socioeconômico. As UFVs, por exemplo, tem o potencial de atrair investimentos, impulsionar a economia, e criar oportunidades de transformação de comunidades locais. Isso se aplica, particularmente, para o semiárido nordestino, uma das regiões mais carentes do país, que por coincidência, é o local de maior potencial solar para a geração FV (Malagueta et al., 2014). Entretanto, a cadeia de suprimentos de um sistema elétrico centralizado compreende grandes projetos de infraestrutura de geração, transmissão e distribuição, vendas substanciais no atacado e varejo, e grandes necessidades operacionais e de manutenção. Esse modelo, que no país ainda apresenta ampla presença do Estado, acaba restringindo a participação no setor à agentes de médio a grande porte; por isso, os maiores beneficiados em termos de ganho econômico são os proprietários e os acionistas das grandes empresas do setor (Farrell, 2016). Ao contrário, a GDFV pode oferecer benefícios econômicos e sociais de forma mais abrangente, investimentos distribuídos por todo país, e alcançar várias esferas sociais. Sua cadeia de suprimentos é dominada por agentes privados de pequeno porte, e integra diferentes modelos de negócios. Essas qualidades, além de garantir maior competitividade ao setor, permite a participação de uma maior gama, e um maior número de autores, favorecendo uma economia mais inclusiva (Ernst & Young e SPE, 2017; Zero et al., 2019). Outro benefício próprio da GDFV, é a capacidade de oferecer ao consumidor uma opção, a única atualmente no Brasil, ao fornecimento elétrico da concessionária de distribuição (Martín-Martínez et al., 2017; Sauaia, 2019a). Ademais, a geração para autoconsumo, e os mecanismos de compensação oferecidos, conduzem o prosumidor a um maior

conhecimento de suas características de consumo, o que lhe permite gerenciar seus recursos da forma que melhor lhe favoreça (Müller, 2016, *in* EPE, 2019d. p.2).

### 8.3 Desvantagens e desafios

De fato, a inserção da geração FV na matriz elétrica brasileira oferece o potencial de proporcionar muitos benefícios ao sistema elétrico, e à sociedade. Entretanto, é necessário registrar que sua participação pode trazer desvantagens e desafios, além daqueles inerentes à sua natureza intermitente. As vulnerabilidades da geração em UFVs, são principalmente em razão de sua dependência dos sistemas de transmissão. As mesmas características que permitem o transporte de alta tensão por longas distâncias, favorecem perdas elétricas. O desperdício onera o suprimento elétrico, e poderia anular as vantagens derivadas da economia de escala e da sua localização. Além disso, sistemas de transmissão são mais suscetíveis a falhas do que sistemas de distribuição com participação da GDFV, o que aumenta os riscos de corte do abastecimento elétrico, com o potencial de afetar milhões de brasileiros (Burger et al., 2019; Martín-Martínez et al., 2017). Financeiramente, as UFVs e as infraestruturas de transmissão, exigem elevados investimentos e registram altos custos, o que pode comprometer a sustentabilidade desse modelo no futuro. Os ganhos socioeconômicos, derivados do modelo centralizado, são geograficamente restritos, e usufruídos por poucos grupos que, em grande parte, já participam do setor (Zero et al., 2019).

Os impactos da integração da GDFV nos sistemas de distribuição, ainda não são totalmente conhecidos e mensurados, por isso, sua aplicação pode incorrer em riscos e apresentar desafios. Apesar de carecerem de maiores comprovações, existem indicações de que a inserção em larga escala da GDFV poderia, ao invés de beneficiar, trazer complicações ao sistema elétrico. Os benefícios da GDFV estariam condicionados principalmente, à taxa de penetração, determinada pela capacidade de acolhimento (*hosting capacity*) de cada sistema de distribuição, e alocação adequada. Se a carga injetada pelos sistemas de GDFV for maior que a demanda limite (*threshold demand*) local, e superar a capacidade técnica do sistema de distribuição, é provável que causaria prejuízos, uma vez que propiciaria riscos de interrupções, comprometeria o controle de tensão, demandaria maior volume de energia de reserva etc., e ainda aumentaria a necessidade por geração não renovável. Essas condições exigiriam substanciais *upgrades* ou novas infraestruturas, que implicariam elevação nos custos e necessidades de maiores investimentos, invalidando os

ganhos da GDFV. Ademais, existe a possibilidade de sua participação impactar negativamente o preço da eletricidade final para os consumidores, especialmente os não aderentes da GDFV. Porém, é comprovado que a participação da GDFV em locais adequados, principalmente onde a demanda de pico coincide com a maior geração FV, garantiriam muitos benefícios; por isso a GDFV teria grande potencial de adicionar valor locacional. Por fim, existe uma grande aposta que a GD, em particular a FV, é uma tecnologia irrevogável, que tende a conquistar mais mercado (Burger et al., 2019; Castro et al., 2018; MIT, 2016).

Tabela 2 :

Comparativo das vantagens da geração em UFVs com as da GDFV

|                                                   | UFV                                                                                                                     | GDFV                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Expertise</b>                                  | Experiência                                                                                                             | Aprendizado                                                                                                                                                                   |
| <b>Viabilidade técnica</b>                        | Já comprovada e conhecida                                                                                               | Apresenta desafios                                                                                                                                                            |
| <b>Operação e gestão</b>                          | Mais simples                                                                                                            | Adiciona complexidade                                                                                                                                                         |
| <b>Versatilidade</b>                              | Permite instalações no solo e flutuantes.                                                                               | Em telhados, fachadas e espaços urbanos de uso compartilhado.                                                                                                                 |
| <b>Transmissão</b>                                | Depende de uma ampla e custosa infraestrutura de transmissão.                                                           | Não necessita de Infraestrutura de transmissão; mas exige adaptação nos sistemas de distribuição.                                                                             |
| <b>Investimentos</b>                              | Exige altos investimentos, concentrados em um local.                                                                    | Investimentos evitados, reduzidos ou adiados, e pulverizados.                                                                                                                 |
| <b>Custos/Preço da eletricidade</b>               | Menor custo de geração e armazenagem;<br>Baixo preço no mercado regulado                                                | Maior custo de geração, mas custo do suprimento cada vez mais competitivo/ paridade de rede                                                                                   |
| <b>Outros custos</b>                              | Custos de transmissão crescentes;<br>Custos com perdas técnicas etc.                                                    | Custos dos sistemas GDFV ainda alto para o brasileiro, mas cada vez mais competitivos;<br>Pode reduzir custos de distribuição.                                                |
| <b>Confiabilidade na oferta/suprimento</b>        | Apresenta confiabilidade na oferta, devido à interligação com o SIN                                                     | Adiciona confiabilidade devido à geração por múltiplas unidades.                                                                                                              |
| <b>Benefício derivados do local da instalação</b> | Pode obter melhor eficiência na geração FV                                                                              | Próximo ao consumo, e possível em grande parte do território nacional.                                                                                                        |
| <b>Perdas de eletricidade</b>                     | Maiores perdas (na transformação e transmissão)                                                                         | Evita perdas elétricas (transm. e transf.), e diminui as perdas na distribuição.                                                                                              |
| <b>Benefícios técnicos adicionais</b>             | UFVs flutuantes poderiam ganhar eficiência devido ao resfriamento dos painéis solares.                                  | Oferecer diversos serviços auxiliares                                                                                                                                         |
| <b>Impacto ambiental</b>                          | Solo/ biodiversidade/ etc.                                                                                              | -                                                                                                                                                                             |
| <b>Desenvolvimento socioeconômicos</b>            | Limitado à algumas regiões;<br>Gera um menor número de empregos, e a maioria provisórios;<br>Favorece grandes empresas. | Distribuído por todo território;<br>Gera empregos mais duradouros e em maior número;<br>Promove modelos de negócio;<br>Possibilita participação de micro e pequenas empresas. |
| <b>Benefícios financeiros</b>                     | Restrito a poucos (proprietários, sócios e acionistas);                                                                 | Alcança um maior número de indivíduos e classes sociais;                                                                                                                      |
| <b>Consumidores</b>                               | Continuam 100% cativos;<br>Tarifas elétricas isonômicas por classe de consumo.                                          | Prosumidores são beneficiados;<br>Pode aumentar custos para os demais consumidores.                                                                                           |

