

Universidade de São Paulo
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto
Departamento de Administração
Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações

João Vitor Assad Santiago

**O mercado emergente de energia solar fotovoltaica no Brasil entre 2012 e
2018: avanços, desafios e perspectivas**

Orientador: Prof. Dr. Rogério Cerávolo Calia

Ribeirão Preto

2019

Prof. Dr. Vahan Agopyan
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. André Lucirton Costa
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Jorge Henrique Caldeira de Oliveira
Chefe do Departamento de Administração FEA-RP

JOÃO VITOR ASSAD SANTIAGO

**O MERCADO EMERGENTE DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL
ENTRE 2012 E 2018: AVANÇOS, DESAFIOS E PERSPECTIVAS**

Versão Corrigida

A versão original se encontra disponível na biblioteca da Faculdade de Economia e Administração de Ribeirão Preto (FEA-USP/RP) e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD)

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para obtenção de grau de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Cerávolo Calia

Ribeirão Preto

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Santiago, João Vitor Assad

O mercado emergente de energia solar fotovoltaica no Brasil entre 2012 e 2018: avanços, desafios e perspectivas / João Vitor Assad Santiago – Ribeirão Preto, 2019.

123 p. : il.

Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo, 2019
Orientador: Prof. Dr. Rogério Cerávolo Calia.

1. Solar Fotovoltaica. 2. Energia Renovável. 3. Filosofia da Energia. 4. Sustentabilidade. 5. Transição Energética Global. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto.

Nome: SANTIAGO, João Vitor Assad

Título: O mercado emergente de energia solar fotovoltaica no Brasil entre 2012 e 2018: avanços, desafios e perspectivas

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo

Aprovado em 24 de janeiro de 2020

Banca Examinadora

Membro: Prof. Dr. Fernando Ramos Martins

Instituição: Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP

Julgamento: Aprovado

Membro: Prof.^a Dra. Perla Calil Pongeluppe Wadhy Rebehy

Instituição: Universidade de São Paulo – USP

Julgamento: Aprovado

Membro: Prof. Dr. André Coimbra Felix Cardoso

Instituição: Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Julgamento: Aprovado

Dedico este trabalho ao meu filho Caetano e à minha esposa Anna Carla, pela força que me dão todos os dias e pelas inúmeras vezes que já me fizeram sorrir.

Agradeço à minha mãe (Nádia) por ter me incentivado, desde sempre, a estudar, me apoiando mesmo nos momentos mais difíceis. Sou eternamente grato. À minha irmã Diana, pela parceria incondicional e, também, por ter me auxiliado nas traduções literárias durante todo o meu ciclo acadêmico. Ao meu orientador, Rogério Calia, por ter me oferecido todo o suporte necessário para a realização deste trabalho, tornando isso possível. Aos meus professores, todos eles, por terem aberto pra mim as portas e as janelas do conhecimento. Aos meus amigos que, de certa forma, também são meus professores e, em especial, ao Wagner da Silva Campos (o Gandhi), pela contribuição neste trabalho. À minha esposa, pela compreensão, dedicação e carinho. E ao meu filho, por ser luz no meu caminho. Muito obrigado!

“Em algum lugar, algo extraordinário está esperando para ser descoberto” (Carl Sagan).

O MERCADO EMERGENTE DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL ENTRE 2012 E 2018: AVANÇOS, DESAFIOS E PERSPECTIVAS

RESUMO

No presente estudo, é conduzida uma pesquisa exploratória descritiva que aborda diferentes temas relacionados ao mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica (FV) dentro do contexto da Transição Energética Global, a fim de identificar os principais avanços e desafios do setor fotovoltaico nacional durante os tempos atuais e sugerir caminhos possíveis para o desenvolvimento da tecnologia solar no país, levando em consideração a busca por uma segurança energética futura e uma filosofia do uso da energia mais sustentável.

Os principais resultados encontrados na pesquisa apontaram para um grande número de desafios relacionados ao avanço das fontes renováveis modernas de energia dentro da matriz energética global e para a consolidação da fonte solar FV como uma das principais fontes renováveis modernas no mundo durante a última década.

Estes resultados mostraram ainda que, apesar de distante dos principais líderes globais de produção de energia solar FV, o Brasil tem se destacado na adição de nova capacidade FV desde 2017. O resultado positivo se deve, entre outras razões, à inserção, em 2013, da fonte solar no sistema de grandes leilões de contratação de eletricidade renovável por geração centralizada, e do marco regulatório de micro e mini geração de eletricidade distribuída que tornou possível, desde 2012, a aplicação de sistemas FV conectados à rede no país.

O estudo também aborda os conflitos, principalmente dentro do campo regulatório de energia elétrica no país, cujas soluções devem ser cruciais para o desenvolvimento futuro do setor fotovoltaico brasileiro.

Palavras-Chave: 1. Solar Fotovoltaica. 2. Energia Renovável. 3. Filosofia da Energia. 4. Sustentabilidade. 5. Transição Energética Global.

THE EMERGING PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY MARKET IN BRAZIL BETWEEN 2012 AND 2018: ADVANCES, CHALLENGES AND PROSPECTS

ABSTRACT

The present study conducts a descriptive exploratory research that addresses different topics related to the Brazilian photovoltaic solar energy (PV) market within the context of the Global Energy Transition, in order to identify the main advances and challenges of the Brazilian photovoltaic sector during the current times and suggest possible ways for the development of solar technology in the country, taking into consideration the search for future energy security and a philosophy of more sustainable energy use.

The main results found during this research indicate a large number of challenges related to the advancement of modern renewable energy sources within the global energy matrix and to the consolidation of the solar PV source as one of the main modern renewable sources in the world during the last decade.

The results have also shown that Brazil, despite being distant from the main global leaders in the production of solar PV energy, has stood out in the addition of new PV capacity since 2017, which is due to the insertion of the solar source in the system of large auctions for contracting renewable electricity by centralized generation in 2013, and also to the regulatory framework for micro and mini generation of distributed electricity that, since 2012, has made it possible to apply PV systems connected to the grid in the country.

The study also addresses conflicts, mainly within the electric energy regulatory field in the country, whose solutions must be crucial for the future development of the Brazilian photovoltaic sector.

Key words: 1. Photovoltaic. 2. Renewable Energy. 3. Philosophy of Energy. 4. Sustainability. 5. Global Energy Transition.

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGD	Associação Brasileira de Geração Distribuída
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
BERD	Banco Europeu de Reconstrução e Desenvolvimento
BIG	Banco de Informações de Geração
BMWi	Ministério da Economia e Tecnologia da Alemanha
BNEF	Bloomberg New Energy Finances
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEP	Portal de Energia da China (<i>China Energy Portal</i>)
CFTE	Consumo Final Total de Energia
CO²	Dióxido de Carbono
CPIA	Associação da Indústria Fotovoltaica da China
CSP	Energia Solar Concentrada
EE	Energia Elétrica
EEG	Lei de Fontes de Energia Renovável da Alemanha
EER	Energia Elétrica Renovável
EIA	Administração de Informações sobre Energia dos EUA
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
EPIA	Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica
ER	Energia Renovável
EREC	Conselho Europeu de Energias Renováveis
FMI	Fundo Monetário Internacional
FV	Fotovoltaica
GEM	Monitor Global de Energia (<i>Global Energy Monitor</i>)
GW	Gigawatt
IEA	Agência Internacional de Energia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRENA	Agência Internacional para as Energias Renováveis
KfW	Banco de Desenvolvimento Alemão
kW	Quilowatt
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
NEA	Agência Nacional de Energia da China
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PVPS	Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica
REA	Agência de Energias Renováveis da Alemanha
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
SEIA	Associação das Indústrias de Energia Solar dos EUA
SPE	Solar Power Europe
TE	Tarifa de Energia
TEG	Transição Energética Global
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
W	Watt (unidade de medida)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA GLOBAL	5
1.1 O Papel das Renováveis na TEG	8
1.2 Um Fenômeno Global	15
1.3 O Papel dos Emergentes (e dos países em desenvolvimento) na TEG	18
1.4 A TEG na Ciência.....	23
1.5 Longe de ser uma unanimidade	24
2. UMA HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	30
3. A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO.....	36
3.1 Novos Investimentos e a Capacidade Produtiva da Fonte Solar entre 2008 e 2018	36
3.2 A Redução nos Custos da Energia Solar	40
3.3 Uma Breve Análise do Mercado Global de Energia Solar FV entre 2008 e 2018.....	44
3.4 Os Maiores Produtores de Energia Solar Fotovoltaica no Mundo.....	47
3.4.1 China.....	49
3.4.2 EUA.....	55
3.4.3 Japão	61
3.3.4 Alemanha	65
4. A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL	77
4.1 A Oferta e o Consumo de Energia no Brasil entre 2009 e 2018, um breve resumo.	79
4.2 As Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015	87
4.3 A Geração Distribuída no Brasil.....	90
4.4 Um Impasse No Campo Regulatório	96
4.5 A Energia Solar FV e a Geração Centralizada no Brasil entre 2012 e 2018.....	102
4.6 Outros Conflitos e as Perspectivas do Mercado Brasileiro de Energia Solar FV	104
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES	109
6. LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
APÊNDICE – Entrevistas com as Partes Seleccionadas.....	122

O MERCADO EMERGENTE DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL ENTRE 2012 E 2018: AVANÇOS, DESAFIOS E PERSPECTIVAS

INTRODUÇÃO

As energias renováveis, entre elas a energia solar fotovoltaica (FV), fazem parte de um processo de transição mundial em busca do desenvolvimento sustentável. No Brasil, notáveis esforços por parte de órgãos públicos e organizações privadas fortaleceram o mercado solar fotovoltaico ao longo da última década. Segundo os dados do Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME), o potencial técnico de geração de energia da fonte solar no país supera o de todas as outras fontes somadas.

Potencialmente, seria possível abastecer metade da população brasileira com eletricidade somente através da fonte solar¹.

Mesmo com os estímulos mais recentes e o enorme potencial brasileiro para a geração elétrica através dessa fonte renovável de energia, o país ainda se encontra distante dos principais líderes globais do setor solar. Até 2016, o Brasil não figurava entre os quarenta maiores produtores de energia fotovoltaica no mundo.

Mas, se por um lado o país está longe de alcançar os primeiros lugares no mercado fotovoltaico global e ainda explora pouco do seu grande potencial técnico, por outro lado, vivencia, desde 2017, um expressivo crescimento nos setores de energia solar fotovoltaica, que lhe rendeu um papel de destaque dentro do atual cenário fotovoltaico internacional.

O Brasil está entre os quinze países que mais adicionaram energia solar fotovoltaica no mundo nos últimos dois anos (2017 e 2018), tendo instalado mais de 1 GW de potência solar a cada ano. Atualmente, em 2019, o país figura entre os trinta maiores produtores de energia FV, bem próximo de ocupar um lugar entre os vinte maiores produtores globais. (SPE, 2019; IEA, 2019; BIG, 2019)

O presente trabalho tem como objetivo investigar as razões pelas quais o mercado solar fotovoltaico brasileiro encontra-se nesse período de expansão, buscando descrever o desenvolvimento do ramo solar no país, no período entre 2012 e 2018 e apontando as

¹ Informação constante no Plano Nacional de Energia – 2050, na seção de Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte de 2050, da Empresa de Pesquisas Energéticas, órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME), publicado em setembro de 2018. Acessado em 23/09/2019 em <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>.

principais barreiras e oportunidades para o setor, na visão dos próprios *stakeholders*, analisadas também sob a ótica da sustentabilidade e levando em consideração o contexto global no qual esse mercado está inserido. Para isso, o método científico adotado no trabalho o define como uma pesquisa exploratória descritiva e pode ser dividido em duas etapas que se entranham no decorrer do texto.

Por um lado, foi feita uma pesquisa exploratória a fim de identificar e percorrer assuntos relevantes para o mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica. Os temas abordados vão, desde a atual transição energética global e o papel da fonte solar fotovoltaica nesse cenário de transformação, até a importância da tecnologia fotovoltaica diante dos paradigmas do desenvolvimento sustentável e os principais mercados FV do mundo, passando também pelos desafios e oportunidades das indústrias de energia renovável e algumas políticas públicas implantadas no Brasil entre 2012 e 2018.

Buscou-se ainda estabelecer um discurso que apresentasse diferentes pontos de vista presentes na literatura a respeito dos desafios e das perspectivas das tecnologias de energias renováveis no Brasil e no mundo, mais precisamente da energia solar fotovoltaica. A etapa de exploração de dados permitiu também reunir informações úteis para o processo de tomada de decisão dos agentes que atuam no setor fotovoltaico nacional e podem auxiliar de alguma forma nos processos decisórios.

Por outro lado, foram realizadas entrevistas não estruturadas com as partes interessadas selecionadas, na aspiração de compor um framework das principais barreiras e oportunidades enfrentadas hoje no mercado solar fotovoltaico brasileiro e a visão desses agentes em relação ao presente e ao futuro do setor. A idéia das entrevistas foi construir uma corrente de significados compartilhada capaz de compor o conteúdo do trabalho e embasar as conclusões e os resultados esperados, além de suprir a carência de publicações sobre o tema especificamente.

No decorrer das conversas com os *stakeholders*, conflitos existentes no setor fotovoltaico brasileiro puderam ser identificados, o principal deles no campo regulatório. Ao analisar e dialogar sobre esses conflitos espera-se dar luz a caminhos possíveis para a resolução de tais dissensões, auxiliando assim no desenvolvimento do setor fotovoltaico e levando ao exame a sua importância na segurança energética nacional e no alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável.

O trabalho está dividido em seis capítulos, com subdivisões de acordo com a necessidade de cada assunto. Nessa introdução, buscou-se apresentar, além da estrutura geral

do trabalho, a metodologia e as justificativas de sua realização, bem como os objetivos principais da pesquisa.

No capítulo inicial, é introduzido um diálogo a respeito do fenômeno da Transição Energética Global observada no mundo hoje, com a apresentação de alguns pontos de vista sobre o tema dentro do campo científico. Nesta etapa, foram abordados os papéis das energias renováveis (ER's) e dos países emergentes nesta transformação, de uma forma geral, e o papel específico da fonte solar FV no cenário metamórfico.

O segundo capítulo narra de forma concisa uma história da energia solar fotovoltaica e seu desenvolvimento tecnológico ao longo do tempo, como forma de ambientalização do problema de pesquisa. O objetivo desta etapa é mostrar, desde a sua origem, a evolução prática de uma tecnologia que, além de ocupar hoje uma posição protagonista em pesquisas internacionais que prospectam um novo arranjo da matriz elétrica mundial para as próximas décadas - através de cenários possíveis da transição energética mundial -, também apresenta um setor de negócios robusto, promissor, globalizado e de notável complexidade, principalmente no que tange a discussão sobre o custo sistêmico da energia elétrica gerada no mundo hoje e a necessidade em atender as metas do Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2019).

Uma breve análise do mercado global de energia solar fotovoltaica durante as duas últimas décadas e um resumo do desenvolvimento da tecnologia solar nas quatro maiores nações produtoras de energia solar FV no mundo são descritos no terceiro capítulo. China, EUA, Japão e Alemanha, além de representarem atualmente as maiores capacidades produtivas de energia elétrica através da fonte solar, também se revezaram na liderança do mercado solar fotovoltaico global desde os anos de 1990 até os dias de hoje. Os principais pontos que fizeram desses países líderes no setor solar são analisados e discutidos nesse capítulo, que também permite - em alguns pontos - elaborar uma comparação do mercado solar fotovoltaico brasileiro e das políticas públicas de energia recém adotadas no Brasil com os desafios vividos por líderes globais no mercado solar de diferentes regiões do globo.

Em seguida, no quarto capítulo, uma análise descritiva percorre os avanços do mercado brasileiro de energia solar FV entre os anos de 2012 e 2018, discutindo sobre as políticas públicas mais relevantes que permearam essa evolução, bem como o papel da energia solar na matriz elétrica nacional hoje, desafios e barreiras enfrentados pelo setor fotovoltaico e as perspectivas do desenvolvimento da tecnologia solar no país.

No cenário nacional, foi identificado, através das conversas com os *stakeholders*, um conflito relacionado ao tema regulatório que envolve organizações representantes das energias

renováveis modernas, mais especificamente do setor solar, e as distribuidoras de energia elétrica no país. Conflito esse que é intermediado, de alguma maneira, pela agência reguladora do setor elétrico, a Aneel.

No quinto capítulo, é feita uma análise dos principais resultados obtidos com o estudo e as conclusões finais a respeito dos temas içados ao longo da pesquisa. A análise dos resultados e as considerações finais devem contribuir para o conhecimento científico sobre o atual estado da arte da energia solar fotovoltaica no Brasil e auxiliar na tomada de decisão de investidores ou organizações (públicas e privadas) que atuam ou pretendem atuar no setor fotovoltaico, além de agentes públicos tomadores de decisões vinculadas ao tema, pesquisadores e demais *stakeholders*.

Por fim, no sexto e último capítulo estão apresentadas as principais limitações encontradas durante a realização da pesquisa, bem como as sugestões de estudos futuros.

Para a realização das análises feitas no decorrer deste trabalho, foram utilizados dados e informações de fontes distintas, com destaque na produção científica no campo das energias renováveis, como: a Agência Internacional de Energia (IEA); a Bloomberg New Energy Finances (BNEF); a Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21); a Solar Power Europe (SPE) (antiga Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica (EPIA)); o Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME); a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE); a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR); a Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD); bem como documentos de associações e órgãos oficiais dos países analisados, além de livros e artigos científicos relevantes na área.

Para agregar conteúdo às análises realizadas e também como forma de suprir a carência da produção científica nacional no campo das energias renováveis, mais precisamente do setor solar fotovoltaico, foram realizadas entrevistas com *stakeholders* do setor fotovoltaico nacional, entre eles agentes do mercado, cientistas com notável saber na área e membros de associações representativas do setor fotovoltaico no Brasil.

Antes de responder por que o Brasil se encontra distante dos líderes globais na produção de energia solar fotovoltaica e identificar os avanços e conflitos recentes existentes hoje, é preciso entender o papel dos países emergentes e também da tecnologia solar fotovoltaica na transformação da indústria energética ao longo dos últimos anos. Para isso, é importante compreender os principais aspectos da atual Transição Energética Global (TEG) e de que maneira essa transição vem influenciando o desenvolvimento da energia solar FV no Brasil e no mundo ou como se realizará essa influência daqui em diante. É nesse sentido que o primeiro capítulo deste trabalho permeia os temas citados para compor um diálogo sobre a transição energética e seus principais desafios no mundo hoje.

1. A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA GLOBAL

Um fenômeno observado atualmente, a Transição Energética Mundial ou Transição Energética Global (TEG), pode ser responsável pelo fim da era dos combustíveis fósseis e das excessivas emissões de dióxido de carbono na atmosfera terrestre para a geração de energia.

Nos últimos anos, fontes renováveis modernas vêm aos poucos ganhando espaço frente às fontes tradicionais na matriz energética global. Tal mudança reflete, entre outras coisas, uma busca por segurança energética futura, diante da provável escassez de combustíveis fósseis, e também pela busca do Desenvolvimento Sustentável, com processos produtivos que diminuam os impactos causados ao meio ambiente e reduzam os danos que serão passados às gerações pósteras.

Por trás dessa transformação está uma significativa expansão na capacidade de geração de energia por fontes renováveis nos últimos dez anos e uma queda considerável nos custos da energia limpa, além dos ganhos de escala nas indústrias de renováveis, aumento no volume de investimentos e um importante avanço tecnológico nos diferentes setores de geração de energia através de fontes renováveis, principalmente modernas.

Em muitos países, processos licitatórios, como leilões de energia, atestam a competitividade dos preços das ER's perante as fontes mais tradicionais². Metas e políticas

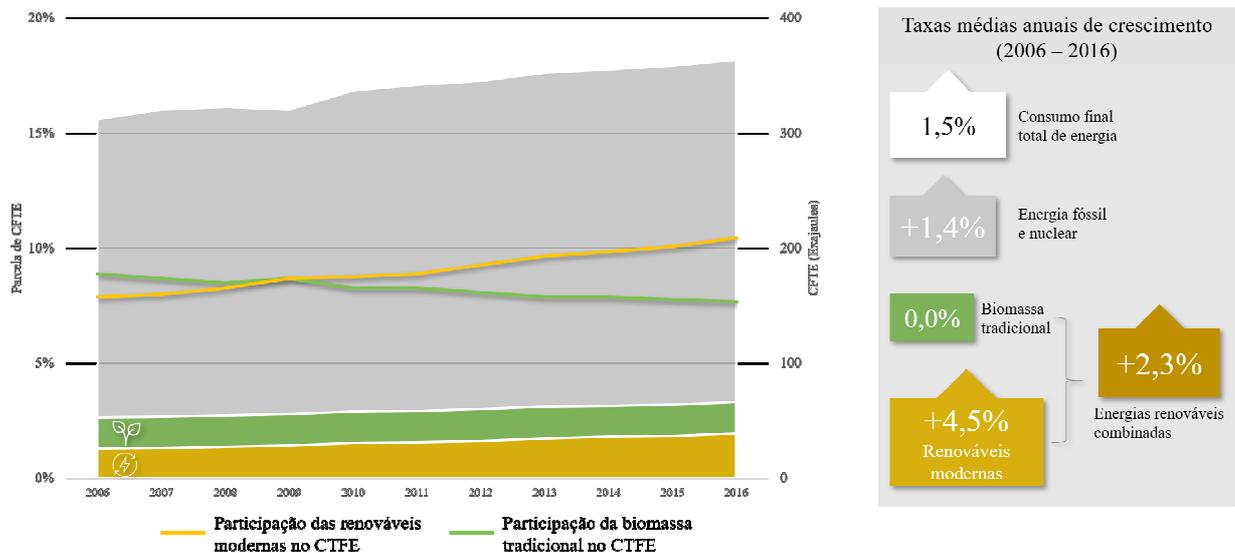
² Entre os anos de 2016 e 2019 foram registrados preços recordes de leilões de energia solar fotovoltaica em diversos países, como Emirados Árabes Unidos, Chile, México, Peru, Arábia Saudita e Brasil, por exemplo. Ao menos quinze países, neste período, tiveram leilões para contratação de energia eólica ou solar, entre eles Brasil, Canadá, Alemanha, Índia, México, Chile, Reino Unido, Espanha e Dinamarca. No Brasil, em 2019, a

públicas, em diversos níveis e países, também vêm sendo implantadas na busca de tornar nações livres ou menos dependentes dos combustíveis fósseis, aquecendo os mercados de energia renovável no mundo e engatilhando um futuro promissor para as tecnologias associadas a essas fontes.

O desenvolvimento das ER's, porém, enfrenta barreiras que o limita. Entre 2006 e 2016, o aumento na parcela de energias renováveis em relação ao Consumo Final Total de Energia (CFTE) no mundo foi modesto, em média 0,8 % ao ano (REN21, 2019), tendo sido maior entre as fontes renováveis modernas de energia³.

O avanço no uso das tecnologias renováveis, para que seja refletido em melhoria na qualidade de vida das pessoas, deve ser acompanhado por mudanças econômicas e sociais profundas, principalmente nos padrões de produção e consumo nas sociedades pós-industriais.

Figura 1. Crescimento da Energia Renovável Global em Relação ao Consumo Final Total de Energia (CFTE) entre 2006 e 2016



Fonte: Renewables Global Status Report - REN21, 2019

energia solar contratada por leilão apresentou o menor preço entre todas as demais fontes (Fontes: REN21, 2018 e ANEEL, 2019).

³ São consideradas fontes renováveis modernas de energia, neste estudo, as fontes hídricas (incluindo a energia oceânica), eólica, solar, biomassa moderna (incluindo o biogás, gás de aterros sanitários e gás de tratamento de esgoto) e geotérmica. Não são consideradas fontes renováveis modernas de energia o uso tradicional da biomassa, ou seja, combustão direta de madeira, lenha, carvão vegetal, resíduos de animais, resíduos urbanos, resíduos agrícolas, seja para aquecimento, cocção, secagem ou produção de carvão.

Como verificado nos dados da figura acima, as fontes renováveis de energia cresceram em média 2,3 % a.a. entre 2006 e 2016. Acima, portanto, da taxa média de crescimento da demanda energética global no período que foi de 1,5 % ao ano. Por outro lado, quando consideramos apenas as fontes renováveis modernas de energia neste cálculo, a taxa média do crescimento anual entre 2006 e 2016 foi de 4,5 % a.a., ou seja, três vezes maior do que o aumento do CFTE ou do aumento das fontes fósseis e nuclear combinadas (1,4 % a.a. em média).

O aumento modesto da parcela de renováveis perante o consumo total de energia se deve, entre outras razões, ao contínuo crescimento da demanda energética global⁴, que não é suprido integralmente (na maior parte das vezes) pela oferta existente de energias renováveis, contrariando, assim, o impulso das tecnologias modernas de geração renovável. Além disso, o uso tradicional da biomassa, de uma forma geral, apresentou crescimento insignificante entre 2006 e 2016 e, muito embora este seja um desenvolvimento positivo do ponto de vista sustentável, ele retarda o crescimento da quota total de energia renovável (REN21, 2018).

Mas, mesmo com o aumento frugal da quota renovável no período, alguns setores específicos de geração de energia renovável - biomassa moderna, energia eólica e energia solar - tiveram crescimento produtivo relevante durante os últimos anos. Entre 2008 e 2018, a capacidade total instalada de energia solar FV no mundo aumentou mais de trinta vezes. Nesse mesmo período, a capacidade total instalada de energia eólica aumentou quase cinco vezes, enquanto a geração de bioeletricidade cresceu 127% e a produção de biocombustíveis praticamente dobrou (REN21, 2019).

O crescimento mais expressivo das renováveis, principalmente as modernas, em relação às fontes tradicionais durante os últimos anos é o mais forte indicativo da atual transformação da matriz energética global. Contudo, analisando mais atentamente o fenômeno da transição, é possível identificar pontos que revelam características e desafios importantes do processo transitório.

Os pontos mais importantes da TEG escolhidos neste trabalho estão apresentados do item 1.1 ao item 1.5 deste capítulo, a seguir.

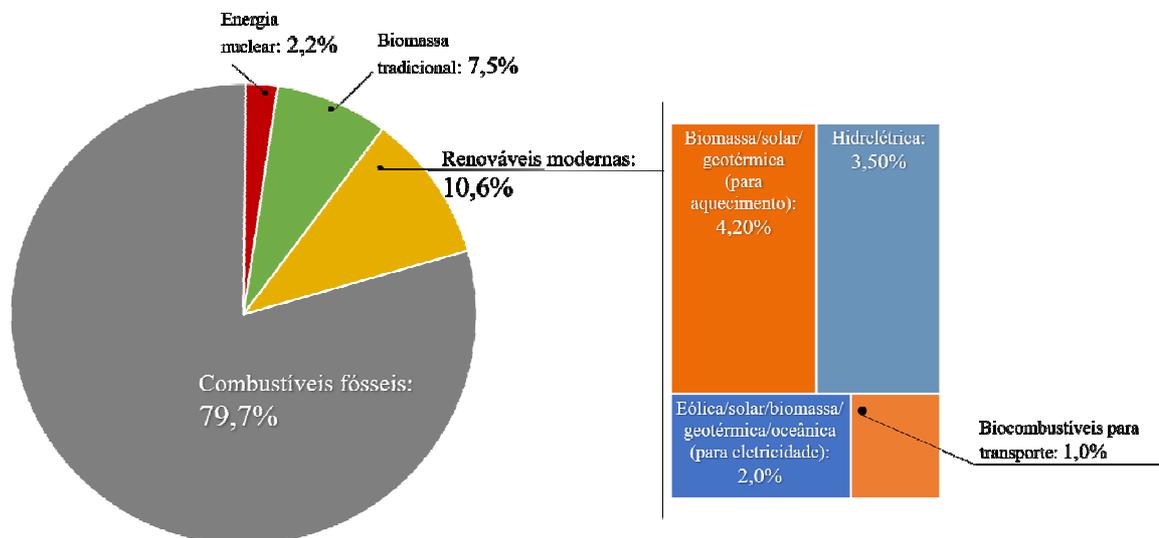
⁴ Desde o início do séc. XXI, somente em 2009 houve declínio da demanda global de energia, consequência direta da recessão econômica global ocorrida com a crise de 2008 (IEA, 2019).

1.1 O Papel das Renováveis na TEG

As energias renováveis representam hoje algo em torno de 18 % do consumo global total de energia, com as renováveis modernas correspondendo a 10,6 % (REN21, 2019 com dados de 2017).

A maior parte dessa quota renovável moderna de energia é composta por eletricidade renovável, representando 5,6 % do CFTE, com as hidrelétricas correspondendo a 3,6 % e as demais fontes a 2,0 %. Em seguida, a energia térmica renovável, representa 4,2 % do CFTE e os biocombustíveis para transporte representam 1 %, como mostrado na figura a seguir.

Figura 2. Participação Estimada das Renováveis no Consumo Final Total de Energia (CFTE), 2017



Fonte: Renewables Global Status Report - REN21, 2019.

O uso tradicional de biomassa, usado principalmente para cozinhar e aquecer residências em países em desenvolvimento, é responsável por 7,5 % do CFTE. Os dois grupos somados (biomassa tradicional e renováveis modernas) representam o total de energias renováveis na matriz energética ou a parcela de 18 % do consumo global de energia.

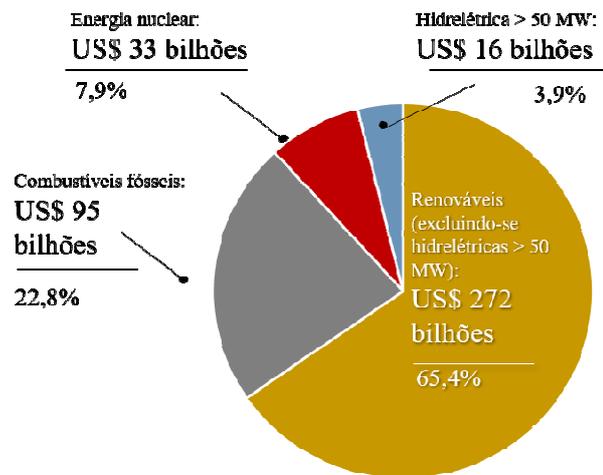
Cada vez mais competitivas quando comparadas com as fontes convencionais (principalmente combustíveis fósseis), as fontes de energia renovável modernas também atraem um volume de investimentos expressivo.

Em muitos lugares, a eletricidade gerada a partir de novas usinas eólicas e de energia solar fotovoltaica tem se tornado mais atraente que a energia de usinas movidas a combustível fóssil e, em alguns casos, é mais econômico construir novas usinas de energia eólica e solar

fotovoltaica do que continuar a operar as usinas de combustíveis fósseis já existentes (REN21, 2019).

O resultado dessa maior competitividade se reflete nos investimentos em nova capacidade de energia. Os investimentos globais em novos projetos de geração de energia no ano de 2018 estão resumidos na figura a seguir.

Figura 3. Estimativa do Investimento Global em Nova Capacidade de Energia, 2018

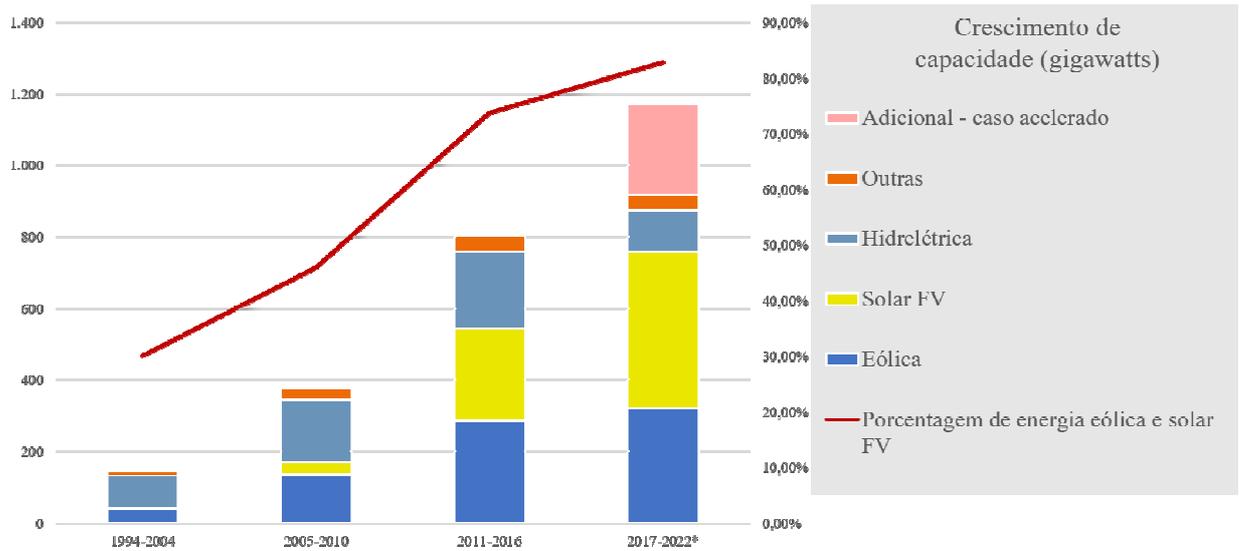


Fonte: Renewables Global Status Report – REN21, 2019.

Naquele ano, as energias renováveis representaram a maior parte (69,3 %) do investimento global em nova capacidade de energia, com um total de US\$ 288 bilhões (duzentos e oitenta e oito bilhões de dólares) investidos em fontes renováveis. Esse volume correspondeu a mais que o dobro dos investimentos em nova capacidade de combustíveis fósseis e nucleares combinados, como mostrado na figura acima.

O crescimento no setor de energia renovável e o volume de investimentos, porém, não se deram de forma igual entre as diferentes fontes ao longo desses últimos anos. As fontes eólica e solar, por exemplo, receberam mais investimentos e instalaram maior capacidade de geração entre as renováveis no período entre 2011 e 2016, ao menos no que diz respeito à geração de energia elétrica, como mostra a figura a seguir.

Figura 4. Crescimento da Capacidade de Geração Elétrica das Energias Renováveis



* previsões baseadas nas evoluções de cada fonte até 2016.

Fonte: IEA, 2017.

Na figura acima, é possível verificar a escalada da capacidade instalada de geração de eletricidade pelas fontes eólica e solar no período entre 2011 e 2016, além da projeção de crescimento para as fontes renováveis para o período entre 2017 e 2022, com uma visível liderança da tecnologia solar FV para este período.

Em 2018, o aumento da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica foi maior do que o das demais fontes e liderou o avanço das ER's no mundo durante aquele ano⁵, com quase o dobro de instalações que a energia eólica (segunda colocada no ranking de adições em 2018) e adicionando mais capacidade do que carvão, gás natural e energia nuclear juntos. (REN21, 2019).

Da mesma forma, a expansão até 2018 também não se deu de forma equilibrada entre as diferentes nações e regiões. A China, por exemplo, foi responsável, por 45 % de todo o financiamento em energia renovável no mundo (IEA, 2018) e lidera o ranking dos países que mais investem em fontes renováveis hoje (IEA, 2018, SPE, 2019; REN21, 2019).

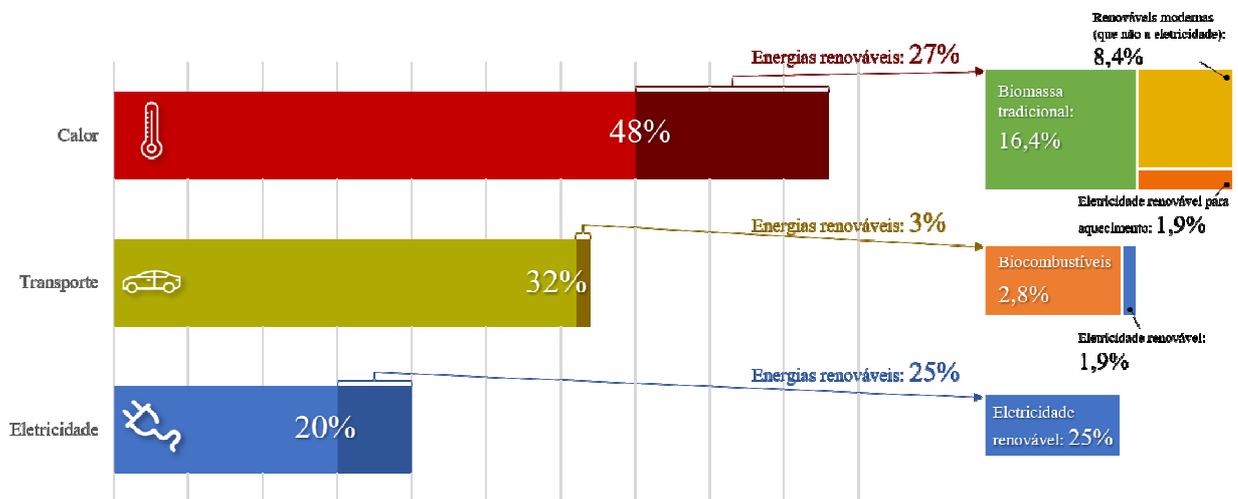
Há ainda outros desequilíbrios presentes na TEG. Ao olharmos para os três grandes grupos de consumo energético, *Calor* (aquecimento e arrefecimento), *Transporte* e *Eletricidade*, podemos notar que somente um deles, a energia elétrica (ou eletricidade), recebeu mais atenção dos formuladores de políticas públicas ao longo dos últimos anos e atraiu mais investimentos de fontes renováveis.

⁵ Os dados relacionados ao setor fotovoltaico estão apresentados com mais detalhes no Capítulo 3 deste trabalho.

No entanto, a falta de avanço e atenção das renováveis nas outras duas classes (*Calor e Transporte*) não reflete a importância relativa destes setores na demanda total por energia.

Em 2015, a energia gerada para aquecimento ou resfriamento⁶ (*Calor*) correspondia a quase metade (48 %) de toda a energia consumida mundialmente, enquanto a energia gerada para transporte (de carga ou pessoas) representava 32% desse total. A eletricidade, que recebeu a maior atenção e a maior parte dos investimentos em fontes renováveis, correspondia, até 2015, a somente 20 % do CTFE, conforme mostra a figura a seguir.

Figura 5. Energia Renovável no Consumo Total Final de Energia, por Setor, 2015.



Fonte: Renewables Global Status Report - REN21, 2019.

Apesar de representarem juntos 80% do consumo final total de energia, *Calor e Transporte* estão em segundo plano quanto à presença recente de energias renováveis em suas matrizes. O progresso no *Aquecimento e Resfriamento* renovável foi lento durante a última década, enquanto no setor de *Transportes* a participação das renováveis permaneceu baixa (somente 3 %) até 2015, conforme mostrado na figura anterior.

Ao passo que a oferta de *Calor* renovável moderno aumentou 20,5 % no período de 2007 a 2015, a geração de *Eletricidade* renovável cresceu 56,6 % (REN21, 2018).

Por outro lado, algumas políticas públicas e iniciativas privadas adotadas nos anos mais recentes têm buscado impulsionar o papel das energias renováveis e a eletrificação do aquecimento e do transporte (SPE, 2019). Portanto, é esperado que, ao longo dos próximos

⁶ Aquecimento e resfriamento referem-se a aplicações térmicas, incluindo controle climático e aquecimento de ambientes, aquecimento para uso industrial, cozimento, secagem agrícola, entre outros.

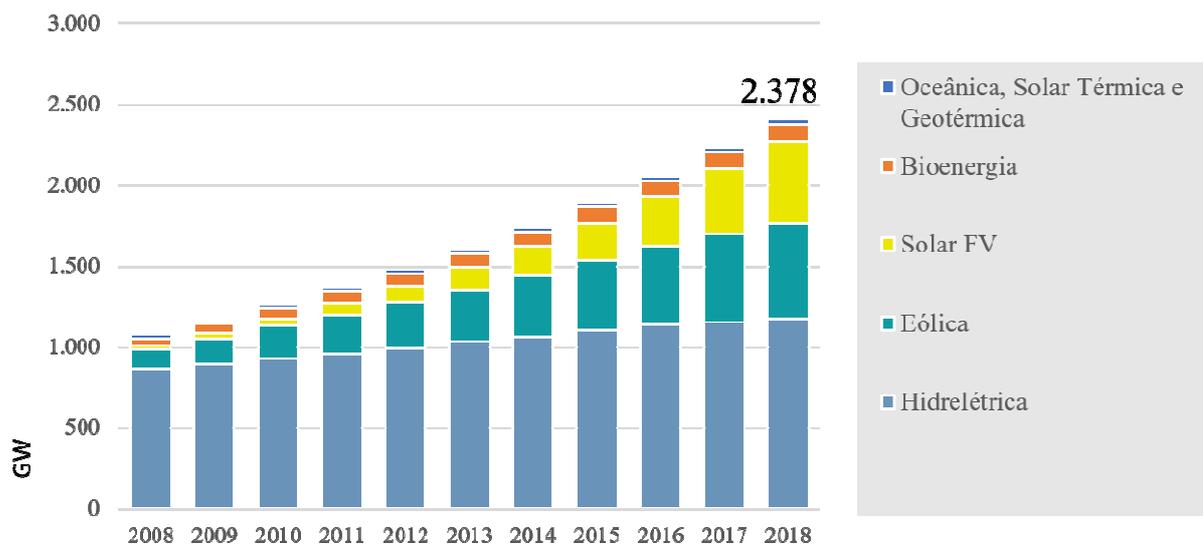
anos, a participação das renováveis nesses dois grandes grupos se torne mais relevante, com uma oportunidade eminente de crescimento para as tecnologias e para os mercados renováveis nestas áreas e perspectiva de um consequente aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética mundial.

Na área dos Transportes, a grande maioria (92 %) das necessidades globais de energia dentro do setor ainda é atendida pelo petróleo, com uma pequena parte sendo atendida pelos biocombustíveis (2,8 %) e pela energia elétrica (0,3 %). A partir de 2015, a bioenergia moderna (excluindo o uso tradicional de biomassa) permaneceu, de longe, líder na contribuição de energia renovável para o transporte e também foi responsável pela maior parte da nova capacidade de calor renovável (REN21,2018).

Há, como dito, uma previsão de considerável aumento da participação de veículos elétricos na frota global a partir do ano de 2040, quando os veículos elétricos ultrapassariam os veículos a combustão em vendas (BNEF, 2017). Se isso de fato ocorrer, o quadro da matriz energética global deverá mudar consideravelmente nos próximos anos, com um aumento na participação das energias renováveis no setor de Transportes.