Fonte: elaboração própria com base nas referências bibliográficas.

## 9 CONCLUSÃO

O Brasil possui uma das mais limpas matrizes elétricas do mundo; mais de 83% de sua capacidade instalada são de fontes renováveis. Os recursos hídricos nacionais garantem a maior parte da eletricidade, e apesar de sua participação ter diminuído ao longo dos anos, ainda dominam a matriz elétrica; em 2018, responderam por 61,6% da oferta total. Essa preponderância revela a elevada dependência da hidroeletricidade, e o consequente comprometimento da segurança elétrica nacional. As recorrentes crises hídricas no país, devido a maior escassez de água, impactam fortemente a geração de hidroeletricidade. Essa conjuntura, acabou por despertar os agentes responsáveis pelo planejamento energético, para a necessidade de diversificar a matriz elétrica do país.

O elevado potencial técnico solar no território nacional, e a redução dos custos da tecnologia FV, tornou o aproveitamento desse recurso para a geração de eletricidade, possível para o Brasil. Apesar da adoção tardia da geração FV de eletricidade conectada à rede, essa é atualmente considerada uma importante alternativa para a diversificação elétrica no país. Na última década, a geração FV registrou um desenvolvimento expressivo; acentuado nos últimos anos. A capacidade instalada FV que correspondia a 0,6% do total em 2017, alcançou 2,6% de participação em 2019. A GDFV apresentou um avanço ainda mais surpreendente; aumentou quase 300% em apenas um ano. Ainda assim, a geração FV corresponde a apenas 1% da matriz de oferta elétrica. Todavia, apesar da pequena participação, sua recente evolução exponencial, especialmente na modalidade de GDFV, incita um crescente debate entre os agentes do setor e da sociedade, relativo à promoção da energia FV no país. As políticas públicas deveriam privilegiar uma das tecnologias de geração FV, centralizada ou distribuída para autoconsumo, ou dividir recursos e esforços para o desenvolvimento de ambas? Esta dissertação pretendeu examinar os benefícios ao Brasil, de cada modalidade de geração, para em seguida elaborar uma comparação, a fim de contribuir para esta discussão.

A geração centralizada FV oferece diversas vantagens para o Brasil, além daquelas inerentes aos modelos centralizados em geral: economia de escala, maior simplicidade técnico-operacional etc. Ela permite o aproveitamento de recursos solares em locais longínquos, com melhores condições técnicas para o aproveitamento FV, como radiação e variância. Essa característica, além de garantir mais eficiência na geração, adiciona

segurança na oferta de eletricidade, pois viabiliza que a eletricidade possa ser gerada e consumida em qualquer lugar do país conectado ao SIN, independentemente da proximidade com o consumo. A modalidade centralizada também possibilita instalações flutuantes *onshore* e *offshore*, o que se bem posicionadas podem ser uma alternativa técnico-econômica interessante para o suprimento elétrico de centros urbanos litorâneos, e para diminuir os altos custos com sistemas de transmissão. Por fim, mas de primordial importância, as UFVs continuam a apresentar o menor custo de geração de eletricidade, relativamente à GDFV.

A GDFV, por outro lado, reúne atributos que pode oferecer importantes benefícios energéticos e socioeconômicos para o país. A GDFV é tecnicamente possível em quase todo território nacional, diversifica a modalidade de geração, e pode oferecer serviços auxiliares que contribuem para a segurança técnico-operacional do sistema elétrico. Sua participação reduz perdas de eletricidade, custos, e possibilita minimizar ou diferir investimentos com novas infraestruturas elétricas e *upgrades*. Ao consumidor cativo, a GDFV propicia a oportunidade de gerar parte de suas necessidade elétricas, minorar sua dependência da concessionária de distribuição, gerenciar seu consumo, e principalmente economizar na conta de luz. Por fim, a adoção da GDFV oferece benefícios que extrapolam o âmbito energético; promove a geração de empregos, o surgimento de novos modelos de negócios e investimentos etc., de maneira que oportuniza um maior alcance quanto ao número e diversidade de beneficiados, e amplitude geográfica.

Não obstante os benefícios mencionados, ambas tecnologias de geração apresentam desvantagens e desafios. As UFVs exigem elevadas despesas de capital, extensas e onerosas infraestruturas de transmissão, elevados custo, e promove perdas de energia no transporte. Em contrapartida, a participação em larga escala da GDFV impõe grandes desafios, uma vez que adiciona complexidades técnica, operacional e gerencial, exige adaptações nas estruturas físicas dos sistemas de distribuição; e ainda são economicamente inacessíveis para a grande maioria dos brasileiros. Entretanto, talvez o maior obstáculo ao desenvolvimento da GDFV no país seja político, uma vez que requer profundas mudanças, e implica impactos em setores historicamente beneficiados por monopólios.

Quando comparados os benefícios para o Brasil, da geração FV em usinas centralizadas de larga escala, aos da micro e minigeração distribuída, este estudo constatou que:

- A UFV gera eletricidade a um menor custo, entretanto essa vantagem não tem sido sinônimo de menor preço de fornecimento elétrico para consumidor.
- Com custos ainda altos, sistemas de GDFV no Brasil são restritos às classes com maior renda, por isso, as UFVs seriam a única forma de fornecer eletricidade solar para a maior parte da população.
- A GDFV já apresenta paridade de rede, em localidades onde as tarifas elétricas são altas.
- A GDFV tem grande apelo social, pois representa para o consumidor nacional uma oportunidade de diminuir sua conta de luz.
- A GDFV encontra forte resistência das concessionárias elétricas, que estão cientes dos impactos em suas receitas.
- Se verifica uma forte tendência de aumento nos custos dos sistemas de transmissão, enquanto se espera uma crescente competitividade da GDFV.
- A GDFV oferece benefícios socioeconômicos mais abrangentes, quanto ao número e diversidade de beneficiados, e distribuição geográfica.

Essa conjuntura, nos permite verificar que os fatores custo de geração e custo nivelado da eletricidade FV, não são por si só decisivos; do ponto de vista do consumidor, o aspecto mais importante é o preço final do fornecimento de eletricidade. Esse valor, não é somente composto pelo custo de geração, mas também pelos custos do transporte e das ineficiências, assim como por impostos e taxas; o resultado é uma conta de luz bastante alta (ANEEL, n.d.-b). Por isso, o principal objetivo do brasileiro que adere à GDFV, é justamente diminuir sua conta mensal de eletricidade. A paridade do custo da energia produzida por GDFV com as tarifas elétricas cobradas pelas concessionárias de energia no Brasil, já é verificada em muitas cidades, e demonstra que o objetivo almejado pelo consumidor investidor em economizar, pode ser alcançado quando ele consome a

eletricidade de sua produção (BNDES, 2018a; Dantas & Pompermayer, 2018). Portanto, mesmo que as UFVs gerem eletricidade por um menor custo, e que apresentem preços, no mercado regulado brasileiro, cada vez menores, esta competitividade não está chegando ao consumidor final; e como resultado, a GDFV tem apresentado crescente atratividade. Não é por acaso que 89% dos brasileiros gostariam de gerar energia em casa, e 79% instalariam sistemas FV em suas residências se tivessem acesso a financiamento competitivo (Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia & IBOPE Inteligência, 2018; DataFolha, 2016 *in* Sauaia & Koloszuk, 2019).

As principais agências e instituições energéticas internacionais, preveem um futuro ainda dominado pela geração centralizada, mas com crescente relevância da geração distribuída, especialmente a FV. O avanço desta tecnologia parece ser irreversível; sendo provável que no médio prazo, diversos desafios e atuais obstáculos à maior participação da GDFV, sejam solucionados pelas evoluções tecnológicas. Essa modalidade de geração tende a ser cada vez mais eficiente e acessível, assim como sistemas de armazenagem, o que poderá fazer com que em breve as forças de mercado por si sós, garantam seu desenvolvimento, e dispensem a necessidade de subsídios. Ademais, reconhecendo que a geração centralizada adiciona segurança no suprimento, e que essa poderá continuar a ser imprescindível, os recursos crescentes exigidos pelos sistemas de transmissão, podem tornar esse modelo menos atrativo.

No Brasil, é evidente a necessidade de diversificação das fontes de geração, e do agravamento dessa condição nos últimos anos. Apesar disso, é possível afirmar que o país apresenta uma conjuntura elétrica privilegiada; pois além de ter uma matriz de baixas emissões, consegue atender a maior parte de sua demanda elétrica com recursos próprios. Além disso, o país já dispõe de ampla infraestrutura voltada ao modelo centralizado de geração e fornecimento elétrico. Considerando este cenário, e comparando os benefícios das duas tecnologias de geração FV, entende-se que nesse momento o Brasil teria condições de privilegiar a promoção da GDFV, sem comprometer a segurança elétrica. Uma maior participação da GDFV poderia atender aos objetivos energéticos de diversificar a matriz e aumentar a oferta, ao mesmo tempo que produziria benefícios socioeconômicos de grande impacto, e significativamente mais abrangentes, que a geração centralizada. Percebe-se que falta aos analistas avaliarem os benefícios da GDFV de forma extensiva, muito além dos custos. Para determinar seu real valor, é necessário incluir todos os ganhos

energéticos diretos e indiretos, assim como os ambientais e socioeconômicos. Ademais, é importante ressaltar que fomentar a maior integração da GDFV no Brasil, exigirá planejamento, políticas eficientes, ajustes regulatórios, e adaptações do sistema elétrico e dos agentes envolvidos. As regras deverão garantir segurança jurídica e um ambiente equilibrado, que possibilite otimizar os benefícios desse novo modelo, e minimizar os riscos de impactos negativos. Por fim, é preciso garantir a viabilidade dos sistemas centralizados de geração e transmissão, visto que é provável que esses modelos coexistirão.

Esta dissertação examinou e comparou os benefícios da geração em UFVs aos da GDFV intuindo contribuir para o debate sobre a priorização ou não, de uma dessas tecnologias no Brasil. Como resultado dessa análise, foi proposto dar preferência à promoção da GDFV. Futuros estudos poderiam incluir nesta comparação, a geração distribuída de pequena escala conectada diretamente ao sistema de distribuição. Contudo, considerando que a GDFV pode não ser sempre a melhor opção, seria também de muita relevância investigações interdisciplinares, que examinassem os aspectos técnicos e econômicos dos sistemas elétricos, indicassem aqueles ineficientes, e os correlacionassem com o potencial e possibilidades de geração FV, de suas localizações. Essas pesquisas permitiriam identificar a modalidade de geração FV mais apropriada para determinado local do país, que mais beneficiasse o sistema elétrico e seus *stakeholders*; e ofereceriam a oportunidade de ampliar o entendimento, de forma a permitir uma valoração mais tangível dos benefícios de cada modelo de geração FV.

## 10 LISTA DE REFERÊNCIAS

### Leis e Normas

Lei nº 8.987/1995, de 13 de fevereiro. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços, e dá outras providências.

Lei nº 9.074/1995, de 7 de julho. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos, e dá outras providências.

Lei 9.427/1996, de 26 de dezembro. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica..

Convênio ICMS 101/1997, de 18 de dezembro. Concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica que especifica. Retirado do <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios>

Lei nº 11.484/2007, de 31 de maio. Dispõe sobre os incentivos às indústrias de equipamentos para TV digital e de componentes eletrônicos semicondutores, sobre a proteção à propriedade intelectual das topografias de circuitos integrados, e institui programas de apoio ao tecnológico.

Resolução Normativa N° 482/2012, de 17 de abril. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Retirado do <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>

Convênio ICMS 16/2015, de 22 de abril. Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482/2012. Retirado do <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/>

Emenda Constitucional N° 95/2016, de 15 de dezembro. Altera o Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, para instituir o Novo Regime Fiscal, e dá outras providências.