Quando consideramos apenas energia elétrica em nossos cálculos (excluindo a energia usada para aquecimento ou arrefecimento e transportes), o volume de investimento e a participação das energias renováveis modernas na TEG mostram-se ainda mais relevante.

Figura 6. Capacidade Global de Energia Elétrica Renovável, 2008-2018



Fonte: Renewables Global Status Report - REN21, 2019.

Entre 2008 e 2018, a capacidade instalada total de energia elétrica renovável aumentou pouco mais de 100 % em uma década, nesse mesmo período a capacidade de renováveis não hidrelétricas aumentou mais de cinco vezes, conforme mostrado na figura acima.

Em 2017, a capacidade de geração por fontes renováveis de energia elétrica registrou seu maior aumento anual (9 % em relação a 2016), adicionando 198 GW de capacidade elétrica renovável recém instalada no mundo. Em 2018, 181 GW de eletricidade renovável foram adicionados (crescimento de mais de 8 % em relação a 2017).

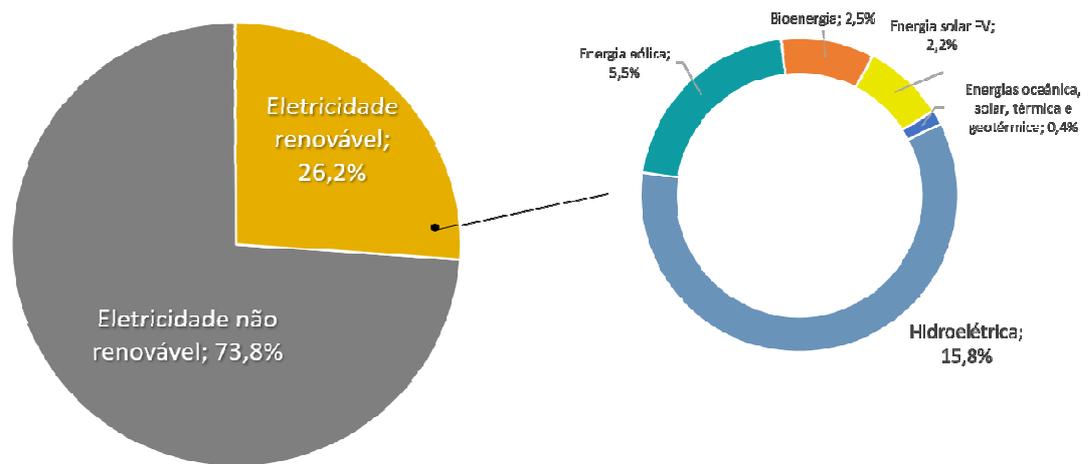
As energias renováveis correspondem atualmente a 63% das adições líquidas à capacidade global de eletricidade (SPE, 2019 com dados de 2018). A fonte solar fotovoltaica correspondeu, em 2018, a maior parte (aproximadamente 55 %) da capacidade elétrica renovável adicionada naquele ano. A energia eólica e a energia hídrica corresponderam a 28 % e 11 %, respectivamente, da nova capacidade renovável de energia elétrica adicionada em 2018 (REN21, 2019).

As hidrelétricas representam quase metade (48%) da capacidade acumulada de geração elétrica renovável em operação hoje e a energia eólica representa aproximadamente 25% dessa capacidade renovável total de eletricidade, enquanto a energia solar fotovoltaica pouco mais de 20%. Os 7% restantes são formados pela capacidade elétrica total em Bioenergia, Energia Oceânica, Solar Térmica e Geotérmica somadas.

As fontes renováveis já correspondem a mais de 33% da capacidade total instalada de geração de energia elétrica do mundo (REN21, 2019; SPE, 2019).

No final do ano de 2018, a capacidade instalada de energia elétrica renovável alcançou 2.378 GW, suprimindo assim 26,2 % da demanda elétrica global daquele ano, com a energia hidrelétrica fornecendo cerca de 15,8 % dessa energia, seguido pela energia eólica (5,5 %) e pela energia solar FV (2,4 %). As demais fontes renováveis somadas forneceram menos de 3 % do consumo elétrico global, conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura7. Participação Estimada de Energia Renovável da Produção Global de Eletricidade, 2018



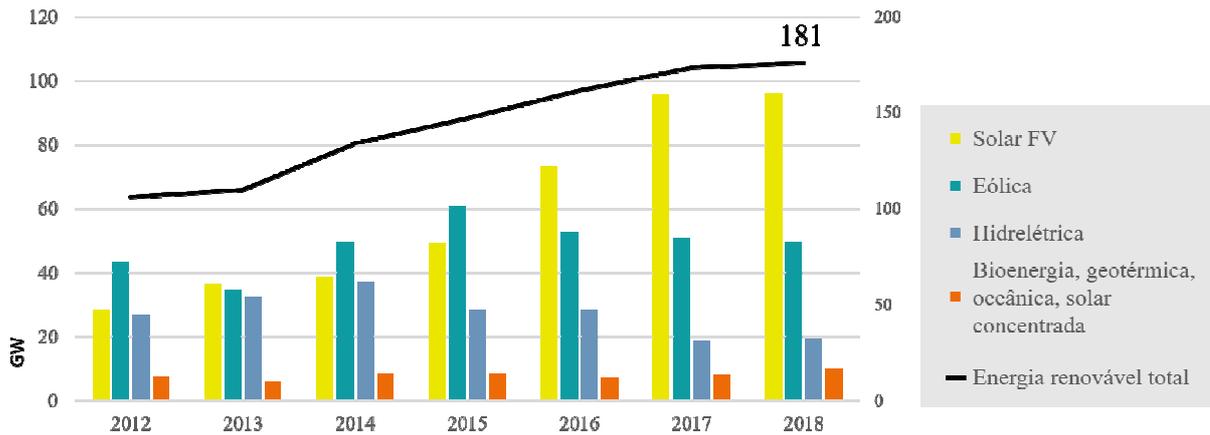
Fonte: Renewables Global Status Report - REN21, 2019.

Conforme se observa na figura acima, as fontes não renováveis, principalmente os combustíveis fósseis, permanecem responsáveis pela maior parte (73,8%) da geração de energia elétrica no mundo hoje.

Podemos destacar, no entanto, as fontes *Eólica* e *Solar* como os dois grandes pilares do crescimento das renováveis elétricas no mundo ao longo dos últimos dez anos e, mais precisamente, a fonte *Solar Fotovoltaica* como foco dos investimentos globais a partir de 2016, apesar da ainda baixa representatividade na matriz global. No gráfico a seguir, é possível notar o *boom* na capacidade instalada da energia solar e a regularidade de adições em energia eólica entre os anos de 2012 e 2018 (*ver Figura 8 a seguir*).

Vale destacar que, em 2012, a fonte eólica já possuía significativo desenvolvimento ao redor do mundo, com capacidade instalada de geração de aproximadamente 283 GW (sendo 30 GW somente nos mercados emergentes), enquanto a fonte solar FV possuía cerca de 100 GW de capacidade instalada total. Porém, tanto a tecnologia dos ventos quando a do Sol para geração de eletricidade ainda estavam restritas a mercados específicos (REN21, 2018).

Figura 8. Adições Anuais (em GW) de Capacidade de Eletricidade Renovável, por Tecnologia e Total, entre 2012 e 2018



Fonte: Renewables Global Status Report - REN21, 2019.

Entre 2012 e 2018, a energia renovável se estabeleceu em escala global. Até o final de 2018, mais de noventa países possuíam pelo menos 1 GW de capacidade de geração, enquanto pelo menos trinta países excederam 10 GW de capacidade (REN21, 2019 com dados da IEA, 2019). Durante o período analisado no gráfico acima, os principais países em capacidade de geração de energia renovável instalada foram a China, seguida (de longe) por Estados Unidos, Brasil, Índia e Alemanha⁷ (IEA, 2019).

Mercados emergentes e em desenvolvimento são personagens cada vez mais importantes no desenvolvimento das tecnologias renováveis modernas, indicando uma nova característica no atual processo transitório. A participação desses mercados emergentes e dos países em desenvolvimento no curso energético atual será abordada e analisada na etapa a seguir, que trata do papel dos países emergentes e em desenvolvimento nessa nova Transição Energética Global.

1.2 Um Fenômeno Global

A presença do termo “global” na TEG evidencia o aspecto de que o fenômeno transitório não atinge somente países ricos e desenvolvidos, mas pode ser observado também nos países emergentes e em desenvolvimento, onde esse fenômeno tem se tornado cada vez mais relevante.

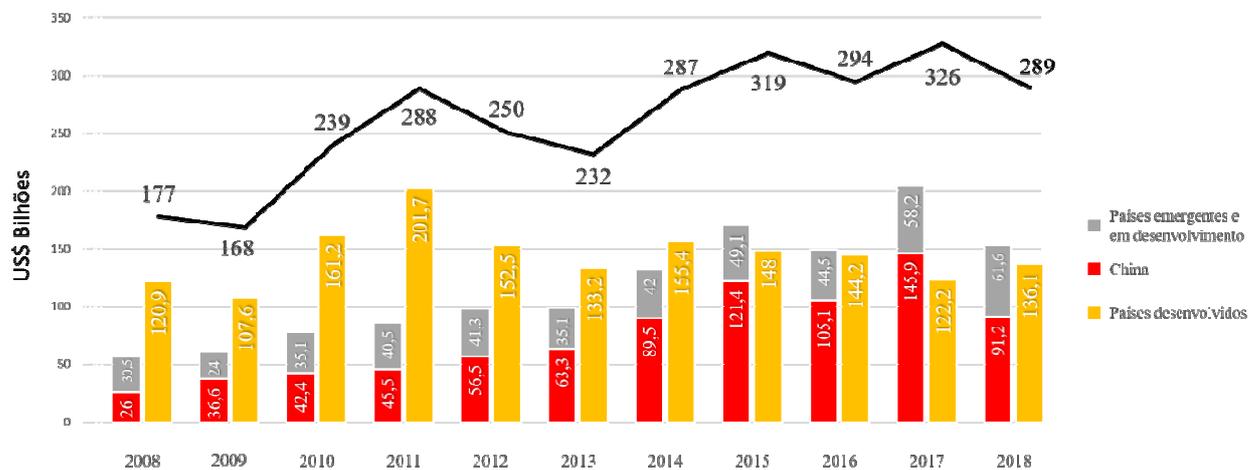
De acordo com a BNEF (2018), em seu relatório anual, o *Climatescope* - que avalia as condições de investimento para energia limpa em mercados emergentes -, no ano de 2017, os países em desenvolvimento (considerados aqui como um bloco, que inclui também os países emergentes) adicionaram pela primeira vez mais capacidade de geração de fontes de energia

⁷ Incluindo a energia hidrelétrica nos cálculos.

limpa do que a partir de combustíveis fósseis e foram responsáveis pela maior parte da capacidade adicionada de energia renovável no mundo, ultrapassando os países desenvolvidos na concorrência global por aplicação de fontes renováveis de energia⁸.

O volume de novos investimentos em energia renovável, que reduziu quase 15 % entre 2016 e 2017 nos países desenvolvidos⁹, aumentou 20% entre os países emergentes e em desenvolvimento durante o mesmo período, superando os US\$ 200 bilhões em 2017, mesmo com a contínua queda de preços nas tecnologias renováveis (BNEF, 2018).

Figura 9. Novos Investimentos Globais em Energia Elétrica e Combustíveis Renováveis em Países Desenvolvidos, Emergentes e em Desenvolvimento, 2008-2018



Nota: Não incluídos os investimentos em projetos hidrelétricos com mais de 50 MW. Os totais de investimento foram arredondados para o bilhão mais próximo e estão em US\$ atualizados até dez/2018.

Fonte: Renewables Global Status Report - REN21, 2019.

De acordo com a figura acima, desde 2015, os países em desenvolvimento (incluindo os emergentes) investem um volume maior de capital em novos projetos de energias renováveis do que o grupo dos países desenvolvidos. Em 2017, o grupo dos países em desenvolvimento ampliou ainda mais sua liderança sobre os países desenvolvidos, com 63%

⁸ O estudo da Bloomberg New Energy Finance considerou as fontes nuclear e grandes hidrelétricas em seus cálculos.

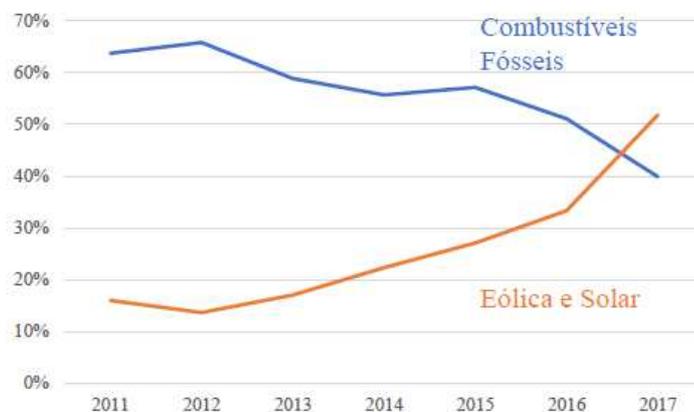
⁹ Foram considerados países desenvolvidos, nesse estudo, o grupo de países pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), com exceção de Chile, México e Turquia que compuseram o bloco de países emergentes ou em desenvolvimento.

do investimento global em energia renovável. Em 2018, esse valor ficou um pouco acima dos 50 %, graças à menor participação da China no mercado solar.

Esses dados refletem uma situação inversa à observada há alguns anos atrás. Antes, as nações mais abastadas dominavam o investimento e as instalações em energias renováveis ao redor do globo.

Uma das razões possíveis para o fenômeno globalizado é o fato de que muitos desses países em desenvolvimento possuem recursos naturais em abundância e, em alguns casos, como a China, por exemplo, equipamentos de menor custo, fazendo com que novos projetos de energia renovável fiquem mais baratos do que usinas movidas a combustíveis fósseis. Além disso, apesar das crises e incertezas vividas por diversos países do globo nos últimos anos, alguns países em desenvolvimento desfrutam do mais longo período de crescimento econômico de suas histórias, movidos por populações em rápido crescimento que se urbanizam, avançam e exigem mais acesso à energia (BNEF, 2018; IEA, 2019).

Figura 10. Parcela das Adições Anuais de Capacidade por Tecnologia em Mercados Emergentes ou em Desenvolvimento entre 2011 e 2017



Fonte: Climatescope2018. BNEF, 2018.

Somada ao aumento dos investimentos em renováveis nos países em desenvolvimento, notamos na TEG a desaceleração recente, nestes países, de novos investimentos nas fontes mais tradicionais de energia, o que faz com que a nova capacidade renovável cresça mais depressa que a nova capacidade fóssil, algo que vem ocorrendo desde 2012, conforme mostrado na figura anterior.

Pela primeira vez, em 2017, a quantidade de adições em energia renovável (fontes solar e eólica) foi maior em números absolutos do que as adições fósseis. Entre 2016 e 2017, a

capacidade adicionada por novas usinas movidas a carvão nos países em desenvolvimento reduziu 38% e o acréscimo de nova capacidade de geração à base de carvão foi o menor desde 2006 (BNEF, 2018).

Esses números relevantes, inclusive nos países em desenvolvimento, nos fazem acreditar que a atual transição energética pode representar o fim da era dos combustíveis fósseis para geração de energia e o início da era das fontes renováveis modernas. Porém, esse tema está longe de ser uma unanimidade. Alguns pontos de vista conflitantes dentro do campo científico ainda serão apresentados e analisados mais adiante no decorrer deste primeiro capítulo que antes tratará de se aprofundar no papel dos países em desenvolvimento na TEG.

1.3 O Papel dos Emergentes (e dos países em desenvolvimento) na TEG

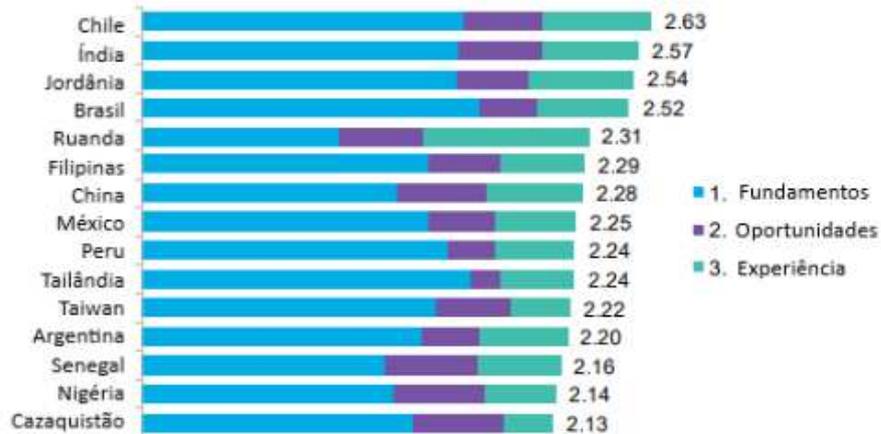
Os países em desenvolvimento, incluindo os chamados Emergentes, possuem papel relevante na atual Transição Energética Global, a ponto de representarem a maior parte dos investimentos globais em energias renováveis hoje, como visto anteriormente.

Para ilustrar a concorrência pela transição energética entre os países em desenvolvimento, a agência de pesquisa em energia *Bloomberg New Energy Finances* (BNEF) elaborou um ranking que qualifica cada nação em desenvolvimento em relação a sua capacidade de atrair investimentos em energia renovável. Neste estudo, denominado *ClimateScope* são comparados dados de 100 países considerados menos desenvolvidos pela OCDE, além de Chile, Turquia e México, totalizando 103 países.

Atualmente, o Chile lidera esse ranking, seguido por Índia, Jordânia, Brasil e Ruanda, respectivamente. A China, maior produtor de energia solar fotovoltaica do mundo, ocupa o sétimo lugar entre os países que mais favorecem a instalação de nova capacidade de geração de energia limpa no curto prazo (BNEF, 2018).

O ranking avalia três temas de atratividade: *Fundamentos*, que envolve as políticas energéticas e a legislação de cada país em relação ao fomento de fontes renováveis, além da infraestrutura existente e a disponibilidade de energia; *Oportunidades*, que são aspectos relacionados à competitividade dos mercados de energias renováveis no país; e *Experiência*, que diz respeito ao tempo que essas tecnologias renováveis são desenvolvidas naquele país e os aprendizados adquiridos por ele com os desafios enfrentados nesse processo.

Figura 11. Ranking ClimateScope de Atratividade de Investimentos em Energia Renovável de Países Emergentes ou em Desenvolvimento, 2018



Nota: O *score* de cada país representa a pontuação conjunta dos três temas (Fundamentos, Oportunidades e Experiência).

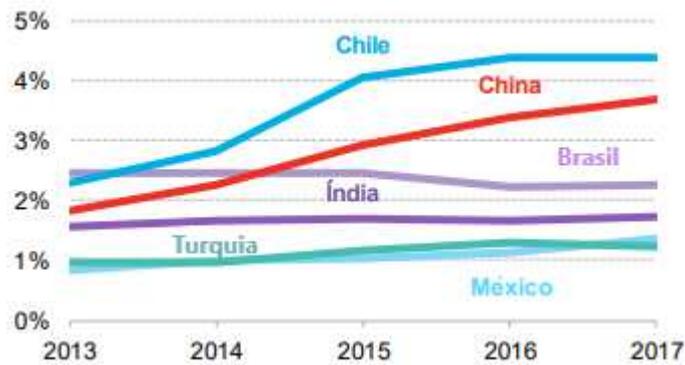
Fonte: Climatescope 2018. BNEF, 2018. (Traduzido pelo autor)

Vale ressaltar que a China ocupava a primeira posição nos anos anteriores do ranking, mas que, com uma mudança metodológica no estudo, caiu para a sétima posição. Com a nova metodologia, países que abrigam cadeias manufatureiras, como é o caso do gigante asiático, não receberam pontuação maior por isso, já que ser um pólo de manufatura ou um importador de produtos de baixo custo - como outros países analisados - é uma questão de posicionamento estratégico e não reflete, necessariamente, a atratividade para investimentos em energia limpa.

A liderança atual do Chile vista na figura acima é um reconhecimento de que o país da América do Sul, apesar das restrições enfrentadas na infraestrutura de transmissão, tem elaborado, ao longo dos últimos dez anos, políticas públicas consistentes e apresenta um histórico de investimentos em energia limpa, que demonstra, de certo modo, um comprometimento com a “descarbonização” (BNEF, 2018).

Em 2017, o Chile investiu mais de 4% do seu PIB nominal em energia renovável, ficando acima de países como China, Brasil, Índia e Turquia, conforme demonstrado na figura a seguir (BNEF, 2018).

Figura 12. Financiamento de Ativos de Energia Renovável nos Últimos Cinco Anos em Relação ao PIB de 2017 nas Principais Nações em Desenvolvimento



Nota: Investimentos anuais em relação ao PIB nominal de 2017 de cada país.

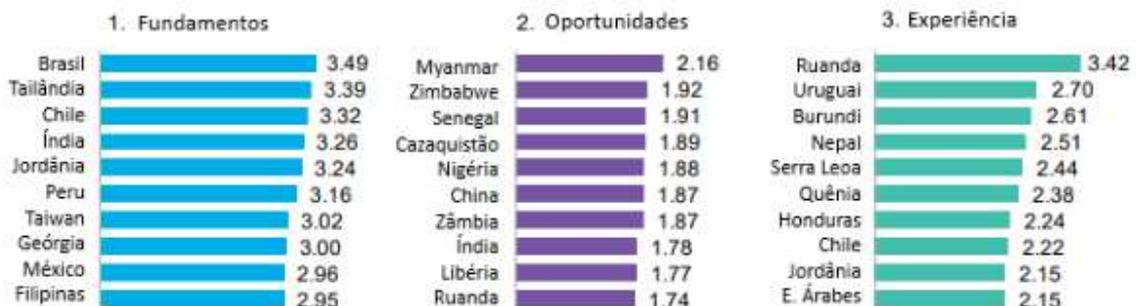
Fonte: Climatescope 2018. BNEF, 2018. (Traduzido pelo autor)

No Brasil, entre 2013 e 2017, houve ligeira queda no total de investimento em energia limpa em relação ao PIB nominal do país, conforme mostrado na figura acima. Esta redução se deve, entre outros fatores, à uma grave crise econômica vivida no país desde 2014 e ao cancelamento de um leilão de contratos de energias renováveis em 2017, que viria a ser realizado mais tarde, em 2018.

O Brasil, no entanto, continua a ser um dos principais mercados emergentes para a implantação de energias renováveis no estudo apontado e lidera o tema “Fundamentos”, conforme mostrado na figura a seguir. De acordo com o documento citado, o Brasil possui um abrangente e atrativo quadro de políticas de energia limpa, que assegura ao país a 4ª colocação geral do ranking em 2018.

De fato, o Brasil foi um dos países pioneiros no uso de leilões competitivos para contratar energia, o que levou o maior país da América Latina a mais de 24,8 GW de energia renovável contratada entre 2009 e 2017 (BNEF, 2018), com grande destaque para a energia eólica.

Figura 13. Ranking Climatescope - Top 10 Países Organizados por Temas



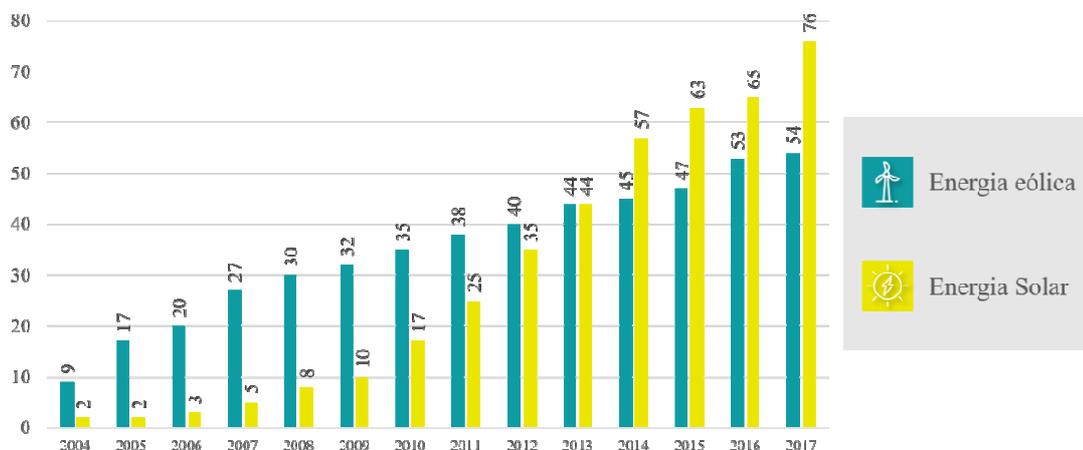
Fonte: Climatescope 2018. BNEF, 2018. (Traduzido pelo autor)

Além de Chile e Brasil, o ranking aponta também outros destaques. As políticas públicas ambiciosas da Índia para a geração de energia limpa e os leilões competitivos de energia renovável fizeram o país da Ásia Meridional sair do quinto lugar, em 2017, para a segunda colocação, em 2018. A China que perdeu posições pela mudança metodológica do estudo, como dito anteriormente, também teve a queda influenciada por cortes nos subsídios às usinas solares e outras medidas que restringiram a demanda do mercado de renováveis no país asiático. Ainda assim, a China se mantém como o maior mercado de energia limpa do mundo em volume de investimentos (IEA, 2019; REN21, 2019; BNEF, 2018).

Há uma evolução notável, ao longo dos últimos anos, das fontes eólica e solar nos mercados em desenvolvimento. Com sua ascensão precoce em relação à fonte solar, a energia produzida com a força dos ventos, em 2004, contava com nove países (emergentes ou em desenvolvimento) que possuíam ao menos um financiamento de energia eólica em escala de utilidade pública¹⁰. Já em 2017 a tecnologia eólica passou a contar com cinquenta e quatro países nesta situação, um aumento de 500% no número de países durante o período (BNEF, 2018).

Por sua vez, a energia produzida com a luz dos raios solares, saiu de dois países em 2004 com ao menos um projeto em escala de utilidade pública para setenta e seis países (emergentes ou em desenvolvimento) em 2017, aumento de 3.700 % no número de países durante o mesmo período, de acordo com a figura a seguir.

Figura 14. Número de nações em desenvolvimento com pelo menos um financiamento de energia limpa solar / eólica em escala de utilidade pública, 2004-2017



Nota: Os projetos de escala de utilidade pública são tipicamente maiores que 1.5 MW. A abrangência do estudo inclui 103 países não pertencentes à OCDE, além de Chile, México e Turquia.

Fonte: Climatescope 2018. BNEF, 2018.

¹⁰

Projetos de escala de utilidade pública maiores que 1.5 MW de potência

Um dos fatores que mais contribuíram com a ascensão da fonte solar neste quadro é a queda de 70% no custo dos módulos fotovoltaicos entre 2011 e 2017 (Mohamed e Soliman, 2019), principalmente os de origem chinesa. Os detalhes a respeito do desenvolvimento da tecnologia solar, porém, serão abordados nos capítulos seguintes deste trabalho.

Os cento e três países investigados no estudo da BNEF em questão, que analisa a atratividade dos mercados em desenvolvimento para as energias renováveis, instalaram juntos 29 GW de energia eólica terrestre em 2011, setor esse que (até então) era maduro somente em mercados emergentes específicos, como no Brasil, por exemplo. Também em 2011, esses mesmos países instalaram somente 2 GW de energia solar. Já em 2017, os países em desenvolvimento analisados instalaram 75 GW e 69 GW de vento e de capacidade de solar FV, respectivamente (BNEF, 2018). Esses valores representam um aumento de 158% nas adições de capacidade eólica e de 3350 % nas adições anuais de energia solar, num intervalo de apenas seis anos.

Embora apresentem desenvolvimentos promissores, as energias renováveis e o setor energético mais amplo também enfrentam desafios diversos. O significativo crescimento econômico mundial¹¹ levou a um aumento estimado de 2,1% na demanda por energia no ano de 2017, esse aumento equivale ao dobro do aumento médio nos cinco anos anteriores (REN21, 2018). Com isso, as emissões de dióxido de carbono (CO²) associadas à geração de energia aumentaram aproximadamente 1,4% (em 2017), tendo sido o primeiro aumento registrado desde 2012 (IEA, 2018).

As altas nas emissões de CO² continuaram em 2018 quando, além do crescimento econômico acima da média dos últimos dez anos, um inverno rigoroso no hemisfério norte fez aumentar os níveis de utilização de combustíveis fósseis para aquecimento. (SPE, 2019; REN21, 2019; IEA, 2019).

Além disso, alguns países ainda se afastaram do carvão como fonte de geração de energia em suas matrizes energéticas, mas migraram para o gás natural em vez de optarem por fontes renováveis, como é o caso dos EUA, por exemplo. Esses e outros desafios, além dos principais pontos que dividem as opiniões científicas no debate sobre a Transição Energética Global e as fontes renováveis de energia serão abordados e discutidos nos dois itens a seguir que encerram o primeiro capítulo deste trabalho.

¹¹ A taxa média de crescimento econômico mundial foi de 3,7% em 2017 e 3,6 % em 2018, de acordo com o Fundo Monetário Internacional (Fonte: FMI, 2018; 2019).

1.4 A TEG na Ciência

No campo científico, diversos autores já apontaram a TEG como um fenômeno global e a citam em suas pesquisas. Ao buscarmos pela expressão “*Global Energy Transition*” na plataforma de pesquisa *Web of Science*, encontramos 21 artigos com o tema presente em algum de seus tópicos¹². Porém, vale lembrar aqui que alguns autores usam apenas o termo “*Energy Transition*” para se referirem ao mesmo fenômeno e que, portanto, é certo que existam mais artigos a seu respeito.

Entre os 21 artigos encontrados com o termo completo, os dois artigos mais citados relacionam os temas *Transição Energética Global* e a *Energia Solar Fotovoltaica*, diretamente.

Breyer et al (2017; 2018) investigaram o papel da energia solar fotovoltaica em cenários globais de transição energética e a demanda solar fotovoltaica para a transição energética global no setor de energia. Segundo os autores, o sistema mundial de energia precisa ser transformado em altos níveis de sustentabilidade para cumprir o Acordo de Paris¹³ e a fonte solar fotovoltaica oferece excelentes características para desempenhar um papel importante nessa transição.

Ao usarem um modelo de transição que simulou um possível caminho para se atingir 100% de energia elétrica renovável no mundo no ano de 2050, os autores concluíram que a participação global média da fonte solar fotovoltaica em um cenário hipotético desse tipo, corresponderia a aproximadamente 69 % da matriz global. Ou seja, se caminhássemos em direção a uma matriz 100 % renovável no mundo, a fonte de energia solar fotovoltaica representaria, em 2050, cerca de dois terços de toda a energia elétrica gerada. Segundo os autores, as metas do Acordo de Paris poderiam ser alcançadas no setor de energia e ainda aumentariam o bem-estar social.

A visão de Breyer et al (2017; 2018) é relativamente otimista quando comparada com outros estudos analisados que serão apresentados no item final deste capítulo.

Afastando-se um pouco da discussão de quais fontes merecem nossa atenção, Geerts et al (2014) citam a TEG e se destacam pela forma como abordam o tema. Na busca por uma

¹² Pesquisa realizada no dia 13 de janeiro de 2019, na plataforma Web of Science em http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=7FW2nnJCKeC7KN14mOW&preferencesSaved=, com acesso aos artigos provido pelo Sistema Integrado de Bibliotecas /USP.

¹³ O Acordo de Paris é um tratado internacional assinado por 195 países membros da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) que entrou em vigor no dia 04 de novembro de 2016 e tem como meta principal a redução global das emissões de gases do efeito estufa.

política energética mais racional e sustentável, os autores propõem o que eles chamam de *Filosofia da Energia*, baseados nos estudos de Lewis Mumford (1895 - 1990), Georges Bataille (1897 - 1962) e Martin Heidegger (1889 - 1976), escritores do início do século XX, para pensar e desenvolver o papel das fontes renováveis na atual transição energética mundial. Os autores evidenciaram a necessidade de pensarmos um consumo mais eficiente de energia e um modelo socioeconômico mais sustentável.

Heinberg (2015) corrobora com a ideia de um planejamento energético racional, que leve em consideração a forma como usamos a energia. Para ele, o avanço das fontes renováveis e as mudanças relacionadas à TEG deverão forçar uma mudança profunda na sociedade. Assim, é fundamental planejarmos um futuro renovável em cenários de baixo crescimento econômico, que busque a satisfação das necessidades humanas básicas dentro de um orçamento cada vez menor de energia e materiais, incluindo a promoção de atividades que potencializem a felicidade e o bem-estar humanos.

Pensar e discutir as políticas energéticas de forma global e sistêmica é de suma importância para o desenvolvimento próximo da humanidade e, nesse sentido, o presente estudo busca contribuir, apontando caminhos possíveis e condizentes com a realidade brasileira no contexto mundial para o desenvolvimento do setor fotovoltaico nacional e das fontes renováveis modernas de energia.

1.5 Longe de ser uma unanimidade

Se por um lado temos um avanço promitente das fontes renováveis modernas no cenário energético atual, por outro lado podemos extrair conclusões preocupantes de alguns dados levantados a respeito dos desafios da transição energética.

Como visto anteriormente, aproximadamente 74 % de toda a energia elétrica consumida no mundo hoje é gerada através de fontes não renováveis de energia (REN21, 2019). Somente o carvão, uma das fontes fósseis usadas que mais emitem CO² na atmosfera, responde por aproximadamente 38 % de toda a eletricidade global gerada atualmente (IEA, 2019)

Muito embora sua participação na matriz elétrica e o volume de novas adições venham diminuindo¹⁴, a geração global de eletricidade a carvão aumentou cerca de 8 % somente entre os anos de 2016 e 2018 e representou aproximadamente 40 % da geração adicional de energia

¹⁴ Em 2018, o mundo atingiu os menores índices de adições anuais de nova capacidade a carvão desde 2006. Não foram analisados dados anteriores a 2006. (BNEF, 2018 e Global Energy Monitor, 2019).

no mundo todo no ano de 2018, devido principalmente ao aumento no uso do potencial de usinas termelétricas a carvão (IEA, 2018; 2019).

Embora ocorram contínuas quedas no consumo de carvão nas regiões mais desenvolvidas do globo durante os anos mais recentes, observadas nos EUA e na União Europeia, por exemplo, estas quedas acabam sendo compensadas pela expansão do uso do carvão para geração elétrica em regiões como Índia e nos países do Sudeste Asiático, principalmente. Fora isso, grandes mercados importadores de carvão como Coréia do Norte, Filipinas, Malásia, Turquia, Brasil, México, Paquistão, entre outros, registraram níveis de importação recorde entre 2017 e 2018, enquanto Japão, Tailândia e Chile, por exemplo, também estiveram próximos de seus máximos históricos durante este período (IEA, 2019).

Fora isso, países onde o consumo médio anual per capita de eletricidade corresponde atualmente a apenas um sétimo da média europeia, como Indonésia, Paquistão, Bangladesh, Filipinas e Vietnã (que somados possuem mais de 800 milhões de habitantes), deverão ter o inevitável crescimento de suas demandas elétricas num futuro próximo apoiado em parte por novas usinas de carvão, em construção ou construídas recentemente (IEA, 2019).

Ainda que ocorram evidências de que os novos projetos de energia renovável sejam mais competitivos do que novos projetos à base de carvão (REN21, 2019; SPE, 2019, IEA, 2019), somente entre 2016 e 2018 foram construídos quase 200 GW em termelétricas a base de carvão apenas nas nações emergentes ou em desenvolvimento, sendo China, Índia, África do Sul e Indonésia responsáveis por sediarem 86% desta capacidade recém instalada (BNEF 2018; COALSWARM, 2018).

Dentro deste contexto, no médio e no longo prazo, os desafios das fontes renováveis na TEG e na redução das emissões de CO₂ na atmosfera não devem se restringir à missão de vencer a concorrência de novos projetos movidos a carvão, mas também superar as usinas à base de combustíveis fósseis em operação hoje, algumas delas inauguradas recentemente. Ademais, os desafios da transição vão bem além da simples concorrência tecnológica e industrial contra os combustíveis fósseis, como será visto mais adiante.

Na Índia, quase dois terços (66 %) de toda energia elétrica consumida é fornecida pelo carvão, enquanto na China as usinas a carvão são responsáveis por prover três quartos (75%) da eletricidade usada no país (IEA, 2017). Entre 2010 e 2017, os dois países acrescentaram juntos 432 GW em capacidade de geração a carvão. Por comparação, os EUA operam hoje menos de 260 GW de potência total instalada em usinas termelétricas à base de carvão (IEA, 2018).

Estes dados reforçam ainda mais a relevante participação dos países emergentes na TEG e no alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável nos tempos atuais.

Entre os emergentes, China e Índia concentram 81% de toda a capacidade de geração de energia a carvão e os dois países enfrentam hoje dificuldades para contornar esse quadro (BNEF, 2018; REN21, 2019). O governo chinês luta para manter a energia a um preço acessível à sua população, enquanto a Índia se esforça para ampliar o acesso de seus cidadãos à eletricidade. Em ambos os casos, pressões socioeconômicas culminam em resistência por parte das autoridades em desativar usinas termoelétricas (IEA, 2019).

No Brasil, o atual governo, através do seu Ministério de Minas e Energia, anunciou, em 2019, a sua intenção de investir cerca de US\$ 30 bilhões na construção de seis usinas nucleares até 2050¹⁵.

Outras questões ainda barram o avanço das fontes renováveis no mundo atualmente.

Mesmo dentro do setor elétrico, onde as renováveis modernas, principalmente a solar e a eólica, são mais presentes e apontam caminhos mais prósperos, a característica intermitente destas fontes (pois dependem dos raios solares e dos ventos) representa uma barreira diante do cenário hipotético no qual essas tecnologias (solar e eólica) ocupem altos níveis de participação na matriz elétrica (acima de 60%, por exemplo), ocorrendo, assim, maiores proporções de eletricidade oriundas de fontes incontroláveis.

Embora existam soluções técnicas para o problema de controle de entrada e saída de carga e de integração das renováveis às redes elétricas – que vem sendo desenvolvidas ao longo do tempo - uma resolução definitiva ainda deve demandar mais tempo, energia e recursos.

Supondo, ainda, que todos estes problemas fossem resolvidos, somente cerca de um quinto da energia final é consumida sob a forma de eletricidade (*como verificado no item 1.1*), teremos que pensar, portanto, se as outras formas pelas quais usamos a energia irão trilhar caminhos mais fáceis ou mais difíceis de adaptação durante a transição.

Por estas e outras razões, conquanto as fontes renováveis de energia desempenhem papel fundamental na atual transição energética e muito embora haja uma crescente necessidade da indústria em atender aos novos parâmetros de sustentabilidade, o otimismo em relação a uma matriz energética global 100% renovável num futuro próximo está ábdito de ser um consenso na literatura. De fato, para superarmos os grandes desafios dessa transição, é

¹⁵ Informação disponível em diversos sites e revistas eletrônicas brasileiras. Fonte utilizada: Revista Exame, editora Abril, 2019 disponível em <https://exame.abril.com.br/economia/governo-estuda-construcao-de-seis-usinas-nucleares-ate-2050/> com acesso em 14/10/2019.

preciso que se estabeleça um diálogo franco e construtivo a respeito das oportunidades e das dificuldades existentes no processo.

Nesse sentido, Heinberg (2016) levanta importantes conflitos existentes na TEG. Para ele, há muito mais desafios associados à transição energética do que oportunidades e as soluções para esses problemas, na maioria das vezes, envolvem custos mais elevados ou funcionalidade reduzida do sistema.

Por isso, a conclusão do autor é de que a economia industrial totalmente renovável do futuro será menos móvel e produzirá cada vez menos bens, que por sua vez devem ser mais caros. A sociedade será forçada a mudar de maneira profunda, moldada por uma transição econômica e energética onde o modo como produzimos e consumimos deverá ser bem diferente daquele construído ao longo do século XX.

De fato, o mundo que temos hoje, indústria, sociedade e seus costumes consumistas, foi construído por e para os combustíveis fósseis. Nas palavras de Heinberg (2015), “a grande mobilidade e a capacidade de volumes cada vez maiores na produção industrial são marcas de uma era em declínio”.

Essa ideia parece ser sustentada em boa parte das críticas a respeito da TEG presentes hoje na literatura, a de que a transformação energética só será revertida em melhoria da qualidade de vida se vier acompanhada de mudanças econômicas profundas e também de comportamento social.

Kurt Cobb (2015) enfoca na eficiência energética e na redução do consumo de energia para a aceleração da TEG. Segundo o autor, mesmo com essas medidas adotadas, a atual transição energética para uma matriz realmente sustentável ainda levaria muito tempo. O autor cita também a demora nos avanços das pesquisas sobre fusão de hidrogênio e a dificuldade de ascensão dos biocombustíveis nos tempos atuais para exemplificar o fato de que as transições energéticas levam tempo e demandam recursos.

Vaclav Smil (2015) também dialoga sobre as dificuldades de uma transição energética de um tipo de combustível dominante para outro. Através de um estudo abrangente sobre as transições de energia nos últimos 150 anos, partindo da mudança da madeira para o carvão na segunda metade do século XIX e chegando às recentes alterações dos combustíveis fósseis para as energias renováveis, o autor buscou medir o tempo que normalmente leva para uma fonte de energia em particular sair de 5% de participação no mercado para parcelas bastante significativas da oferta total de energia, algo em torno de 25% a 30%. A conclusão dos estudos de Smil é que são necessárias décadas para que isso ocorra.

“Depois que o petróleo bruto obteve 5% do total de energia americana em 1905, levou 28 anos para chegar a 25%, e o aumento foi ainda mais lento para o gás natural, 33 anos de 1924 a 1957. Hoje, apesar da atenção dispensada às células solares e o vento, essas fontes renováveis ainda não atingiram a marca de 5%. Globalmente, as transições de energia têm sido ainda mais lentas do que nos EUA, com o petróleo levando 40 anos para passar de 5% para 25% do fornecimento global de energia primária, e parece que o gás natural levará 60 anos para fazer o mesmo.”