Projeto de Lei 5.877/2019, de 05 de novembro. Dispõe sobre a desestatização da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. e outras proposições.

### **Páginas da Internet**

Agência Nacional de Águas. (n.d.). *Quantidade de água*. Retirado do <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>, acessado em 04.07.2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica. (n.d.-a). *Luz na tarifa. ICMS em energia elétrica*. Retirado do <http://www.aneel.gov.br/luz-na-tarifa>, acessado em 25.08.2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica. (n.d -b). *Luz na tarifa. Evolução da Tarifa Residencial: Componentes da tarifa residencial*. Retirado do <http://www.aneel.gov.br/luz-na-tarifa>, acessado em 25.08.2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica. (2018, 06 de setembro). *Regulação dos Serviços de Distribuição*. Retirado do <https://www.aneel.gov.br/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao>, acessado em 29.03.2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica. (2020). *Capacidade de geração. Banco de informação de geração*. Retirado do <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>, acessado em 29.01.2020.

Agência Nacional de Energia Elétrica. (2020a). *Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. Informações compiladas em mapa*. Retirado do <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd>, acessado em 29.01.2020.

Agência Nacional de Energia Elétrica. (2020b, 16 de janeiro). *Tarifa Branca*. Retirado do <https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>, acessado em 07.02.2020.

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica & Clean Energy Latin America. (2019). *Linhas de Financiamento para Sistemas Fotovoltaicos no Brasil*. Retirado do <http://www.absolar.org.br/financiamento>, acessado em 10.07.2019.

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. (2019a, 01 de dezembro). Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Infográfico ABSOLAR nº 14. Retirado do <http://www.absolar.org.br/deixearcrescer/wp-content/uploads/2019/12/ohvQK.pdf>, acessado em 10.01.2020.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2017, 21 de dezembro). *Apoiado pelo BNDES, maior parque solar da América Latina abastecerá cerca de 420 mil lares brasileiros por ano*. Retirado do <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/resultados-para-a-sociedade/projetos-apoiados/pirapora-solar>, acessado em 10.07.2019.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2018a, 24 de agosto). *A energia solar no Brasil*. Retirado do: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/energia-solar>, acessado em 20.08.2019.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2018b, 19 de novembro). *BNDES aprova R\$ 5,2 bilhões para linha de transmissão de UHE Belo Monte (PA) ao RJ*. Retirado do <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-aprova-r-5-2-bilhoes-para-linha-de-transmissao-de-uhe-belo-monte-pa-ao-rj>, acessado em 16.07.2019.

Bloomberg New Energy Finance. (2018). *New Energy Outlook 2018 - BNEF's annual long-term economic forecast of the world power sector out to 2050*. Retirado do <https://bnef.turtl.co/story/neo2018>, acessado em 09.09.2019.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. (2019). Portal da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Onde atuamos: Comercialização. Retirado do [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos?\\_adf.ctrl-state=udrefx3x2\\_5&\\_afLoop=44237522243094#!](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos?_adf.ctrl-state=udrefx3x2_5&_afLoop=44237522243094#!), acessado em 06.03.2019

Central Intelligence Agency. (2019, September). *The World Factbook: Brazil*. Retirado do <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/br.html>, acessado em 10.11.2019.

- Enerdata. (2019). *Global Energy Statistical Yearbook 2019*. Retirado do <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>, acessado em 10.09.2019.
- Global Carbon Atlas. (2017). *CO2 Emissions*. Retirado do <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>, acessado em 04.04.2019.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Índice de Desenvolvimento Humano*. Retirado do <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pesquisa/37/30255?tipo=ranking>, acessado em 29.03.2019.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018, 16 de novembro). *Contas Regionais 2016: entre as 27 unidades da federação, somente Roraima teve crescimento do PIB*. Retirado do <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23038-contas-regionais-2016-entre-as-27-unidades-da-federacao-somente-roraima-teve-crescimento-do-pib>, acessado em 06.09.2019.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). *O Brasil em Síntese*. Retirado do <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>, acessado em 01.03.2019.
- International Monetary Fund. (2020, January). *Brazil: At a Glance: Projected Real GDP*. Retirado de <https://www.imf.org/en/Countries/BRA>, acessado em 03.02.2020.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2017, janeiro). *Centro-Oeste lidera produção agrícola brasileira*. Retirado do <http://www.agricultura.gov.br/noticias/centro-oeste-lidera-producao-agricola-brasileira>, acessado em 23.03.2019.
- Ministério do Meio Ambiente. (2019). *Biodiversidade Brasileira*. Retirado do <https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira>, acessado em 15.11.2019.
- Montenegro, S. (2018, 30 de julho). Setor fotovoltaico defende estudos mais aprofundados para mudança de regras de geração distribuída. *Ambiente Energia*. Retirado do <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2018/07/setor-fotovoltaico-defende-estudos-aprofundados-para-mudanca-de-regras-de-geracao-distribuida/34376>, acessado em 10.07.2019.

- Observatório do Clima. (2018a, 21 de novembro). *Emissões do Brasil caem 2,3% em 2017*. Retirado do <http://www.observatoriodoclima.eco.br/emissoes-brasil-caem-23-em-2017/>, acessado em 02.05.2019.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2020). Sobre o ONS. Retirado do <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>, acessado em 12.02.2020.
- Sauaia, R., & Koloszuk, R. (2019, 10 de maio). Geração distribuída solar fotovoltaica: o novo sempre vem [Web log post]. Retirado do <https://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/geracao-distribuida-solar-fotovoltaica-o-novo-sempre-vem/>, acessado em 20.08.2019.
- Sauaia, R.. (2019a, 9 de outubro). *A Energia Solar e a Liberdade do Consumidor*. Retirado do <http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/a-energia-solar-e-a-liberdade-do-consumidor.html>, acessado em 09.02.2020.
- World Atlas. (2019). *The Largest Countries in the World*. Retirado do <https://www.worldatlas.com/articles/the-largest-countries-in-the-world-the-biggest-nations-as-determined-by-total-land-area.html>, acessado em 02.04.2019.
- World Bank.. (2019). *The World Bank in Brazil*. Retirado do <https://www.worldbank.org/en/country/brazil/overview>, acessado em 29.03.2019.

### Demais Referências

- Agência Nacional de Águas. (2017). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017*. Retirado do <http://conjuntura.ana.gov.br/>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2008). *Atlas de energia elétrica do Brasil* (3a ed.). Brasília, Brasil: ANEEL.
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2016). *Cadernos Temáticos: Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica* (2a ed.). Brasília, Brasil: ANEEL.
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2019, junho). *Relatório: Perdas de Energia Elétrica na Distribuição* (Edição 1/2019). Brasília, Brasil: ANEEL.