(SMIL, V., 2015)

Mesmo com o crescimento percentual mais acelerado das fontes renováveis modernas, Smil coloca que tal crescimento se dá a partir de uma base muito pequena e que demandaria tempo demasiado para que as renováveis assumissem o protagonismo no lugar dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial.

Outro ponto, também levantado por Smil, é de que em uma das transições mais recentes, do carvão para o gás natural nos EUA, entre 2005 e 2015, foram alcançados grandes resultados em apenas uma década (o carvão caiu de 50% da geração de energia elétrica nos EUA para menos de 40% nesse período), mas esse fenômeno se deve ao fechamento de várias usinas movidas a carvão naquele período e pela grande disponibilidade de gás natural de baixo custo.

A primeira razão não é viável no longo prazo, já que é limitado o número de usinas a carvão que se pode desativar em determinado país ou região. Porém, independentemente das condições, este fenômeno ocorrido demonstra que a força da sociedade civil, somada principalmente à boa vontade e ao engajamento de autoridades responsáveis são capazes de acelerar o processo de transição.

Além dos pontos citados, para Smil, ainda não é certo o impacto das fontes renováveis sobre o clima hoje.

“A geração de eletricidade por novas energias renováveis tem crescido mais rápido, mas está longe de assumir o controle: 7% da matriz elétrica em 2014, ainda era apenas cerca de um terço de toda a eletricidade gerada pelas antigas centrais nucleares. E como a eletricidade é apenas uma parte do suprimento total de energia, a contribuição de novas energias renováveis (eólica e solar) para o consumo total de energia primária nos EUA (incluindo todos os combustíveis industriais e de transporte) continua muito modesta: subiu apenas de 0,1% no ano 2000 para 1% em 2010 e para 2,2% em 2014.”

(SMIL, V., 2015 apud COBB, K., 2015)

Vimos no início deste capítulo que as fontes renováveis modernas representavam (até 2017) 10,6 % do consumo final total de energia no mundo, mas esses dados incluem outros tipos de fontes renováveis e outros países além daqueles pesquisados por Smil.

Outras perguntas são levantadas pelos autores já citados até aqui e por outros autores que dialogam a respeito dos desafios da transição. De onde deve vir toda a energia necessária para construir os módulos solares, turbinas eólicas, fornos elétricos, baterias para armazenamento de energia e fornos de cimento solar para aquecer, esfriar, mover e eletrificar o mundo? A resposta mais provável é que a maior parte dessa energia terá que vir de combustíveis fósseis, ao menos nos estágios iniciais e intermediários da transição (Bursztyn & Bursztyn, 2012; Alves, 2015)

Construir a infraestrutura de produção e consumo de energia movida a combustíveis fósseis do mundo moderno foi um trabalho que durou mais de um século e ainda hoje permanece em execução. Substituir toda essa estrutura já estabelecida certamente custará muito tempo, dinheiro e (também) energia.

Para Alves (2015), “o mundo precisa se livrar dos combustíveis fósseis, mas também precisa caminhar rumo ao decrescimento das atividades antrópicas, renovando o estilo de desenvolvimento consumista que tem colocado tantas pressões sobre o meio ambiente e a biodiversidade”. De acordo com o autor, o avanço das fontes renováveis de energia é ainda “uma necessidade urgente para a estabilidade econômica e o alcance das metas internacionais para conservação ambiental e controle do clima”.

Embora as energias renováveis continuem a ganhar terreno globalmente, há um progresso desequilibrado entre os setores e entre as diferentes regiões geográficas, como visto. Em alguns casos, é possível identificar também uma incoerência entre os compromissos assumidos em acordos e campanhas e as ações reais no campo energético, como será mostrado mais adiante nos capítulos terceiro e quarto, ao tratar das políticas públicas de países líderes no setor solar ou de alguns conflitos no campo regulatório nacional.

Em alguns países em desenvolvimento, particularmente na África Subsaariana, os índices de acesso à energia elétrica ainda são baixos. Essas taxas vêm melhorando continuamente na Ásia, mas algumas regiões enfrentam grandes desafios para abastecer com energia toda a sua população. Cerca de 1,06 bilhão de pessoas no mundo viveram sem eletricidade em 2016 (IRENA, 2018).

O progresso das energias renováveis na TEG, de uma forma geral, permanece lento e gradual e, apesar da rápida expansão da capacidade de geração de energia limpa das fontes

solar fotovoltaica e também eólica, os combustíveis fósseis continuam representando a esmagadora maioria do consumo final total de energia no mundo.

Por outro lado, mercados importantes, como China, União Europeia, Estados Unidos e Japão, investem volumes grandiosos em energias renováveis e também há exemplos de investimentos significativos em mercados de países em desenvolvimento. Quando medidos por unidade de produto interno bruto (PIB), países como Ilhas Marshall, Ilhas Salomão, Ruanda, Guiné-Bissau e outros países em desenvolvimento investem tanto quanto ou mais em renováveis do que algumas economias desenvolvidas (BNEF, 2018; REN21, 2019).

Essas tendências positivas ainda precisam ser ampliadas para uma transição energética global efetiva.

Até aqui, foram mostrados alguns dos muitos desafios e perspectivas para as energias renováveis diante do atual cenário da Transição Energética Global. Foram analisados os papéis dos mercados emergentes e em desenvolvimento dentro dessa transição e apresentados diferentes pontos de vista científicos sobre o tema. Dentro deste macrocenário de transição, foram observados ainda os papéis que algumas fontes desempenham nesta transformação que indicam caminhos promitentes para as fontes renováveis modernas de energia, com destaque para as fontes eólica, biomassa moderna e energia solar fotovoltaica.

O capítulo a seguir, narra uma história da tecnologia solar fotovoltaica no mundo e busca ambientalizar ainda mais o problema de pesquisa proposto, o de investigar os avanços da tecnologia solar no Brasil e identificar conflitos existentes no mercado fotovoltaico nacional, apontando caminhos que ofereçam segurança energética e desenvolvimento, capazes de auxiliar nas tomadas de decisões e nas políticas energéticas ou elaboração de leis que regulam o setor, além de servir de suporte para pesquisadores e empreendedores do ramo.

2. UMA HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é obtida por meio da conversão da radiação solar em eletricidade utilizando-se materiais semicondutores. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotovoltaico.

O primeiro registro de observação e documentação do efeito fotovoltaico remonta ao século XIX, mais precisamente a 1839. O então jovem físico francês, Alexandre Edmond

Becquerel, ao conduzir suas experiências eletroquímicas, verificou (por acaso) que a exposição à luz solar de eletrodos de platina ou de prata davam origem a uma diferença de potencial (tensão elétrica). Em outras palavras, Becquerel demonstrava, ali, mesmo sem querer, o efeito fotovoltaico.

A casualidade parece ter sido igualmente importante na construção da primeira célula fotovoltaica. Segundo o próprio responsável, o engenheiro eletricitista inglês Willoughby Smith, a descoberta do efeito fotovoltaico no selênio (material semicondutor), em 1873, foi um acidente inesperado¹⁶.

Alguns anos depois, em 1877, dois inventores norte-americanos, o professor William Grylls Adams e seu aluno Richard Evans Day, desenvolveram o primeiro dispositivo sólido de produção fotoelétrica. Tratava-se de um filme de selênio depositado num substrato de ferro, com um segundo filme de ouro semitransparente que servia de contato frontal para a incidência de luz. A eficiência de conversão desse dispositivo era de aproximadamente 0,5% (VALLÊRA e BRITO, 2006).

Mais tarde, em 1883, o inventor americano Charles Fritts, também utilizando o selênio, duplicaria essa eficiência para cerca de 1%, construindo a primeira célula fotovoltaica registrada.

Apesar da baixa eficiência de conversão, tais dispositivos encontraram a sua primeira aplicação industrial nos finais do século XIX, pelas mãos do engenheiro alemão Werner Siemens¹⁷, que comercializou células de selênio como fotômetros para máquinas fotográficas.

Vallêra e Brito (2006) usaram o termo “serendipidade” para descrever a parcela de sorte nas descobertas fotovoltaicas. Mas, assim como o acaso, o desenvolvimento científico do início do século XX também foi crucial para o avanço tecnológico da energia fotovoltaica. Os autores apontam alguns dos principais progressos neste sentido:

“A história da energia fotovoltaica teve de esperar os grandes desenvolvimentos científicos da primeira metade do século XX, nomeadamente a explicação do efeito fotoelétrico por Albert Einstein em 1905, o advento da mecânica quântica e, em particular, a teoria de bandas e a física dos semicondutores, assim como as técnicas de purificação e dopagem associadas ao desenvolvimento do

¹⁶ Em carta datada de 04 de fevereiro de 1873, Smith revela ao seu colega Josiah Latimar Clark, a sua surpresa ao observar o efeito fotovoltaico em barras de selênio, enquanto estudava e testava a resistência elétrica em cabos submarinos (VALLÊRA e BRITO, 2006).

¹⁷ Werner von Siemens é o inventor e industrial alemão que deu origem ao império da indústria tecnológica que carrega seu nome, a Companhia Siemens, considerada um dos maiores conglomerados industriais da Europa e do mundo.

transistor de silício: sem a ciência moderna, seria impensável o nascimento da energia solar elétrica. As descobertas acidentais e o desenvolvimento empírico nunca nos teriam levado a ultrapassar o limiar de eficiência que a tornou viável.”

(VALLÊRA e BRITO, 2006)

A invenção da primeira célula fotovoltaica de silício, material usado até hoje nas placas solares FV, é atribuída ao engenheiro estadunidense Russell Shoemaker Ohl, por volta de 1941. Porém, foi somente em 1954 que os funcionários da Bell Labs (Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin), em Nova Jersey, nos EUA, apresentaram formalmente ao mundo as primeiras células solares de silício com eficiência de 6%, dando início assim à era moderna da energia solar.

Já no ano seguinte, em outubro de 1955, no estado americano da Geórgia, ocorreu a primeira aplicação comercial da célula de silício, com a ideia de alimentar uma rede telefônica local utilizando nove células fotovoltaicas de 30 mm de diâmetro cada (VALLÊRA e BRITO, 2006). Essa aplicação, porém, durou somente até o início de 1956.

Apesar dos resultados promissores, logo ficou claro que o alto custo de produção das células solares seria um empecilho à sua competitividade. Dessa maneira, os primeiros impulsos para a aplicação da energia solar fotovoltaica em escalas comerciais tiveram finalidades bastante específicas, como servir de fonte de energia para sistemas de telecomunicações instalados em localidades remotas ou então produzir eletricidade no espaço, por exemplo. A utilização das células fotovoltaicas em programas espaciais foi, por sinal, o principal uso da tecnologia até o final da década de 1970, impulsionado em boa parte pela corrida aeroespacial entre os EUA e a União Soviética, durante o período da Guerra Fria.

Essa corrida fomentou o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica e resultou em células cada vez mais eficientes, chegando a 13,5% ainda na década de 60 (VALLÊRA e BRITO, 2006). Porém, apesar de mais produtivas, tais células não eram necessariamente mais econômicas, fazendo com que as aplicações comerciais em terra fossem viáveis somente em situações muito específicas, nas quais não existissem fontes alternativas à eletricidade solar.

Esse cenário mudaria de fato entre 1973 e 1974, durante a crise mundial de energia, quando o mundo viu o preço do petróleo aumentar 400 % num intervalo de apenas cinco meses (BP Energy, 2013)¹⁸. Devido à instabilidade, surgiu-se uma preocupação em estudar novas formas de produção de energia, fazendo com que a utilização de células fotovoltaicas não se restringisse somente aos programas espaciais (BRAGA, 2008).

¹⁸ Dados do relatório *Estatísticas da Energia Mundial* de junho de 2013, da BP Energy (pp. 15), disponível em <http://large.stanford.edu/courses/2013/ph240/lim1/docs/bpreview.pdf>. Acesso em 16/11/2019.

Com o forte impulso dado à utilização terrestre da geração fotovoltaica durante a crise, não demorou muito para que o uso terrestre superasse o uso espacial. No fim da década de 1970, a aplicação de células solares em empreendimentos em terra já era maior que a aplicação nos programas espaciais e o perfil, tanto das células quanto das empresas que atuavam nesse mercado, mudou drasticamente (VALLÊRA e BRITO, 2006).

O temor gerado pela crise de 1973/1974 motivou investimentos em programas de pesquisa que buscaram reduzir os custos de produção ou aumentar a eficiência de conversão das células solares. As inovações e os avanços obtidos entre as décadas de 1970 e 1980 resultaram na redução de 80 US\$/Wp para aproximadamente 12 US\$/Wp no custo da eletricidade solar (VALLÊRA e BRITO, 2006). Sob a ótica da eficiência de conversão, as novas células fotovoltaicas produzidas em laboratório ultrapassaram pela primeira vez a barreira dos 20% de eficiência¹⁹.

Já nas décadas de 1990 e 2000, o nível tecnológico e a escala produtiva alcançados pela FV, somados às políticas de incentivo às energias limpas e renováveis no mundo, permitiram que o mercado se expandisse a níveis notáveis. As atuais células solares utilizadas na indústria solar possuem eficiência de conversão da ordem de 16 a 20 % (BRAGA 2008; ABSOLAR, 2018)²⁰.

Apesar do silício ainda ser o material mais utilizado nas células modernas, pesquisas vêm sendo feitas com outros materiais. É o exemplo das células solares híbridas baseadas em Perovskitas, um mineral relativamente raro que ocorre em rochas metamórficas, cujas pesquisas têm avançando nos últimos dez anos.

“O grau de eficiência das células solares é medido de acordo com a energia que chega do Sol. Se, por hipótese, um sistema conseguisse captar todo o espectro solar, a sua eficiência seria de 100% (...) mas isso é impossível devido, principalmente, à perda da radiação com energia menor que a de absorção do material. Assim, a maior eficiência possível para uma célula solar simples é 33,7%, valor calculado pelo limite denominado Shockley-Queisser. As perovskitas talvez contribuam para, no futuro, nos aproximarmos deste valor com um custo reduzido em relação a outras tecnologias”

(Rodrigo Szostak, 2017)

¹⁹ Nos tempos atuais, é possível a fabricação, em laboratório, de células solares de silício monocristalino com até 30 % de eficiência de conversão, já as células produzidas industrialmente apresentam eficiência média na ordem de 16 % a 22 %.

²⁰ Algumas células fotovoltaicas existentes hoje na indústria podem converter eletricidade com uma eficiência de aproximadamente 25 %. Porém, o preço mais elevado destas células acaba impedindo o seu uso em larga escala.

O conhecimento da tecnologia que opera com o silício (em particular o monocristalino), a sua abundância²¹ e, conseqüentemente, o baixo preço deste material, são as principais razões que fizeram do silício a matéria prima predominante no processo de desenvolvimento tecnológico das células fotovoltaicas. O material vem sendo utilizado de diferentes formas na produção de células fotovoltaicas: monocristalino, policristalino e amorfo.

Somadas ao avanço tecnológico que permitiu ganhos de eficiência e reduções nos custos, as pressões geradas pelas ameaças da alteração climática devido à queima de combustíveis fósseis fizeram com que as energias renováveis, particularmente a energia solar fotovoltaica, recebessem ainda mais incentivos, públicos e privados, ao longo dos últimos quarenta anos, entre 1980 e 2019.

Em 1982, foi instalada a primeira central solar FV de grande porte, com 1 MW de potência, no estado da Califórnia, nos EUA. Mais tarde, em 1991, na Alemanha e em 1993, no Japão, programas federais fomentaram as instalações de “telhados solares” em casas e edifícios dos dois países (IEA, 2018)

A partir daí o mercado fotovoltaico global expandiu-se e obteve ganhos em escalas e mais desenvolvimento tecnológico. Em 1993 a produção de células fotovoltaicas atingiu a marca de 60 MW. Em 1999 o total acumulado de painéis (módulos) solares atingiria seu primeiro gigawatt (1 GW) e, três anos depois, em 2002, o total acumulado já somava 2 GW em células fotovoltaicas espalhadas pelo mundo (VALLÈRA e BRITO, 2006).

Se contabilizarmos do início deste século até o ano de 2015, a capacidade total instalada de energia solar FV cresceu mais de cento e noventa e seis vezes durante os primeiros quinze anos do século XXI (EPIA, 2016).

Fora isso, a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no mundo saiu de 8 GW no final de 2007, para 505 GW até o final de 2018 (REN21, 2019). Ou seja, somente nos últimos onze anos, a capacidade solar FV global aumentou mais de sessenta vezes.

No Brasil, o mercado de energia solar fotovoltaica vem crescendo mais de 50% ao ano desde 2013, segundo os dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016). Isso diante de uma crise econômica e financeira global.

Para enfrentarmos a demanda futura por energia e conciliá-la com a necessidade de fontes alternativas e renováveis, é certo que a matriz energética mundial deverá sofrer uma

²¹ O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, correspondendo a 25,7% dela (Fonte: Web Elements, 2019) disponível em <https://www.webelements.com/silicon/>. Acesso em 18/03/2019.

mudança contínua na sua configuração atual durante os próximos anos e a energia solar, mais especificamente a fotovoltaica, deverá estar no cerne dessa mudança.

Não apenas economias desenvolvidas, como EUA, Japão, Austrália e Alemanha, mas também mercados emergentes como Chile, Índia, África do Sul, Brasil, Bangladesh, entre outros, liderados atualmente pela China, participam da escalada global da energia solar fotovoltaica.

Alguns dados nos fazem ter uma ideia da representatividade do setor nos investimentos ao redor do mundo atualmente. Além de representar cerca de metade das adições globais atuais de eletricidade renovável (SPE, 2019), a tecnologia solar FV também tem adicionado mais potência do que os combustíveis fósseis e energia nuclear combinados, conforme visto no capítulo inicial deste trabalho.

Por outro lado, a fonte solar ocupa hoje somente aproximadamente 2,4 % da matriz elétrica global e tem menos participação quando consideramos as outras formas de consumo de energia que não a eletricidade (REN21, 2019). No entanto, um dos principais relatórios globais da tecnologia solar fotovoltaica, publicado em 2004, previa que a fonte solar representaria 1% da eletricidade consumida no mundo em 2020²². Um ano antes, em 2019, o valor já é mais que o dobro do previsto pelo estudo (EREC, 2004; SPE, 2019). O mesmo relatório previu que até 2040 essa fração seria de aproximadamente 25%.

Nos dois capítulos iniciais, apresentados até aqui, foi possível observar que a tecnologia solar fotovoltaica atingiu, ao longo do tempo, um notório nível de maturidade e se apresenta hoje como uma das mais (senão a mais) promitente fonte de geração de energia elétrica renovável no mundo. Alguns detalhes do mercado solar fotovoltaico e os seus aspectos fundamentais dentro do cenário global serão abordados no capítulo a seguir, que trata do desenvolvimento recente da energia solar FV, bem como dos principais mercados solares do mundo hoje.

²² Trata-se do relatório *Cenário de Energia Renovável até 2040*, do Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC). Na época do relatório, em 2004, uma das associações integrantes do Conselho, a agência Solar Power Europe (SPE) ainda se chamava Associação da Indústria Fotovoltaica Europeia (EPIA). O nome da associação foi alterado somente em 2015.

3. A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO

Antes de analisarmos os dados do mercado nacional e de alguns dos principais mercados de energia solar fotovoltaica no mundo, é preciso entender o contexto global no qual esses mercados estão inseridos. Ao longo dos últimos anos, o mundo vem assistindo a uma escalada das energias renováveis frente às fontes tradicionais de geração de energia, principalmente na geração de energia elétrica (ou eletricidade), num processo que chamamos de Transição Energética Global.

Como visto no primeiro capítulo desse trabalho, entre 2008 e 2018, a capacidade de geração de energia elétrica renovável aumentou mais de 100 % e quando consideramos somente as fontes não hídricas nessa conta, as fontes renováveis de energia aumentaram mais de cinco vezes sua capacidade de geração elétrica durante a última década. De toda a eletricidade gerada no mundo hoje, aproximadamente 26 % provem de fontes renováveis (REN21, 2019).

O crescimento na capacidade produtiva de energia renovável ao longo dos últimos dez anos é sustentado por um volume significativo de capital investido em novos projetos que utilizam fontes renováveis modernas para geração de energia, principalmente elétrica. Hoje, são investidos cerca de três vezes mais recursos financeiros em nova capacidade de energia renovável do que em novas usinas geradoras a carvão e gás (REN21, 2019; IEA, 2019). As evoluções da capacidade produtiva de renováveis e do volume de investimentos em tecnologias renováveis modernas – principalmente da energia solar FV - nos últimos dez anos estão resumidas a seguir.

3.1 Novos Investimentos e a Capacidade Produtiva da Fonte Solar entre 2008 e 2018

Desde 2010, o volume de capital investido em fontes renováveis de energia, de uma forma geral, vem superando a casa dos US\$ 200 bilhões ao ano e, desde 2014, a dos US\$ 250 bilhões. O volume de recursos destinado à nova capacidade renovável nos anos de 2015 e 2017 chegou a superar US\$ 300 bilhões ao ano. O total de investimentos em nova capacidade de energias renováveis em 2018 foi de US\$ 288,9 bilhões (REN21, 2019).

Aproximadamente 95% desses investimentos em energias renováveis são atualmente destinados às fontes solar e eólica. Em 2018, a fonte solar recebeu 48,3% (US\$ 139,7

bilhões²³) do total de investimentos em novos empreendimentos e a fonte eólica 46,4% (US\$ 134,1 bilhões²⁴). Essas duas fontes lideram com folga o ranking de maiores investimentos em nova capacidade de energia renovável no mundo hoje. Em seguida (e bem abaixo), encontram-se os investimentos em biomassa e reaproveitamento de resíduos para geração de eletricidade, que representam hoje 3% do total dos investimentos em renováveis (US\$ 8,7 bilhões). Os 2% restantes do total investido, estão distribuídos entre biocombustíveis (US\$ 3 bilhões), hidrelétricas de pequeno porte (US\$ 900 milhões)²⁵ e energia maremotriz ou oceânica (US\$ 200 milhões) (SPE, 2019; REN21, 2019).

Os investimentos em energias renováveis no ano de 2018 foram alocados da seguinte maneira ao redor do mundo: a China foi responsável por 32% do investimento global total, seguida pela Europa com 21%, os Estados Unidos com 17% e a Ásia-Oceania (excluindo a China e a Índia) com 15%. Seguiu-se a Índia com 5%, o Oriente Médio e a África com 5%, as Américas (excluindo o Brasil e os Estados Unidos) com 3% e o Brasil com 1%. (REN21, 2019)

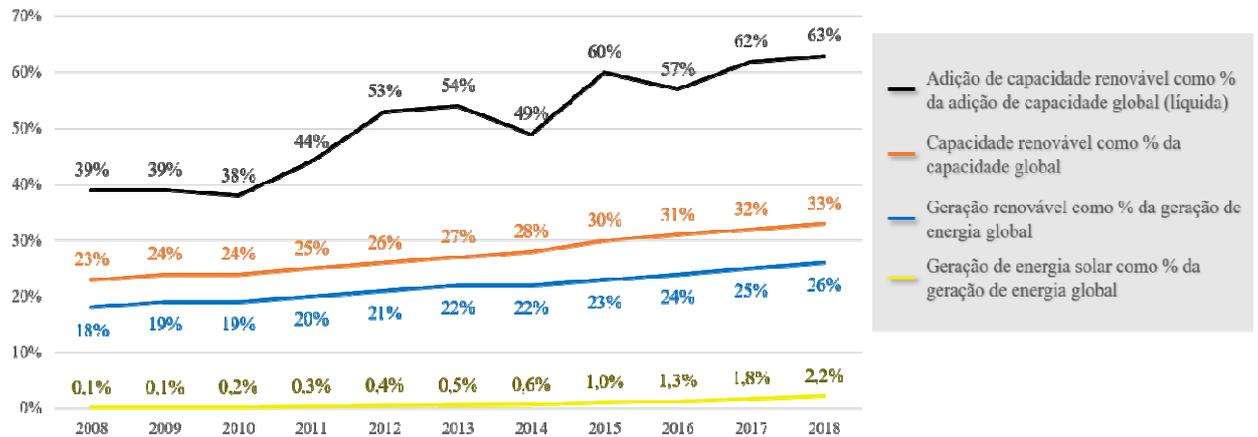
As fontes renováveis são responsáveis hoje por 63% de toda a capacidade recém-instalada de geração de energia elétrica no mundo, e contribuem com 33% da capacidade global de geração de eletricidade e com 26% de toda a energia elétrica produzida (SPE, 2019 com dados de IRENA, 2019), conforme demonstrado no gráfico a seguir.

Figura 15. Capacidade Instalada e Geração de Eletricidade Renovável como Parte da Energia Elétrica Global, 2008-2018

²³ Dados referentes a 2018. Entre 2017 e 2018 houve uma redução de 22% do total de investimentos em energia solar no mundo, uma consequência direta do corte de incentivos por parte do governo chinês ao setor fotovoltaico em maio de 2018.

²⁴ Entre 2017 e 2018 o investimento em biomassa e utilização de resíduos na energia aumentou 54%, enquanto o investimento em nova capacidade eólica aumentou somente 2% (REN21, 2019).

²⁵ Os dados são do *Relatório Global das Energias Renováveis* (REN21, 2019) e correspondem a investimentos em novos projetos de geração de energia renovável. Porém, não foram considerados aqui os novos investimentos em grandes usinas hidrelétricas, com capacidade maior do que 50 MW.



Fonte: Solar Power Europe, 2019 com dados da Agência Internacional de Energia Renovável - IRENA, 2019

Em 2008, menos de 40% das novas adições de capacidade de geração de eletricidade eram de fontes renováveis, esse número flutua, entre 2016 até agora, acima dos 60%. Portanto, é adicionada mais capacidade de geração de energia elétrica renovável no mundo hoje do que capacidade não renovável. Como consequência, há uma evolução crescente nos níveis de capacidade renovável e de geração renovável na matriz elétrica global.

Se hoje as renováveis representam pouco mais de 26% de toda a energia elétrica gerada no mundo, como dito anteriormente, em 2008 esse valor era de aproximadamente 18%, apontando um aumento de 44% na proporção de renováveis na geração elétrica total global em dez anos.

Relativamente, 36% de toda a capacidade de energia elétrica recém-adicionada no mundo em 2018 corresponde à energia solar. Porém, todas as usinas de energia solar fotovoltaica juntas produziram somente 2,2% da produção mundial de eletricidade naquele ano (SPE, 2019). Isso mostra que, apesar do recente papel dominante da energia solar em novas adições de capacidade elétrica, há um enorme potencial inexplorado tanto para a energia solar FV quanto para as demais fontes renováveis modernas de energia na produção e no consumo de eletricidade.

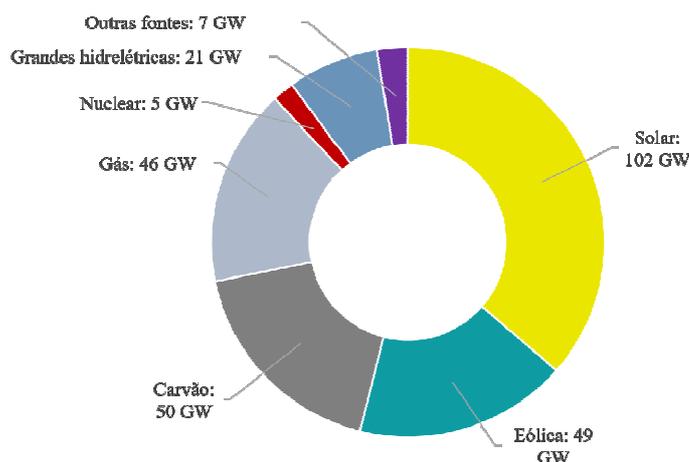
A fonte hídrica continua sendo responsável pela maior parte da produção elétrica renovável global, enquanto a biomassa é responsável pela maior parte da produção de energia renovável como um todo. Por essa razão, é comum encontrarmos na literatura que as fontes

eólica e solar são as maiores fontes renováveis *variáveis* de energia no mundo hoje, também chamadas de fontes intermitentes²⁶.

Por outro lado, a fonte solar não somente adiciona mais capacidade de geração de eletricidade a cada ano entre as fontes renováveis, como também, desde 2016, se destaca por ser a fonte que mais adiciona capacidade elétrica entre todas as demais fontes, sejam elas renováveis ou não (IEA, 2018; REN21, 2019; SPE, 2019).

Em 2018, bem como nos dois anos anteriores, foi implantado mais energia solar FV do que todos os combustíveis fósseis e nucleares somados. Além disso, a energia solar também adicionou mais capacidade elétrica do que todas as energias renováveis combinadas (incluindo grandes hidrelétricas) e instalou mais que o dobro de energia do que a fonte eólica, conforme mostrado na figura a seguir (SPE, 2019).

Figura 16. Capacidade de Geração de Energia Elétrica Adicionada em 2018 por Tecnologia



Fonte: Solar Power Europe (2019), com dados da Global Energy Monitor (2019) e IRENA (2019)

No total, 102,4 GW de energia solar foram instalados no mundo em 2018, excedendo pela primeira vez na história o nível de 100 GW adicionados no período de um ano. Embora o crescimento anual de 4% em relação aos 98,5 GW instalados em 2017 tenha sido modesto, foi

²⁶ Apesar de não ser considerada uma fonte variável de energia, a fonte hídrica depende do volume de água disponível e da quantidade de chuvas que abastecem os reservatórios, o que pode variar de acordo com o período, fazendo com que as usinas hidrelétricas tenham um risco de intermitência implícito.

até mesmo acima do esperado diante das mudanças recentes que ocorreram na política energética da China (SPE 2018; 2019)²⁷.

Depois que o maior mercado de energia solar do mundo, a China, diminuiu substancialmente os subsídios estatais ao setor solar, em maio de 2018, analistas do mercado solar FV reduziram drasticamente suas previsões. Goldman Sachs (2018) previu que somente 75 GW de energia solar seriam adicionados no mundo naquele ano, o que representaria uma queda de 25% na demanda solar global, algo que de fato não ocorreu (Bloomberg, 2018)

O que se observou, na realidade, foi uma queda de pouco mais de 15% em relação a 2017 somente no mercado solar fotovoltaico chinês²⁸, que mesmo assim apresentou seu segundo melhor ano da história, adicionando 45 GW de potência recém-instalados. O volume de adições chinês em 2018 foi quatro vezes maior do que do segundo maior mercado, os EUA, por exemplo.

Se por um lado, a desaceleração no mercado Chinês reduziu os níveis de adições globais, essa freada também faz com que os custos dos equipamentos solares apontem para uma nova tendência de queda no curto e médio prazo.

3.2 A Redução nos Custos da Energia Solar

Boa parte do avanço das energias renováveis - mais precisamente da energia solar FV - ao longo da última década, se deve a uma acentuada redução nos custos envolvidos.

Hoje, os custos de geração para a energia solar são significativamente mais baixos do que para as novas usinas nucleares e a carvão, ficando geralmente também abaixo do gás, e na mesma faixa da energia eólica, onde, a depender da região, a energia solar apresenta custos de geração ainda menores (LAZARD, 2018 e SPE, 2019).

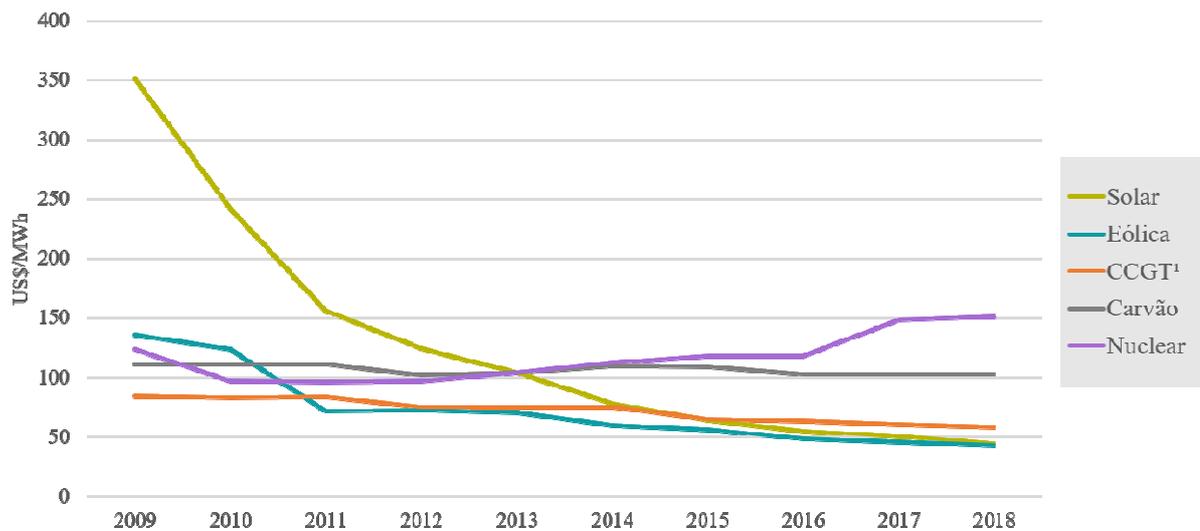
De acordo com os dados obtidos através das entrevistas realizadas ao longo deste trabalho, entre as chaves para a competitividade e o baixo custo atual da geração de energia solar estão: financiamentos de baixo custo, ganhos de escala produtiva e melhorias tecnológicas.

²⁷ GTM Research e Wood Mackenzie (2018) projetaram que a China só instalaria 28,8 GW de energia solar em 2018. A consultora chinesa AECEA (Asia Europe Clean Energy Advisory) rebaixou suas previsões para as adições solares chinesas em 2018 para um limite de 35 GW. A China superou essas e outras expectativas e instalou 45 GW de energia solar FV no ano de 2018. (NEA, 2018)

²⁸ No ano de 2018 foi registrada a primeira queda no mercado fotovoltaico chinês desde 2014 (NEA, 2019).

Embora entre os anos de 2017 e 2018 o custo nivelado da energia solar tenha subido 14% (LAZARD, 2018), devido a repressão na demanda chinesa, o custo da geração de energia elétrica pela fonte solar vem reduzindo drasticamente ao longo dos últimos dez anos, como verificado na figura abaixo.

Figura 17. Custo Médio de Geração de Energia Elétrica por Fonte, 2009-2018



¹CCGT é a sigla em inglês para Ciclo Combinado de Turbina de Gás (Combined Cycle Gas Turbine), arranjo usado para conversão de energias térmica e mecânica em eletricidade

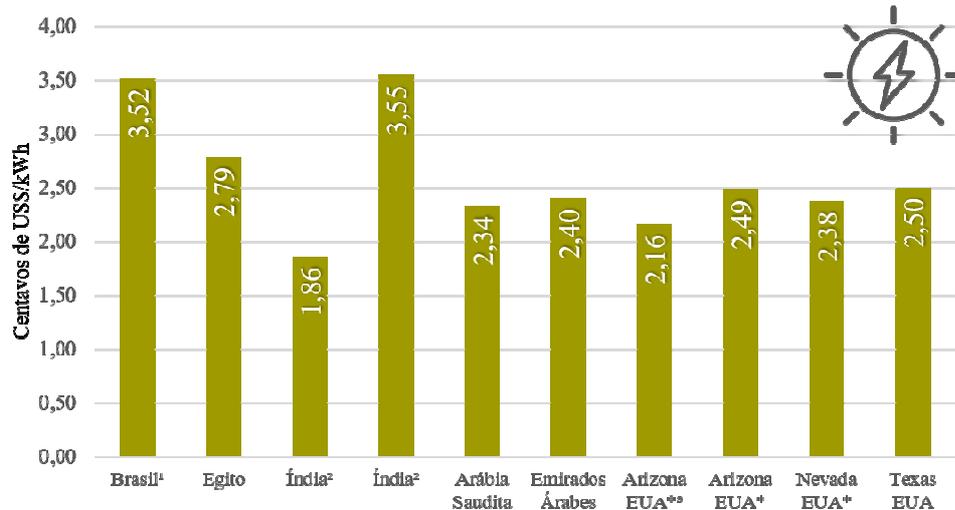
Nota: Todos os preços em US\$ atualizados até jan/2019

Fonte: Solar Power Europe, 2019 com dados de Lazard, 2018.

De acordo com o gráfico, o custo de geração da energia solar reduziu mais de 85% entre 2009 e 2018. Essa significativa redução é, ao mesmo tempo, causa e consequência da escalada global e da disseminação da energia solar fotovoltaica no mundo. Quanto mais se produz, menores são os custos unitários (ganhos de escala) e quanto menores os custos, maior a demanda e o interesse dos desenvolvedores na tecnologia fotovoltaica.

Desde 2016, leilões de energia solar ao redor do globo vêm apresentando preços recordes, ano após ano, sendo comum valores que oscilam próximos da faixa de 2 (dois) centavos de dólar por kWh, como é possível ver na figura a seguir.

Figura 18. Os 10 Menores Preços em Leilões Solares em 2018



* PPA²⁹ com Crédito Fiscal de Produção, 1: Lance Vencedor Médio, 2: Tarifa Crescente (Modelo de Negócio Especial para Projetos Solares em Telhados de Edifícios Estadais), 3: Com 2,5% de Escalonamento Anual

Fonte: Solar Power Europe (2019)

No Brasil, o leilão de contratação de nova capacidade de energia elétrica A-4/2019, realizado em 28 de junho de 2019, apresentou um recorde para a fonte solar fotovoltaica no país, com preço de US\$ 1,76 ¢ / kWh³⁰ (EPE, 2019).

Com as entrevistas realizadas ao longo deste estudo, pode-se concluir que as condições ideais para que um país apresente preços competitivos no mercado solar fotovoltaico resumem-se basicamente a três fatores: uma política energética estável; bons índices de irradiação solar e um ambiente de financiamento sólido, com taxas e prazos razoáveis.

Por esta razão, é seguramente mais simples para os países desenvolvidos e alguns países emergentes desenvolverem seu mercado de energia solar fotovoltaica do que outros. Quanto menor o custo de capital, maior é a vantagem do custo solar. Isso explica o fato de países como Emirados Árabes Unidos, Arábia Saudita, Índia e Brasil, por exemplo, apresentarem acordos de compra de energia solar com valores mais baixos do que outros mercados em desenvolvimento da Ásia, da África e da América do Sul.

Em mercados emergentes, onde o ambiente de negócios se desvia do estado ideal, os preços da energia solar tendem a permanecer consideravelmente mais altos. Isso faz com que os preços da energia solar sejam geralmente mais altos nos países em desenvolvimento do que

²⁹ PPA é a sigla em inglês para *Power Purchase Agreement*, Acordo de Compra de Energia (na tradução literal), que são contratos de longo prazo para compra de eletricidade limpa a uma taxa predeterminada (Fonte: SGP Solar).

³⁰ Considerando a taxa de câmbio de R\$ 3,83/US\$.

nas economias que possuem condições políticas mais estáveis e com boas classificações de crédito (LAZARD, 2018; SPE, 2019).

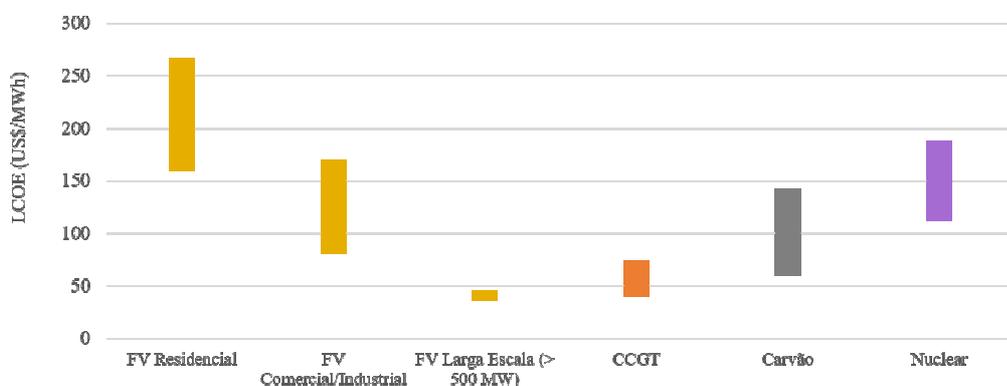
Apesar das dificuldades citadas, alguns mercados em desenvolvimento, através de parcerias com credores internacionais e instituições de financiamento para o desenvolvimento econômico e social, têm conseguido reduzir significativamente seus riscos e alcançado contratos de compra e venda de eletricidade em leilões de energia solar com preços reduzidos.

Senegal, Etiópia, Madagascar e Zâmbia são exemplos de sucessos recentes (que ocorreram entre 2018 e 2019) de países em desenvolvimento, onde concursos para o contrato de compra e venda de energia solar, alcançaram valores abaixo dos 4 centavos de US\$ / Kwh. Esses valores são significativos, já que os preços se aproximam daqueles contratados em países competitivos e com tradição em leilões de energia renovável. (SPE, 2019)

Além das políticas públicas desses países, programas internacionais de incentivo às tecnologias renováveis, como o Programa *Scaling Solar* do Banco Mundial, e instituições como o Banco de Desenvolvimento Alemão (KfW) e o Banco Europeu de Reconstrução e Desenvolvimento (BERD), possuem papel importante na redução dos preços em contratos solares nesses países da África Subsaariana (SPE, 2019).

Em comparação com as fontes convencionais de energia, a energia solar fotovoltaica, principalmente quando utilizada em grande escala, concorre em preços e se mostra uma fonte competitiva, chegando, em alguns casos, a apresentar custos do kWh menores do que fontes tradicionais, como carvão e gás natural, conforme demonstrado na figura a seguir.

Figura 19. Custos de Geração de Energia Solar em Comparação com as Fontes Tradicionais de Energia, 2018



Fonte: Solar Power Europe (2019), com dados da Lazard (2018)

O gráfico acima mostra o LCOE³¹ (Custo Nivelado de Energia) ou Custo do kWh Produzido da fonte solar FV nas suas três variações (Residencial, Comercial/Industrial e Larga Escala) em comparação com as fontes convencionais de energia. Como é possível analisar, tanto no formato de larga escala quanto no formato comercial/industrial (pequena e média escala), a energia solar possui custos nivelados semelhantes ou até mesmo menores que fontes tradicionais de geração de eletricidade.

Até aqui, vimos que, diante de um prolongado ciclo de redução de custos e aumento nos níveis de investimento, as energias renováveis ocupam hoje um papel de destaque no cenário energético global. A energia solar fotovoltaica, por sua vez, se destaca hoje como uma das principais fontes renováveis modernas de energia no mundo, figurando nos principais programas e políticas públicas de energia de países que buscam garantir a segurança energética para sua população, sem abrir mão dos objetivos do desenvolvimento sustentável.