- Alencar, A.A.R., Fº., Carvalho, P.C.M., & Dupont, I. (2018, abril). *Influência da distância de painéis fotovoltaicos em relação à água sobre a eficiência energética*. Artigo apresentado no VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, Brasil.
- Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (2012, junho). *Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira*. Retirado do <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>
- Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia & IBOPE Inteligência. (2018). *Pesquisa de Opinião Pública: Energia Elétrica*. Retirado do <http://www.queroenergialivre.com.br/wp-content/uploads/2018/08/Ibope-Abraceel-2018.pdf>
- Assunção, J., & Schutze, A. (2017). *Developing Brazil's Market for Distributed Solar Generation. Policy Brief*. Retirado do <https://climatepolicyinitiative.org/publication/developing-brazils-market-distributed-solar-generation/>
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2018, abril). *Perspectivas DEPEC 2018 - O Crescimento da Economia Brasileira 2018-2023*. Retirado do [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14760/1/Perspectivas%202018-2023\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14760/1/Perspectivas%202018-2023_P.pdf)
- Basav, S. (2017, April). *How States Can Boost Renewables, With Benefits for All*. Retirado do <https://ips-dc.org/wp-content/uploads/2017/04/RPS-Report.pdf>
- Bezerra, H. (2013). O Setor Elétrico na Espanha e no Brasil: Uma perspectiva comparada dos processos de liberalização. *Revista Brasileira de Energia*, 19 (1), 91-115.
- British Petroleum. (2018). *BP Energy Outlook: Considerações sobre o Brasil*. Retirado do: [https://www.bp.com/content/dam/bp-country/pt\\_br/PDFs/bp-energy-outlook-2018-country-insight-brazil\\_port.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp-country/pt_br/PDFs/bp-energy-outlook-2018-country-insight-brazil_port.pdf), acessado em 10.04.2019.
- Burger, S., Jenkins, J., Huntington, S., & Pérez-Arriaga, I. (2019). Why distributed? A critical review of the tradeoffs between centralized and decentralized resources. *IEEE Power and Energy Magazine*, 17 (2), 16-24. Retirado do [https://www.ieee.org/ns/periodicals/PES/Articles/PE\\_MarApr2019\\_Burger.pdf](https://www.ieee.org/ns/periodicals/PES/Articles/PE_MarApr2019_Burger.pdf)

- California Public Utilities Commission Energy Division. (2019, April). *California Electric and Gas Utility Cost Report. AB 67 Annual Report to the Governor and Legislature*. Retirado do [https://www.cpuc.ca.gov/uploadedFiles/CPUCWebsite/Content/About\\_Us/Organization/Divisions/Office\\_of\\_Governmental\\_Affairs/Legislation/2019/2018%20AB%2067%20Report.pdf](https://www.cpuc.ca.gov/uploadedFiles/CPUCWebsite/Content/About_Us/Organization/Divisions/Office_of_Governmental_Affairs/Legislation/2019/2018%20AB%2067%20Report.pdf)
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. (2018, junho). *Obrigações Fiscais na Comercialização de Energia : Consumidores Livres e Especiais* (Cartilha Versão 3). Retirado do [https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE\\_382025](https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_382025)
- Camilo, H.F., Udaeta, M.E.M., Gimenes, A.L.V., & Grimoni, J.A.B. (2017). Assessment of photovoltaic distributed generation – Issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 712–719. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.099>
- Castro, N., & Rosental, R. (2016, setembro). O Estado e o Setor Elétrico Brasileiro. *Jornal dos Economistas*, 326, 4-5. Retirado do <https://www.corecon-rj.org.br/jornal.php?a=2016>
- Castro, N., Castro, G., Ferreira, D., Tommasso, F., & Morai, R. (2018, janeiro). *Impactos Sistêmicos da Micro e Minigeração Distribuída* (TDSE N° 79). Retirado do [http://www.gesel.ic.ufrj.br/app/webroot/files/publications/46\\_tdse79.pdf](http://www.gesel.ic.ufrj.br/app/webroot/files/publications/46_tdse79.pdf)
- Dantas, S., & Pompermayer, F. (2018, maio). *Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil e Possíveis Efeitos no Setor Elétrico* (TD 2388). Brasília, Brasil: IPEA.
- Daymark Energy Advisors, RLC Engineering & ESS Group. (2018, November). *Benefits and Costs of Utility Scale and Behind The Meter Solar Resources in Maryland. Final Report*. Retirado do <https://cleantechnica.com/files/2018/11/MDVoSReportFinal11-2-2018.pdf>
- Dias, C.L.A., Branco, D.A.C., Arouca, M.C., & Legey, L.F.L. (2017). Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil. *Renewable Energy*, 114(B), 367 - 375. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.033>

- Diniz, A., Mendonça, M., Almeida, F., Costa, D., & Alvarenga, C. (1998). Current Status and prospects of the photovoltaic rural program in the state of Minas Gerais in Brazil. *Progress in Photovoltaics Research and Applications*, 6(5), 365 – 377.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2014). *Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos* (Nota Técnica DEA 19/14). Rio de Janeiro, Brasil: EPE.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2018, setembro). *Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050* (Nota Técnica PR/04/18). Retirado do <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2018a, 17 de outubro). *Projetos Fotovoltaicos nos Leilões de Energia – Características dos empreendimentos participantes nos leilões de 2013 e 2018*. (No EPE-DEE-NT-091/2018-r0). Brasília, Brasil: EPE.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2018b, dezembro). *Cenários de Demanda para o PNE 2050* (Relatório Parcial 2). Retirado do <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2018c). *Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética* (Nota Técnica EPE 030/2018). Retirado do <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2019). *Balanço Energético Nacional 2019: Ano Base 2018*. Rio de Janeiro, Brasil: EPE.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2019a). *BEN - Séries Históricas Completas: Oferta e demanda de energia por fonte. 1970 a 2018* (Cap.2). Retirado do <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>
- Empresa de Pesquisas de Energia. (2019b, 28 de junho). *Informe Leilões de Geração de Energia Elétrica. Leilão de Geração A-4/2019*. Rio de Janeiro, Brasil: EPE.

- Empresa de Pesquisa Energética. (2019c, dezembro). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019: Ano base 2018*. Rio de Janeiro, Brasil: EPE.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2019d). *Resposta da Demanda: Conceitos, Aspectos Regulatórios e Planejamento Energético* (Nota Técnica N° EPE-DEE-NT-022/2019-r0). Retirado do [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-389/NT\\_EPE\\_DEE-NT-022\\_2019-r0.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-389/NT_EPE_DEE-NT-022_2019-r0.pdf)
- Ernst & Young, & Solar Power Europe. (2017). *Solar PV Jobs & Value Added in Europe*. Retirado do <https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/08/Solar-PV-Jobs-Value-Added-in-Europe-November-2017.pdf>
- Esposito, A.S. (2012). *O setor elétrico brasileiro e o BNDES: reflexões sobre o financiamento aos investimentos e perspectivas*. Brasília, Brasil: BNDES.
- Farrell, J. (2016). *Is Bigger Best in Renewable Energy?* Retirado do <https://ilsr.org/wp-content/uploads/2016/12/Is-Bigger-Best-in-Renewable-Energy-Report-Final.pdf>
- Faria, H., Jr., Trigos, F.B.M., & Cavalcanti, J.A.M. (2017). Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 469–475. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.076>
- Ferreira, A., Kunh, S.S., Fagnania, K.C., Souza, T.A., Tonezerc, C., Santos, G.R., & Coimbra-Araújo, C.H. (2018). Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 181-191. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.102>
- Fichter, T., Soria, R., Szklo, A., Schaeffer, R., & Lucena, A. (2017). Assessing the potential role of concentrated solar power (CSP) for the northeast power system of Brazil using a detailed power system model. *Energy*, 121, 695-715. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.012>

- Frankfurt School of Finance and Management, UN Environment Programme & Bloomberg New Energy Finance. (2018). *Global Trends in Renewable Energy Investment 2018*. Retirado do [https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2019/11/Global\\_Trends\\_Report\\_2018.pdf](https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2019/11/Global_Trends_Report_2018.pdf)
- Frate, C., & Brannstrom, C. (2017). Stakeholder subjectivities regarding barriers and drivers to the introduction of utility-scale solar photovoltaic power in Brazil. *Energy Policy*, 111(C), 346-352. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.09.048>
- Fu, R., Feldman, D., & Margolis, R. (2018, November). *U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018* (Technical Report NREL/TP-6A20-72399). Retirado do <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72399.pdf>
- Galdino, M.A., & Olivieri, M.M.A. (2016, abril). *Considerações sobre a implantação de sistemas fotovoltaicos flutuantes no Brasil*. Artigo apresentado no VI Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belo Horizonte, Brasil.
- Garcez, C.G. (2017). Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design, and impact. *Utilities Policy*, 49, 104-115. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.06.005>
- Goldenberg, J., & Prado, L. (2003, novembro). Reforma e crise do setor elétrico no período FHC. *Tempo Social*, 15 (2), 219-235.
- Gomes, P.V., Knab, N., Neto; Carvalho, L., Sumaili, J., Saraiva, J.T., Dias, B.H., Miranda, V. & Souza, S.M. (2018). Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues. *Energy Policy*, 115, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.014>
- Greenpeace Brasil. (2016). *Alvorada :Como o incentivo à energia solar fotovoltaica pode transformar o Brasil*. Retirado do [https://storage.googleapis.com/planet4-brasil-stateless/2018/07/Relatorio\\_Alvorada\\_Greenpeace\\_Brasil.pdf](https://storage.googleapis.com/planet4-brasil-stateless/2018/07/Relatorio_Alvorada_Greenpeace_Brasil.pdf)
- Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murthy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, E.B., Allen, C.W., ... Allen, M.F. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar

- energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 766-779.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>
- Holdermann, C., Kissel, J., & Beigel, J. (2014). Distributed photovoltaic generation in Brazil: An economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. *Energy Policy*, 67, 612–617.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.064>
- Hosenuzzaman, M., Rahim, N.A., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A.B.M.A., & Nahar, A. (2015). Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.046>
- Interligação Elétrica do Madeira. (2018, 31 de dezembro). *Relatório da Administração: Demonstrações Contábeis Regulatórias: DCR: IE Madeira*. Retirado do <http://www.isactep.com.br/ri/informacoes-financeiras/demonstracoes-das-subsidiarias>
- Instituto Ideal & Câmara de Comercio Indústria Brasil-Alemanha. (2018). *O mercado brasileiro de geração distribuída FV* (5 ed.). Retirado do <https://institutoideal.org/o-mercado-brasileiro-de-geracao-distribuida-fotovoltica-edicao-2018/>
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (2019, maio). *Carta de Conjuntura: 1º Trimestre de 2019: Atividade econômica: desempenho do PIB* ( n° 42, Seção VI). Retirado do [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/conjuntura/190228\\_cc42\\_desempenho\\_do\\_pib.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/conjuntura/190228_cc42_desempenho_do_pib.pdf)
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento & Fundação João Pinheiro. (2019a). *Radar IDHM: evolução do IDHM e de seus índices componentes no período de 2012 a 2017*. Retirado do [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/190416\\_rada\\_IDHM.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/190416_rada_IDHM.pdf)
- International Energy Agency. (2018). *Renewables 2018. Market analysis and forecast from 2018 to 2023. Executive Summary*. Retirado do

<https://webstore.iea.org/download/summary/2312?fileName=English-Renewables-2018-ES.pdf>

International Energy Agency. (2018a). *Photovoltaic Power Systems Programme – Annual Report, 2018*. Retirado do [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/FINAL\\_Annual\\_Report\\_2018-web\\_2019-05-24.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/FINAL_Annual_Report_2018-web_2019-05-24.pdf)

International Energy Agency. (2018b). *Trends 2018 in Photovoltaic Applications: Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2017* (Report IEA PVPS T1-34:2018). Retirado do [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/2018\\_iea-pvps\\_report\\_2018.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/2018_iea-pvps_report_2018.pdf)

International Energy Agency. (2019). *Global Energy & CO2 Status Report - The latest trends in energy and emissions in 2018*. Retirado do <https://webstore.iea.org/global-energy-co2-status-report-2018>

International Energy Agency. (2019a). *CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights*. Retirado do [https://webstore.iea.org/download/direct/2521?fileName=CO2\\_Emissions\\_from\\_Fuel\\_Combustion\\_2019\\_Highlights.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2521?fileName=CO2_Emissions_from_Fuel_Combustion_2019_Highlights.pdf)

International Monetary Fund. (2020a, June). *World Economic Outlook Update: A Crisis Like No Other, An Uncertain Recovery*. Retirado do <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/06/24/WEOUpdateJune2020>

International Renewable Energy Agency. (2019). *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2019*. Retirado do <https://www.irena.org/publications/2019/Jun/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2019>

International Renewable Energy Agency. (2019a, May). *Renewable Power Generation Costs in 2018*. Retirado do [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA\\_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf)