A seguir, será apresentado um resumo do desenvolvimento do mercado solar fotovoltaico global ao longo dos últimos dez anos e, em seguida, um breve panorama dos quatro maiores países produtores de energia fotovoltaica no mundo, buscando dissertar sobre os principais avanços, desafios e perspectivas enfrentados pelos líderes globais do mercado solar.

3.3 Uma Breve Análise do Mercado Global de Energia Solar FV entre 2008 e 2018

O atual mercado mundial de energia solar FV tem um volume de investimentos três vezes maior³² do que há uma década, mesmo com a significativa queda nos custos envolvidos. Ainda em comparação à década anterior, a capacidade acumulada global de geração de energia elétrica pela fonte solar aumentou mais de trinta vezes entre 2008 e 2018.

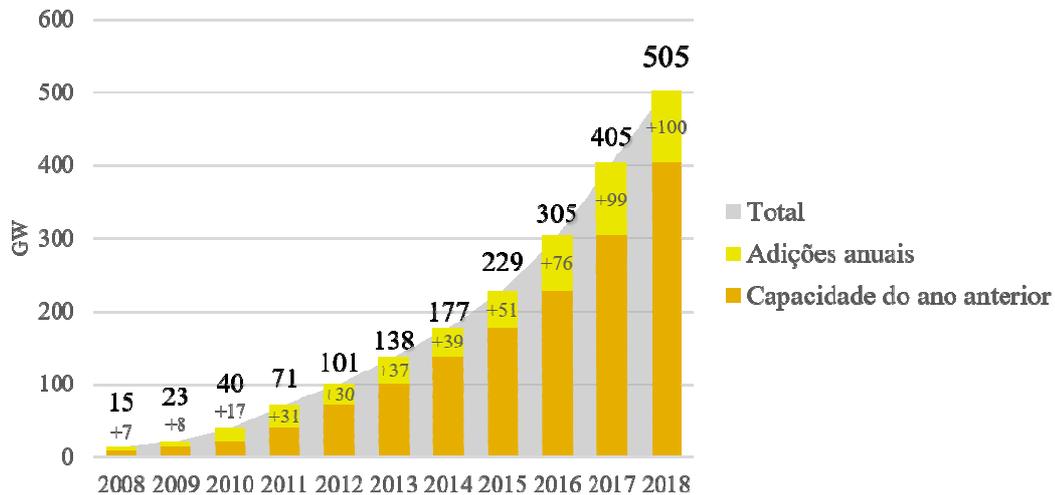
Todos os continentes, com exceção da Antártica, produzem hoje energia elétrica através da fonte solar. No final de 2018, ao menos 32 países tinham capacidade fotovoltaica acumulada de pelo menos 1 GW e 11 países adicionaram mais de 1 GW de nova capacidade

³¹ LCOE é a sigla em inglês para Levelized Cost of Energy ou Custo Nivelado de Energia, que permite analisar (em valor presente) o custo total de um sistema de geração de energia e o montante de energia gerado ao longo de sua vida útil, possibilitando, assim, a comparação dos custos energéticos de diferentes fontes.

³² O volume de novos investimentos em energia solar no mundo em 2018 foi calculado em aproximadamente US\$ 140 bilhões. Esse valor representa uma queda de 22% em relação a 2017, quando ficou acima de US\$ 180 bilhões. A queda se explica pela decisão da China em reduzir os subsídios para o mercado solar. O valor de investimentos em 2008 era de pouco mais de US\$ 60 bilhões (valor corrigido em US\$ de 2018) (SPE, 2019).

fotovoltaica cada um naquele ano, sendo um deles o Brasil. (IEA, 2016; REN21; 2019 SPE, 2019; IRENA, 2019)

Figura 20. Capacidade Instalada Total e Adições Anuais Globais (em GW) de Energia Solar FV entre 2008 e 2018



Fonte: REN21, 2019

De acordo com a figura acima, em 2008, há uma década atrás, o mundo possuía cerca de 15 GW de energia solar fotovoltaica instalados. Em 2018, a potência instalada total de energia solar FV chegou a aproximadamente 505 GW, um aumento de 3.267 % (três mil duzentos e sessenta e sete por cento) no período. Somente no último ano, em 2018, a capacidade acumulada aumentou cerca de 25 % em relação ao ano anterior.

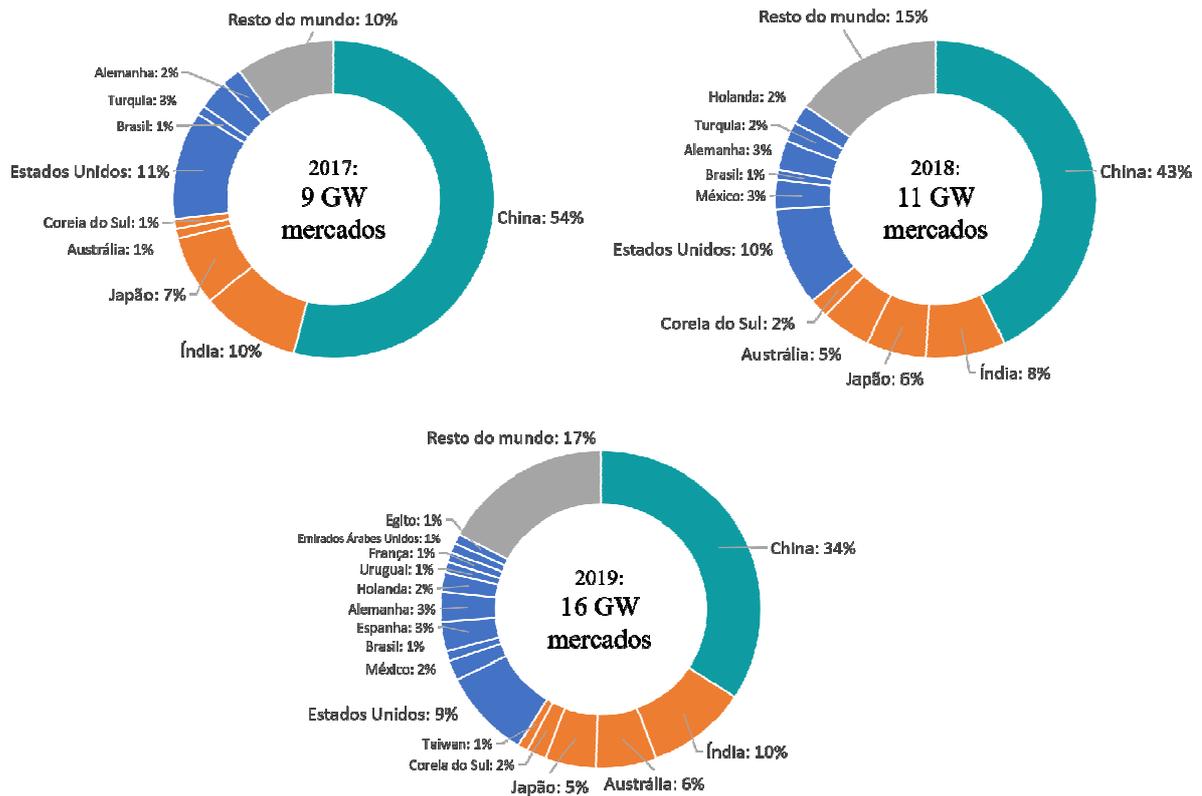
Os dez países com maior capacidade acumulada atualmente são China, EUA, Japão, Alemanha, Índia, Itália, Reino Unido, Austrália, França e Coreia do Sul, nesta ordem (IEA, 2019).

Em 2018, onze países adicionaram mais de 1 GW de capacidade em seus mercados de energia solar fotovoltaica cada um. China, Estados Unidos, Índia, Japão, Austrália, Alemanha, México, Coreia do Sul, Turquia, Holanda e Brasil integraram a lista dos “*GW markets*” naquele ano, nomenclatura designada aos mercados que adicionam ao menos 1GW de capacidade fotovoltaica no período de um ano (REN21, 2019; SPE, 2019).

Outros seis países estiveram perto desta marca. Egito, Emirados Árabes Unidos, França, Ucrânia, Espanha e Taiwan estiveram próximos de instalar 1 GW de eletricidade FV durante 2018 e são reais candidatos a integrarem a próxima lista dos “*GW markets*” em 2019 (SPE, 2019).

O gráfico a seguir revela a evolução, entre 2017 e 2018, do número de “GW Mercados” e traça uma previsão para 2019, baseada nas análises da Associação Europeia de Energia Solar (SPE) com a representatividade de cada país na adição global de energia fotovoltaica.

Figura 21. Mercados Solares Mundiais em Escalas de GW entre 2017 e 2019



Nota: Os dados de 2019 referem-se à previsão da Solar Power Europe para o cenário global

Fonte: SPE, 2019

Em 2017, nove países haviam instalado mais de 1 GW de energia solar fotovoltaica. Houve, portanto, um crescimento de 22% no número de países que atingiram esse nível, entre 2017 e 2018.

Pelo gráfico é possível observar, também, a grande superioridade da China nas adições fotovoltaicas em relação aos demais países. Nota-se, porém, uma queda na participação chinesa em relação ao resto do mundo desde 2017, quando a China instalou 54% de toda a nova capacidade fotovoltaica global. Esse valor caiu para 43% em 2018 e a estimativa média para 2019 é que a China seja responsável por 34% das adições globais (SPE, 2019).

Outra característica relevante está na soma dos países que instalaram menos de 1 GW. Em 2017, esses países - representados no gráfico como “Resto do Mundo” - foram

responsáveis por somente 10% das adições. Em 2018, esse valor chegou a 15% e a expectativa é que suba para 17% em 2019. Isso mostra que há um número significativamente crescente de países adicionando tecnologia solar fotovoltaica no mundo.

A China, como dito, lidera atualmente (e com folga) o mercado global de energia solar fotovoltaica. Esse papel de liderança chinês, entretanto, é relativamente recente. O país asiático passou a ser o mercado solar que mais cresce a cada ano somente em 2012. Um pouco mais tarde, em 2015, a China se tornou a nação com maior capacidade FV instalada e operante, ocupando, desde então, os dois cargos, o de maior mercado solar e o de maior produtor de energia FV no mundo.

Outros países já ocuparam, antes da China, a posição de maior produtor mundial de energia solar fotovoltaica. Os EUA (até meados dos anos 1990), o Japão (entre 1995 e 2004) e a Alemanha (entre 2005 e 2014) já assumiram, um dia, o papel de principal mercado solar fotovoltaico do mundo e também o de maiores produtores mundiais de energia solar. Os quatro países são hoje os maiores produtores globais de energia FV e juntos correspondem a cerca de 65 % de toda a capacidade instalada global acumulada (IEA, 2019).

Em diversos países a energia solar FV tem desempenhado um papel significativo e crescente na geração elétrica. Em 2018, a tecnologia FV representava 12,1% da geração total de eletricidade em Honduras e participações substanciais também na Itália e na Grécia (cerca de 8 %), além de Alemanha (7,7%) e Japão (6,5%). (REN21, 2019)

Até o final de 2018, havia capacidade operante suficiente em todo o mundo para produzir cerca de 640 TWh de eletricidade por ano, ou aproximadamente 2,4% da geração global anual de eletricidade. Vimos que naquele ano a energia solar foi responsável por 2,2 % do consumo global de eletricidade (REN21, 2019 e SPE, 2019).

Com os dados analisados até aqui, é possível dimensionar o papel da energia solar fotovoltaica no mundo contemporâneo e atestar a sua competitividade e o seu potencial de crescimento. A seguir, será apresentado um panorama conciso dos principais produtores de energia solar FV no mundo hoje, discorrendo rapidamente sobre a evolução, o potencial e os principais desafios enfrentados atualmente por esses países no desenvolvimento da tecnologia solar.

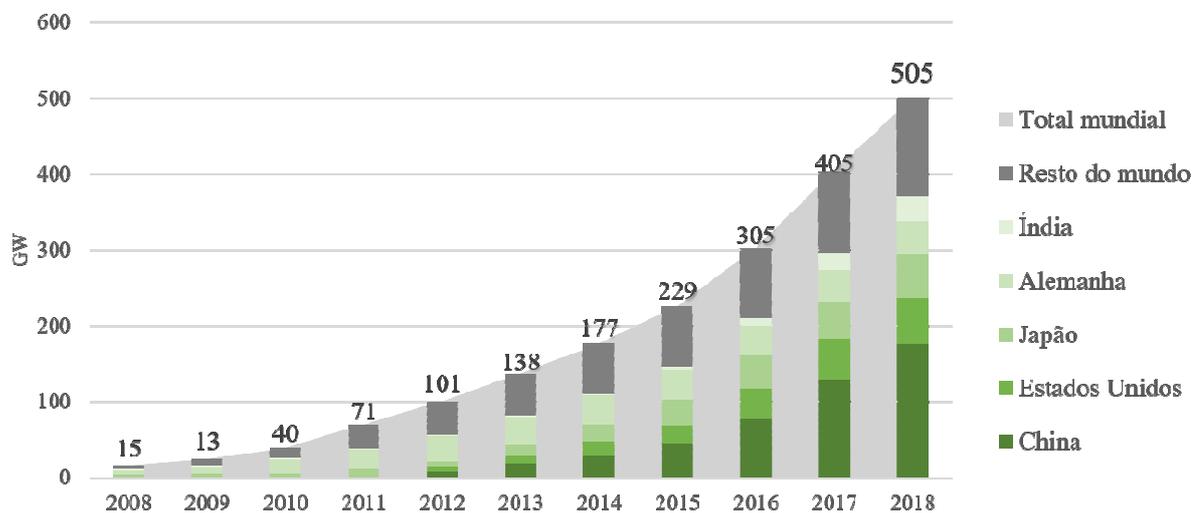
3.4 Os Maiores Produtores de Energia Solar Fotovoltaica no Mundo

Se analisarmos a capacidade acumulada de geração de energia elétrica pela fonte solar fotovoltaica, os países com maior capacidade instalada acumulada hoje são China (175 GW),

EUA (62 GW), Japão (56 GW) e Alemanha (45 GW). Não por mera coincidência, essas quatro nações se revezaram na liderança do mercado solar global, entre os anos 1990 até os dias de hoje.

Por essa razão, os quatro países citados foram selecionados para uma análise mais aprofundada de seus mercados solares, como forma de absorver parte da experiência adquirida por esses agentes no sucesso perante os desafios do processo de aplicação e desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica em seus territórios e compará-los ao grau de amadurecimento do mercado brasileiro.

Figura 22. Capacidade Instalada Global de Energia Solar FV entre 2008 e 2018 - Principais Produtores



Fonte: REN21, 2019

O gráfico acima ilustra a evolução “solar” dos quatro países escolhidos e também mostra a evolução recente da Índia, que também se destaca no cenário global do mercado fotovoltaico.

A seguir, serão analisados os principais fatores responsáveis para que cada um dos quatro países líderes alcançassem o topo do mercado solar fotovoltaico global e quais foram ou tem sido os principais desafios enfrentados por eles durante esse processo. Os países estão apresentados por ordem de capacidade total instalada observada até o final de 2018.

3.4.1 China

A China é hoje o maior mercado de energia solar fotovoltaica do mundo. No final de 2018, sua capacidade instalada acumulada atingiu quase 175 GW de potência, o que equivale a cerca de 35% da capacidade FV instalada total no mundo (IEA, 2019; SPE, 2019).

Os dados chineses divergem ligeiramente entre a Administração Nacional de Energia (NEA), órgão oficial do governo chinês e a Associação da Indústria Fotovoltaica da China (CPIA). Enquanto os dados oficiais do governo apontam um acréscimo de 44,3 GW na capacidade fotovoltaica instalada em 2018, por exemplo, os dados da CPIA mostram um aumento de 43,6 GW, cerca de 500MW menor³³ (SPE, 2019).

Dessa nova capacidade instalada, levando em consideração os dados oficiais do governo chinês, 23,3 GW (53%) correspondem a novas usinas de larga escala com geração centralizada (acima de 6 MW) e os outros 20,96 GW (47%) são correspondentes à geração local distribuída (SPE, 2019).

Independentemente da fonte que levarmos em consideração, a China foi responsável por quase 45% de toda a instalação global de energia FV no ano de 2018 e possui praticamente a mesma capacidade instalada de EUA, Japão e Alemanha somados. Esse fenômeno chinês no desenvolvimento da tecnologia solar fotovoltaica em menos de uma década é admirável e, ao mesmo tempo, controverso.

Desde 2013, o gigante asiático é o país que mais instala energia solar fotovoltaica no mundo, ano após ano. Em 2015, o país comunista superou todos os demais países em capacidade instalada total e o seu crescimento tem sido expressivo desde então. Durante o ano de 2017, a China foi o primeiro país do mundo a ultrapassar a marca de 100 GW de energia solar fotovoltaica instalada acumulada³⁴.

O grande objetivo do governo chinês é, certamente, aumentar a participação das energias renováveis na sua matriz elétrica, reduzindo, assim, sua grande dependência do carvão e os seus altos níveis de emissão de gases poluentes e causadores do efeito estufa. Esse desafio está claro nos documentos da Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma

³³ Apenas para efeito de comparação, a China adicionou, em 2018, 20,59 GW em nova capacidade eólica, elevando sua capacidade acumulada em energia dos ventos para 184,26 GW (IEA, 2019).

³⁴ A Europa já havia se tornado a primeira região a ultrapassar o marco de 100 GW em 2016 (EPIA, 2016).

(NDRC) que, desde 2007, estipulam metas e diretrizes para o de crescimento da capacidade instalada de energias renováveis na China³⁵.

Em 2010, o mercado chinês de energia solar FV enfrentou um rigoroso choque externo, com a recessão repentina na demanda internacional gerada principalmente por mudanças regulatórias no mercado alemão que dificultaram o acesso das fabricantes chinesas ao mercado europeu. Mais tarde, em 2012, os EUA também impuseram elevadas tarifas sobre a importação de produtos fotovoltaicos chineses e, menos de um ano depois, em 2013, foi a vez da União Européia adotar medidas definitivas antidumping e antissubsídios contra os produtos solares chineses (Bloomberg, 2012; Comissão Européia, 2013).

Para superar o conflito gerado pela recessão e evitar um colapso na indústria chinesa de energia solar fotovoltaica, o governo chinês lançou um vasto conjunto de políticas e medidas que estimularam o mercado doméstico fotovoltaico, principalmente através de subsídios ao setor solar e da construção de diversas usinas fotovoltaicas espalhadas pelo país.

O resultado dessas medidas foi um crescimento significativo, a partir de 2011, no mercado solar chinês, superando todas as metas do governo para o setor ano após ano e fazendo com que o país asiático alcançasse, ainda em 2017, o nível previsto para 2020, de acordo com o 13º Plano Quinquenal da China (2016-2020)³⁶.

Com a meta alcançada de forma antecipada e diante de dificuldades geradas pelo acúmulo de atrasos no pagamento dos incentivos ao setor, o governo chinês decidiu, em maio de 2018, reduzir os subsídios ao mercado solar fotovoltaico³⁷, freando a demanda interna (houve queda de 16% no ritmo de crescimento do mercado solar fotovoltaico chinês entre 2017 e 2018), o que gerou uma expectativa de redução de preços nos sistemas fotovoltaicos ao redor do mundo, já que boa parte das instalações são compostas por produtos chineses³⁸.

³⁵ Segundo Yang et al (2016) a China desenvolve ativamente energias renováveis desde o ano 2000 e faz progressos substanciais desde 2007, com uma taxa média de crescimento anual das fontes renováveis de 62,5% entre 2006 e 2015.

³⁶ De acordo com o “13º Plano Quinquenal de Desenvolvimento da Energia Solar” emitido pela Administração Nacional de Energia (NEA) no final de 2016, a capacidade instalada de geração de energia fotovoltaica foi planejada para atingir 105 GW até 2020. No entanto, até o final de 2017, a meta prevista foi superada e a China havia instalado mais de 130 GW na época. (SPE, 2019)

³⁷ Em 31 de maio de 2018, com a publicação do “2018 Solar PV Generation Notice”, o governo chinês ajustou as políticas de subsídio ao setor solar, para controlar o ritmo de desenvolvimento e evitar o crescimento excessivo do seu mercado fotovoltaico, após o recorde registrado em 2017, quando 53 GW de nova capacidade foram instalados somente naquele ano. (SPE, 2019)

³⁸ Mais de 60% dos módulos fotovoltaicos usados no mundo são fabricados na China ou em Taiwan (IEA, 2017).

Devido ao corte anunciado pelo governo chinês, o mercado anual de energia solar fotovoltaica da China caiu em 2018, o que ocorreu pela primeira vez, desde 2014.

Sob essa nova orientação política, a tendência é que o mercado solar chinês mude gradualmente de uma fase de crescimento extensivo para uma nova fase, impulsionada por projetos de geração de eletricidade limpa com menor grau de subsídios governamentais e com maior eficiência e qualidade, contando com um design mais elaborado de mercado e reduzindo os desperdícios com energia elétrica.

Os desperdícios com transmissão e com a não utilização da energia solar gerada pela China, resultam num baixo fator de capacidade (eficiência) no consumo da energia solar fotovoltaica no país e são, provavelmente, o ponto mais polêmico do notável desenvolvimento do setor fotovoltaico do país, que ainda conta com outras controvérsias.

A maior parte da capacidade instalada na China nos últimos dez anos foi construída nas regiões menos povoadas (Norte e Oeste) e longe das principais áreas de consumo de eletricidade, como Xangai e Pequim, por exemplo. Enquanto o lado Leste do país abriga 94% da população, o lado Oeste abriga somente 6%, já a distribuição das fazendas solares chinesas é totalmente oposta (SPE, 2019). Muitas das usinas solares do país estão localizadas longe dos grandes centros urbanos que precisam da energia elétrica gerada por elas, fazendo com que o fator de capacidade desses recursos de energia solar na China seja consideravelmente baixo, já que uma parte da energia é perdida ao longo das linhas demasiadamente extensas de transmissão.

Esse desequilíbrio faz com que analistas do mercado internacional e organizações que defendem o desenvolvimento sustentável, como o Greenpeace, por exemplo, acusem a China de instalar parques solares sem a real necessidade energética, somente para fomentar a indústria de equipamentos do setor fotovoltaico e manter a demanda de seus produtores locais (REUTERS, 2017).

Mesmo com toda a capacidade fotovoltaica instalada, a energia solar na China é responsável hoje por apenas 2,6 % de toda a eletricidade utilizada, sendo que o carvão continua sendo responsável pela maior parte (quase dois terços) da demanda elétrica chinesa. (REN21, 2019; CEP, 2018).

Há, ainda, outra possível razão por trás do empenho chinês na construção de fazendas solares em regiões tão remotas, porém sensíveis politicamente. Trata-se da busca em consolidar a autoridade do governo chinês e dar suporte para a etnia chinesa se estabelecer em determinadas áreas. Nas últimas décadas, a China tem estimulado o investimento em infraestrutura renovável nas proximidades do Tibete, por exemplo, uma região autônoma que

possui seu território reivindicado pelo governo chinês. Portanto, é possível que o governo utilize das energias renováveis modernas com o intuito de cimentar sua presença em algumas dessas áreas.

Existe, ainda, outro ponto polêmico, mas que não se restringe somente ao mercado chinês e sim ao mercado fotovoltaico global. Os módulos solares duram cerca de 30 anos e seu processo de reciclagem é complexo, eles contêm substâncias químicas prejudiciais a saúde humana, como o ácido sulfúrico, por exemplo. Não somente a China, mas também os demais países com expressiva capacidade instalada, deverão se deparar com um rápido aumento do lixo da energia solar, principalmente a partir de 2040.

Embora os resíduos dos painéis solares sejam certamente menos problemáticos do que os do lixo nuclear, por exemplo, planos viáveis para lidar com um grande volume deste 'lixo solar' ainda são um desafio a ser superado pelos países produtores de energia fotovoltaica. É preciso garantir que a tecnologia fotovoltaica, quando utilizada em grande escala, seja de fato sustentável e, nesse ponto, a China terá o maior dos problemas em sua alçada, já que possui a maior quantidade de módulos solares instalados no mundo hoje.

O fato é que, em algum momento, os países produtores de energia solar em larga escala terão que lidar com esse tipo de problema. Porém, independentemente da solução, grandes fazendas solares ainda serão construídas ao redor do mundo durante os próximos 20 ou 30 anos, talvez até maiores do que as que já existem hoje.

Como visto anteriormente, a tendência é que a China avance ainda mais no sistema de geração distribuída ao longo dos próximos anos e, ainda que cercada de controvérsias, continue exercendo o papel de líder global no desenvolvimento da tecnologia solar fotovoltaica. A meta para 2050, segundo o governo chinês, é de atingir 1.300 GW de capacidade solar instalada e, se alcançado esse objetivo, a energia solar FV se tornará a fonte com maior capacidade de geração de eletricidade no país (SPE, 2019).

Segundo os estudos de Jin Yang et al (2016), a China deverá atingir uma parcela de energia renovável entre 45% e 50% da sua matriz energética até 2050.

Se atualmente a energia solar é considerada uma fonte renovável competitiva e promissora, a China é, sem dúvidas, uma das grandes responsáveis (se não a maior) por esse feito. Os títulos e as ambições chinesas fazem jus a uma posição de liderança global.

O país possui hoje a maior usina solar fotovoltaica do mundo, O Parque Solar do Deserto de Tengger, na região Norte da China, com capacidade total de aproximadamente 1,5 GW, cobrindo uma área de mais de 43 km²³⁹.

Pertence a China, também, a atual maior usina solar flutuante do mundo, a Fazenda Solar Sungrow Huainan, localizada no leste do país, com 166 mil módulos solares que flutuam sobre um lago artificial criado na localidade de uma antiga mina de carvão. A capacidade total dessa usina flutuante é de 40 MW, o suficiente para abastecer com energia elétrica uma pequena cidade de até 15 mil residências (SolarVolt, 2019).

De acordo com Yan et al (2019), a energia elétrica gerada por módulos solares domésticos na China é, hoje, mais barata do que a eletricidade fornecida pela rede do governo. O estudo levou em consideração os investimentos totais do projeto (incluindo gastos com equipamentos e estrutura), produção de eletricidade e os preços comerciais da energia na rede pública em 344 cidades chinesas.

Além de ter alcançado um nível de paridade entre a energia solar fotovoltaica e a eletricidade comum, a China também investe maciçamente em pesquisa, inovação e programas de redução de pobreza e valorização de empresas desenvolvedoras da tecnologia solar, o que fortalece ainda mais o seu setor fotovoltaico.

Além da tarifa “*feed-in*” (alimentar) que impulsionou durante anos o setor solar através de subsídios e ainda o faz (porém de forma bastante reduzida desde 2018), o país conta também com grandes programas como o Programa de Alívio à Pobreza, que, desde 2017, já adicionou 15,44 GW de energia solar FV conectadas à rede, ajudando mais de dois milhões de famílias afetadas pela pobreza, em 26 províncias chinesas (SPE, 2019 com dados da CPIA, 2019).

Outro programa de grande dimensão no país é o Programa *Top Runner*, que promove a aplicação e a atualização industrial de produtos de tecnologia fotovoltaica mais avançada. A ideia principal do projeto é estimular as empresas inovadoras e de alta *performance* do setor solar em suas atividades, além de fechar instalações de produção desatualizadas, melhorando assim a qualidade geral dos produtos e serviços do mercado fotovoltaico chinês (SPE, 2019).

³⁹ Atualmente está sendo desenvolvido, na Índia, o complexo solar de Bhadla, que entregará 2,25 GW de potência instalada. Já foram instalados mais de um milhão de módulos solares, mas somente 15% do parque encontra-se em operação hoje. Quando a fazenda solar atingir a sua capacidade total, assumirá o título de maior usina de energia solar fotovoltaica do mundo O mesmo ocorre com o complexo solar de Benban, no Egito, que deverá se tornar, quando finalizada, a segunda maior usina solar FV do mundo (Fonte: SolarVolt, 2019, disponível em <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/maiores-usinas-solares-do-mundo/>, acessado em 14/09/2019).

Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento em alta tecnologia e inovação presentes na China, com apoio governamental e com amplo planejamento e estruturação, são comumente refletidos em empreendimentos inovadores e em produtos e serviços de excelência que competem no mercado internacional e reforçam a China como o país líder no setor solar nos tempos atuais. (Shubbak, 2018). Vale lembrar aqui que cerca de 90% dos painéis e módulos solares utilizados nos sistemas fotovoltaicos no mundo hoje são de origem Chinesa. (IEA, 2019)

Além dos exemplos já citados, podemos mencionar também o desenvolvimento do setor fotovoltaico chinês nas regiões produtivas agrícolas, que atuam hoje como um dos principais catalisadores do crescimento da geração distribuída no país (Sun et al, 2019).

A ambição chinesa e o amplo investimento em P&D podem ser ilustrados, ainda, em projetos como o da fabricante de aviões OXAI Aircraft que, recentemente, fez voos experimentais numa aeronave não tripulada, a MOZI 2, movida exclusivamente por energia solar fotovoltaica⁴⁰.

Outro exemplo notável das pretensões chinesas no setor fotovoltaico é o projeto da Academia de Tecnologia Espacial de Xi'an na Universidade de Chongqing, na província chinesa de Shaanxi. O programa tem o propósito de verificar a viabilidade e desenvolver uma estação de energia solar FV na órbita terrestre. Esse projeto, se viabilizado, faria da China o primeiro país a captar energia do Sol no espaço e transmití-la à Terra.

Os exemplos citados acima apenas ilustram a importância chinesa e sua veloz ascensão no desenvolvimento do mercado solar, principalmente nos anos mais recentes, além das grandes perspectivas do país em relação ao futuro da energia solar. Sob a nova estrutura política adotada, a indústria fotovoltaica da China deverá fortalecer ainda mais a inovação tecnológica e acelerar o ritmo de modernização nos próximos anos, reduzindo custos e aumentando a sua eficiência.

Apesar dos grandes desafios enfrentados pela China, é inegável o importante papel do país asiático no desenvolvimento da fonte solar fotovoltaica no mundo durante a primeira metade do século XXI.

⁴⁰ A MOZI 2 é uma aeronave com envergadura de 15 metros capaz de voar à altitude de até 8 mil metros e navegar, em baixa velocidade, por até 12 horas durante a noite, após ter suas baterias carregadas por 8 horas na luz do Sol. O voo inaugural foi realizado em 30 de julho de 2019. Segundo os desenvolvedores do projeto, a aeronave poderá ser usada para ajudar em desastres, missões de reconhecimento e esforços de comunicação. (fonte: <https://olhardigital.com.br/noticia/aviao-chines-nao-tripulado-movido-por-energia-solar-faz-voos-inaugural/88699>, acessado em 17/08/2019)

3.4.2 EUA

A história dos EUA com a energia solar fotovoltaica remonta à fabricação das primeiras células modernas de transformação de energia solar em eletricidade. Como foi visto com detalhes no segundo capítulo desse trabalho, Russel Ohl, Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin, estiveram envolvidos na construção e no desenvolvimento das primeiras células fotovoltaicas de silício, ainda nas décadas de 1940 e 1950 e deram início ao que podemos considerar como a era moderna da energia solar.

Durante a segunda metade do século XX, a tecnologia solar fotovoltaica teve finalidades bastante específicas, como de alimentar sistemas remotos de comunicação ou em aplicações em programas espaciais. Essa particularidade durou até o início dos anos 1970, quando uma crise entre os EUA e os países árabes membros da OPEP fez com que o preço do petróleo subisse drasticamente, despertando assim o interesse de diversos países em fontes alternativas de energia.

O desenvolvimento tecnológico da energia fotovoltaica, no entanto, ainda era lento e suas aplicações, até o final do século XX, foram principalmente em pequenos produtos eletrônicos, como calculadoras, relógios, brinquedos e sistemas isolados de energia, especialmente em localidades mais remotas, de difícil acesso às redes elétricas.

A corrida aeroespacial entre EUA e a antiga União Soviética, durante o período da Guerra Fria, foi um dos principais catalisadores da evolução tecnológica das células e dos instrumentos fotovoltaicos durante o século passado.

Em meados dos anos 1990, os EUA possuíam uma capacidade fotovoltaica total de cerca de 80 MW, considerada baixa para os dias de hoje, mas, bem além de qualquer outro país à época. Entretanto, a liderança norte americana no mercado fotovoltaico global não duraria muito tempo e, ainda no final do século XX, o Japão passaria a ocupar o posto de maior produtor mundial de energia solar FV, assumindo assim a posição dos EUA.

Estados Unidos e Japão possuem hoje uma capacidade instalada de energia FV semelhantes entre si, com os EUA um pouco à frente. O maior produtor de energia solar da América possui hoje 62,4 GW de capacidade fotovoltaica total instalada, enquanto o Japão possui cerca de 56 GW (REN21, 2019).

Somente em 2018, os EUA adicionaram 10,6 GW de capacidade solar FV (REN21, 2019).

Dentre os principais estados norte americanos no desenvolvimento da energia solar hoje, destacam-se Califórnia, Carolina do Norte e os menos tradicionais, mas emergentes mercados solares dos estados do Arizona, Nevada, Texas e Flórida (SEIA, 2019¹). Somente o

estado da Califórnia adicionou (em 2018) 3,4 GW de nova capacidade fotovoltaica. Esse valor representa mais que as adições somadas do segundo e terceiro colocados entre os estados americanos no ano, o Texas (1 GW) e a Carolina do Norte (0,9 GW) (REN21, 2019).

A Califórnia se tornou, ainda, o primeiro estado norte americano a exigir sistemas fotovoltaicos na maioria das novas residências construídas a partir de 1º de janeiro de 2020, graças a uma lei aprovada em 9 de maio de 2018, pela Comissão de Energia da Califórnia⁴¹.

Apenas alguns meses depois, em 10 setembro de 2018, o estado da Califórnia comprometeu-se oficialmente a gerar ao menos 50% de sua energia elétrica através de fontes livres de carbono até o ano de 2025 (passando para 60% até 2030, até atingir 100% de eletricidade renovável até 2045), uma meta claramente ambiciosa.

A nova lei de padrões de eficiência californiana é inédita no país no âmbito estadual (outras leis já haviam exigido sistemas solares e eficiência energética em novas construções, mas apenas no âmbito municipal) e reforça a posição do estado da Califórnia como vanguarda da elaboração de políticas energéticas e ambientais progressivas, além de auxiliar no alcance da meta estabelecida em 2018.

Outros estados americanos como Nova Jersey, Louisiana e New Hampshire possuem programas de incentivos fiscais à aplicação de energia solar e ao menos vinte estados do país incluem em seus planos de desenvolvimento a promoção da energia solar fotovoltaica (SEIA, 2019¹).

Políticas de incentivo às fontes renováveis de energia e restrições às fontes fósseis mais poluentes têm contribuído para que algumas energias renováveis no país fiquem mais baratas do que a energia do carvão. Estima-se que, hoje, mais de três quartos (74%) de toda a produção de eletricidade nos EUA através do carvão sejam mais caras do que a eletricidade gerada pelas fontes renováveis solar e eólica. Ainda é esperado que, até 2025, praticamente

⁴¹ A Lei de Padrões de Eficiência Energética aprovada na Califórnia, em maio de 2018, exige, além da tecnologia solar FV, melhores sistemas de isolamento e ventilação nas residências e edifícios de até três andares, bem como atualizações de eficiência energética para iluminação dos prédios não residenciais. Os padrões adotados buscam incentivar, ainda, tecnologias de resposta à demanda, como sistemas de armazenamento de baterias e aquecedores de água com bomba de calor, que permitam armazenamento de eletricidade quando gerada em excesso e menor gasto com energia no aquecimento. As novas construções devem incluir alguma forma de energia solar, sendo possível instalar painéis nas residências individuais ou então criar sistemas de energia compartilhados para um grupo de residências. Os imóveis estarão conectados à rede elétrica tradicional, para momentos em que a energia solar não for abundante, como à noite, por exemplo. Os proprietário ainda terão a opção de comprar os painéis, arrendá-los ou firmar um contrato de compra de energia com a empresa responsável pela construção da casa. A nova lei inclui, também, uma exceção para qualquer casa que simplesmente não possa aproveitar a energia solar, como aquelas que estão completamente à sombra.

todo o sistema de geração elétrica a carvão tenha o custo do KWh mais elevado do que as principais fontes renováveis modernas de eletricidade (Gimon et al, 2019).

Enquanto as usinas a carvão sofreram aumento em seus custos de manutenção ao longo dos últimos dez anos, devido principalmente a requisitos de controle de poluição aplicados pelos antigos governos federais, as fontes renováveis de energia, por sua vez, viram seus custos reduzirem a medida que a indústria obteve ganhos de escala e melhoria tecnológica.

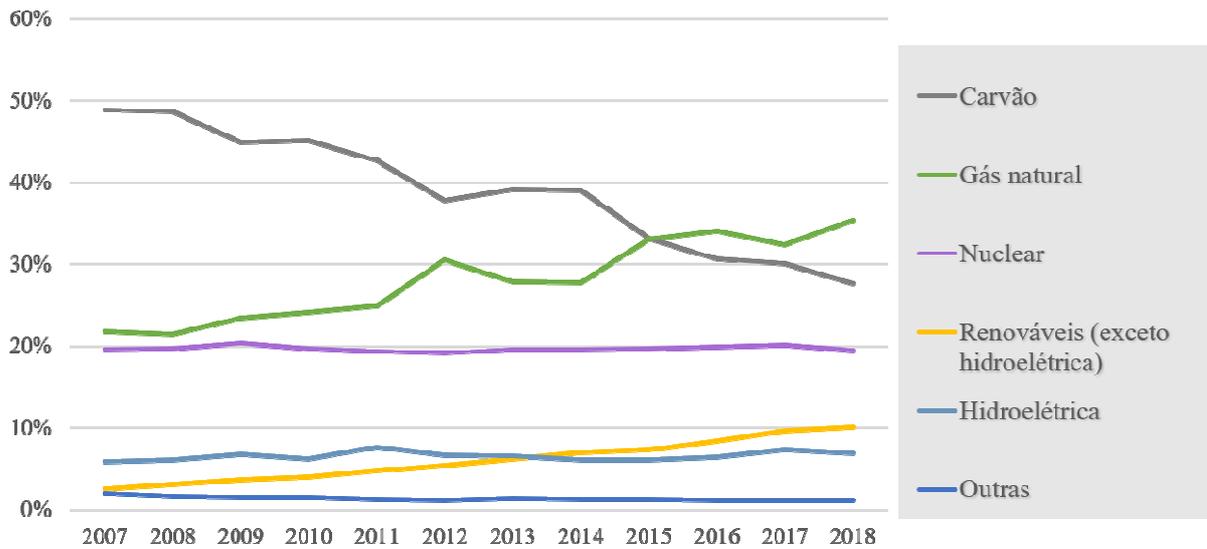
Desde 2008, mais da metade das minas de carvão foram fechadas em território norte americano (EIA, 2019¹), reduzindo, assim, a energia gerada por usinas termoelétricas a base desse combustível fóssil. Mas, apesar da ascensão das fontes renováveis modernas, a grande disponibilidade de gás natural a um preço acessível, foi ainda mais decisiva na queda da demanda de carvão para obtenção de energia elétrica no país⁴².

Hoje, as fontes renováveis de energia são responsáveis por cerca de 17% de toda a geração de eletricidade nos EUA, sendo que a fonte solar corresponde a 2,3 % (IEA, 2019²).

O carvão vem perdendo viabilidade econômica frente às fontes renováveis modernas de energia e ao gás natural, o que fez com que sua participação na matriz elétrica norte americana despencasse nos últimos sete anos. Em 2015, o carvão era responsável por cerca de 35% da eletricidade gerada nos EUA, menos de quatro anos depois o valor já é de aproximadamente 25%, enquanto o gás natural se tornou a maior fonte de eletricidade do país, responsável por quase 40% da produção de energia elétrica norte americana (previsões da EIA para julho de 2019).

Figura 23. Composição da Geração de Eletricidade nos EUA por Fonte de Energia

⁴² A produção de carvão nos Estados Unidos diminuiu mais de dois terços desde 2008. O número de minas de carvão ativas reduziu de 1.435 (em 2008) para 671 (em 2017). A política de modernização e descarbonização da matriz elétrica norte americana tem priorizado o fechamento de minas menores e menos eficientes. (dados da EIA, 2019).



Fonte: Morris, Kaufman e Doshi, 2019 com dados da EIA, 2019

A decadência do carvão como fonte de eletricidade nos EUA já é tida como certa, não havendo reação à esforços políticos que busquem salvá-la ou dar sobrevida a esse mercado minguante⁴³. Cidades e povoados que dependem dos ganhos do setor carvoeiro representam um risco para a estabilidade econômica do país e já há estudos que buscam alternativas para tentar reduzir os impactos causados pela crise no setor.

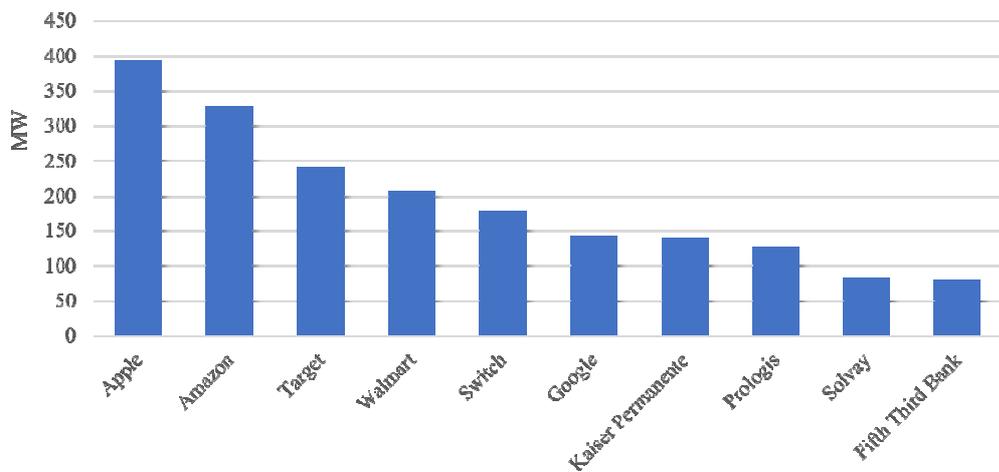
Em 1985, a indústria carvoeira norte americana empregava cerca de 178 mil pessoas. Hoje, esse número gira em torno de 53 mil trabalhadores, uma queda de mais de 70% em menos de quarenta anos. Por outro lado, somente nos últimos doze anos, houve aumento de 35% no número de empregos relacionados à produção de energia através do gás natural e de 15% relacionados às energias renováveis, gerando mais de 3 milhões de novos empregos em pouco mais de uma década (Morris, Kaufman e Doshi, 2019).

Também destaca-se positivamente, no mercado norte americano, o crescente interesse corporativo por energia solar. Hoje, grandes empresas do país produzem energia solar FV como forma de reduzir seus gastos com eletricidade, além de aproveitarem a difusão da marca como promotoras da sustentabilidade.

⁴³ Durante a sua campanha eleitoral para a presidência dos EUA, o então candidato Donald Trump prometeu recuperar o prestígio da indústria do carvão. Quando eleito, o presidente norte americano tentou ainda abrandar a regulação exigida pelo *Clean Act*, prolongando, assim, a vida de algumas termelétricas que já estavam programadas para fechar. Porém, a falta de competitividade do carvão diante do gás natural e das energias renováveis não favoreceu a indústria carvoeira e as medidas federais não foram suficientes para salvar o setor da crise atual. Somente durante os anos do governo de Donald Trump, cinquenta termelétricas a base de carvão foram fechadas nos EUA (Mahajan e Orvis, 2019).

A Associação das Indústrias de Energia Solar (SEIA) dos EUA elabora um ranking das organizações privadas com a maior capacidade de energia solar no país. De acordo com o último ranking, publicado em 2019, com dados referentes a 2018, todos os cinco primeiros colocados (Apple, Amazon, Target, Walmart e Switch) possuem mais de 150 MW de energia solar instalados cada uma. Somente a Apple, primeira colocada do ranking, possui 393 MW de potência solar instalada⁴⁴.

Figura 24. Capacidade Solar Instalada em Organizações Privadas nos EUA, 2018



Fonte: SEIA, 2019

Apesar dos grande avanços e da tradição norte americana no desenvolvimento das tecnologias que utilizam fontes renováveis para geração de energia, especialmente da energia solar fotovoltaica, o país ainda enfrenta o grande desafio de reduzir suas emissões de CO² aos níveis estabelecidos no Acordo de Paris.

Em 2018, as emissões de CO² nos EUA tiveram a maior alta dos últimos oito anos, 3,4%, mesmo tendo sido o período no qual mais foram fechadas usinas de energia à base de carvão (REN21, 2019). Uma reversão alarmante, tendo em vista que os índices de emissão vêm sofrendo redução significativa desde 2008, além de registrar queda nos três anos anteriores à alta de 2018. Embora existam explicações pontuais para o aumento na taxa de

⁴⁴ O estudo da SEIA leva em consideração tanto instalações locais, que são aquelas onde os painéis solares encontram-se no próprio edifício da empresa, quanto instalações externas, remotas ao prédio da empresa, mas que fornecem energia para a companhia que as possui. A Apple dispõe de um projeto externo conectado à rede no estado da Califórnia que gera 130 MW de eletricidade solar para a empresa, determinante para que a companhia ocupe a primeira colocação no ranking. Quando classificado apenas por instalações de energia solar no local, a Apple aparece na quarta posição, atrás da Target, Walmart e Prologis. A Apple Inc. não aparece entre as 25 maiores empresas quando classificada pelo número de instalações solares, que é dominada por varejistas que têm muitos edifícios espalhados pelo país (SEIA, 2019).

emissões norte americanas no ano mais recente, os dados mostram que minorar a mudança do clima, como pretende o Acordo de Paris, não será tarefa fácil.

Um inverno rigoroso fez aumentar a queima de combustíveis fósseis, principalmente nas regiões que dependem de óleo e gás para aquecimento em 2018. Além disso, para sustentar o crescimento de quase 3% no PIB norte americano no último ano, fábricas, aeronaves e caminhões tiveram que emitir mais gases poluentes. Somente os setores industriais dos EUA tiveram alta de 5,7% em suas emissões (EIA, 2019).

A falta de regulamentação na indústria pesada, que corresponde diretamente a um sexto das emissões de carbono nos EUA, acaba por neutralizar os resultados dos esforços em tornar a geração de energia elétrica menos poluente. Entretanto, mesmo com a alta ocorrida em 2018, as emissões de CO₂ dos Estados Unidos ainda são 11% menores em relação a 2005 em um período de crescimento econômico considerável (IEA, 2019).

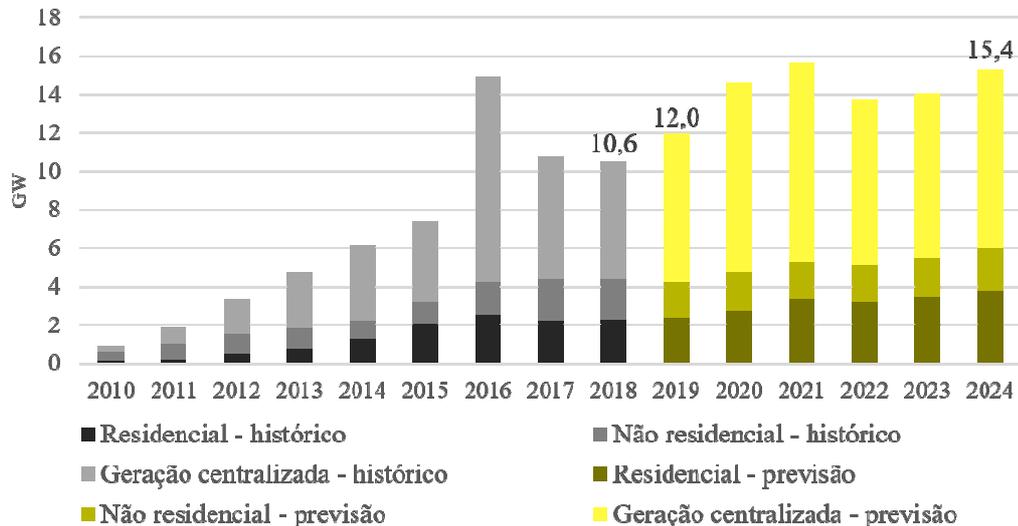
No Acordo de Paris, aprovado em 2015, os EUA assumiram o compromisso de reduzir suas emissões de gases poluentes em, no mínimo, 26% até 2025 (em relação aos índices de 2005). Porém, de acordo com o relatório do Serviço Climático dos EUA da Rhodium Group (2019), a meta é praticamente inatingível, caso não ocorram mudanças permanentes e significativas no campo regulatório e na promoção de tecnologias que reduzam as emissões de gás carbônico em todo o território nacional.

Embora os EUA liderem o mundo na redução de emissões de gases poluentes nos últimos dez anos, o recente resultado obtido com a rápida substituição do carvão pelo gás natural barato não deve ser o mesmo durante os próximos anos, já que o número de usinas a carvão que podem ser fechadas é limitado. É necessário, portanto, que políticas públicas e normas regulatórias, tanto no âmbito federal como nos âmbitos estaduais, estimulem a redução da emissão de gases tóxicos, principalmente no setor de transportes e na indústria pesada, algo que não vem ocorrendo na prática e nem tampouco nos discursos da atual administração do presidente Donald Trump (Mahajan e Orvis, 2019).

Para a energia solar, especificamente, o ano de 2018 poderia ter sido ainda melhor, não fosse a disputa comercial e diplomática entre EUA e China que resultou na elevação da carga tributária aos módulos solares importados do país asiático. Assim como na China, a geração distribuída e o crescimento do número de residências com tecnologia FV sustentou o bom desempenho do mercado fotovoltaico norte americano. Somente em 2018, trezentas e quinze mil famílias adicionaram energia solar em suas residências nos EUA (SEIA, 2019¹).

O aumento nas tarifas de importação foi contrabalançado, ainda, pela redução no custo dos equipamentos solares. A energia fotovoltaica representou, em 2018, 29% das novas adições de capacidade de geração de eletricidade no território norte americano (SEIA, 2019¹).

Figura 25. Adições FV dos Estados Unidos entre 2010 e 2018 e Projeções para 2019-2024



Fonte: SPE, 2019 com dados de SEIA, 2019

No gráfico acima, nota-se um significativo avanço no mercado de geração solar de larga escala (utilidade pública) entre os anos de 2010 e 2016, ano em que o país alcançou o seu número recorde de adições. Também é possível observar o avanço dos mercados residencial e industrial de energia solar e a perspectiva de desenvolvimento da geração distribuída para os próximos cinco anos.

Os EUA se destacam no pioneirismo e na ampla difusão da energia solar em seu território. Alguns estados norte americanos, como a Califórnia, sobressaem-se na aplicação das tecnologias renováveis e influenciam os demais estados no desenvolvimento de políticas energéticas com foco em fontes alternativas de energia. Com exceção da China, é o país que mais investe na tecnologia solar FV no mundo hoje.

3.4.3 Japão

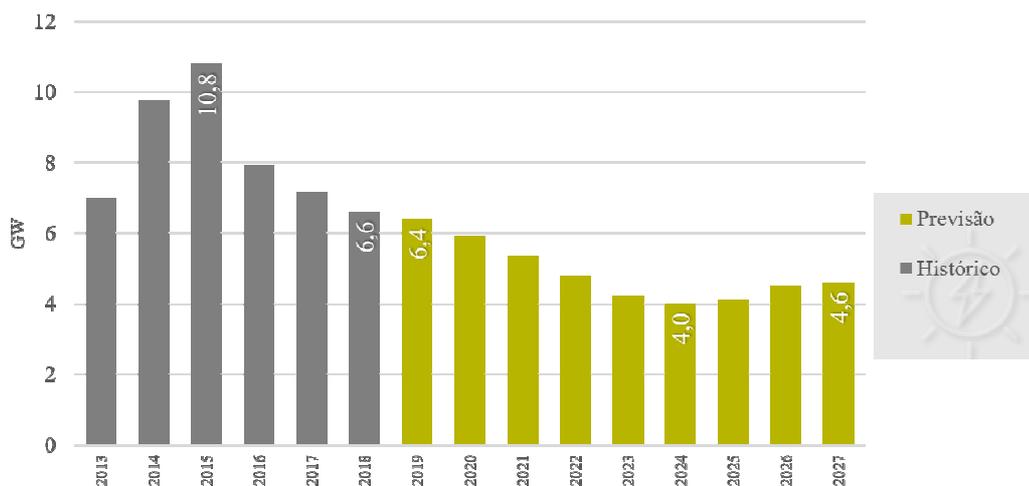
O Japão possui a terceira maior potência solar instalada acumulada do mundo. Apesar da contração mais recente em seu mercado fotovoltaico, que veremos mais adiante, o país foi o quarto maior em novas adições em 2018, tendo acrescentado 6,5 GW de potência, para um total acumulado de aproximadamente 56 GW (REN21, 2019).

Escassez de terra, restrições na rede elétrica e os elevados custos de mão-de-obra, fazem com que a geração solar no país seja uma das mais caras do mundo são os principais desafios enfrentados pelo mercado fotovoltaico japonês.

Dentre as principais restrições na rede estão a limitação da capacidade e o alto risco de corte (ou reduções)⁴⁵. Mas, o principal fator que contribuiu para a redução recente do mercado fotovoltaico japonês foi um corte por parte do governo federal nos subsídios oferecidos ao setor solar através da tarifa de alimentação ou tarifa *feed-in* (FIT).

Após ter atingido uma adição de capacidade recorde em 2015 (10,8 GW adicionados somente naquele ano), o mercado solar japonês enfrentou três anos consecutivos de retração e uma tendência de queda pode ser apontada. Em 2018, no ano mais recente, a redução do mercado solar fotovoltaico japonês foi de 16%, próximo do que ocorreu com a sua vizinha, a China.

Figura 26. Adições FV no Japão entre 2013 e 2018 e Projeções para 2019-2027



Fonte: SPE, 2019 com dados de JPEA, 2019

No gráfico acima, é possível observar a tendência de queda no mercado japonês de energia fotovoltaica até 2024, tempo médio calculado para que o país supere as atuais restrições da rede e melhore a competitividade dos custos da energia solar, recuperando assim o seu nível de adições fotovoltaicas, segundo os estudos da Associação de Energia Fotovoltaica do Japão (JPEA).

⁴⁵ Redução ou corte na rede é o ato de reduzir ou restringir a entrega de energia de um sistema gerador para a rede elétrica e pode ocorrer por diversos motivos como uma emergência de manutenção em subestações ou no sistema de transmissão, sobrecarga do sistema em determinada região, alterações em alguma planta (usina) geradora de energia, entre outros. (Fonte: <https://leveltenenergy.com/blog/ppa-risk-management/renewable-energy-curtailment/>, acessado em 27/10/2019).

A energia solar FV vem se expandindo no Japão desde os anos 1990 e o país chegou a assumir a liderança como maior produtor mundial de eletricidade fotovoltaica, depois que um grande terremoto devastou a cidade de Kobe em 1995. De acordo com o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão, a tecnologia fotovoltaica passou a ser uma alternativa importante para as dificuldades geradas pelo desastre, como quedas frequentes de energia e problemas com infraestrutura.

A liderança japonesa no mercado mundial de energia solar FV durou até 2004, quando os países europeus, principalmente a Alemanha, passaram a investir mais na implantação de fontes renováveis modernas de energia e na regulação do mercado de fontes renováveis.

Embora haja uma desaceleração recente no mercado FV solar japonês, o pioneirismo do Japão no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica ainda é marcante e o país segue instalando grandes usinas solares em seu território. O setor de telhados fotovoltaicos residenciais (geração distribuída) no país tem se mantido razoavelmente estável e o interesse corporativo em autogeração é crescente, conforme aumentam os preços da eletricidade vinda da rede pública.

Hoje, cerca de 6,5 % de toda a eletricidade consumida no Japão é gerada por energia solar fotovoltaica (IEA, 2019; REN21, 2019) e o país, assim como a China, tem superado suas metas estipuladas para o setor⁴⁶.

O governo japonês, através do seu Ministério da Economia, Comércio e Indústria (METI), lançou em 2015 um documento com as perspectivas de longo prazo de oferta e demanda de energia, onde ficou prevista uma capacidade acumulada de 75 GW de energia solar FV até 2030, meta que deverá ser revisada em 2021 (METI, 2019).

De acordo com a Associação de Energia Fotovoltaica do Japão (JPEA), os 75 GW de potência solar pretendidos pelo governo somente para 2030, devem ser alcançados ainda no início de 2020, com perspectiva de 120 GW acumulados até 2030 e 200 GW solares até 2050 (ARIAS, 2018 com dados de JPEA, 2015), o que demonstra um resultado prático muito além das metas estabelecidas pelo governo japonês até aqui.

A tarifa de alimentação ou *feed-in* (FIT) ainda é o grande incentivo ao crescimento da energia solar FV no Japão. O governo japonês introduziu a medida para impulsionar o desenvolvimento de empreendimentos solares e preencher a lacuna de energia gerada pelo

⁴⁶ Segundo o relatório global mais recente da Agência Internacional de Energia (IEA) de abril de 2019, a participação da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica japonesa é de 6,8 %. Porém, de acordo com o Relatório Global de Energias Renováveis, também publicado em 2019, da agência internacional REN21, o Japão produziu em 2018 o equivalente a 6,5 % de toda sua demanda elétrica através da fonte solar fotovoltaica. Optou-se por utilizar, neste estudo, os dados mais conservadores.

fechamento de usinas nucleares, após o desastre de Fukushima, em 2011. O subsídio paga uma taxa adicional para os produtores de energia solar, onerando em parte os cofres públicos e fazendo com que os consumidores acabem pagando mais caro na eletricidade que recebem pela rede nacional.

Com a redução mais recente no subsídio (e seguindo a tendência mundial observada), a TIF deve ter um papel cada vez menos relevante para o setor, com a geração distribuída e o interesse de grandes corporações na produção de energia renovável ficando cada vez maiores. Nos últimos quatro anos, dezoito grandes empresas japonesas se comprometeram a gerar 100% de seu consumo de eletricidade a partir de fontes renováveis de energia (SPE, 2019).

O governo japonês, assim como o do estado da Califórnia nos EUA, investe na adoção de padrões de eficiência energética e na utilização de energia renovável nas casas recém-construídas no país. O governo já anunciou a meta de ter todas as suas novas casas construídas dentro de padrões energéticos específicos a partir de 2030. Outra meta, define que, até 2030, o Japão deva ter ao menos 44% de toda a sua matriz energética composta por fontes renováveis de energia, diminuindo assim a dependência do país por combustíveis fósseis. Atualmente, cerca de 25 % de toda a eletricidade consumida pelo Japão é de origem renovável (IEA, 2019).

O Japão possui, ainda, projetos notáveis no campo das energias renováveis, como grandes usinas solares, usinas híbridas capazes de produzir energia solar e eólica, além de usinas flutuantes. Em outubro de 2018, foi concluída na cidade de Setouchi, no oeste do país, a construção de uma grande usina fotovoltaica com capacidade total de 235 MW, com 900 mil placas de energia solar que são capazes de abastecer com eletricidade cerca de 80 mil residências japonesas todos os anos⁴⁷.

Os recursos naturais no Japão são relativamente escassos, o que torna o país dependente da importação de insumos para a geração de eletricidade. Além disso, a energia nuclear vem sendo mitigada desde 2011, após o desastre com a usina de Fukushima e hoje já praticamente não existem mais usinas nucleares ativas no território japonês. As fontes renováveis modernas de energia, entre elas a fonte solar fotovoltaica, são uma forma de suprir a lacuna deixada pela energia nuclear e ainda reduzir os riscos econômicos e de segurança energética no país.

Assim como os EUA, o pioneirismo japonês no uso e aplicação da tecnologia fotovoltaica subsidia parte de seu sucesso no mercado global de energia solar. Apesar das

⁴⁷ Dado disponível em <http://www.setouchimegasolar.com/en/business/index.html>, acessado em 07/11/2019.

grandes dificuldades enfrentadas pelo Japão no desenvolvimento da tecnologia solar em seu território, o país segue adicionando altos índices de capacidade solar a cada ano enquanto prepara infra-estrutura para superar os desafios relacionados a sua capacidade de rede. O país se destaca como o terceiro maior produtor global de eletricidade fotovoltaica e pela tecnologia de ponta usada pelas empresas do mercado solar japonês. A geração distribuída e o interesse corporativo cada vez maior na produção da eletricidade consumida têm sustentado os bons resultados atuais do mercado fotovoltaico no Japão.

3.3.4 Alemanha

A Alemanha é hoje o quarto maior produtor mundial de eletricidade através do Sol com uma capacidade acumulada de 45,3 GW (SPE, 2019). O país liderou o mercado fotovoltaico global entre 2005 e 2014 e se destaca entre os países europeus (e também no mundo) na promoção e no desenvolvimento da tecnologia solar, com destaque ao mercado interno de geração elétrica distribuída.

O marco das energias renováveis modernas na Alemanha é a Lei de Fontes de Energia Renovável (“*Erneuerbare Energien Gesetz*” ou EEG na sigla em alemão) de 1º abril de 2000. A medida é, na verdade, um sistema normativo (conjunto de leis) que busca promover a aplicação e o desenvolvimento das tecnologias de geração de eletricidade através de fontes renováveis modernas de energia.

A EEG não foi, entretanto, o primeiro marco normativo alemão a promover a eletricidade renovável no país. Em 1º de janeiro de 1991, entrou em vigor a Lei de Alimentação de Eletricidade (“*Stromeinspeisungsgesetz*”), considerada o primeiro regime tarifário de fornecimento de energia renovável no mundo. Com essa lei, as empresas responsáveis pela distribuição de eletricidade na Alemanha foram obrigadas a receber a energia gerada pelas usinas renováveis, conectando-as à rede. A transmissão da eletricidade renovável na rede passou a ser prioritária em relação à eletricidade convencional (carvão, nuclear e gás) e ficou estabelecido o pagamento de uma tarifa de alimentação (FIT) aos produtores dessa energia renovável, que variava de acordo com o preço da eletricidade.

A lei de 1991 foi capaz de promover de maneira relativamente eficaz a energia eólica na Alemanha, dando início a um longo e amplo desenvolvimento da tecnologia dos ventos no país. Porém, a energia solar fotovoltaica e outras fontes renováveis menos usuais se mantiveram quase inexpressivas até o surgimento de uma lei sucessora, a Lei de Fontes de Energia Renovável (EEG) de 2000.

Mais abrangente, a EEG trouxe melhor proteção aos investimentos em geração de eletricidade renovável e garantiu uma maior remuneração aos produtores da energia limpa, sem onerar os cofres públicos, já que a taxa (ou a sobretaxa) paga aos “operadores de instalação”, como são chamados os produtores da energia de fontes renováveis⁴⁸, seria necessariamente financiada pelos próprios consumidores de eletricidade da Alemanha, diferente do que ocorre na China, por exemplo, onde a maior parte do ônus gerado pelos subsídios solares são arcados pelo governo, com o objetivo de segurar o preço da energia elétrica no país.

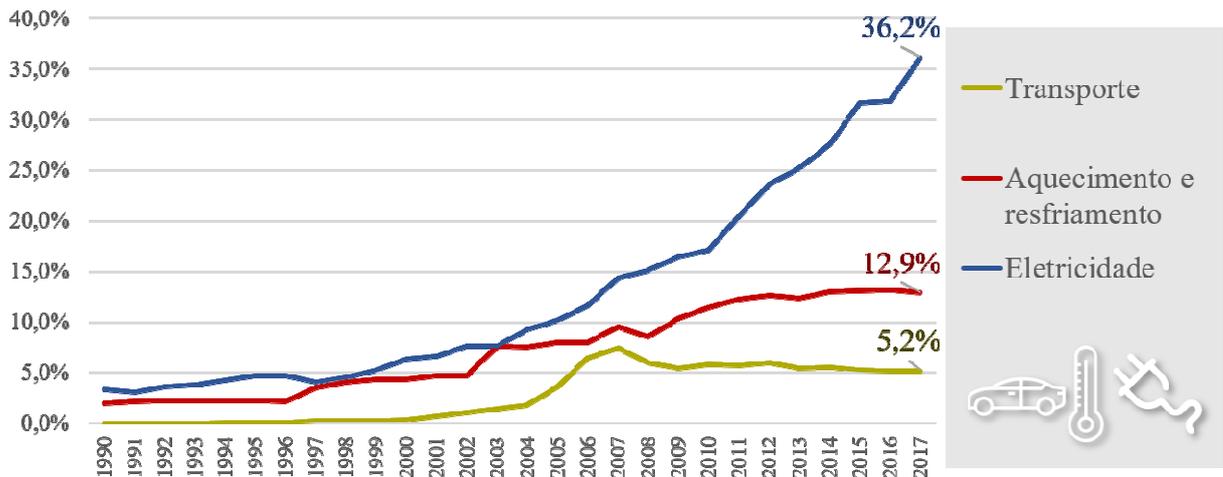
De acordo com a EEG, os operadores de instalação receberiam, como contrapartida da energia renovável gerada e alimentada à rede, o pagamento de uma tarifa (a FIT) que variava conforme a capacidade produtiva da instalação, a quantidade de energia (kWh) produzida e a fonte de energia renovável utilizada, e que também seria garantida por vinte anos. Porém, diferente da lei anterior, não sofreria variações conforme o preço da eletricidade.

A nova tarifa agora levava em consideração os diferentes custos de produção das diversas fontes de energia. A tarifa básica paga ao produtor de energia eólica, por exemplo, seria substancialmente inferior à tarifa paga ao operador de energia solar. Com o objetivo de desenvolver diversas fontes renováveis de energia, a EEG não privilegiou apenas a fonte com a melhor relação custo-benefício, passando a remunerar, de maneira proporcional, fontes mais caras (como a energia solar à época), o que possibilitaria o seu uso, seu amadurecimento e, conseqüentemente, uma redução futura nos custos de produção daquela tecnologia.

O resultado das políticas energéticas presentes nas duas leis alemãs foi altamente positivo e o país saltou de uma parcela de 3,1% das fontes renováveis em sua matriz elétrica no ano de 1991 para 16,1% no ano de 2009, conforme se verifica no gráfico a seguir.

Figura 27. Participação da Energia Renovável no Consumo Final de Energia da Alemanha, 1990-2017

⁴⁸ A EEG contemplou as seguintes fontes de energia renováveis: hidrelétricas, incluindo a energia das marés, das ondas, gradiente salino e fluxo de energia; a energia eólica, nas modalidades *onshore* e *offshore*; a energia solar, tanto térmica quanto fotovoltaica; a energia da biomassa, incluindo o biogás, gás de aterros sanitários e gás de tratamento de esgoto; e a energia geotérmica.



Fonte REA, 2019 com dados de BMWi, 2019

Atualmente, cerca de 37 % de toda a eletricidade consumida na Alemanha é de origem renovável.

Se por um lado os operadores de instalação assumiam os riscos e os custos com geração, alimentação e aquisição de equipamentos, a EEG garantia (em contrapartida) a compra da energia produzida e entregue à rede, pelo período de vinte anos, o que permitiu aos empreendedores uma avaliação concreta das perspectivas de recuperação do investimento e de lucro com a operação e gerou maior segurança e interesse por parte dos investidores.

Fora isso, para impulsionar o desenvolvimento de novas tecnologias com a melhor relação custo-benefício ao longo do tempo e garantir a contínua modernização da matriz energética alemã, a EEG previu ainda a redução, ano a ano, das tarifas estabelecidas para cada tipo de fonte renovável, de acordo com a data de início de funcionamento da instalação. Dessa maneira, foi capaz de fomentar a competitividade e a inovação dos operadores de instalação e a busca por tecnologias e processos cada vez mais eficientes.

A nova lei previa também empréstimos a juros reduzidos para instalações fotovoltaicas de menor porte, incentivando, dessa maneira, a geração distribuída e a instalação de sistemas fotovoltaicos nos telhados de casas e edifícios alemães. O país, como foi dito, viu sua produção de energias renováveis expandir-se de maneira significativa e, no caso da energia solar, fez com que Alemanha assumisse o papel de principal produtor mundial de energia FV, ainda em 2005.

A posição de líder global em capacidade FV pertenceria à Alemanha até meados de 2015, quando passaria a ser ocupada pela China, graças a uma política energética ousada e ambiciosa do país asiático, ajudada pela suas grandezas, territorial e populacional. Mas, o

sucesso do sistema legislativo alemão e sua política de fomento às fontes renováveis de energia se tornou objeto de estudo e inspiração para diversos outros países ao redor do mundo.

O pioneirismo alemão na elaboração e na adoção de políticas públicas ativas na busca pelo desenvolvimento sustentável foi um dos responsáveis pelo sucesso na segurança energética e do desenvolvimento do país germânico na promoção das tecnologias de geração de energia limpa e renovável. Versões adaptadas do modelo alemão foram amplamente replicadas na Europa e no mundo e influenciaram políticas energéticas na China, Brasil, Índia, Itália, Austrália, entre outros (IEA, 2018).

A Lei de Fontes de Energia Renovável alemã sofreu diversas revisões e adequações ao longo das primeiras duas décadas do século XXI, desde a sua criação. A primeira delas, uma emenda em 2003, introduziu um sistema especial de equalização tarifária que aliviava setores mais dependentes de altos níveis de eletricidade em suas atividades.

Dessa forma, algumas grandes indústrias e setores específicos, que possuíam boa parte de suas despesas relacionadas ao uso da energia elétrica, passaram a pagar menos no valor da sobretaxa cobrada aos consumidores de eletricidade para custear a energia renovável acordada através da EEG⁴⁹. Foi o caso das companhias de transporte ferroviário e de setores da indústria de base, por exemplo.

Pela EEG, a diferença entre as tarifas pagas aos produtores de eletricidade renovável e a receita adquirida com a venda dessa mesma energia seria suportada por uma sobretaxa (também chamada de tarifa monta) paga pelos consumidores finais de eletricidade de maneira proporcional ao seu consumo.

A sobretaxa nas tarifas, que em 2016 correspondia a cerca de 6,88 centavos de euro para cada kWh consumido, representa aproximadamente 23% do valor total cobrado aos consumidores por essa unidade de energia, que é de aproximadamente 30 centavos de euro (valores de 2016). Apenas para se ter uma idéia, esse valor de sobretaxa (€ 6,88 ¢) equivale a parcela de 0,7% do consumo total de uma família média alemã enquanto as despesas totais com eletricidade correspondem a 3% desse consumo doméstico médio no país⁵⁰.

⁴⁹ As empresas beneficiárias da emenda de 2003 passariam a pagar € 0,05 ¢ (0,05 centavos de euro) de sobretaxa por kWh, enquanto os consumidores comuns e demais empresas continuariam pagando a sobretaxa média de menos de € 0,5 ¢ (meio centavo de euro) por kWh, valor que foi sendo reajustado ano a ano. (BMW, 2017)

⁵⁰ Dados da Agência de Energias Renováveis da Alemanha (REA, 2016), disponíveis em <https://www.unendlich-viel-energie.de/media-library/charts-and-data/germany-household-expenditure-fit>, com acesso em 24/05/2019.

Uma segunda versão da lei principal foi lançada em 2004 com alterações na estrutura tarifária que permitiram remunerações maiores para os produtores das energias fotovoltaica, geotérmica e biomassa, fomentando ainda mais o desenvolvimento de tais tecnologias. Melhorias nas questões relacionadas aos impactos ambientais causados pelas instalações e pelo funcionamento das plantas de geração de eletricidade renovável e ao regime especial de equalização também foram implementadas.

Ainda na versão de 2004, metas para a produção de energias renováveis no país foram estabelecidas. De acordo com a lei, a Alemanha deveria gerar, até 2010, ao menos 12,5% de toda sua eletricidade através das fontes renováveis e, pelo menos 20%, até 2020⁵¹. Atualmente, a participação das fontes renováveis na geração elétrica alemã é de aproximadamente 35%. (IEA, 2019)

A segunda versão da EEG teve como resultado um interesse crescente no desenvolvimento das tecnologias fotovoltaica, biomassa, geotérmica e eólica offshore. Equilibrando-as com as já bem estabelecidas tecnologias eólica e hidrelétrica em território alemão.

Em 2009, foi então lançada a terceira versão da Lei de Fontes de Energia Renovável. Naquele momento, as fontes renováveis já eram responsáveis por mais de 16 % da geração total de eletricidade, superando a meta estabelecida em 2004 para o ano de 2010 (que era de 12,5%).

Essa terceira versão trouxe novas melhorias nas tarifas energéticas para os operadores de plantas renováveis, incentivos à geração distribuída e a pequenas e médias usinas hidrelétricas, além de um robusto programa de financiamento para empreendimentos em renováveis e um significativo aumento nas metas anteriormente estabelecidas. Nessa versão, ficou previsto que a Alemanha atingiria 35% de eletricidade renovável em sua matriz elétrica até 2020, valor que deveria subir gradualmente, pra 50% até 2030, 60% até 2040 e 80% até 2050.

Com o avanço da energia fotovoltaica superando todas as expectativas, a fonte solar foi a única que teve, na terceira versão da EEG, sua tarifas reduzidas afim de controlar o aumento nos custos de suporte. Porém, mesmo com as contínuas reduções tarifárias, a Alemanha instalou entre 2009 e 2012 uma média de 7,25 GW de potência solar fotovoltaica ao ano (29 GW de FV adicionados em quatro anos) (BMW, 2017).

⁵¹ No momento em que a segunda versão da EEG foi aprovada (2004), a Alemanha gerava 9,3% de sua eletricidade através de fontes renováveis de energia (Fonte: BMW, 2017).

A solução para controlar os custos crescentes relacionados ao *boom* fotovoltaico do período e amenizar os problemas gerados pelo aumento da participação de fontes renováveis variáveis de energia, como possível sobrecarga de rede e apagões, foi o lançamento da quarta versão da EEG que entrou em vigor no país em janeiro de 2012.

Redução de tarifas, aumento nas depreciações anuais previstas na TIF e incentivo ao uso de sistemas de armazenamento nas plantas de geração foram as principais medidas dessa nova versão. Os resultados esperados vieram. Desaceleração nas adições de capacidade de energia FV (que passou a crescer de forma mais regular e controlada a partir de 2013) e aumento da geração de eletricidade orientada para a demanda, utilizando sistemas de armazenamento de energia.

Em 2013, a energia fotovoltaica já havia alcançado paridade de preço com a eletricidade convencional alemã e os sistemas fotovoltaicos eram os que mais oneravam a sobretaxa da EEG, a tecnologia solar foi, portanto, novamente alvo de cortes tarifários.

Em 2014, foi lançada a quinta versão da EEG que abriu caminho para a mudança gradual da tarifa de alimentação especificada para um sistema de leilão, uma tendência que se espalhou por toda Europa e também pelo mundo. O objetivo da nova versão, segundo os dados do Ministério da Economia e Energia alemão, era desenvolver de forma mais sustentável o suprimento de energia no país, reduzindo custos e mitigando os impactos ambientais. Mas a grande idéia por trás da mudança na política de energias renováveis era a de deixar os mercados de energia limpa se auto regularem, estimulando uma competição de preços e desonerando a população e reduzindo os níveis de empenho do Estado.

O novo sistema permitiria um melhor controle dos custos com suporte de rede e ainda atenderia aos requisitos da Comissão Européia de implementar uma política energética baseada em leis de mercado, com menos apelo e participação estatal na definição dos preços da energia.

Em 2015, um ano após à implantação da quinta versão da EEG, os leilões de contratação de energia solar e eólica foram realizados com sucesso.

A quinta versão da EEG ainda especificou metas para cada tecnologia e elevou as metas traçadas anteriormente. Individualmente, energia solar, energia eólica (em terra e *offshore*) e a energia da biomassa agora tinham trajetórias e objetivos ainda mais bem definidos.

Lançada para entrar em vigor em 2017, a sexta versão da EEG seguiu a corrente da sua variante anterior e deu continuidade na redução dos custos decorrentes da própria Lei de Fontes de Energia Renovável, além de buscar incentivar ainda mais os leilões e garantir

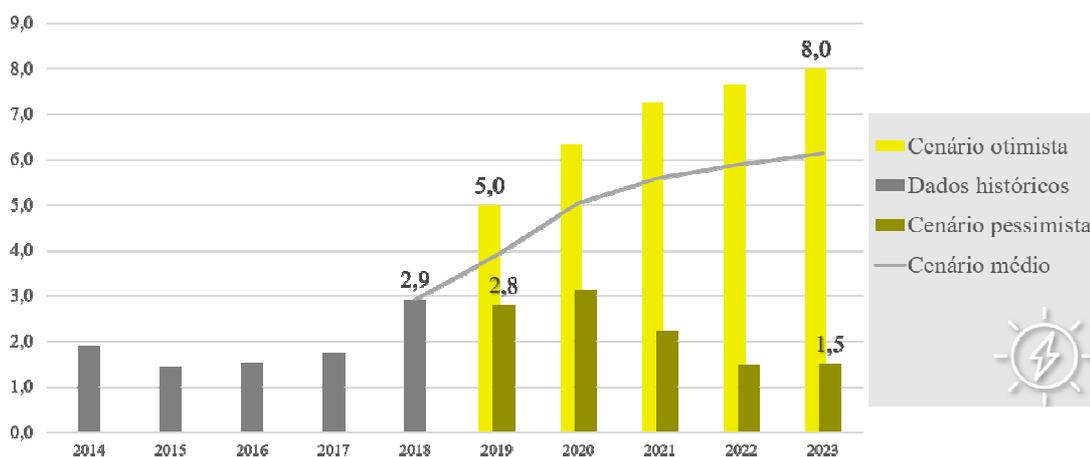
condições equitativas para os *players* do mercado de energias renováveis. Para isso, cada tecnologia recebeu um design de licitação adaptado às suas necessidades e particularidades.

Após as mudanças na legislação alemã trazidas desde 2012, a energia solar fotovoltaica foi gradualmente reduzindo seus níveis de novas adições, mantendo-os próximos (até mesmo um pouco abaixo) da meta estabelecida em 2013 de 2,5 GW⁵² de nova capacidade fotovoltaica ao ano, entre os anos 2013 e 2017.

O novo aumento nas adições fotovoltaicas anuais veio mais recentemente, em 2018. O país adicionou quase 3 GW de nova capacidade FV naquele ano e recuperou o posto de principal mercado europeu de energia solar, instalando aproximadamente o dobro de capacidade solar do que a Turquia, a segunda colocada no ranking europeu em 2018 (SPE, 2019).

Há cinco anos (desde 2013) o país não ocupava o posto de principal mercado europeu de energia FV e, para os próximos anos, é esperado um crescimento ainda maior no mercado solar alemão, conforme se verifica no gráfico a seguir. Muito embora não tenha sido o maior mercado solar entre 2014 e 2018, a Alemanha continuou sendo o maior produtor de energia FV da Europa durante o período e hoje ocupa a posição de quarto maior produtor mundial com seus mais de 45 GW de potência solar instalada, como visto anteriormente.

Figura 28. Adições FV na Alemanha entre 2014 e 2018 e Projeções para 2019-2023



Fonte: SPE, 2019 com dados de ISE, 2019

⁵² Desde o início de 2019, a meta anual para novas adições de energia solar FV na Alemanha é de 1,9 GW. Entre 2013 e 2018 a meta era de 2,5 GW de nova capacidade FV ao ano. (SPE, 2019)

Apesar das barreiras ultrapassadas pela Alemanha em relação às fontes renováveis modernas de energia e o seu desenvolvimento sustentável, o país ainda enfrenta grandes desafios a serem superados.

Faltando pouco tempo para 2020, já é certo que a Alemanha não cumprirá a meta de redução de 40% dos seus níveis de emissão de gases do efeito estufa (GEE) em comparação com os níveis de 1990, como ficou estabelecido durante o Acordo de Paris, em 2015. O país deve alcançar a marca de 30% na redução desses índices até o ano estipulado, mas o desempenho é abaixo do esperado para um dos países líderes no combate às mudanças climáticas e na proteção ao meio ambiente (BMW, 2019).

Como forma de compensar a falha com o descumprimento da meta, a Alemanha promulgou, em 2018, um acordo de coalizão governamental que estabeleceu uma nova meta de 65% de energia renovável no consumo total de eletricidade até o ano de 2030. Para atingir essa nova meta, estipula-se que o país deva adicionar anualmente até a data especificado cerca de 8 GW de capacidade fotovoltaica e 4 GW de capacidade eólica (SPE, 2019)⁵³.

Outras propostas, como o encerramento de todas as usinas nucleares até 2023 e uma possível saída do carvão da matriz elétrica até 2038, buscam fortalecer a Alemanha como uma potência líder no desenvolvimento sustentável e também oferecem grande potencial comercial de curto e médio prazo para a energia solar e outras fontes renováveis de energia.

Hoje, cerca de 25% do consumo bruto de eletricidade no país são de origem nuclear (12%) ou a carvão (13%), enquanto as fontes renováveis representam, como visto anteriormente, cerca de 35% da matriz elétrica alemã (BMW, 2018).

A atual Lei de Fontes de Energia Renovável (versão mais atualizada da EEG) prevê o apoio à geração renovável através da fonte solar, por meio de uma tarifa de alimentação para sistemas FV abaixo de 100 kW, bem como um prêmio de alimentação para sistemas entre 100 kW e 750 kW e um sistema de licitações para sistemas acima de 750 kW. Sistemas menores, abaixo de 10 kW, estão totalmente isentos da taxa de EEG (a sobretaxa dos preços da eletricidade para financiar a transição energética) enquanto sistemas entre 10 kW e 100 kW recebem uma redução de 40% na taxa de EEG (Fonte: LEI EEG, 2019).

No atual esquema alemão de FIT, ficou estabelecido um sistema de remuneração para os novos produtores fotovoltaicos que varia conforme a performance do país em relação a sua meta anual de instalação (hoje de 1,9 GW para a energia solar). As taxas de FIT para a

⁵³ A meta de longo prazo para a descarbonização prevê uma parcela de eletricidade renovável de 80% até 2050. (BMW, 2018)

energia FV e outras fontes renováveis aumentam ou diminuem de acordo com os níveis de instalação que o país atinge, se estão acima ou abaixo da meta anual.

O país anunciou, ainda, reduções graduais nas tarifas de alimentação para novos sistemas fotovoltaicos com capacidade entre 40 kW e 750kW, o que faz com que interessados em empreender nessa camada do mercado solar se apressem nas instalações, buscando garantir uma tarifa mais vantajosa⁵⁴.

Em 2018, mais da metade da nova capacidade solar alemã foi instalada no segmento comercial (empresas de médio a grande porte) com capacidade entre 40 kW e 750 kW, enquanto sistemas residenciais de até 10 kW contribuíram com cerca de 400 MW (14% do total) e sistemas montados acima de 750 kW foram responsáveis por aproximadamente 550 MW (19% do total).

Isso mostra a força da geração distribuída na Alemanha, responsável por cerca de 80% das adições solares atualmente.

Um grande sistema de leilões ficou estabelecido, havendo leilões regulares (três por ano) de 200 MW cada um, apenas para a contratação de energia solar fotovoltaica.

Como o país ainda está abaixo da última meta estipulada para 2020 dos níveis de energia elétrica renovável, foram acordados leilões extras entre os anos de 2019 e 2020, para uma capacidade adicional de 4 GW.

Estão previstos ainda, na legislação alemã de energias renováveis, leilões mistos de energia eólica e solar. Porém, os concursos conjuntos entre sistemas solares fotovoltaicos e parques eólicos em terra realizados até aqui em 2018 e no início de 2019, viram a energia solar vencer toda a capacidade leiloada, o que indica a força competitiva atual da tecnologia solar FV⁵⁵.

Além dos incentivos operacionais já citados, existem ainda opções de apoio ao investimentos solares na forma de doações e empréstimos a juros reduzidos, fornecidas pelo Banco Alemão de Desenvolvimento (KfW), que também oferece uma linha especial para

⁵⁴ A EEG prevê um limite de 52 GW de capacidade solar total instalada na Alemanha para manter as tarifas FIT, uma vez atingido esse nível, o governo federal deve interromper as tarifas de alimentação para novos projetos solares. Embora o prêmio de alimentação seja apenas parte da equação dos sistemas solares de autoconsumo, a principal preocupação está na evolução do mercado, uma vez que não está claro se o limite será ou não elevado e o que deve ocorrer quando o nível de 52 GW for alcançado, o que está previsto para acontecer entre 2020 e 2021. (Fonte: SPE, 2019)

⁵⁵ O preço médio atualmente contratado nos leilões de energia solar fotovoltaica da Alemanha é de € 0,05 / kWh (SPE, 2019)

armazenamento de energia. Esse apoio financeiro tem como objetivo auxiliar a Alemanha a se desenvolver nos segmentos do mercado solar residencial e comercial.