- Jannuzzi, G., & Melo, C. (2013). Grid-connected photovoltaic in Brazil: Policies and potential impacts for 2030. *Energy for Sustainable Development*, 17, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.10.010>
- Jong, A., Sánchez, A.S., Esquerre, K., Kalid, R.A., & Torres, E.A. (2013). Solar and wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 526-535. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.050>
- Lazard. (2019, November). *Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis. Version 13.0*. Retirado do <https://www.lazard.com/media/451086/lazards-levelized-cost-of-energy-version-130-vf.pdf>
- MacDonald, A., Clack, C., Alexander, A., Dunbar, A., Wilczak, J., & Xie, Y. (2016). Future cost-competitive electricity systems and their impact on US CO<sub>2</sub> emissions. *Nature Climate Change*, 6, 526–531. <https://doi.org/10.1038/nclimate2921>
- Malagueta, D., Szklo, A., Soria, R., Dutra, R., Schaeffer, R., Moreira, B., & Borba, C. (2014). Potential and impacts of Concentrated Solar Power (CSP) integration in the Brazilian electric power system. *Renewable Energy*, 68, 223-235. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.050>
- Martins, F.R., Pereira, E.B, Silva, S.A.B, Abreu, S.L., & Colle, S. (2008). Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment. *Energy Policy*, 36 , 2853–2864. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.014>
- Martins, F.R., Rüther, R., Pereira, E.B., & Abreu, S.L. (2008a). Solar energy scenarios in Brazil. Part two: Photovoltaics applications. *Energy Policy*, 36, 2865– 2877. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.04.001>
- Martín-Martínez, F., Sánchez-Miralles, A., Rivier, M., & Calvillo, C. (2017). Centralized vs distributed generation. A model to assess the relevance of some thermal and electric factors. Application to the Spanish case study. *Energy*, 134, 850- 863. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.055>

- Massachusetts Institute of Technology. (2016, December). *Utility Of The Future. An MIT Energy Initiative response to an industry in transition*. Retirado do <http://energy.mit.edu/research/utility-future-study>
- Ministério da Economia. (2020, janeiro). *Boletim Macrofiscal da SPE*. Brasília, Brasil: ME/SPE. Retirado do <http://www.economia.gov.br/central-de-conteudos/publicacoes/relatorios/2020/boletim-macrofiscal-janeiro2020.pdf/view>
- Ministério do Meio Ambiente. (n.d.). *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada*. Retirado do [https://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/BRASIL\\_iND C\\_portugues.pdf](https://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/BRASIL_iND C_portugues.pdf)
- Ministério do Meio Ambiente. (2006). *Caderno setorial de recursos hídricos: geração de energia hidrelétrica*. Retirado do [https://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao23022011031204.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao23022011031204.pdf)
- Ministério de Minas e Energia. (2019, dezembro). *Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro: Dezembro/2019*. Retirado do <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2019>
- Ministério de Minas e Energia. (2019a, janeiro). *Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro: Janeiro/2019*. Retirado do <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2019>
- Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética. (2020). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2029*. Brasília: MME/EPE.
- Ministério do Turismo & Fundação Getúlio Vargas. (2017, novembro). *Sondagem do consumidor - Intenção de viagem, novembro 2017* (Sumário Executivo). Retirado do <http://www.dadosfatos.turismo.gov.br/sondagens-conjunturais/sondagem-do-consumidor-inten%C3%A7%C3%A3o-de-viagem.html>

- Miranda, R.F.C., Szklo, A., & Roberto Schaeffer, R.. (2015) Technical-economic potential of PV systems on Brazilian rooftops. *Renewable Energy*, 75, 694 – 713. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.037>
- Mitscher, M. & Rüther, R.. (2012). Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. *Energy Policy*, 49, 688–694. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.009>
- Observatório do Clima & Instituto de Energia e Meio Ambiente. (2018). *Emissões dos Setores de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos. 2018 Documento de Análise*. Retirado do <http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2018/01/Emissoes-dos-Setores-de-Energia-e-Processos-Industrias-Documento-de-Analise-2018.pdf>
- Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2019, junho). *Relatório da síntese da apuração mensal de serviços e encargos da transmissão: maio/2019* (ONS DTA/SA-042/2019). Retirado do [http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/SEAMSE\\_201905.pdf](http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/SEAMSE_201905.pdf)
- Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2019a). *Plano de Ampliações e Reforços nas Instalações de Transmissão (PAR) 2019-2023*. Retirado do [http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim%20T%C3%A9cnico%202%C2%AARQ\\_FINAL.PDF](http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim%20T%C3%A9cnico%202%C2%AARQ_FINAL.PDF)
- Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2020a, janeiro) . *Boletim Mensal de Geração Solar Fotovoltaica. Dezembro/2019*. Retirado do <http://www.ons.org.br/paginas/conhecimento/acervo-digital/documentos-e-publicacoes>
- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (2018, fevereiro). *Relatórios Econômicos OCDE – Brasil*. Retirado do <https://www.oecd.org/eco/surveys/Brazil-2018-OECD-economic-survey-overview-Portuguese.pdf>
- Pereira, E.B, Martins, F.R., Abreu, S.L. & Rüther, R..(2006). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. São José dos Campos, Brasil: INPE.

- Pereira, E.B, Martins, F.R., Gonçalves, A.R., Costa, R.S., Lima, F.J.L., Rütther, R., ... Souza, J.G. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar* (2a ed.) São José dos Campos, Brasil: INPE.
- Pillot, B., Siqueira, S., & Dias, J. (2018). Grid parity analysis of distributed PV generation using Monte Carlo approach: The Brazilian case. *Renewable Energy*, 127(C), 974-988. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.032>
- Pinho, J.T & Galdino, M.A. (Orgs.). (2014, março). *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, Brasil: CEPEL/CRESESB.
- Powers, B. (2010, June 10). *On Behalf of Center for Biological Diversity Comments of Bill Powers, P.E. on Eldorado-Ivanpah Transmission Project Draft Eir/Eis*. Retirado do [https://www.cpuc.ca.gov/environment/info/ene/ivanpah/DEIR\\_EIS/Comments/CBD\\_Bill\\_Powers\\_Comment\\_Letter.pdf](https://www.cpuc.ca.gov/environment/info/ene/ivanpah/DEIR_EIS/Comments/CBD_Bill_Powers_Comment_Letter.pdf)
- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente & Organização do Tratado de Cooperação Amazônica. (2008). *Geo Amazônia –Perspetivas do Meio Ambiente na Amazônia*. Retirado do [https://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/\\_arquivos/geoamaznia\\_28.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/geoamaznia_28.pdf)
- Ramos, C., Ruiz, E.T.N.F., Bicalho, F.W., Barbosa, J.M., Barros, L.V., & Rabassa, M.M.M. (2018). *Cadeia de Valor da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil - Projeto Plataforma*. Brasília, Brasil: SEBRAE.
- Rocky Mountain Institute. (2013). *A Review of Solar PV Benefit & Cost Studies* (2nd ed.). Boulder, CO:RMI.
- Rütther, R., Bazzo, E. & Martins, D. (2000). *Hybrid Diesel/Photovoltaics Systems Without Storage for Isolated Mini-Grids in Northern Brazil*. Comunicação apresentada no 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2000, Anchorage, Alaska.
- Rütther, R., Knob, P.J., Jardim, C.S., & Rebechi, S.H. (2008). Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil. *Energy Conversion and Management*, 49 (5), 1074-1079. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.09.020>