Somente em 2018, cerca de 45 mil instalações fotovoltaicas residenciais foram feitas em território alemão, um crescimento de 20% em relação ao número de adições no mesmo seguimento em 2017. Metade dessas novas instalações são compostas com sistemas de armazenamento de eletricidade. (SPE, 2019 e REN21, 2019).

Até o final de 2018, a Alemanha possuía mais de 1,7 milhão de sistemas fotovoltaicos solares, sendo que cerca de 120 mil dessas instalações domésticas continham baterias para armazenar a eletricidade gerada (REN21, 2019). Um número significativo se considerarmos que, até o início de 2017, havia pouco mais de 50 mil sistemas fotovoltaicos residenciais instalados com sistema de baterias no país.

Estima-se que os custos com sistemas de armazenamento de eletricidade tenham caído mais de 50% desde 2013 e que, até o final de 2020, a Alemanha consiga atingir a marca de 200 mil sistemas FV com sistema de armazenamento⁵⁶.

Hoje, cerca de 7,7% da geração bruta de eletricidade da Alemanha é gerada pela produção solar fotovoltaica, a segunda maior parcela fotovoltaica perante sua própria matriz elétrica no mundo (REN21, 2019). Fora isso, o país ainda possui a maior capacidade fotovoltaica instalada per capita mundial, com 548 Watts / habitante (IEA, 2019), o que faz da Alemanha o principal país produtor de energia solar por número de habitantes no mundo hoje.

O pioneirismo em políticas energéticas progressistas e o compromisso do país com a elaboração e a melhoria contínua das leis de incentivo ao uso de tecnologias renováveis são os principais alicerces do desempenho notável da Alemanha no mercado global de energia solar fotovoltaica.

Foram analisadas até aqui, de forma breve, as principais características dos quatro maiores produtores de energia solar fotovoltaica do mundo na atualidade. Todos eles (China, EUA, Japão e Alemanha), em algum momento, assumiram a liderança global na produção de energia elétrica através do Sol e estiveram à frente no desenvolvimento da tecnologia solar

⁵⁶ Informações disponíveis em <https://www.energy-storage.news/news/germany-reaches-100k-home-battery-storage-installations> e <https://www.wired.com/story/in-germany-solar-powered-homes-are-catching-on/>, com acessos em 04/11/2019 e 08/11/2019.

FV. Suas lideranças, seja por pioneirismo ou por políticas energéticas mais arrojadas, tiveram importante papel na promoção da indústria fotovoltaica no mundo e merecem o destaque, tanto pela capacidade produtiva acumulada de energia FV, quanto pela experiência adquirida por estes países com seus empenhos diante dos desafios de um mercado solar cada vez mais sofisticado e competitivo.

Embora os quatro países analisados tenham sido os líderes do mercado fotovoltaico global em algum período nos últimos 30 anos, outros países que não assumiram essa liderança também merecem destaque, mas não puderam ser analisados com a devida atenção nesse trabalho. Alguns deles podem ser, inclusive, objetos de estudos futuros para uma melhor compreensão do mercado solar internacional no qual o Brasil está inserido e também como forma de absorver o conhecimento adquirido com os aprendizados individuais enfrentados por tais países.

Alguns dos países não abordados nesse trabalho possuem ainda, de certa forma, maior relação com o cenário brasileiro do que os quatro gigantes analisados. Seja porque estão mais próximos fisicamente de nós (como é o caso do Chile, por exemplo), ou então porque possuem uma realidade social mais parecida com a do Brasil (como é o caso de México, África do Sul e Índia, por exemplo), ou até mesmo pelo potencial solar diante da incidência luminosa ou do tamanho territorial (como é o caso da Austrália).

Se seguíssemos na ordem em que os quatro primeiros países foram apresentados (capacidade solar FV total acumulada), temos outros países com grande potência solar instalada em seus territórios. Ao todo, oito países no mundo possuem hoje capacidade solar acumulada acima de 10 GW, os quatro analisados (China, EUA, Japão e Alemanha), além de Índia (32,9 GW), Itália (20,1 GW), Reino Unido (13 GW) e Austrália (11,3 GW). Juntos, esses oito países representam 82,5% de toda a capacidade solar fotovoltaica instalada no mundo atualmente.

Figura 29. Adições Fotovoltaicas e Capacidade Acumulada até dez/2018 nos Principais Mercados de Energia Solar

Por capacidade anual instalada (2018)		
1º	China	45,0 GW
2º	Índia	10,8 GW
3º	Estados Unidos	10,6 GW
4º	Japão	6,5 GW
5º	Austrália	3,8 GW
6º	Alemanha	3,0 GW
7º	México	2,7 GW
8º	Coréia do Sul	2,0 GW
9º	Turquia	1,6 GW
10º	Holanda	1,3 GW
11º	Brasil	1,1 GW

Por capacidade acumulada (2018)		
1º	China	176,1 GW
2º	Estados Unidos	62,2 GW
3º	Japão	56,0 GW
4º	Alemanha	45,4 GW
5º	Índia	32,9 GW
6º	Itália	20,1 GW
7º	Reino Unido	13,0 GW
8º	Austrália	11,3 GW
9º	França	9,0 GW
10º	Coreia do Sul	7,9 GW
21º	Brasil	2,3 GW

Fonte: IEA, 2019

Também se destacam no cenário global os países com maior capacidade fotovoltaica per capita (medida em Watt / habitante). Como já dito anteriormente, Alemanha (1º) e Japão (3º) estão entre os três primeiros nesse quesito, com 548 e 442 Watts / habitante, respectivamente. Entre esses dois países, encontra-se a Austrália (2º), a segunda colocada no ranking de maior capacidade solar per capita, com 459 Watts / habitante instalados de energia solar FV. (IEA, 2019)

O maior país da Oceania se destaca, ainda, em outro importante quesito, que o faz figurar na oitava posição do ranking de países com maior parcela de energia solar fotovoltaica na sua matriz elétrica. Ao todo, nove países produzem hoje mais de 5% de seu consumo elétrico total através da fonte solar. Honduras (14%), Alemanha (7,9%), Grécia (7,5%), Itália (7,3%), Chile (7,1%), Japão (6,8%), Malta (6,5%) Austrália (6,3%) e Índia (5,4%) são os países com a maior participação fotovoltaica em relação as suas respectivas produções totais de eletricidade.

Outro ponto de destaque internacional são os membros do Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica (PVPS na sigla em inglês) da Agência Internacional de Energia (IEA). O programa trata-se de um acordo de pesquisa e desenvolvimento estabelecido no âmbito da Agência Internacional de Energia (IEA), desde 1993, e que tem como objetivo executar projetos conjuntos na aplicação da tecnologia fotovoltaica e na conversão de energia solar em eletricidade ao redor do mundo.

Ao todo, o PVPS é composto por trinta e dois membros, sendo vinte e sete países e outras cinco associações ou blocos⁵⁷. Se somados, os países membros do PVPS representam cerca de 85% da capacidade fotovoltaica instalada no mundo.

A escolha pelos países que receberam uma análise um pouco mais aprofundada nesse estudo é bastante objetiva, mas não suficiente. É claro que para uma análise mais precisa e perscrutada sobre o assunto, deveríamos levar em consideração dados como a capacidade per capita solar de cada país, percentual de participação solar na matriz elétrica, crescimento recente do mercado solar fotovoltaico, além de sua capacidade de geração através de outras fontes renováveis de energia.

Porém, ao analisarmos a capacidade total de cada um, conseguimos identificar as nações que mais promoveram a energia solar FV em escala global e são, portanto, referência no desenvolvimento da tecnologia de conversão de energia solar em eletricidade. A experiência desses países ao longo dos últimos trinta anos, tem contribuído para o avanço e o aperfeiçoamento da energia solar FV diante da transição energética global e dos paradigmas do desenvolvimento sustentável e devem ajudar o Brasil em sua trajetória.

4. A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

O Brasil ainda se encontra distante dos grandes líderes globais do mercado solar fotovoltaico, examinados no capítulo anterior. Porém, desde 2017, o mercado brasileiro fotovoltaico vem figurando entre os quinze principais mercados solares do mundo.

Em 2018, o Brasil foi a décima primeira nação que mais adicionou capacidade FV e, nos últimos dois anos (2017 e 2018) foi capaz de instalar mais de 1 GW de potência solar a cada ano, alcançando assim a marca de 2,3 GW de capacidade instalada total até o final de 2018 e demonstrando um grande avanço na utilização e no desenvolvimento da tecnologia solar fotovoltaica (SPE, 2018; 2019).

⁵⁷ Os 32 atuais membros de PVPS são: Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Chile, China, Dinamarca, Estados Unidos, Finlândia, França, Alemanha, Israel, Itália, Japão, Coreia do Sul, Malásia, México, Marrocos, Holanda, Noruega, Portugal, África do Sul, Espanha, Suécia, Suíça, Tailândia e Turquia, além da Associação das Indústrias de Energia Solar dos EUA (SEIA), a Smart Electric Power Alliance (SEPA), a Solar Power Europe (SPE), a União Europeia e a Associação Internacional de Cobre. (IEA, 2019). Fonte: <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=4> (acessado em 14/09/2019).

O país possui um enorme potencial de geração de eletricidade proveniente da fonte solar, com níveis de irradiação superiores aos de países onde a energia fotovoltaica é amplamente difundida, como, Japão, Alemanha, Espanha, Itália, França e Reino Unido, por exemplo (PEREIRA et al, 2017).

Com a redução nos preços dos equipamentos necessários para a geração da energia fotovoltaica e a aplicação de uma política energética apropriada, o país tem conseguido atrair investimentos públicos e privados, de empresas ou pessoas físicas, para o consumo de energia solar. O Brasil destaca-se, ainda, entre os países em desenvolvimento na aplicação da tecnologia fotovoltaica e há expectativas de que a nação ocupe um lugar entre os dez principais produtores globais de energia FV até 2030 (BNEF, 2018).

A posição relevante, que destacou o Brasil entre as únicas onze nações que adicionaram mais de 1 GW de capacidade solar em 2018, revela um resultado positivo da política energética nacional e dos esforços realizados durante a última década que buscaram fomentar e fornecer alicerce jurídico e regulatório à produção de energias renováveis modernas no país. Entre os principais fatores para o atual sucesso do setor fotovoltaico nacional estão as resoluções que normatizam a Geração Distribuída no país (desde 2012) e um sistema de leilões de energia renovável, dos quais participa a fonte solar FV (desde 2013).

Uma parte da trajetória do desenvolvimento do mercado FV brasileiro será contada nesse capítulo. Serão abordados aqui dados do setor energético nacional durante a última década; as principais políticas públicas que mais auxiliaram na promoção da tecnologia FV, começando pela Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL; e os principais avanços e desafios para o setor solar no país, na visão de agentes de mercado e cientistas envolvidos diretamente no cenário fotovoltaico nacional.

Foram utilizados dados do Ministério de Minas e Energia (MME), através da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), além de outras agências, institutos e associações que atuam como fomentadores ou pesquisadores de energia, particularmente de energias renováveis, entre elas a tecnologia solar fotovoltaica.

Também foram levantados dados através de conversas realizadas entre setembro de 2017 e setembro de 2019 com dez partes interessadas selecionadas, sendo cinco empresários do setor fotovoltaico dos estados de São Paulo e Minas Gerais; dois pesquisadores da área de energias renováveis, um deles coautor do Atlas Brasileiro de Energia Solar; um membro da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), um gerente de indústria estrangeira produtora de veículos elétricos e de tecnologia solar FV em

Campinas, no interior de SP; e o fundador (brasileiro) de uma empresa de médio porte alemã atuante no ramo de energia eólica no Brasil e na Alemanha.

4.1 A Oferta e o Consumo de Energia no Brasil entre 2009 e 2018, um breve resumo.

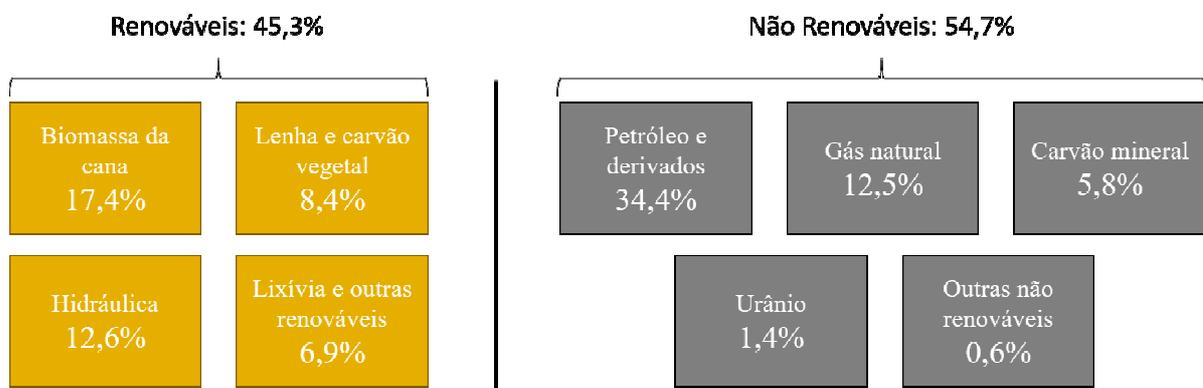
Antes de falarmos do mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica de forma específica, devemos traçar um panorama da evolução do mercado energético nacional, principalmente do setor elétrico, nos últimos dez anos, para identificarmos a maneira como a energia solar fotovoltaica está inserida nesse processo e qual o papel que ela ocupa no atual cenário energético do país.

A instituição responsável por balizar as diretrizes e promover o desenvolvimento da política energética brasileira é o Ministério de Minas e Energia (MME).

Órgãos e empresas vinculadas ao MME o auxiliam no objetivo de garantir a segurança energética do país, bem como o desenvolvimento sustentável da produção e do uso dessa energia, através de estudos, consultas, análises, regulação, fiscalização e comunicação dos setores energéticos, entre eles o setor elétrico. Como destaques para este estudo, podemos apontar a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), órgão responsável pelos principais estudos e pesquisas no campo energético no país e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia incumbida de regular o setor elétrico brasileiro, no qual o mercado solar fotovoltaico está inserido.

De acordo com o mais recente Balanço Energético Nacional (EPE, 2019), a matriz energética brasileira é composta por diferentes fontes, distribuídas conforme apresentado na figura a seguir.

Figura 30. Matriz Energética Brasileira, 2018

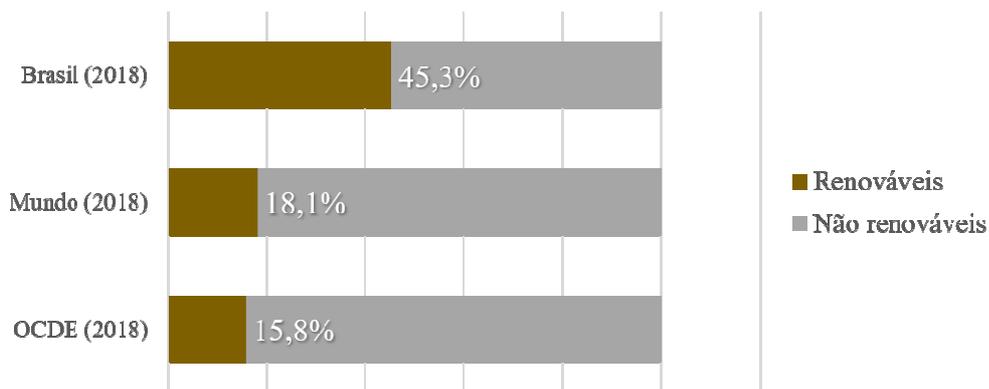


Fonte: EPE, 2019

Podemos observar na figura acima que as fontes não renováveis são responsáveis por fornecerem 54,7 % de toda a energia consumida no país, enquanto as fontes renováveis (entre elas a fonte solar FV) representam 45,3 % dessa oferta total de energia.

Mesmo com as fontes não renováveis representando a maior parte da oferta de energia, o Brasil possui uma parcela elevada de fontes renováveis em sua matriz energética quando comparado aos demais países do mundo. Enquanto no Brasil mais de quarenta e cinco por cento da oferta interna de energia tem origem através de fontes renováveis, a participação renovável na matriz elétrica global é de somente cerca de 18%, e ainda menor (aproximadamente 15%) quando consideramos apenas os países mais desenvolvidos (OCDE).

Figura 31. Participação das Renováveis na Matriz Energética, Brasil x Mundo



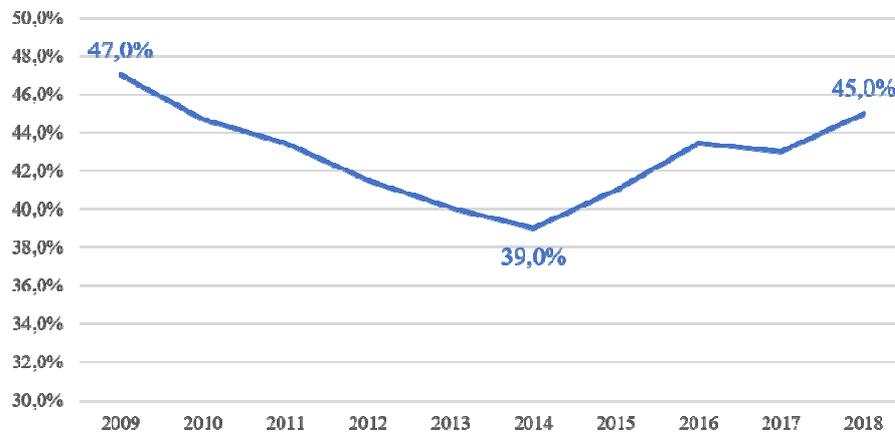
Fonte: EPE, 2019 e REN21, 2019

Desde o início dos anos 90 até o final de 2013 a participação de renováveis na matriz energética brasileira sofreu uma queda de cerca de 20% (EPE, 2019), graças ao aumento do uso de combustíveis fósseis, como derivados do petróleo e o gás natural, por exemplo, nesse período.

A partir de 2015, no entanto, iniciou-se uma retomada das fontes renováveis de energia dentro da matriz energética nacional, indicando uma nova tendência de ascensão da participação das ER's na oferta total de energia, graças principalmente ao aumento nas ofertas de tecnologias renováveis modernas, como energia eólica, solar e os biocombustíveis.

Entre 2017 e 2018, houve aumento de 3,4 % na oferta de energia renovável e queda de 5,5 % na oferta de energia não renovável na matriz energética brasileira, elevando a participação das fontes renováveis (EPE, 2019).

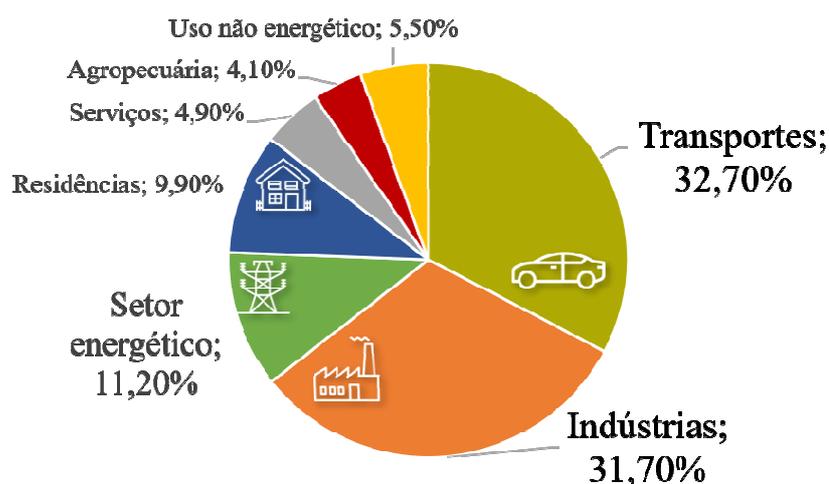
Figura 32. Participação das Renováveis na Matriz Energética Brasileira entre 2009 e 2018



Fonte: EPE, 2019

O consumo da energia gerada no país está concentrado principalmente nos setores de produção industrial e transporte de carga ou passageiros. Juntos, os dois setores (Indústrias e Transportes) correspondem a cerca de 64 % de todo o consumo energético nacional. É justamente nesses dois setores onde a energia solar fotovoltaica possui menor penetração, sendo, portanto, uma barreira para o crescimento do mercado solar fotovoltaico brasileiro. O consumo atual de energia no Brasil está distribuído conforme apresentado no gráfico a seguir.

Figura 33. Distribuição do Consumo de Energia no Brasil, 2018



Fonte: EPE, 2019

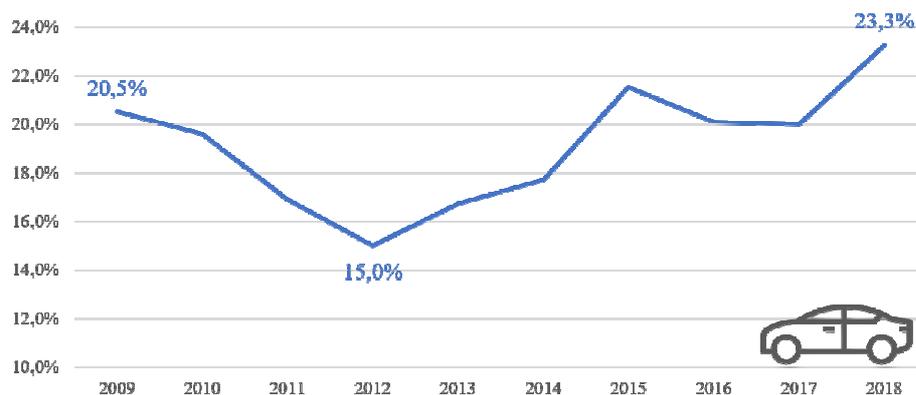
Residências, Serviços e a atividade Agropecuária são responsáveis por consumirem juntas cerca de 20 % da demanda energética nacional total. De acordo com os dados obtidos

nas entrevistas realizadas, são nessas classes consumidoras onde a energia solar fotovoltaica descentralizada (através da geração distribuída) possui seu maior nicho potencial.

No setor residencial, como grande parte do consumo energético está relacionada ao uso da eletricidade, a participação das renováveis corresponde atualmente a 65%, graças à eletricidade gerada pela fonte hídrica e pelas demais fontes renováveis.

No setor de Transportes, por sua vez, é mais difícil a penetração das fontes renováveis e ainda mais da fonte solar FV. A participação ER's no consumo de energia dentro setor de Transportes vem aumentando desde 2012, devido principalmente ao crescimento no uso de biocombustíveis (entre eles o etanol e o biodiesel) neste período. No Brasil, 23 % de todo consumo energético com transportes de carga e passageiros é de origem renovável, enquanto na média mundial esse valor é de pouco mais de 3% (REN21, 2019).

Figura 34. Participação das Fontes Renováveis no Setor Brasileiro de Transportes entre 2009 e 2018

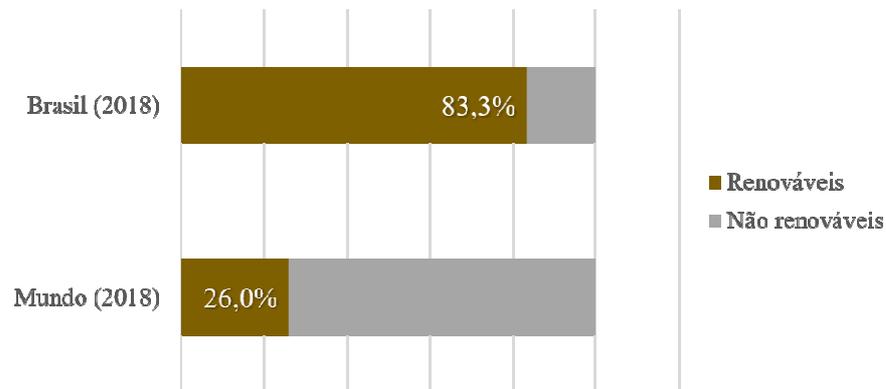


Fonte: EPE, 2019

Se dentro do cenário global de geração e consumo de energia o Brasil se destaca por ter uma matriz com ampla participação de fontes renováveis, o país se distingue ainda mais quando analisada somente a oferta e a demanda de eletricidade (que é uma das formas como usamos a energia, conforme foi visto no primeiro capítulo deste trabalho).

A matriz elétrica brasileira é representada, em sua maior parte (83%), por fontes renováveis modernas de energia. Quando comparada à matriz elétrica global, a parcela de renováveis na oferta interna de eletricidade no Brasil é acima de três vezes maior do que a média global (26%), conforme mostra a figura seguir.

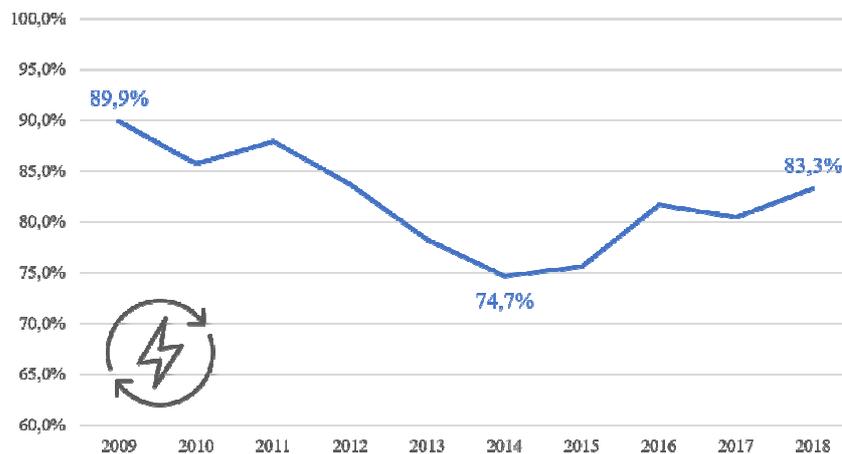
Figura 35. Participação das Renováveis na Matriz Elétrica, Brasil x Mundo



Fonte: EPE, 2019 e REN21, 2019

Em 2009, a participação das fontes renováveis diante da oferta interna de eletricidade era de aproximadamente 90 %. Assim como ocorreu com a oferta total de energia, a fração de fontes renováveis na produção interna de eletricidade reduziu entre os anos de 2009 e 2014, chegando a 74,7 %. De 2014 até agora, as renováveis têm mostrado um sinal de recuperação dentro da matriz elétrica nacional, conforme mostra a figura a seguir.

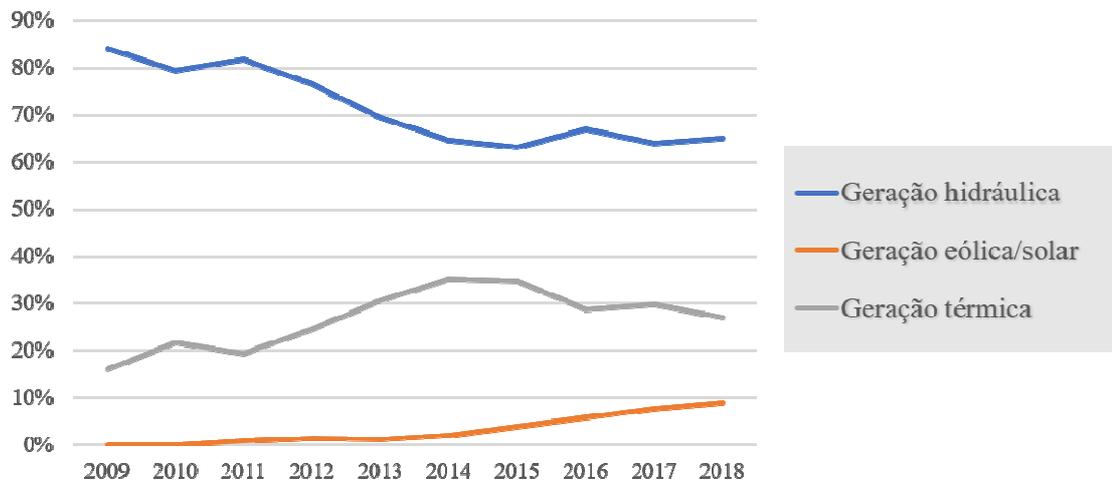
Figura 36. Participação das Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira entre 2009 e 2018



Fonte: EPE

O crescimento na participação das fontes renováveis de energia, desde 2014, se deve, em parte, ao incremento na geração hidráulica durante este período, mas se deve também (e principalmente) aos acréscimos nas gerações eólica e solar fotovoltaica entre os anos de 2013 e 2018, conforme se verifica na figura seguir.

Figura 37. Participação das Fontes na Geração Elétrica Brasileira entre 2009 e 2018



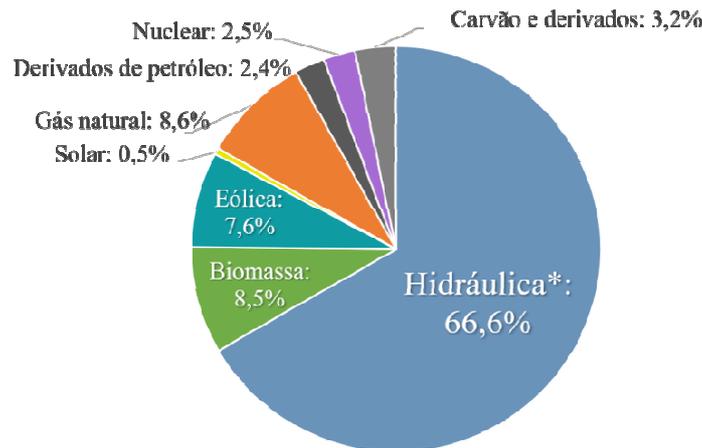
Fonte: EPE, 2019

De acordo com a figura acima, houve queda de quase vinte pontos percentuais na participação da energia hídrica na geração de eletricidade no país, entre os anos de 2009 e 2018. Durante o mesmo período, ocorreu um avanço de cerca de 70% na fração correspondente as termelétricas (ou onze pontos percentuais), mais concentrado entre o período de 2009 a 2014; e verificou-se avanço também de nove pontos percentuais na participação de geração renovável através das fontes eólica e solar fotovoltaica, entre 2013 e 2018.

Desde 2014, nota-se uma queda na participação das usinas térmicas na geração de eletricidade e um aumento considerável das porções de geração através do vento e da energia do Sol.

A matriz elétrica brasileira é composta da seguinte maneira: a fonte hidráulica corresponde a maior parcela (67%) da geração elétrica do país. Entre as renováveis, a fonte hídrica é seguida por Biomassa (8,5%), Eólica (7,6%) e Solar (0,5%). Já entre as não renováveis, o Gás Natural aparece como a principal fonte de eletricidade do país (8,6%), seguido por Carvão e seus Derivados (3,2%), Energia Nuclear (2,5%) e os Derivados do Petróleo (2,4%) (EPE, 2019).

Figura 38. Matriz Elétrica Brasileira, 2018



*Inclui importação com energia hidrelétrica

Fonte: EPE, 2019

Como visto, a energia solar fotovoltaica representa uma parcela muito pequena (somente 0,5 %) do consumo elétrico nacional e uma parcela ainda menor no consumo final total de energia (CFTE). Sem considerarmos a geração distribuída, as capacidades elétricas instaladas em território brasileiro e a atual taxa anual de crescimento de cada fonte estão representadas, de acordo com a figura a seguir.

Figura 39. Capacidade Elétrica Instalada no Brasil¹ (em MW) e Taxa Anual de Crescimento por Fonte, 2018

	2018	Δ 2018/2017
Hidrelétrica	104.139	3,90%
Térmica ²	40.523	-2,70%
Nuclear	1.990	0%
Eólica	14.390	17,20%
Solar	1.798	92,20%
Capacidade disponível	162.840	3,6%

¹ Não inclui micro e minigeração distribuídas; ² Inclui biomassa, gás, petróleo e carvão mineral

Fonte: EPE, 2019

Apesar da capacidade instalada limitada de energia solar, a fonte fotovoltaica tem registrado os maiores índices de crescimento entre as fontes, sejam elas renováveis ou não, dentro da matriz elétrica nacional. Em 2018, a tecnologia solar viu sua capacidade instalada

umentar 92,2 % em relação ao ano anterior (sem considerar a Geração Distribuída), conforme mostrado na figura acima.

Essa evolução recente na potência solar instalada é seguida pela fonte eólica, com 17,2 % de crescimento, e pela fonte hídrica, com 3,9 % de aumento entre 2017 e 2018. As demais fontes mantiveram ou reduziram os seus níveis de capacidade instalada entre os anos investigados.

A energia nuclear não instala nova capacidade produtiva no Brasil desde 2001, quando entrou em operação a Usina de Angra II, no estado do Rio de Janeiro, já a capacidade das usinas termoeletricas reduziu 2,7% no período entre 2017 e 2018. O Governo Federal, no entanto, já indicou, em 2019, a pretensão de construir entre quatro e oito usinas nucleares, que constam no Plano Nacional de Energia 2030, documento oficial do Ministério de Minas e Energia.

A geração solar deve seguir sua tendência de expansão no Brasil durante os próximos anos, sustentando, junto à fonte eólica, o bom crescimento das fontes renováveis no país. Estima-se que até o final de 2019, o Brasil já terá ultrapassado a marca de 3 GW⁵⁸ de potência fotovoltaica instalada acumulada (Absolar, 2019).

O último leilão de fontes renováveis para geração centralizada, ocorrido no primeiro semestre de 2019, indicou um novo patamar de preços e produtividade para a energia solar no país, com o custo do kWh solar ficando abaixo de todas as demais fontes, entre renováveis e não renováveis, além de um volume significativo de investimentos na tecnologia solar (ANEEL, 2019).

Com a difusão e a expansão da tecnologia FV no Brasil, a geração de empregos e a arrecadação pública com o mercado fotovoltaico também devem crescer, fazendo com que a disponibilidade de profissionais capacitados na área assumam um importante papel estrutural (PEREIRA et al, 2017).

De acordo com as informações obtidas através das entrevistas realizadas, além do fator preço, os efeitos socioeconômicos e o baixo impacto ambiental no processo de geração de energia elétrica através da fonte solar reduzem o custo sistêmico da eletricidade FV, fazendo com que ela se torne atrativa no mercado elétrico nacional, principalmente se comparados às fontes mais tradicionais de energia ou fontes renováveis de maior impacto ao meio ambiente, ou, ainda, com risco de escassez em períodos de estiagem, como é o caso da hidroeletricidade, por exemplo.

⁵⁸Incluindo a Geração Distribuída

Também de acordo com as entrevistas realizadas, quando levamos em conta o custo sistêmico das diferentes fontes de eletricidade, considerando os impactos socioambientais da geração e do uso dessa energia, as fontes renováveis modernas se tornam ainda mais competitivas.

Muito embora atualmente represente uma parcela pequena da geração elétrica brasileira, a tecnologia solar fotovoltaica é absoluta quando se trata de Geração Distribuída no país, como veremos mais adiante.

Esses e outros temas que envolvem o mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica ainda serão melhor abordados no decorrer desse capítulo. Os segmentos de Geração Distribuída e de Geração Centralizada, os principais conflitos e desafios enfrentados pelo setor solar em cada um desses segmentos, a geração de empregos com o desenvolvimento da tecnologia solar, os limites tecnológicos, além dos avanços e perspectivas do mercado fotovoltaico brasileiro são alguns dos temas levantados e analisados nessa etapa do trabalho.

A seguir, será abordado o segmento de Geração Distribuída (GD) e o papel protagonista que a energia solar fotovoltaica desempenha nessa porção de mercado. Porém, antes de tratarmos com mais detalhes do segmento de GD no Brasil, é importante entendermos as normas que fundamentaram e permitiram o desenvolvimento recente da micro e mini geração de eletricidade no país.

Nesse sentido, as resoluções normativas 482/2012 e 687/2015, da ANEEL, forneceram o alicerce regulatório necessário para a expansão da Geração Distribuída de eletricidade no território brasileiro, conforme narrado a seguir.

4.2 As Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015

Enquanto o mundo alcançava o seu centésimo GW instalado de energia solar (REN21, 2013), o Brasil procurava maneiras de desenvolver o seu então insignificante mercado de geração distribuída de energia elétrica (GD) no país e aumentar a participação das fontes renováveis modernas não hídricas em sua matriz elétrica, como a solar e a eólica, por exemplo, buscando uma maior segurança energética futura, além de atender aos novos padrões globais de desenvolvimento sustentável.

Sucessivas tentativas do governo brasileiro em aprovar um projeto de lei que regulamentasse a GD no território nacional fracassaram. Sem aprovação no Congresso

Nacional⁵⁹, a medida de incentivo a geração elétrica descentralizada no Brasil teve que vir através da publicação de uma Resolução Normativa (RN) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 17 de abril de 2012.

O objetivo da norma era implementar regras, até então inexistentes no país, que permitissem com que qualquer consumidor de eletricidade pudesse gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada⁶⁰, fornecendo a produção excedente para a rede de distribuição de sua localidade e reduzindo, assim, as barreiras existentes para o desenvolvimento da geração distribuída de eletricidade no território brasileiro (ANEEL, 2018).

A norma previu um Sistema de Compensação de Energia Elétrica, também conhecido pelo termo em inglês “*net metering*” que ocorre quando a energia excedente gerada por uma unidade consumidora com micro ou mini geração distribuída é injetada na rede, podendo ser integralmente aproveitada quando, em determinado momento, essa unidade necessitar da energia da distribuidora, sem pagamento de qualquer custo pelo fornecimento até o limite de sua produção e pelo prazo estipulado⁶¹.

Essa compensação integral da energia gerada por micro e mini produtores de energia elétrica, apesar de ter sido fundamental para o avanço da geração distribuída no Brasil, fez surgirem conflitos (com o aumento do número de unidades geradoras espalhadas no país) entre as distribuidoras de eletricidade e instaladores e consumidores que aderiram ou que pretendem aderir a micro e mini geração. Essa divergência observada no campo político regulatório será abordada com maior riqueza de detalhes, mais adiante, no item 4.4 desse capítulo (*Um Impasse no Campo Regulatório*).

⁵⁹ Informação obtida através de entrevista realizada com uma das partes selecionadas. De acordo com a ANEEL, a agência promoveu, ainda, consulta e audiência públicas entre 2010 e 2011 com o objetivo de “debater os dispositivos legais que tratem da conexão de geração distribuída de pequeno porte na rede de distribuição elétrica nacional” antes de publicar a RN 482/2012 (ANEEL, 2016).

⁶⁰ Cogeração qualificada trata-se de um conceito definido pela ANEEL nos termos da Resolução Normativa nº 235/2006, que atribui aos geradores que atendem a aspectos de racionalidade energética (eficiência energética) mínimos exigidos, a possibilidade de participarem de políticas públicas de incentivo, como exportar o excedente de energia gerado, no âmbito das resoluções normativas de micro e mini geração, por exemplo.

⁶¹ De acordo com a atual regra, desde 2015, se encaixam como micro geradores distribuídos aqueles cuja capacidade total de geração não exceder 75 kW de potência e, como mini geradores distribuídos, aqueles com capacidade de geração entre 75 kW e 5 MW (valor atualizado em 2017). A regra atual define, ainda, que a unidade consumidora tem até sessenta meses para a utilização dos “créditos” da energia produzida através da micro ou mini geração. Quando lançada, em 2012, a resolução normativa previa um limite de capacidade de geração para micro geradores distribuídos de até 100 kW e o limite para mini geração distribuída de até 1 MW de potência, passando para 3 MW em 2015, enquanto o prazo máximo para utilização do crédito era de até 36 meses. (ANEEL, 2019)

O gatilho inicial dado à geração distribuída em 2012, no entanto, não foi suficiente para disparar o mercado solar fotovoltaico brasileiro e o número de instalações de micro e mini usinas geradoras de eletricidade no Brasil, até 2015, foi discreto. Em 24 de novembro de 2015, a Aneel publicou então uma versão revisada da RN 482/2012.

A Resolução Normativa 687/2015 tinha como objetivo tornar a GD brasileira mais atraente para o consumidor de energia elétrica, reduzindo o custo e o tempo para a conexão das unidades de micro e mini geração às redes de distribuição, além de preencher algumas lacunas deixadas pela legislação anterior, aprimorando, dessa forma, as regras e condições da geração distribuída no país.

A nova norma compatibilizou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as condições gerais de fornecimento de eletricidade no sistema elétrico nacional (definidas pela Resolução Normativa nº 414/2010) e ampliou os limites de capacidade para micro e minigeração, bem como o prazo máximo para a utilização dos créditos gerados (ANEEL, 2016).

A RN 687/2015 trouxe ainda algumas outras novidades. Permitiu que a GD fosse realizada em empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras (condomínios) ou através de geração compartilhada (onde consumidores interessados podem se unir formando consórcios ou cooperativas e instalarem uma unidade micro ou mini geradora, usufruindo, cada membro, de uma parcela do crédito gerado), além também de permitir o autoconsumo remoto, para titulares do mesmo CPF ou CNPJ que possuam unidades consumidoras em diferentes localidades, mas dentro da mesma zona concessionária de distribuição (ANEEL, 2015).

A resolução se propôs, ainda, a aperfeiçoar as informações e aumentar a transparência nas faturas de consumo de eletricidade, buscando melhorar assim aspectos do relacionamento operacional entre micro e mini geradores e as distribuidoras de energia.

O resultado das mudanças efetuadas com a Resolução Normativa 687/2015 foi positivo para o mercado solar brasileiro. As medidas trouxeram maior viabilidade econômica aos empreendimentos fotovoltaicos de geração distribuída e fizeram aumentar o público alvo existente (Aneel, 2016 e Absolar, 2019), como veremos com detalhes no item seguinte desse capítulo que trata especificamente do mercado de geração distribuída no Brasil.

É possível dividir o mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica em dois grandes grupos (segmentos) com características bastante distintas entre si. O segmento de Geração Distribuída (que corresponde a 33% da atual capacidade de geração) e o de Geração Centralizada (responsável por 67% da capacidade FV instalada total no país).

Nesse capítulo, será dada ênfase ao mercado interno de Geração Distribuída, onde a energia solar fotovoltaica, apesar de possuir menor potência instalada em relação às grandes usinas solares de geração centralizada, assume um papel de absoluto protagonismo em relação às outras fontes, já que 88,5% da potência instalada em micro e mini geração corresponde a fonte solar (Absolar, 2019; Aneel, 2019; ABGD, 2019).

4.3 A Geração Distribuída no Brasil

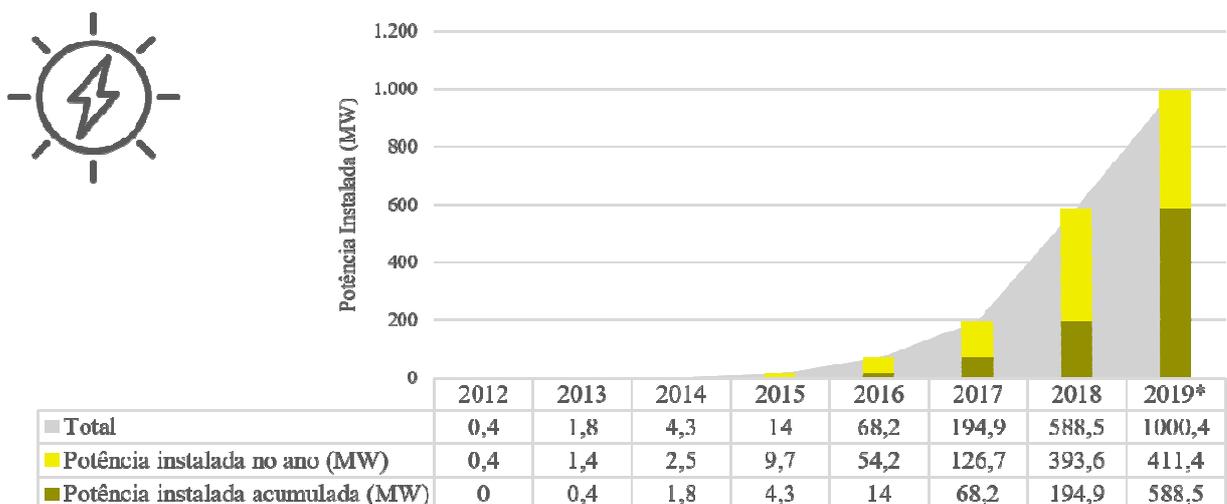
Como visto no item anterior, o segmento de Geração Distribuída de eletricidade no país foi impulsionado pelas duas Resoluções Normativas, a RN 482/12 e a RN 687/15, da ANEEL, que regulamentam a GD no território brasileiro.

Em pouco mais de seis anos, desde a primeira resolução normativa em abril de 2012 até junho de 2019, o Brasil instalou mais de 1 GW de potência solar acumulada em micro e mini geração distribuída, o que corresponde a mais da metade da capacidade de geração da Usina de Furnas, no Estado de Minas Gerais, por exemplo (Aneel, 2018).

Como dito anteriormente, quase 90 % dessa capacidade instalada em GD é composta por sistemas que utilizam a tecnologia solar para a geração de eletricidade.

Praticamente a totalidade dessa capacidade fotovoltaica de geração distribuída (99%) foi instalada entre os anos de 2016 e 2019, tendo sido mais de 40% somente nos seis primeiros meses de 2019, conforme mostrado na figura a seguir.

Figura 40. Potência Instalada (em MW) de Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil entre 2012 e 2019



*Até Junho de 2019

Fonte: ABSOLAR, 2019

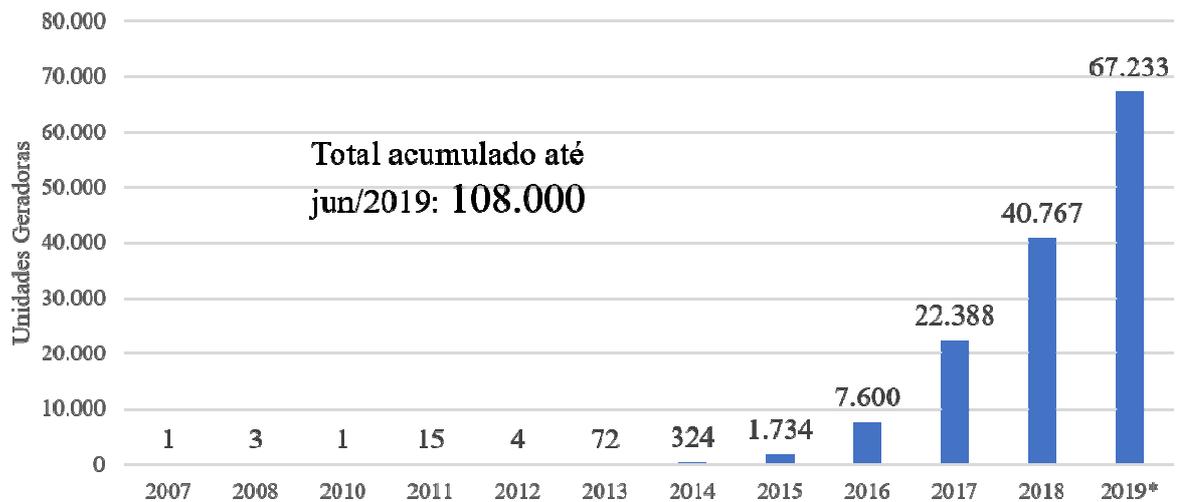
Apenas nos primeiros seis meses de 2019, mais de 400 MW de potência solar fotovoltaica foram instalados no segmento de geração distribuída no Brasil, o que representa quase a metade de toda a potência acumulada de geração distribuída no país ao longo dos últimos sete anos. Esses dados mostram que o mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica é relativamente incipiente e aparenta já ter passado pelo seu período de latência, vivendo hoje um momento de plena expansão.

Em 2019, o Brasil alcançou a marca de 100 mil (cem mil) unidades geradoras instaladas (sistemas solares FV conectados à rede). Até o final de 2015, o país possuía pouco mais de 2 mil (dois mil) sistemas fotovoltaicos de micro ou mini geração instalados e conectados à rede, conforme mostra a figura a seguir. Ou seja, o número de unidades geradoras hoje é cinquenta vezes maior do que há menos de cinco anos atrás (ANEEL, 2019; GREENER, 2019).

O país instala atualmente cerca de 150 (cento e cinquenta) novos sistemas por dia⁶². (ANEEL, 2019).

Figura 41. Novas Unidades Geradoras (Micro e Mini Geração Distribuída) entre 2007 e 2019*

⁶² Média de instalações, considerando-se apenas dias úteis, entre os meses de novembro e dezembro de 2018 (dados da Aneel disponibilizado em 07 de fevereiro de 2019, disponíveis em <https://www.aneel.gov.br/documents/655804/14752877/Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribu%C3%ADa+%E2%80%93+regulamenta%C3%A7%C3%A3o+atual+e+processo+de+revis%C3%A3o.pdf/3def5a2e-baef-bb59-2ce1-4f69a9cb2d88>, com acesso em 21 de setembro de 2019). Porém, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar) a média de instalações diárias analisando os dados do primeiro semestre de 2019 é de cerca de quinhentos novos sistemas por dia (Absolar, 2019). O levantamento da Absolar, no entanto, leva em consideração a média de 1 MW adicionado por dia em 2019 e faz as contas de quantas residências poderiam ser abastecidas com esse volume de energia elétrica, chegando a quinhentas unidades. Esse número, portanto, não corresponde ao número exato de instalações feitas. Mesmo assim, é certo que o valor real atual esteja acima do anunciado pela Aneel e utilizado neste trabalho.



*Até Junho de 2019

Fonte: Aneel, 2019 e Absolar, 2019

De acordo com os dados do gráfico acima, o número de sistemas de geração solar distribuída, aplicados em edificações e terrenos no território brasileiro, aumentou 48% somente durante o primeiro semestre de 2019.

Entre 2012 e 2019, cerca de R\$ 5 bilhões foram investidos em projeto de geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil (Absolar, 2019 - com dados analisados até agosto de 2019)

O número de empresas e serviços no setor também cresce, aumentando assim a arrecadação pública e o número de empregos relacionados ao mercado solar FV. Estima-se que existam hoje cerca de seis mil empresas atuantes no mercado solar brasileiro (GREENER, 2019; ABSOLAR, 2019).

A rápida evolução do mercado solar no segmento de geração distribuída também faz surgir desafios aos agentes e empreendedores do setor fotovoltaico. O número elevado de novos entrantes⁶³, na maior parte integradores de sistemas FV que atuam na projeção, instalação e suporte de sistemas conectados à rede, e as barreiras relativamente baixas para a entrada de novos *players* no mercado, acabam reduzindo a margem de lucro total dessas empresas, ao menos nesse estágio inicial de desenvolvimento do mercado, já que um número

⁶³ Um levantamento feito pela empresa de pesquisa e consultoria Greener publicado em fevereiro de 2019 revelou que o número de integradores de sistemas fotovoltaicos no Brasil saiu de 1.600 (mil e seiscentos) em julho de 2017 para cerca de 6.000 em janeiro de 2019, um aumento de 275 % em menos de dois anos. Quase metade (46,3%) dessas empresas estão concentradas na região Sudeste (Fonte: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/propostas-para-geracao-distribuida.html> e <https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2o-trimestre-de-2019/>).

muito elevado de novos empreendimentos brigando entre si pelos seus primeiros projetos e clientes faz com que os preços praticados sejam consideravelmente mais baixos.

Isso pode ocorrer com maior intensidade em locais onde a entrada de novos integradores for muito concentrada. Porém, com a extensa área territorial brasileira e os bons índices de incidência solar, além do crescente número de unidades consumidoras aderindo à micro e minigeração, os efeitos da forte concorrência no mercado solar de GD podem ser minimizados e o próprio amadurecimento do setor deverá equilibrar parte dos excessos e das faltas existentes. Ainda assim, uma mudança no sistema regulatório de geração distribuída por parte da agência reguladora pode gerar impactos negativos para essas empresas no curto e médio prazo.

Atualmente, cerca de 70 % dos municípios brasileiros já possuem ao menos um sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede (GREENER, 2019). A região sudeste concentra a maior parte (aproximadamente 45 %) dos sistemas fotovoltaicos de micro e mini geração distribuída, seguida pelas regiões Sul (23 %) e Nordeste (17 %).

Os estados brasileiros que mais aderiram a tecnologia fotovoltaica através da micro e mini geração até hoje são: Minas Gerais em primeiro lugar, com cerca de 190 MW instalados (ou 19,4 % do total acumulado no país), seguido por Rio Grande do Sul, em segundo, com 157 MW (16,1 %) e São Paulo, em terceiro lugar, com 123 MW (12,5 %). Juntos, esses três estados representam aproximadamente 52 % do total de unidades consumidoras conectadas a rede que utilizam a fonte solar fotovoltaica para geração e consumo de eletricidade, recebendo os créditos pela energia gerada (Greener, 2019⁶⁴).

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), o crescimento do mercado brasileiro de geração distribuída solar fotovoltaica, caso fosse mantido o atual sistema regulatório de compensação total, deveria gerar mais de R\$ 25 bilhões em arrecadações de impostos aos governos federal e estaduais até 2035 (ABSOLAR, 2019).

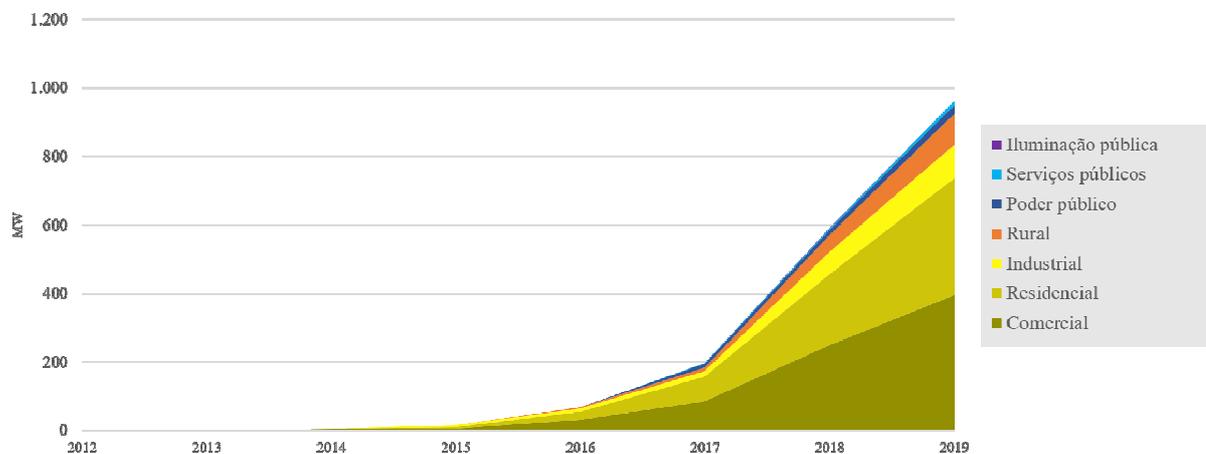
A geração de empregos também é outro fator fundamental para a discussão do atual modelo regulatório e suas modificações futuras. Estima-se que para cada MW instalado de energia solar FV, de vinte e cinco a trinta empregos são gerados no mundo, considerando instalação, fabricação, vendas e distribuição, desenvolvimento de projetos, entre

⁶⁴ A Greener utilizou dados da Aneel até 30/06/2019. Só foram levados em consideração sistemas com até 5 MW de potência total (fonte: <https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2o-trimestre-de-2019/>).

outras etapas da aplicação da tecnologia solar (ABSOLAR, 2019 com dados de IRENA, 2019).

Dentro do segmento de geração distribuída, podemos separar sete classes de consumo (nichos de mercado) distintas, sendo possível unir três delas em um único grupo que denominaremos aqui de “setor público”, são elas: Iluminação Pública; Serviço Público; Poder Público (esses três primeiros formando o grupo Setor Público); Rural; Industrial; Residencial e Comercial. Suas participações no mercado brasileiro de energia solar FV se dão de acordo com a figura a seguir.

Figura 42. Potência Solar FV Instalada no Brasil por Classe de Consumo



Fonte: Greener, 2019

Conforme representado no gráfico acima, sistemas Residenciais e Comerciais representam juntos cerca de 80 % de toda a potência de geração conectada à rede atualmente no Brasil.

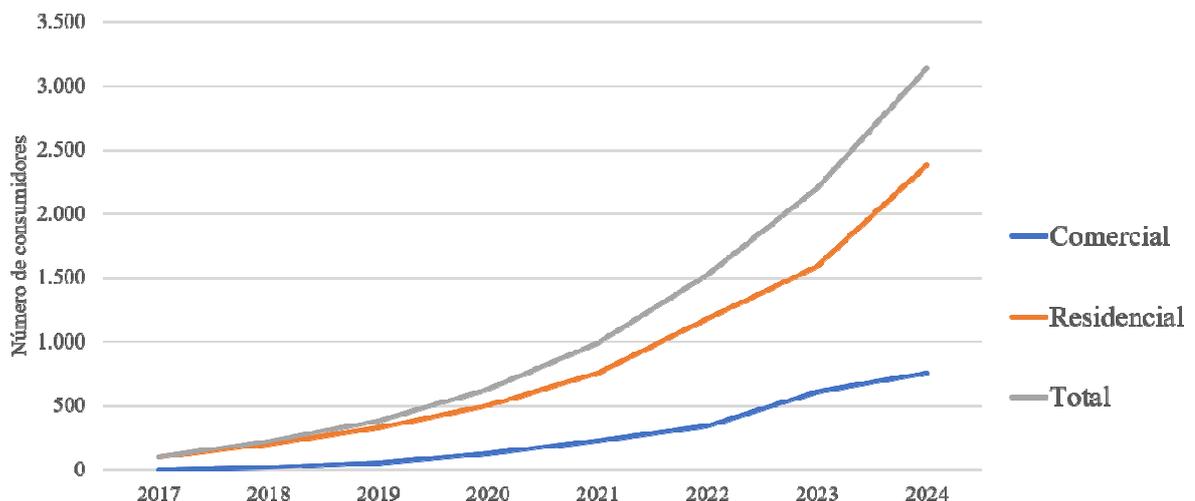
O grupo residencial é representado majoritariamente por pessoas físicas, consumidoras de eletricidade que instalam, através das empresas integradoras, sistemas de geração fotovoltaica de pequeno porte nos telhados de casas e edifícios residenciais. Já o grupo comercial é representado por estabelecimentos comerciais (pessoa jurídica) de diferentes portes que optam por gerarem parte da eletricidade consumida através, geralmente, de mini usinas renováveis (fotovoltaicas), também instaladas em telhados ou terrenos nos imóveis de suas empresas.

Não serão abordados detalhes de cada um desses grupos separadamente, mas, nas sugestões de trabalhos futuros apresentada ao final deste trabalho está proposto o aprofundamento nos estudos de cada um desses nichos do segmento de GD de uma maneira

específica, a fim de levantar características e informações que auxiliem no desenvolvimento da tecnologia solar em cada um desses setores apresentados.

Embora a capacidade distribuída instalada em sistemas comerciais e residenciais sejam quase equivalentes, com cerca de 400 MW em cada um desses setores, o número de sistemas fotovoltaicos instalados em residências é bem maior do que o instalado em empresas. Isso ocorre porque os sistemas FV instalados no setor de comércio e serviços costumam ser maiores e com capacidade de geração maior aos sistemas residenciais. De acordo com a Aneel, o número de consumidores do grupo residencial em relação aos do grupo comercial deverá seguir acima dos demais grupos, conforme a projeção apresentada na figura a seguir.

Figura 43. Projeção da ANEEL para o Número de Unidades Geradoras FV Conectadas à Rede no Brasil até 2024



Fonte Aneel, 2019

Para a fonte solar FV, levando em consideração somente o número de sistemas instalados e conectados à rede, os consumidores residenciais ocupam o topo da lista e representam cerca de 74 % do total. Em seguida, encontram-se as empresas dos setores de comércio e serviços, que correspondem a 17 %; os consumidores rurais vêm a seguir, com cerca de 5 %; depois indústrias, que representam quase 3 %; poder público, com 0,6% do total de instalações; serviços públicos, com 0,08% e, por fim, iluminação pública, com 0,02% (Absolar, 2019 com dados da Aneel, 2019).

Embora a Geração Distribuída no Brasil viva atualmente um momento de plena expansão, como visto há pouco, uma revisão da resolução normativa vigente em relação ao sistema de compensação total (*net metering*) está hoje em discussão dentro da Agência

Nacional de Energia Elétrica. Há uma proposta da Aneel, atualmente em fase de consulta pública, de reduzir parte dos créditos gerados pela autoprodução elétrica renovável dos sistemas conectados à rede, como forma de compensar os gastos com distribuição, controle de carga na rede e suporte das distribuidoras de eletricidade.

Essa proposta, que diminui a atratividade geral dos sistemas de micro e mini geração distribuída, intensifica o conflito entre representantes de distribuidoras de energia e representantes do setor solar. A questão normativa é abordada no tópico a seguinte deste capítulo, que apresenta um panorama do conflito existente, bem como algumas informações obtidas através das entrevistadas realizadas neste trabalho, em relação ao tema.

4.4 Um Impasse No Campo Regulatório

Desde 2015, quando foi publicada a RN 687/2015, está prevista uma revisão das regras aplicadas à micro e mini geração distribuída no Brasil. A proposta de mudança (atualmente em fase de consulta pública) elaborada pela ANEEL, alteraria o atual sistema de compensação de créditos, impactando assim o mercado solar FV de geração distribuída.

Atualmente, os consumidores comuns de eletricidade (atendidos em baixa tensão) pagam às concessionárias (distribuidoras) uma tarifa que é composta por diversos elementos. Essa composição inclui custos produtivos e operacionais, impostos, tarifas, subsídios e o consumo individual, todos eles agrupados numa só tarifa denominada “tarifa de energia elétrica”.

Porém, ao desmembrarmos os componentes dessa “tarifa de energia elétrica” vemos que ela é formada por diversos elementos. Entre os seus principais componentes estão a Tarifa de Energia (TE) e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD).

A TE se refere à quantidade de energia elétrica utilizada por cada unidade consumidora, ou seja, a eletricidade propriamente dita. A TUSD, por sua vez, refere-se ao custo com a estrutura e manutenção de distribuição existente, como cabos, postes, transformadores e outros elementos por onde passa a energia elétrica, desde as subestações de rebaixamento de tensão até as unidades consumidoras, além dos gastos com expansão do sistema e atualização das linhas de distribuição.

O atual modelo regulatório - conforme visto anteriormente - prevê o sistema de compensação total a micro e mini geradores de energia renovável distribuída. Porém, de acordo com as concessionárias distribuidoras de energia elétrica, os consumidores que produzem a própria energia utilizam a estrutura de distribuição existente e não pagam por

isso, o que acaba por onerar os consumidores que dependem totalmente da rede pública de distribuição (ANEEL, 2019).

Isso ocorre porque a tarifa de energia elétrica atual paga pelo consumidor comum de eletricidade no Brasil, não faz distinção entre o custo relacionado à energia e o custo com transmissão e distribuição. Tal distinção ocorre somente no grupo de consumidores “especiais” (consumidores de alta tensão), onde a TUSD é também chamada de “custo-fio” ou “tarifa do fio” (em referência ao fio da rede por onde passa a energia elétrica). Esse grupo especial, no entanto, paga uma tarifa diferenciada na TUSD, em média 50 % do seu valor real (ANEEL, 2019). Os consumidores do grupo especial demandam grandes quantidades de energia elétrica para suas atividades produtivas.

A nova proposta da ANEEL para a GD no Brasil passaria a cobrar a TUSD das unidades consumidoras com micro ou mini geração de eletricidade e não os tornariam consumidores especiais por isso, o que elevaria os gastos de micro e mini produtores renováveis e aumentaria o “*payback*” de novos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, afetando assim o mercado solar FV de geração distribuída (ANEEL 2019; ABSOLAR, 2019).

Por essa razão, um conflito entre as distribuidoras de energia elétrica, representados em parte pela Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) e os produtores de energia solar fotovoltaica, representados em parte pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) e a Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD) intensificou-se nos últimos anos.

Enquanto as distribuidoras defendem uma mudança na regra que passaria a cobrar as unidades que produzem sua própria energia pelo uso da rede elétrica, os produtores e consumidores de eletricidade renovável distribuída reivindicam pela manutenção das normas vigentes. O tema é complexo e existem pontos polêmicos. Porém, alguns dos principais argumentos e pontos de vista dos dois lados podem ser relacionados.

Para os que defendem uma mudança na regra, o modelo atual de compensação não representa uma remuneração adequada da rede de distribuição. Por outro lado, uma mudança significativa na norma atual afetaria negativamente um jovem mercado de geração distribuída no Brasil.

Os defensores da manutenção das normas vigentes consideram que a geração distribuída contribui também para a preservação do meio ambiente, já que utiliza fontes renováveis para a geração de eletricidade, além de contribuir sócio e economicamente com a geração de empregos, renda e tributos e que os fatores indiretos associados à GD

renovável não estão sendo levados em consideração como deveriam. Fora isso, uma taxa mensal paga atualmente por micro e mini produtores (e também pelos demais consumidores comuns), chamada de “taxa de disponibilidade”, já é uma parcela cobrada pelas distribuidoras referente ao uso do sistema elétrico.

As distribuidoras de eletricidade, por sua vez, consideram a “taxa de disponibilidade” muito pequena em relação ao custo do uso da rede.

Há outro ponto que desperta preocupação nos representantes do setor fotovoltaico de geração distribuída. A entrada de grandes empresas distribuidoras de energia no mercado de geração elétrica distribuída, segundo eles, poderia gerar desequilíbrios no mercado. Instaladores e desenvolvedores de sistemas FV temem que ocorra uma concentração de mercado e uma concorrência desleal com o ingresso de distribuidoras de energia elétrica no segmento de geração distribuída.

Nesse sentido, alguns atores do mercado renovável de eletricidade têm alegado que as concessionárias de distribuição não poderiam atuar como executoras de projetos de GD, tendo em vista que são elas (as distribuidoras) que analisam os projetos de outros agentes, permitindo ou não que a conexão seja concluída na rede. Fora isso, o atual modelo do setor elétrico vigente define que as companhias de distribuição devem ser separadas das companhias de geração de eletricidade, justamente para não haver este ou outros tipos de favorecimento (BRASIL, 2019)

O ponto acima citado corresponde a uma lacuna existente na atual norma que regula a Geração Distribuída no Brasil. Embora a proposta da Aneel para a revisão da RN 482/2012 atenda às reivindicações das distribuidoras de energia no sentido de cobrar micro e mini geradores o valor referente ao uso do sistema, ela é negligente quanto ao fato das distribuidoras poderem ou não atuar no mercado de desenvolvimento e soluções para geração elétrica distribuída.

Hoje já existem grupos econômicos que possuem companhias de distribuição de eletricidade e de geração distribuída no Brasil (ABRADEE, 2019; RENOVE, 2019).

Como visto, os pontos levantados são polêmicos e a Aneel possui o difícil papel de equilibrar o mercado de geração distribuída, garantindo sua sustentabilidade e o benefício da população. Para a maior parte dos entrevistados neste estudo, atender aos ensejos das concessionárias distribuidoras não seria a melhor maneira de beneficiar a população brasileira e tornar a matriz elétrica nacional mais sustentável.

O mercado de GD no Brasil, como visto, está na sua fase inicial de expansão e já sofre com a grande concorrência e com as poucas barreiras de entrada no setor.

A atual proposta da Aneel prevê uma mudança gradual nas regras, conforme o segmento de GD se desenvolva e amadureça, mas também prevê uma mudança imediata para os novos sistemas conectados após a revisão. A publicação da nova revisão na RN 482/12 está prevista para o primeiro semestre de 2020. A proposta atual é mais rígida do que a anunciada no início do ano de 2019, indicando que a agência vem cedendo às reivindicações das distribuidoras de eletricidade, que exercem tradicionalmente uma forte influência sobre as políticas energéticas do país.

Parte desta alteração no posicionamento da Aneel ao longo do último ano pode estar relacionada aos estudos recentes apresentados pelas Secretaria de Avaliação de Políticas Públicas, Planejamento, Energia e Loteria (Secap); Secretaria Especial de Produtividade, Emprego e Competitividade e pela Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura, todas elas vinculadas ao Ministério da Economia, nos quais é indicado que o país deveria investir mais em geração renovável centralizada e reduzir as vantagens para micro e mini geradores de eletricidade, uma vez que estas vantagens oneram os demais consumidores comuns de energia elétrica (REUTERS, 2019). Ou seja, os documentos sugerem uma centralização da geração de eletricidade renovável, indo na contramão do discurso do próprio Ministro da Economia que declara intenção em promover a descentralização financeira e administrativa no campo econômico (MME, 2019), bem como declarações do Presidente da República contra as medidas que oneram os micro e mini geradores de eletricidade fotovoltaica⁶⁵.

Em 2016, a própria ANEEL enumerou os benefícios e também algumas desvantagens da geração distribuída.

“De forma geral, a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética.”

(Aneel, 2016)

Cabe notar que nesta análise da Aneel, não foram levados em consideração alguns efeitos indiretos como geração de empregos e renda, além da arrecadação de tributos da expansão do mercado solar FV de geração distribuída.

Claro que, embora ocorram benefícios resultantes da geração descentralizada, como os listados acima, há também contrariedades na expansão acelerada da GD, conforme o

⁶⁵ Informação veiculada em diversos jornais e revistas eletrônicas da mídia nacional. Fonte utilizada: O Globo, 2019 disponível em <https://oglobo.globo.com/economia/bolsonaro-critica-proposta-da-aneel-de-tributar-energia-solar-taxar-sol-ja-vai-para-deboche-24041186>. Acesso em 29/10/2019.

menciona o trecho abaixo, extraído da segunda edição do caderno temático de micro e mini geração distribuída da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) de maio de 2016.

“Por outro lado, há algumas desvantagens associadas ao aumento da quantidade de pequenos geradores espalhados na rede de distribuição, tais como: o aumento da complexidade de operação da rede, a dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico, a eventual incidência de tributos e a necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes.”

(Aneel, 2016)

Tais argumentos, como os apresentados acima, podem até apontar a intenção da agência reguladora em alterar o sistema de compensação total adotado desde 2012 e que possui resultados práticos desde 2016, com a primeira revisão da RN 482/2012, a RN 687/15.

Embora sejam argumentos válidos, o mercado nacional de energia solar fotovoltaica, principalmente no segmento de GD - apesar de atravessar um momento de expansão - ainda se encontra no estágio inicial desse desenvolvimento. O Brasil começou sua expansão fotovoltaica de maneira atrasada em relação a alguns outros países, principalmente se comparado com os líderes do mercado solar estudados no capítulo anterior deste trabalho e a diminuição na atratividade de gerar sua própria energia pode reduzir os investimentos nesse setor.

Em relação à EUA, Japão e Alemanha, o Brasil possui um atraso de ao menos 25 anos no desenvolvimento da tecnologia FV e, em relação à China, de cerca de 10 anos, na inserção de políticas públicas que fomentem a geração distribuída e a tecnologia solar em seus territórios.

Setores ainda mais incipientes dentro do segmento de GD, como o agronegócio por exemplo, poderiam sofrer ainda mais as consequências de uma revisão nos moldes da que está proposta pela Aneel, desde o último semestre de 2019.

O setor rural representa hoje quase 10 % da potência solar FV instalada em geração distribuída no país, com aumento de quase seis vezes entre 2017 e agosto de 2019 (Absolar, 2019) e é considerado por integradores e empresas ligadas ao mercado fotovoltaico como um dos segmentos de grande potencial de crescimento dentro do mercado solar.

De uma maneira geral, os atores que defendem a manutenção da atual regra ou uma mudança mais tênue e gradual do que a proposta apresentada pela Aneel⁶⁶, consideram que

⁶⁶ A proposta da Aneel para a revisão das normas do segmento de geração distribuída no país se encontra em consulta pública entre os dias 15 de outubro de 2019 e 30 de novembro de 2019, devendo receber entre os dias 17/10/2019 e 20/11/2019 contribuições da sociedade civil às propostas apresentadas. A sessão presencial da consulta está prevista para 07/11/2019.

fatores externos como a geração de empregos, a redução na emissão de CO² e o aumento na arrecadação de tributos pelos serviços prestados e produtos comercializados no segmento de GD, deveriam ser mais bem tangenciados e inseridos no cálculo para revisão da RN 482/2012.

Enquanto a revisão da atual norma não se concretiza, a insegurança jurídica e regulatória do sistema de geração distribuída assombra setores de energias renováveis, mais especificamente do mercado de energia solar FV e fica ainda mais difícil elaborar estudos precisos de viabilidade econômica para sistemas de geração distribuída no país.

A dúvida também faz com que os interessados em instalarem um sistema de micro ou mini geração distribuída acelerem sua decisão, na intenção de aderirem ao modelo antes da revisão e usufruírem, dessa maneira, por mais tempo das normas vigentes. Esse fenômeno ocorre hoje com o mercado de geração distribuída no Brasil.

Somente no primeiro semestre de 2019, houve aumento de 120 % no número de instalações de sistemas de micro e mini geração distribuída, em relação ao mesmo período de 2018 (Aneel, 2019), enquanto o volume de importação de módulos fotovoltaicos aumentou 24 % e o de inversores destinados unicamente à GD cresceu 154 % (Greener, 2019).

O número de empregos relacionados ao mercado solar também vem crescendo. Estima-se que vinte e cinco mil vagas de emprego tenham sido criadas somente em 2019. O valor estimado de novos empregos diretos no mercado solar FV até o final de 2018 era de setenta e dois mil novos postos de trabalho (Absolar, 2019).

Embora a Geração Distribuída venha apresentando bons resultados durante os anos mais recentes no país, como visto até aqui, a maior parte (67%) da capacidade instalada brasileira de energia solar FV ainda pertence ao outro grande grupo do mercado solar, a Geração Centralizada⁶⁷, que é promovida no Brasil principalmente através de grandes leilões de compra e venda de energia. Uma breve análise do mercado brasileiro fotovoltaico no segmento de Geração Centralizada será descrita a seguir.

⁶⁷ Geração Centralizada corresponde ao mercado de grandes concessionárias e grandes empresas de energia, atuando em projetos de mais de 5 MW de capacidade de geração e trabalhando com contratos de eletricidade de larga escala. É também chamada de Geração em Larga Escala ou Geração em Escala de Utilidade Pública (*Utility* no termo em inglês), como costuma ser usado em alguns relatórios internacionais relevantes, como REN21, IEA, SPE.

4.5 A Energia Solar FV e a Geração Centralizada no Brasil entre 2012 e 2018

Desde 2007, são realizados no Brasil grandes leilões de comercialização e outorga de concessões e autorizações de geração de energia elétrica através de fontes renováveis. Chamados de Leilões de Energias Alternativas, eles contemplavam, até 2012, somente as fontes hídrica, biomassa e eólica, além de algumas fontes não renováveis de geração de energia.

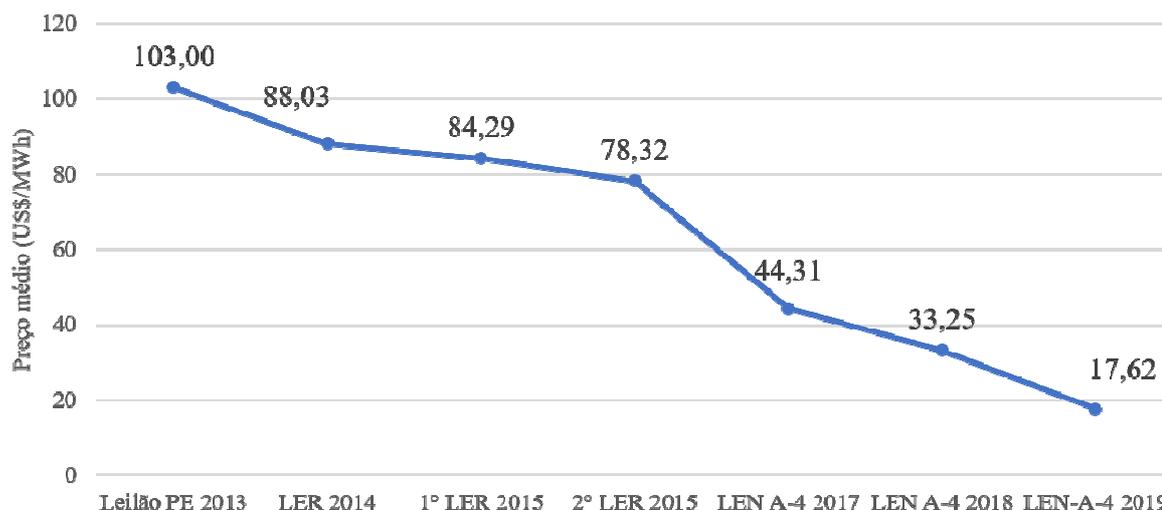
Somente em 2013, os Leilões de Energias Alternativas passaram a contemplar, pela primeira vez, a fonte solar FV em seus certames. A partir daí, a fonte solar esteve presente nos grandes leilões de fontes alternativas no país.

Desde 2015, a fonte solar FV se destaca como aquela que mais contrata energia nos leilões que envolvem as fontes renováveis, entre elas hídrica (pequenas centrais hidrelétricas e grandes hidrelétricas), eólica (onshore e offshore), biomassa moderna (termelétricidade e biocombustíveis) e solar.

Em 2019, além de ter contratado o maior volume de energia entre as diversas fontes renováveis, a fonte solar também apresentou o preço mais baixo do Mwh (abaixo de R\$ 70,00/MWh⁶⁸), apresentando pela primeira vez patamar de preço menor do que a energia eólica, que possui mais tradição em leilões de energia renovável no país (EPE, 2019; ANEEL, 2019). Os preços médios para o produto solar fotovoltaico (em US\$) nos leilões de contratação de energia realizados no Brasil entre 2013 e 2019 estão ilustrados na figura a seguir.

Figura 44. Evolução do Preço (em US\$) da Fonte Solar FV em Leilões de Energia no Brasil

⁶⁸ Leilão A-4/2019 de contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração realizado em junho/2019. O preço médio resultante do produto solar fotovoltaico foi de R\$ 67,78/MWh (EPE, 2019) disponível em http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-355/topico-469/Informe%20Resultado%20da%20Habilita%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnica%20e%20Vencedores-%20Leil%C3%A3o%20A-4%20de%202019_v3.pdf. (Acesso em 13/11/2019)



Fonte: Absolar, 2019 com dados da CCEE, 2019

De acordo com informações levantadas através das entrevistas realizadas, o sistema de leilões para a contratação de energia renovável no Brasil tem se mostrado um instrumento bem sucedido e o país se destaca pelo pioneirismo no uso deste sistema para contratação de eletricidade por fontes alternativas no mundo. Como visto anteriormente, grande parte da atual capacidade FV instalada em território nacional é representada pela geração centralizada (aproximadamente 65%) e o cenário para as usinas fotovoltaicas de grande porte no país é promissor dado o preço cada vez mais competitivo apresentado pela fonte solar (Absolar, 2019).

Estima-se que, desde 2014, mais de R\$ 10 bilhões em investimentos privados foram aplicados em usinas de geração centralizada fotovoltaica e cerca de cinquenta mil empregos criados pelo setor solar nas regiões onde essas usinas foram instaladas. Até 2023, cerca de 4 GW de potência FV contratada em leilões de energia deverão entrar em operação, representando mais R\$ 23,3 bilhões de investimentos em energia solar no país (Absolar, 2019).

Atualmente são quase 2,5 GW de potência solar instalada (em operação) através de grandes usinas fotovoltaicas no Brasil. Os estados que mais receberam esse tipo de empreendimento são Bahia, em primeiro lugar com cerca de 800 MW; Minas Gerais, em segundo com 750 MW; Ceará, em terceiro com 700 MW; seguidos por Piauí, com 690 MW; São Paulo, 370 MW; Pernambuco, 250 MW; Paraíba, 135 MW; Rio Grande do Norte, 115 MW e Tocantins, com aproximadamente 85 MW (Absolar, 2019 e Aneel, 2019)⁶⁹.

⁶⁹ Foram consideradas usinas fotovoltaicas em operação ou em construção até junho de 2019

As usinas em operação hoje são capazes de suprir à necessidade equivalente de consumo de eletricidade de cerca de três milhões de pessoas (Absolar 2019; Aneel, 2019). Até 2022, estima-se que toda a capacidade FV centralizada instalada seja capaz de gerar energia elétrica suficiente para abastecer cinco milhões de residências em todo o país (EPE, 2019). As perspectivas para o segmento de geração distribuída da fonte solar FV são animadoras também graças ao anúncio do Governo Federal, através de portaria do Ministério de Minas e Energia, da realização de seis novos leilões de energia para expansão da capacidade de geração elétrica no país entre 2019 e 2021, dos quais a fonte solar FV participa de grande parte.

Se compararmos essa potência centralizada solar futura com a potência estimada para 2023 da fonte eólica, de cerca de 20 GW (ABE Eólica, 2019), vemos que a energia dos ventos poderá abastecer cerca de seis vezes mais unidades consumidoras do que a fonte solar, no segmento de geração centralizada, mostrando a grande oportunidade de crescimento da fonte solar e a importância dessas duas fontes no desenvolvimento sustentável e na transição energética da qual o Brasil faz parte.

4.6 Outros Conflitos e as Perspectivas do Mercado Brasileiro de Energia Solar FV

Entre os conflitos presentes no setor elétrico brasileiro, aquele que mais afeta atualmente o mercado nacional de energia solar fotovoltaica, na visão dos *stakeholders* consultados, é o impasse no campo regulatório a respeito de uma mudança no sistema de compensação (*net metering*) para a micro e mini geração distribuída, visto anteriormente com mais detalhes no item 4.4 do presente capítulo.

Outros conflitos, porém, que também afetam de forma direta ou potencial o setor solar, puderam ser observados ao longo deste estudo.

O primeiro deles, um conflito sistêmico, transparece a carência de uma política clara e objetiva por parte do Estado brasileiro, através do Ministério de Minas e Energia (MME), para a fonte solar FV.

Apesar de citada nos relatórios e planos energéticos nacionais de médio e longo prazo, a fonte solar está distante de receber a atenção dispensada às fontes mais tradicionais, como o Petróleo e o Gás Natural, por exemplo, ou até mesmo fontes renováveis modernas mais difundidas no país, principalmente os biocombustíveis. Parte desse problema se deve à recente aplicação da tecnologia FV em larga escala no país, que começou tardiamente, em 2015, e só entrou em período de expansão de fato a partir de 2017.

Com a carência de dados consolidados, fica mais difícil empreender pesquisas energéticas sólidas e elaborar políticas de longo prazo consistentes para a fonte solar FV. Esse fator se reflete inclusive, no número de artigos científicos publicados.

Ao analisar dez das principais revistas brasileiras de Administração, apenas dois artigos que tratam sobre energia solar FV foram encontrados entre os dezoito artigos selecionados que possuíam uma ou mais fontes renováveis de energia como tema central de suas pesquisas. A biomassa (principalmente o etanol) foi objeto central em onze desses estudos. Ou seja, cerca de 60 % dos estudos científicos brasileiros sobre fontes renováveis no campo da Administração são sobre biomassa, enquanto pouco mais de 10 % tratam da energia solar FV. A fonte eólica foi tema central em três dos dezoito estudos analisados (17 %) e outros dois artigos tratavam de diversas fontes em seus estudos.⁷⁰

Conforme os dados do mercado solar FV se consolidam, os planos decenais de expansão energética, assim como os planos energéticos de longo prazo (para 2050) do MME devem sofrer revisões e aperfeiçoamentos. O Plano Decenal de Energia (PDE) estima uma capacidade acumulada de 18,4 GW de potência solar FV até 2027 (EPE, 2018), número considerado conservador por entidades representantes do mercado solar FV nacional.

O que se espera dos governos e órgãos responsáveis é que a fonte solar FV tenha objetivos claros, deixando de ser subestimada na matriz e na política energética nacional. Para isso, é preciso conciliar os argumentos políticos usados a favor do desenvolvimento sustentável, com estudos e ações práticas que promovam e incentivem o uso de tecnologias renováveis modernas, garantindo a segurança jurídica e regulatória para seus usuários e a segurança energética para a população. Em suma, é necessária uma política de Estado para a energia solar e para as demais fontes renováveis modernas no país.