- Sacramento, E.M., Carvalho, P.C.M., de Araújo, J.C., Riffel, D., Corrêa, R., & Pinheiro, J.S; Neto. (2015). Scenarios for use of floating photovoltaic plants in Brazilian reservoirs. *Institute of Engineering and Technology: Renewable Power Generation*, 9(8), 1019-1024. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0120>
- Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 815-824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>
- Santos, L., & Bernardon, L. (2018). Projection of the diffusion of photovoltaic systems in residential low voltage consumers. *Renewable Energy*, 116(A), 384-401. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.088>
- Silva, P., Dantas, G., Pereira, G., & Câmara, L. (2019). Photovoltaic distributed generation – An international review on diffusion, support policies, and electricity sector regulatory adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.028>
- Siffert, N.F., Fº, Almeida, L., Chagas, A.E.B., Szuster, F.R., & Sussekind, C.S. (2019, março). *O Papel do BNDES na Expansão do Setor Elétrico Nacional e o Mecanismo de Project Finance*. Rio de Janeiro, Brasil: BNDES.
- Solar Power Europe. (2018). *Global Market Outlook For Solar Power: 2018-2022* <https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Global-Market-Outlook-2018-2022.pdf>
- Soria, R., Portugal-Pereira, J., Szklo, A., Milani, R., & Schaeffer, R.. (2015). Hybrid concentrated solar power (CSP): biomass plants in a semiarid region: A strategy for CSP deployment in Brazil. *Energy Policy*, 86, 57–72. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.028>
- Souza, L., & Cavalcante, A. (2017). Concentrated Solar Power deployment in emerging economies: The cases of China and Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1094–1103. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.027>

- Sun, B., Yu, Y. & Qin, C. (2017). Should China focus on the distributed development of wind and solar photovoltaic power generation? A comparative study. *Applied Energy*, 185(P1), 421-439. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.004>
- The Solar Foundation. (2019). *National Solar Jobs Census 2018*. Retirado do <https://www.seia.org/research-resources/solar-jobs-census-2018>
- Tiba, C. (Coord.). (2000). *Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos*. Recife, Brasil: UFPE.
- Tolmasquim, M.T. (Coord.). (2016). *Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica*. Rio de Janeiro, Brasil: EPE.
- Tomaschek, J., Haasz, T., & Fahl, U. (2016, May). *Concentrated solar power generation: Firm and dispatchable capacity for Brazil's solar future?* Artigo apresentado na SOLARPACES 2015: International Conference on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems. Cidade do Cabo, África do Sul.
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33, 289–296. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6)
- Tsuchida, B., Sergici, S., Mudge, B., Gorman, W., Penner, P., & Schoene, J. (2015, July). *Comparative Generation Costs of Utility-Scale and Residential Scale PV in Xcel Energy Colorado's Service Area*. Retirado do. <https://www.brattle.com/news-and-knowledge/publications>
- United Nations. (2014, February 14). *Open Working Group on Sustainable Development Goals (OWG) Statistical note for the issue brief on Energy*. Retirado do <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2678stat9.pdf>
- U.S. Energy Information Administration. (2019, January). *Annual Energy Outlook 2019 with projections to 2050*. Washington, DC:EIA.
- Vale, A., Felix, D., Fortes, M., Borba, B., Dias, B., & Santelli, B. (2017). Analysis of the economic viability of a photovoltaic generation project applied to the Brazilian

- housing program “Minha Casa Minha Vida”. *Energy Policy*, 108, 292-298. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.001>
- Passey, R., Watt, M., Bruce, A., & MacGilla, I. (2018). Who pays, who benefits? The financial impacts of solar photovoltaic systems and air-conditioners on Australian households. *Energy Research & Social Science*, 39, 198-215. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.018>
- Valente, L., & Almeida, S. (1998). Economic Analysis of Diesel/Photovoltaic Hybrid System for Decentralized Power Generation in northern Brazil. *Energy Journal*, 23 (4), 317-323. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(97\)00094-7](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(97)00094-7)
- Velloso, R., Freitas, P.S., & Abbud, O. (2014). *Energia elétrica a caminho do estrangulamento*. Rio de Janeiro, Brasil: Fórum Nacional/INAE.
- Viana, M.S., Manassero, G, Jr., & Udaeta, M.E.M. (2018). Analysis of demand response and photovoltaic distributed generation as resources for power utility planning. *Applied Energy*, 217, 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.153>
- Viana, T., Rüther, R., Martins, F. & Pereira, E. (2011). Assessing the potential of concentrating solar photovoltaic generation in Brazil with satellite-derived direct normal irradiation. *Solar Energy*, 85, 486-495. doi: 10.1016/j.solener.2010.12.015
- Villalva, M.G., & Gazoli, J. R. (2015). *Energia Solar Fotovoltaica. Conceitos e Aplicações. Sistemas Isolados e Conectados à Rede* (2a.ed.). São Paulo, Brasil: Érica
- Viscondi, G., Ferreira, A., Silva, A. & Cunha, K. (2016). *Termoeletricidade em Foco: Uso de água em Termoeletricas*. São Paulo, Brasil: IEMA.
- World Bank. (2017, November). *A fair adjustment : efficiency and equity of public spending in Brazil : Volume I : Overview (Portuguese)*. Washington D.C.: World Bank.
- World Bank. (2019a, December). *Gross Domestic product 2018*. Retirado do: <https://databank.worldbank.org/data/download/GDP.pdf>
- Zero, Norwegian Church Aid & The Norwegian Solar Energy Cluster. (2019, April). *Cheaper, faster, cleaner – Speeding up distributed solar solutions to meet development and*

*climate goals.* Retirado do [https://zero.no/wp-content/uploads/2019/06/190011\\_Cheaper-Faster-Cleaner\\_Distributed-solar-report.pdf](https://zero.no/wp-content/uploads/2019/06/190011_Cheaper-Faster-Cleaner_Distributed-solar-report.pdf)

Yang, H., Huang, X., & Thompson, J.R. (2014). Tackle pollution from solar panels. *Nature*, 509, 563. <https://doi.org/10.1038/509563c>