Hoje, são encontradas inconsistências de dados entre publicações da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), órgão vinculado ao MME e a ANEEL, autarquia vinculada também ao MME, no que diz respeito à participação da tecnologia fotovoltaica na Geração Distribuída no país, por exemplo. Enquanto o relatório da Aneel apresenta dados que apontam participação de cerca de 90 % da fonte solar na GD no Brasil, os dados da EPE no Balanço Energético Nacional de 2019 (BEN2019) falam sobre 63,5 %. (Aneel, 2019; EPE, 2019)

⁷⁰ Revisão Bibliográfica, em elaboração, de autoria do próprio autor, sobre as publicações, na área de Administração, que possuem como tema central fontes renováveis modernas de energia. O estudo investigou artigos nas seguintes revistas de Administração: RAP, RAE, RAE-e, RAC, READ, RAUSP, RCA, G&P e PROD.

Entre os dez órgãos vinculados ao MME, três estão vinculados à indústria do Petróleo (ANP, Petrobrás e PPSA), dois estão vinculados ao setor de Mineração (CPRM e ANM) e outros dois ao setor elétrico (ANEEL e Eletrobrás), dois órgãos associados à indústria nuclear (INB e Nuclep) e um órgão relacionado à pesquisa energética de uma forma geral. Ou seja, dos dez órgãos do ministério, nenhum deles se dedica exclusivamente às fontes renováveis modernas de energia. Isso limita os estudos e aplicações das fontes renováveis modernas no Brasil e conseqüentemente a elaboração de políticas públicas de Estado para o desenvolvimento mais sustentável dentro do campo energético.

No próprio site do MME, em matéria publicada em 2018, o então ministro na época expõe que o modelo centralizado do setor energético não beneficia o consumidor de eletricidade. Agora em 2019, a Aneel, apoiada por estudos técnicos do Ministério da Economia, indica uma preferência pela geração centralizada e ameaça um mercado insipiente e promissor de geração distribuída no país. Essas contradições, num curto espaço de tempo, geram insegurança aos investidores do setor fotovoltaico no país, dentro do segmento da geração distribuída e podem até mesmo inviabilizar alguns novos negócios no mercado solar FV.

Baseado nas análises feitas sobre os principais países produtores de energia solar FV no mundo, apresentadas no capítulo anterior, e nas políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento e ao uso da tecnologia solar no Brasil, elaborou-se um quadro comparativo que demonstra a aplicação de alguns dos principais mecanismos de incentivo à geração solar fotovoltaica em cada um dos países analisados, apresentados na tabela a seguir.

Quadro 1. Mecanismos de Incentivo à Geração FV – Principais Países x Brasil

Mecanismo de incentivo	Descrição	China	EUA	Japão	Alemanha	Brasil
<u>Tarifa-Prêmio</u> (<i>feed-in</i>)	Aquisição da energia a um preço superior àquele pago pelo consumidor	x		x	x	
<u>Quotas</u>	Patamar mínimo obrigatório de aquisição de energia por fontes renováveis	**	**	x	x	

<u>Subsídio ao investimento inicial</u>	Subsídio direto sobre equipamentos ou sistemas FV	x	x	x	x	
<u>Créditos fiscais</u>	Dedução de impostos dos investimentos em sistemas FV	x		x		
<u>Fundos de investimento para a energia FV</u>	Oferta de ações em fundo privado de investimento		x	x	x	
<u>Net metering</u>	Sistema de compensação total de Geração Distribuída	*	x	*	x	x
<u>Padrões em edificações sustentáveis</u>	Padrões mínimos de desempenho energético para edificações novas ou já existentes	*	**	x	x	
<u>Leilões de Energia Solar</u>	Ofertas públicas de venda de energia ou contratos de compra de energia de longo prazo (PPA's)	x	x	x	x	x

* Não foram encontradas informações a respeito

** Prática adotada em algumas regiões do País

Os mecanismos de apoio ao uso da energia solar, como aqueles apontados na tabela acima, resultaram em maior implantação da tecnologia FV nos países onde a ferramenta de incentivo é praticada, além de inovações tecnológicas e possível redução nos custos da eletricidade de origem solar.

Estes mecanismos de incentivo, no entanto, não possuem a mesmo grau de aplicação no Brasil, se comparados ao grau de aplicação dos quatro países analisados no capítulo anterior, China, EUA, Japão e Alemanha. Uma das razões para que isso ocorra pode ser a própria característica da matriz energética brasileira, que possui menor participação das fontes fósseis em relação aos demais países estudados.

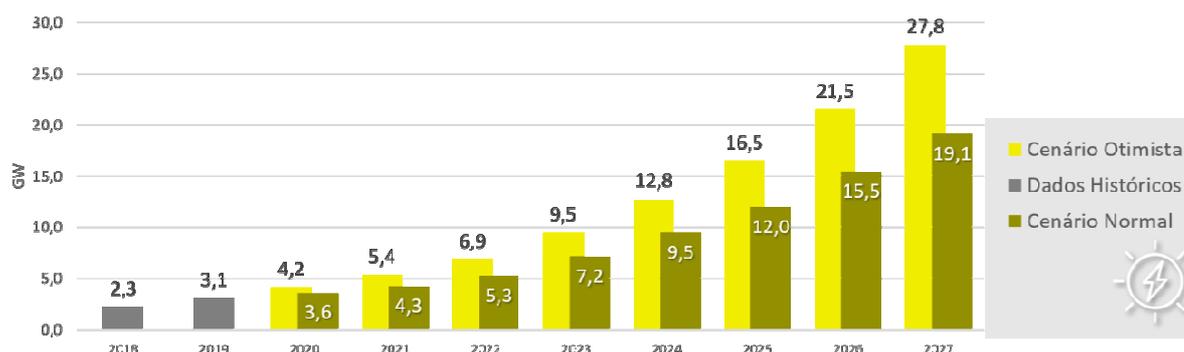
Desse modo, os incentivos praticados nestes quatro países seria uma forma de reduzir as emissões de CO², diversificando também suas matrizes energéticas. A estratégia adotada pelo Brasil, portanto, foi incentivar de forma mais “natural” o uso da tecnologia solar FV através da geração distribuída, com o sistema de compensação total (*net metering*) impulsionando a autoprodução residencial e comercial, além da geração solar centralizada, através de leilões.

O plano brasileiro pode ter um bom desempenho no sentido de não onerar cofres públicos ou consumidores comuns de energia elétrica com o excesso de mecanismos de incentivo. Porém, a estratégia de alterar ou reduzir os já escassos subsídios ao uso da tecnologia solar no país, principalmente descentralizada, no estágio inicial de desenvolvimento do setor FV nacional, pode ser prejudicial para a evolução da tecnologia e do mercado solar brasileiros e para todos aqueles que optaram ou pretendem optar por investir em tecnologias renováveis para geração distribuída de eletricidade.

Algumas das perspectivas do mercado brasileiro de energia solar FV já foram apresentadas ao longo do presente capítulo. Elaborou-se, através dos estudos e das análises realizadas, uma projeção para o mercado FV nacional com dois cenários possíveis. O primeiro deles, que chamaremos de cenário *Normal*, leva em consideração uma possível alteração no sistema de compensação total em geração distribuída com um impacto negativo no volume de aplicações da tecnologia solar. O segundo, o cenário *Otimista* considera a manutenção no atual sistema ou ainda uma mudança gradual mais branda nos incentivos oferecidos hoje ao setor solar com início somente em 2023.

Os dois cenários que prospectam o mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica estão ilustrados na figura a seguir.

Figura 45. Expectativa da Evolução da Capacidade Solar FV no Brasil no Horizonte 2019 - 2027



Nota: As informações referentes a 2019 correspondem aos dados históricos coletados até Nov/2019 somados com a projeção para o mês de dez/2019. Foram utilizados dados da SPE, 2019; Absolar, 2019; ANEEL, 2019; além de informações através das entrevistas realizadas.

A expectativa para a fonte solar é que ela represente algo em torno de 5 % (cinco por cento) da matriz elétrica nacional até o ano de 2030. Hoje, toda a energia solar FV instalada somada⁷¹ no país representa menos de 1 % da matriz elétrica brasileira, abaixo da média global de 2,3%. A maior parte dos países analisados ao longo deste estudo mantiveram os subsídios oferecidos ao setor solar, até que ele atingisse ao menos 2 % do consumo total de eletricidade, além de ampliarem, continuamente, os programas de fomento à inovação, pesquisa e desenvolvimento no setor. É possível que o Brasil alcance o cenário otimista apresentado, mas para isso, seria necessária a elaboração de uma revisão para a RN 482/12 que não desestabilizasse o mercado de geração distribuída no país, além da adoção de programas que incentivem a pesquisa, a inovação tecnológica e o desenvolvimento da tecnológica dentro do setor solar.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Foi possível identificar, ao longo do trabalho apresentado, algumas das características mais relevantes da atual Transição Energética Global (TEG), que retrata o avanço das fontes renováveis modernas de energia sobre as fontes mais tradicionais. Entre os principais aspectos desta transição, destacam-se três pontos: 1) a função promissora da energia solar fotovoltaica e de outras fontes renováveis modernas de energia como a eólica e a biomassa moderna; 2) o significativo papel dos países emergentes ou em desenvolvimento na atual transformação da matriz elétrica global; e 3) um número notável de oportunidades e desafios relacionados ao processo transitório.

Conclui-se que o papel das fontes renováveis modernas de energia diante do cenário metamórfico no campo energético atual é crucial para o alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável, e que o aumento recente na oferta de renováveis - com destaque para as energias eólica, solar fotovoltaica e biomassa moderna, - principalmente na geração de eletricidade, é o mais forte indicativo desta mudança.

⁷¹ Somando-se a potência FV instalada total em geração centralizada e geração distribuída.

Dentre os diversos desafios das tecnologias renováveis durante o processo da TEG, é possível destacar a dificuldade de inserção da energia limpa nos setores de *Transportes* e também *Aquecimento & Arrefecimento (Calor)*, onde a participação de energia renovável ainda é baixa (somente 3 % nos Transportes até 2018) ou tem apresentado crescimento tímido durante os anos mais recentes (entre 2007 e 2015 a oferta de calor renovável aumentou somente 20,5 %).

Nesse sentido, concluiu-se que a eletrificação dos transportes e da geração de calor são temas importantes relacionados ao futuro da atual transição energética mundial, tendo em vista que aproximadamente 80 % de toda a demanda global por energia é pertencente a estes dois grupos.

O maior desafio das energias renováveis modernas, no entanto, ainda é aumentar a sua representatividade na matriz energética global diante do crescimento da demanda total por energia, que poderá aumentar cerca de 30 % até 2050. Fora isso, tão difícil quanto ampliar a participação renovável, será moldar toda a infraestrutura e filosofia energética necessárias à transição da era dos combustíveis fósseis para a era das fontes renováveis modernas de energia ou, simplesmente, “era renovável”.

O estudo possibilitou, também, identificar o papel dos países emergentes e em desenvolvimento na atual transição energética em curso.

Desde 2017, os países emergentes ou em desenvolvimento (se considerados como um bloco) são responsáveis pela maior parte dos novos investimentos em tecnologia renovável no mundo. Esse fenômeno qualifica a atual transição como um processo verdadeiramente global e revela a participação protagonista de países emergentes e em desenvolvimento, entre eles o Brasil, na aplicação das fontes renováveis modernas de energia durante os tempos atuais.

Assim como a importância do papel dos países emergente e em desenvolvimento, observou-se, ainda, o relevante papel da fonte solar fotovoltaica (FV) na TEG e foram apontadas as principais características do mercado solar FV global, tanto no segmento de Geração Distribuída, quanto no segmento de Geração Centralizada.

Dentre os principais aspectos observados no mercado solar FV, é possível destacar o avanço tecnológico e a redução de custos desde a segunda metade do século XX, que permitiram com que a fonte solar adquirisse sua escala global atual, com 505 GW de potência total instalada até 2018, e o reconhecimento como sendo uma das principais e mais promissoras fontes renováveis modernas de energia no mundo atualmente.

Outro ponto relevante são as políticas públicas progressivas que impulsionaram o uso da fonte solar para geração de energia elétrica ao redor do mundo.

Uma análise das trajetórias do desenvolvimento da tecnologia FV nos principais países produtores de eletricidade solar hoje (China, EUA, Japão e Alemanha) revelou que 1) o pioneirismo na aplicação da tecnologia solar e 2) as políticas públicas de fomento às fontes renováveis modernas de energia são ferramentas fundamentais para o sucesso destes países no mercado fotovoltaico global.

Com o estudo, é possível elaborar uma comparação com o mercado brasileiro e o atual contexto vivido pelo país no segmento de geração elétrica distribuída e os conflitos pertencentes a esta área. Quando se trata da ampla aplicação da tecnologia solar FV, o Brasil, muito embora se destaque globalmente no uso de fontes renováveis para geração de energia, possui um atraso de aproximadamente 25 (vinte e cinco) anos quando comparado aos países pioneiros no uso da tecnologia solar para geração de eletricidade, como EUA, Japão e Alemanha, e de cerca de 10 (dez) anos, se comparado ao atual líder do mercado solar FV global, a China.

Enquanto algumas políticas públicas de incentivo ao uso da tecnologia solar FV (e outras fontes renováveis modernas de energia) iniciaram-se ainda na década de 90, em países como EUA, Japão e Alemanha, o Brasil incentivou o uso da fonte solar FV em larga escala somente a partir de 2012, através de duas medidas principais. Primeiro, a publicação de uma resolução normativa, por parte da Aneel, que permitiu com que o consumidor de energia elétrica brasileiro gerasse sua própria energia, através de mini ou micro usinas renováveis conectadas à rede (a Geração Distribuída); e, posteriormente, em 2013, quando a tecnologia solar FV foi inserida no sistema de grandes leilões de contratação de energia por fontes renováveis no mercado regulado, iniciando assim o avanço solar no segmento de Geração Centralizada no país.

Em comparação aos países estudados, o Brasil utiliza-se pouco de mecanismos de fomento ao uso da fonte solar em seu território e investe um volume financeiro menor do que os líderes do mercado solar global no incentivo à pesquisa e a inovação tecnológica nas áreas da tecnologia fotovoltaica.

Se considerássemos uma escala de maturidade/desenvolvimento de zero a cinco, em que zero significa menor nível de maturidade na aplicação da tecnologia solar FV e cinco significa maior nível de maturidade observado hoje, o Brasil estaria ocupando atualmente o nível 3 (três), enquanto os demais países estudados neste trabalho China, EUA, Japão e Alemanha ocupariam o nível 5 (cinco). A possibilidade do Brasil alcançar - ou não - o nível 4 (quatro) dependerá, em boa parte, da revisão da Resolução Normativa 482/2012.

Se forem mantidas as atuais regras em relação ao sistema de compensação total (*net metering*), é possível que o país atinja um nível superior em relação ao seu desenvolvimento fotovoltaico durante os próximos anos, no entanto, é pouco provável que isso ocorra. Por outro lado, se a revisão normativa frear de forma muito intensa o crescimento da Geração Distribuída no país, reduzindo o incentivo, é possível que o Brasil recue para o nível 2 (dois) de maturidade, de acordo com os parâmetros de promoção e desenvolvimento da tecnologia solar.

Porém, mesmo com o relativo atraso no desenvolvimento da fonte solar FV em seu território, o Brasil tem apresentado - desde 2017 - um notável avanço no mercado solar FV, figurando entre os 11 (onze) países que mais instalaram capacidade fotovoltaica entre os anos de 2017 e 2019, deixando-o atualmente próximo dos vinte maiores produtores globais de eletricidade solar. São numerosos e complexos, no entanto, os desafios deste avanço e os conflitos gerados pela expansão do mercado solar no segmento de geração elétrica distribuída, e podem até mesmo representar uma ameaça ao desenvolvimento futuro da tecnologia solar no país.

Uma importante e polêmica revisão da Resolução Normativa 482/2012, que regula o segmento de geração distribuída brasileiro, deverá ser publicada pela Aneel durante o ano de 2020 e a atual proposta da agência desagrada o setor fotovoltaico de uma forma geral, pois prevê a redução na atratividade dos sistemas de micro e mini geração conectados à rede, com uma cobrança maior referente à taxa de distribuição e ao uso do sistema integrado nacional por micro e mini produtores de eletricidade.

Apesar da tendência global de redução de subsídios ao setor fotovoltaico, a baixa participação na matriz elétrica da fonte FV (apenas 0,5 % até 2018) e a incipiência do mercado solar FV nacional são fatores que sugerem que uma mudança radical nas regras atuais poderia afetar profundamente o setor solar e inviabilizar alguns projetos de negócios futuros no segmento de GD.

A fonte solar representa não apenas a diversificação da matriz elétrica brasileira e o aumento na segurança energética (com alívio dos reservatórios hídricos, por exemplo), como pode também reduzir perdas e postergar investimentos em transmissão e distribuição de eletricidade, além de diminuir os impactos ambientais gerados pela produção energética, com menor emissão de resíduos, principalmente de gases causadores do efeito estufa, como o CO².

O mercado de energia solar FV - e das energias renováveis modernas em geral - também podem ter um importante papel na geração de empregos de qualidade e atração de investimentos de capital externo ao país.

Concluiu-se, com este estudo, que o custo sistêmico da produção renovável deve ser levado em consideração na elaboração das políticas públicas dentro do campo energético e do desenvolvimento socioeconômico sustentável.

Os resultados e as conclusões apresentadas neste estudo atendem ao problema de pesquisa proposto de indicar caminhos possíveis condizentes com a realidade do mercado solar FV brasileiro, levando em consideração a segurança energética futura e o desenvolvimento sustentável.

Para o autor deste trabalho, a atual proposta da Aneel para a revisão da RN 482/2012 deve ser repensada e reestruturada. Alguns conflitos existentes no campo energético nacional, como a cobrança de uma tarifa binômia (fio x energia) e a remuneração correta dos ativos de transmissão e distribuição, além da participação das fontes renováveis no mercado livre de energia e a permissão ou não de empresas distribuidoras atuarem no mercado de GD, devem ser elucidados e resolvidos antes da alteração nas normas atuais do sistema de compensação (*net metering*). Enquanto isso, o amadurecimento do mercado fotovoltaico brasileiro de geração distribuída se consolidaria de forma suficiente para uma futura alteração nas regras vigentes, quando a geração de energia FV descentralizada atingisse uma parcela mais relevante da matriz elétrica nacional de cerca de 5 %.

Acredita-se, ainda, que um órgão público que represente os interesses e vislumbre as oportunidades das ER's no país - como existe para o Petróleo, Gás Natural, Biocombustíveis e Energia Nuclear -, seja fundamental para o desenvolvimento sustentável de longo prazo das fontes renováveis modernas de energia no Brasil, entre elas a fonte solar fotovoltaica.

Algumas das limitações encontradas na realização do presente trabalho e também propostas de estudos futuros são descritas no capítulo a seguir.

6. LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

Os dados globais utilizados nos capítulos primeiro e terceiro deste trabalho, bem como os dados nacionais presentes no capítulo quarto, tratam-se (muitos deles) de estimativas, não sendo possível, portanto, dada a dificuldade de mensuração desses dados, admiti-los com total precisão. Este tipo de limitação é encontrado em grande parte dos estudos que envolvem dados energéticos, principalmente aqueles com abrangência global ou continental, como é o caso desta pesquisa.

As entidades autoras escolhidas como fontes neste estudo, no entanto, possuem ampla experiência na realização de pesquisas e análises dentro do campo energético. Os trabalhos de levantamento e estimativas destes dados passam por critérios rigorosos, além de técnicas e métodos de pesquisa continuamente aperfeiçoados e, por isso, foram adotados no presente estudo.

Na produção científica nacional, a carência de publicações de pesquisas realizadas na área de Administração sobre fontes renováveis de energia, mais especificamente sobre a fonte solar fotovoltaica também é um fator limitante. Como mostrado anteriormente, somente duas publicações sobre energia solar FV nas principais revistas científicas de Administração foram encontradas. O assunto é mais comumente abordado em periódicos das áreas de Engenharia, que costumam tratar das questões e limites tecnológicos; ou em algumas revistas multidisciplinares e periódicos específicos sobre a energia solar. O presente estudo deve, neste sentido, contribuir com o aumento da produção científica nacional a respeito da tecnologia solar fotovoltaica dentro do campo da Administração

Embora não seja um fator limitante, a complexidade do setor elétrico nacional e suas inúmeras peculiaridades e desafios acabam por dificultar uma abordagem sistêmica e aprofundada a respeito dos mercados e segmentos que o compõem. O mercado fotovoltaico nacional, objeto de estudo deste trabalho, possui ao menos cinco nichos de mercado que, apesar de citados, não foram investigados e analisados de forma individualizada.

Uma pesquisa aprofundada de cada uma dessas classes consumidoras (ou nichos de mercado) deverá contribuir para uma visão mais precisa e sistêmica do mercado solar fotovoltaico nacional e suas características primordiais.

Outro ponto, não abordado no presente estudo, trata da cadeia produtiva existente no mercado solar fotovoltaico nacional. O mercado de energia solar no Brasil conta atualmente com cerca de cento e vinte fabricantes cadastrados, entre eles fabricantes de baterias, módulos fotovoltaicos, rastreadores solares, inversores fotovoltaicos e kits de sistemas FV, além de outras seis mil empresas integradoras de sistemas FV espalhadas pelo país (Absolar, 2019; Greener, 2019). Uma análise desta cadeia produtiva e de seus principais aspectos operacionais, logísticos e gerenciais seriam de grande valia para a produção científica nacional e o atual estado da arte da aplicação da tecnologia solar FV no Brasil e sua promessa.

Alguns países não analisados neste estudo, mas que possuem casos de sucesso recentes no desenvolvimento da tecnologia solar FV, como Austrália, Chile, Honduras, Índia, Itália, Reino Unido, França, Coreia do Sul, entre outros, podem ter suas políticas públicas de

fomento às fontes renováveis modernas de energia, especificamente à fonte solar FV, investigados e analisados, bem como outros fatores que influenciaram ou influenciam no êxito destes atores no mercado FV global e na aplicação da tecnologia solar. Estudos nesse sentido podem trazer luz às políticas públicas brasileiras de fomento às tecnologias renováveis e ao amadurecimento do setor FV nacional.

Limites tecnológicos e casos de inovação também podem ser objetos de estudos da tecnologia solar no campo da Administração e não foram abordados no tema central deste trabalho. Também não foram abordados dados referentes a tecnologia de geração de energia através de fonte solar térmica (STE na sigla em inglês), sendo que são muitos os avanços em estudos e aplicações desta tecnologia que também é capaz de usar a força do Sol para a geração de eletricidade.

Entre as limitações encontradas, notou-se ainda a falta de boletins anuais e relatórios completos da geração solar no país por parte da principal entidade representante da tecnologia FV no Brasil, a Absolar e também dos órgãos federais, como a Aneel e a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE). Por comparação, a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABE Eólica) disponibiliza em seu site boletins e relatórios anuais, além de diversos outros documentos do setor eólico no Brasil, enquanto no site da Absolar são encontrados somente infográficos resumidos e artigos e notícias externas que envolvem a associação ou o mercado solar. Informações e documentos mais completos podem ajudar nas análises e estudos realizados sobre o mercado solar FV brasileiro.

Por fim, foram encontrados pequenos conflitos de dados em documentos oficiais dos órgãos vinculados ao Ministério de Minas e Energia (MME), a Aneel e a EPE, a respeito do mercado de energia solar fotovoltaica, mais precisamente do segmento de geração distribuída. Também foi identificada uma carência de dados oficiais a respeito da geração solar e das perspectivas de aplicação da tecnologia FV no país, bem como a ausência de um órgão específico de estudos e desenvolvimento das tecnologias renováveis por parte do Governo Federal e do MME.

Para a realização das projeções do mercado solar FV brasileiro, a maior dificuldade encontrada foi a indefinição em relação à revisão da Resolução Normativa 482/12 e das regras do segmento de geração distribuída através das fontes renováveis. A revisão que estava prevista para o ano de 2019, foi adiada para 2020.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2017 electricity & other energy statistics. **China energy portal**: [?: China], February 6, 2018. Disponível em: <https://chinaenergyportal.org/en/2017-electricity-energy-statistics/>. Acesso em 02/mai/2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução normativa nº482, de 17 de abril de 2012**. ANEEL: Brasília, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução normativa nº687, de 24 de novembro de 2015**. ANEEL: Brasília, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA (Brasil). **Micro e Minigeração Distribuída: sistema de compensação de energia**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2.ed. – Brasília: ANEEL, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resultado dos leilões de geração no ambiente regulado**. Agência Nacional de Energia Elétrica: Brasília, 2019. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYmMzN2Y0NGMtYjEyNy00OTNILWl1YzctZjI0ZTUwMDg5ODE3IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiJR9>. Acesso em: 10/08/2019.

AGGREGATE coal mine production: all coal 2018.**U.S. Energy Information Administration**: Washington: EUA, 2018. Disponível em: <https://www.eia.gov/coal/data/browser/>. Acesso em: 06/jan/2019.

ALVES, J. E. D. A transição energética: da energia fóssil às renováveis.**Ecodebate**: [s.l.], 28/jul.2018. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2017/07/28/transicao-energetica-da-energia-fossil-as-renovaveis-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves>. Acesso em 29/nov/2018.

ANNUAL energy review. **U.S. Energy Information Administration**: Washington: EUA, 2018. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/>. Acesso em: 06/jan/2019.

ARIAS, Jonathan. **Solar energy, energy storage and virtual power plants in Japan**: Potential opportunities of collaboration between Japanese and Europe firms. Tóquio: Japão. [s.n], 2018.

BALANÇO de energia. **Operador Nacional do Sistema Elétrico**: Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/balanco-de-energia>. Acesso em 15/out/2019.

BETZ, Stephanie. **Energia solar fotovoltaica: panorama, oportunidades e desafios**. ABSOLAR: Brasília, 24/set/2019, (Audiência pública – comissão para propor o código brasileiro de Energia Elétrica). Disponível em: https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-temporarias/especiais/56a-legislatura/codigo-brasileiro-de-energia-eletrica/documentos/audiencias-publicas/STEPHANIEBETZ2019.09.24ABSOLAREnergiaSolarFotovoltaicaStephanieBetz_rev03.pdf. Acesso em 30/set/2019.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. **Climatescope 2018**. Reino Unido: BloombergNEF, 2018. Disponível em: <http://global-climatescope.org/assets/data/reports/climatescope-2018-report-en.pdf>. Acesso em: 16/mar/2019.

BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Capacidade de geração do Brasil**. Brasília: Banco de Informações de Geração, 2019. Disponível em: <http://aneel.gov.br>. Acesso em 05/mai/2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional 2019**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisas Energéticas, 2019. (Relatório Síntese / Ano Base 2018).

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Potencial dos recursos energéticos no horizonte 2050**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisas Energéticas. Setembro, 2018. (Série Recursos Energéticos).

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Relatório do Leilão**. ANEEL: Brasília, 2019. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/Resultados-do-Leilao_4-2019_30len_a6.pdf. Acesso em 05/mai/2019.

BREYER C. et al. Solar photovoltaics demand for the global energy transition in the power sector. [s.l.]. **Wiley Online Library**. v. 26, n. 8, august, 2018. p. 503-693. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pip.2950>. Acesso em: 27/11/2018.

BREYER, C. et al. On the role of solar photovoltaics in global energy transition scenarios. [s.l.] **Wiley Online Library**. v.25, n.8, august, 2017. p. 727-745 Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pip.2885>. Acesso em: 25/ago/2019.

BREYER, Christian; *et.al.* Global energy storage demand for a 100% renewable electricity supply. **Energy Procedia**: [s.l.], v.46, 2014, pp. 22-31.

BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. **Fundamentos de Política e Gestão Ambiental**: os caminhos do desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2012.

CHINA brings solar home. **Nature Energy** [s.l.], n4, 13 august, 2019. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/s41560-019-0458-3#citeas>. Acesso em: 30/ago/2019.

CHINA wasted enough renewable energy to power Beijing for an entire year, says Greenpeace. **South China Morning Post**: [?, China], 19/apr/2017. Disponível em: <http://www.scmp.com/news/china/policies-politics/article/2088865/china-wasted-enough-renewable-energy-power-beijing>. Acesso em: 19/fev/2019.

COBB, Kurt. The energy revolution will not be televised. **Resource Insights**: [s.l.], May, 31, 2015. Disponível em: <http://www.resourceinsights.blogspot.com/2015/05/the-energy-revolution-will-not-be.html>. Acesso em: 20/ago/2018.

DISTRIBUTED generation solar photovoltaic market. **Greener:** [s.l.], 2nd quarter 2019. Disponível em: <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=rm&ogbl#inbox?projector=1>. Acesso em 20/set/2019.

E.U. imposes definitive measures on Chinese solar panels, confirms undertaking with Chinese solar panel exporters. **European Commission:** Bruxelas: Bélgica, 2, December, 2013. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_13_1190. Acesso em: 16/mar/2019.

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. **World economic outlook 2018: Brighter Prospects, Optimistic Markets, Challenges Ahead.** Washington, Estados Unidos: [s.n.], Jan. 2018. Disponível em: <http://www.imf.org>. Acesso em 01/11/2018.

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. **World economic outlook 2019: Global Manufacturing Downturn, Rising Trade Barriers.** Washington, Estados Unidos: [s.n.], Out. 2019. Disponível em: <http://www.imf.org>. Acesso em 28/mar/2019.

GEERTS, Robert-Jan et al . Towards a philosophy of energy. **Scientiae Studia:** São Paulo, v.12, n. spe, 2014, p.105-127.

GERAÇÃO distribuída solar fotovoltaica: o novo sempre vêm. **O Estado de São Paulo:** São Paulo, 10/mai/2019. *in:* ABSOLAR, 2019. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/geracao-distribuida-solar-fotovoltaica-o-novo-sempre-vem.html>. Acesso em: 11/mai/2019.

GIMON, Eric; *et.al.* The coal cost crossover: economic viability of existing coal compared to new local wind and solar resources. **Energy Inovation:** California:EUA, March, 2019. pp. 02-23.

HEADLINE EEG-Novelle 2017. **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.** [s.l.].2017. Disponível em: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eeg-novelle-2017-eckpunkte-praesentation.pdf?__blob=publicationFile&v=11. Acesso em: 10/jan/2019.

HEINEBERG, R. Renewable energy will not support economic growth. **Resilience:** [s.l.] June5, 2015. Disponível em: <https://www.resilience.org/stories/2015-06-05/renewable-energy-will-not-support-economic-growth/>. Acesso em: 10/dez/2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Coal 2018: Analyses and forecasts to 2023.** Paris, França: IEA, 2018. (Market report séries). Disponível em: iea.org/coal2018/. Acesso em: 01/nov/2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook 2018.** Paris: França, IEA: 2018. Disponível em: <http://iea.org/weo>. Acesso em 14/jul/2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook 2019.** Paris, França: IEA, 2019. Disponível em <http://iea.org/weo>. Acesso em 14/jan/2019.

INVESTIMENTOS em GD fotovoltaica passa de R\$ 4 Bilhões no Brasil, diz ABSOLAR. **Canal Energia:** [s.l.], 10/jul/2019 *in:* ABSOLAR, 2019. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/investimentos-em-gd-fotovoltaica-passam-de-r-48-bilhoes-no-brasil-diz-absolar.html>. Acesso em: 12/jul/2019.

LEHR, Ron. Utility financial transition impacts: from fossil to clean. **Energy Innovation: California:EUA**, December, 2018. pp. 01-12.

LEVELIZED Cost of Energy and Levelized Cost of Storage 2018. **Lazard**, [s.l.], nov/8/2018. Disponível em: <http://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2018/>. Acesso em: 18/jan/2019.

MAHAJAN, M; ORVIS, R. Economic, emission impact of Trump administration fuel economy and GHG emissions standards freeze; implications for U.S, California, “section 177” states, Canada. **Energy Innovation: California:EUA**, August, 2019. pp. 01-07.

MARTIN, Chris. Goldman sachs puts a grim number on solar slump for this year. **Bloomberg**: [s.l.], 19/ago/2018. Disponível em: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2018-07-19/goldman-sachs-puts-a-grim-number-on-solar-slump-for-this-year>. Acesso em 12/nov/2018.

MCQUILLEN, William; WINGFIELD, Brian. U.S. imposes anti-dumping duties on chinese solar imports. **Bloomberg**: [s.l.], 17/mai/2012. Disponível em: <http://bloomberg.com/news/articles/2012-05-17/u-s-imposes-anti-dumping-duties-for-chinese-solar-imports>. Acesso em: 03/05/2018.

MINISTÉRIO da Economia vê distorções em subsídio para geração de energia em telhados. Diário comercio, industria e serviços: [s.l.], (Energia Elétrica), 16/Out/2019. Disponível em: <https://www.dci.com.br/neg%C3%B3cios/ministerio-da-economia-ve-distorc-es-em-subsidio-para-gerac-o-de-energia-em-telhados-1.808927>. Acesso em 20/out/2019.

MOHAMED, Arafa; SOLIMAN, Said El-Sayed. **A Different Visions for Uninterruptible Load using Hybrid Solar-Grid Energy**. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS). [s.l.], 2019. Disponível em <http://ijpeds.iaescore.com/index.php/IJPEDS/article/view/16054>. Acesso em 14/nov/2019.

MORRIS, A; KAUFMAN, N; DOSHI, S. The risk of fiscal collapse in coal reliant communities. **Columbia**: [s.l.], July, 15, 2019. Disponível em: <https://energypolicy.columbia.edu/research/report/risk-fiscal-collapse-coal-reliant-communities>. Acesso em: 08/ago/2019.

NACE, Ted. A coal phase-out pathway for 1,5°C. **Coolswarm and Greenpeace**. [s.l.], 2018. Disponível em: <https://endcoal.org/wp-content/uploads/2018/10/CoalPathway.pdf> Acesso em 23/mar/2018.

NET generation, United States, all sector, monthly. **U.S. Energy Information Administration**: Washington: EUA, 2018. Disponível em: <https://www.eia.gov/electricity/data/browser/>. Acesso em: 06/jan/2019.

NOGUEIRA, ANA, F. Understanding perovskite formation through the intramolecular exchange method in ambient conditions. **Journal of Photonics for Energy**. [s.l.], 24 May, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Global sustainable development report 2019: The Future is Now – Science for Achieving Sustainable Development**. Nova York: Estados Unidos, Organização das Nações Unidas, 2019.

PEREIRA, Enio, B. *et.al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. Instituto nacional de pesquisas espaciais, 2.ed- São José dos Campos – SP, 2017.

REN21 SECRETARIAT. **Renewables global status report 2017**. Paris, França: REN21, 2018. Disponível em: <http://www.ren21.net/gsr-2018>. Acesso em 19/out/2018.

REN21 SECRETARIAT. **Renewables global status report 2019**. Paris, França: REN21, 2019. Disponível em: <http://www.ren21.net/gsr-2019/>. Acesso em 15/out/2019.

REN21 SECRETARIAT. **Renewables 2013:global status report**.REN21: Paris: França, 2013. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2013_Full-Report_English.pdf. Acesso em: 12/jan/2018.

RENEWABLE energy sources in figures: national and international development. **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie**. [s.l.].2017. Disponível em: https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/renewable-energy-sources-in-figures-2017.pdf?__blob=publicationFile&v=3. Acesso em: 09/fev/2019.

SHARE of renewable energy in Germany's final energy consumption 1990-2017. **Renewable Energies Agency**. [s.l.]. 2019. Disponível em: <https://www.unendlich-viel-energie.de/media-library/charts-and-data/share-of-renewable-energy-in-germanys-final-energy-consumption-1990-2017>. Acesso em: 02/fev/2019.

SHEARER, Christine. Guest Post: How plans for the new coal are changing around the world. **Carbon Brief Clear on Climate**: [S.I.]Aug. 13, 2018. Disponível em: <http://www.carbonbrief.org/guest-post-how-plans-for-new-coal-are-changing-around-the-world>. Acesso em: 17/09/2019.

SHUBBAK, Mahmoud H. The technological system of production and innovation: The case of photovoltaic technology in China. **Research Policy**: [s.l.], v.48, n.4, may 2019, pp. 993-1015.

SMIL, Vaclav. Energy transitions, renewables and rational energy use: A reality check. **OECD Observer**, Paris: França, ed.304, nov. 2015 p. 36-37. Disponível em: http://oecdobserver.org/news/fullstory.php/aid/5395/Energy_transitions,_renewables_and_rational_energy_use:_A_reality_check.html. Acesso em: 13/abr/2018.

SOLAR industry growing at a record pace. **Solar Energy Industries Association**: Washington: EUA, 2019. Disponível em: <https://www.seia.org/solar-industry-research-data>. Acesso em 14/jan/2019.

SOLAR means business. **Solar energy industries association**: [s.l.], 2019. Disponível em: <https://www.solarmeansbusiness.com/>. Acesso em: 09/abr/2019.

SOLAR POWER EUROPE. **Global market outlook**: For solar power 2019-2023. Bruxelas, Bélgica: [s.n]. 2019. Disponível em www.solarpower.org. Acesso em 13/abr/2019.

SUN, T.Q; *et.al.* Status and trend analysis of solar energy utilization technology. **International conference on new energy and future energy system**: Macao:China, v.354,

conf.1, 21-24 July 2019. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/354/1>. Acesso em: 12/out/2019.

USINAS solares: conheça as nove maiores do mundo. **Solarvolt**: Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/maiores-usinas-solares-do-mundo/>. Acesso em 18/set/2019.

VALLÊRA, António; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de energia fotovoltaica. *in: Gazeta de Física da Sociedade Portuguesa de Física*: Lisboa, Portugal, v.29, fasc. 1-2, (trimestral), 2006.

WHERMANN, Benjamin. Solar power in Germany: output, business, e perspectives. **Clear Energy Wire**: [s.l.], 22 sep, 2018. Disponível em: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/solar-power-germany-output-business-perspectives>. Acesso em: 25/set/2019.

YAN, J; YANG, Y; CAMPANA, Elia; *et al.* City-level analysis of subsidy-free solar photovoltaic electricity price, profits and grid parity in China. **Nature Energy** [s.l.] n.4, 12 August, 2019, pp. 709-717.

YANG, *et al.* China's renewable energy goals by 2050 *in: Environmental Development*, [s.l.] v.20, November 2016, p.83-90.

APÊNDICE – ENTREVISTAS COM AS PARTES SELECIONADAS

As entrevistas realizadas no presente estudo ocorreram entre os meses de setembro de 2017 e outubro de 2019, de maneira presencial ou à distância (por videoconferência). Foram realizadas ao todo dez entrevistas com *stakeholders* selecionados, de acordo com a tabela a seguir.

Tabela 1. Entrevistas com as Partes Interessadas Selecionadas

Entrevistado	Ocupação/Área de Atuação
Entrevistado nº 1	Pesquisador/Autor em Energias Renováveis (UNIFESP)
Entrevistado nº 2	Pesquisador Autor em Energias Renováveis (UFSC)
Entrevistado nº 3	Empresário do Setor Solar da cidade de São José dos Campos – SP
Entrevistado nº 4	Empresário do Setor Solar da cidade de Ribeirão Preto – SP
Entrevistado nº 5	Empresário do Setor Solar da cidade de Ribeirão Preto – SP
Entrevistado nº 6	Empresário do Setor Solar da cidade de Alfenas – MG
Entrevistado nº 7	Empresário do Setor Solar da cidade de Viçosa – MG
Entrevistado nº 8	Membro da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
Entrevistado nº 9	Empresário do Setor de Energia Eólica
Entrevistado nº 10	Gerente de Indústria do Setor de Veículos Elétricos e Energia Solar FV

As entrevistas tiveram formas não estruturadas e foram elaboradas de acordo com a ocupação/área de cada entrevistado, sendo que perguntas eram inseridas conforme o andamento de cada entrevista. Todas elas ocorreram no formato de conversas (diálogos) abertas com o objetivo principal de investigar quais as principais barreiras e oportunidades do mercado solar fotovoltaico nacional e a visão destes agentes em relação ao futuro do setor solar e da tecnologia fotovoltaica.

Após serem transcritas as entrevistas, foi composto um *framework* com as principais idéias extraídas de cada entrevistado, buscando formar uma corrente de significados capaz de embasar e complementar partes específicas do presente estudo. As entrevistas foram importantes, também, para suprir a carência literária no tema específico da energia solar e para apontar os principais desafios do mercado fotovoltaico brasileiro atualmente.

A seguir estão enumeradas algumas das contribuições mais relevantes das entrevistas na realização deste trabalho de pesquisa.

Primeiramente, através das conversas realizadas com empresários do setor e também com o membro da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), ficou

evidente que a questão regulatória acerca da revisão da RN 482/12 da Aneel é, hoje, de uma forma geral, o principal conflito vivido pelo setor fotovoltaico nacional (entrevistados nº 3,4,5,6,7 e 8), particularmente dentro do segmento de Geração Distribuída. Para estes entrevistados, a resolução do conflito de interesses entre as distribuidoras de eletricidade e as entidades que representam o setor FV deverá definir o futuro do mercado solar no país durante os próximos dez anos.

Ainda é possível apontar outras contribuições importantes. A todos os entrevistados foi feita a seguinte pergunta: “O que um país necessita para ser competitivo no mercado solar FV?” Os três fatores mais citados nas respostas das dez partes entrevistadas para a pergunta foram: uma política energética bem definida (para 60% dos entrevistados); bons índices de radiação solar (50% dos entrevistados) e crédito para o financiamento de sistemas FV (40% dos entrevistados).

Além das contribuições citadas, os entrevistados nº 3,4, 8 e 10 consideram que as classes consumidoras de eletricidade com maior potencial dentro do segmento de geração distribuída são: Residencial, Serviços e Agropecuária. Já para os entrevistados nº 1, 2, 8 e 9, os custos sistêmicos da energia solar FV e das demais fontes devem ser levados em consideração nas políticas públicas de energia, que deve priorizar tecnologias que gerem um menor impacto ambiental e tenham efeitos socioeconômicos positivos e com menor risco de escassez.

Ao longo do trabalho e em complementação à bibliografia utilizada, estas e outras idéias extraídas das entrevistas realizadas foram sendo costuradas junto ao texto e a corrente de significados compartilhada foi elaborada, na visão do autor, com sucesso. As entrevistas são, deste modo, parte relevante da metodologia exploratória e descritiva utilizada nesta dissertação.