

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

RICARDO MACHADO KLEBER

GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS
FUTURAS DE BRASIL E ALEMANHA

PORTO ALEGRE
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

RICARDO MACHADO KLEBER

GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: PANORAMA ATUAL E PERSPECTIVAS
FUTURAS DE BRASIL E ALEMANHA

Trabalho de conclusão apresentado junto à atividade de ensino “Trabalho de Conclusão De Curso – QUI” do Curso de Química Industrial, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Química Industrial

Prof. Dr. Marcos José Leite Santos

PORTO ALEGRE
2021

CIP - Catalogação na Publicação

Kleber, Ricardo Machado
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: PANORAMA ATUAL E
PERSPECTIVAS FUTURAS DE BRASIL E ALEMANHA / Ricardo
Machado Kleber. -- 2021.
55 f.
Orientador: Marcos José Leite Santos.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Química, Curso de Química Industrial, Porto Alegre,
BR-RS, 2021.

1. Geração fotovoltaica. I. Santos, Marcos José
Leite, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho aos meus pais, Hilma e Mozart, os quais sempre me apoiaram durante a longa trajetória do bacharelado e foram fundamentais na construção da graduação e deste trabalho em si, sem vocês isso não teria sido possível. A minha irmã Luciana e ao meu avô Osmar (*in memoriam*), por estarem sempre presentes quando precisei de vocês.

Aos meus amigos e colegas de graduação, mas especialmente André, Josué e Felipe. Agradeço a vocês as cadeiras, cafés, concursos e outros encontros que realizamos juntos em toda graduação e toda parceria adquirida durante esse período, vocês foram peças chaves nessa conquista. A minha namorada, Maitê, que me apoio na reta final desse trabalho sendo fundamental para sua conclusão.

A todos os meus colegas de trabalho que tive durante a graduação, mas principalmente ao meu chefe e amigo Mateus, pelos três anos de inúmeros apoios para que pudesse estudar durante a graduação e realizar cadeiras em horários “UFRGS”.

Ao meu orientador Marcos, obrigado pela paciência neste trabalho e por todo conhecimento compartilhado, desde meu primeiro contato com a universidade em química geral até este trabalho de conclusão de curso.

“Não há razão para não ser motivado. Você nem sempre pode ser o melhor, mas você pode fazer o seu melhor.”

(Sebastian Vettel)

RESUMO

Neste trabalho foi estabelecido um comparativo entre as matrizes energéticas de Brasil e Alemanha a fim de compreender a discrepância entre os dois países quando se trata da participação na capacidade instalada e geração líquida de energia fotovoltaica, os motivos originaram a diferença e as medidas que podem ser tomadas para que esse tipo de geração passe a ter maior participação na matriz energética do Brasil. Energia fotovoltaica é uma das principais alternativas quando se trata de geração de energia elétrica de forma renovável e limpa. Nas últimas décadas temos observado um rápido crescimento do número de países que tem investido em plantas fotovoltaicas, resultando em grande aumento de capacidade instalada e concomitantemente na diminuição do custo de produção. Estes fatores vêm tornando a energia fotovoltaica uma opção cada vez competitiva, economicamente, frente a outras formas de geração fóssil, hidroelétrica e nuclear com grande capacidade instalada. Um dos líderes mundiais em investimentos e em capacidade instalada para geração de energia fotovoltaica é a Alemanha, que desde 1990 possui programas de incentivos voltados a geração de energia renovável e limpa. O Brasil, por outro lado, possui apenas uma pequena fração de sua matriz energética relacionada a energia fotovoltaica. De fato, essa fração cresceu nos últimos anos, porém ainda bastante aquém dos países que estão na liderança em termos de capacidade instalada. Fica evidente na comparação entre os dois países que o Brasil ainda possui um longo caminho a percorrer, principalmente nas suas políticas de incentivo de novas alternativas renováveis.

Palavras-chave: Geração fotovoltaica; Brasil; Alemanha

ABSTRACT

In this work, a comparison between the energy matrices of Brazil and Germany was established to understand the discrepancy between the two countries when it comes to the participation in the installed capacity and liquid generation of photovoltaic energy, the reasons for that difference and measures that can be taken for this type of generation to have greater participation in the Brazilian energy matrix. Photovoltaic energy is one of the main alternatives for generating electricity in a renewable and clean way. In recent decades we have observed a rapid growth in the number of countries investing in photovoltaic plants, a large increase in installed capacity and concomitantly a decrease in the cost of production. These factors have made photovoltaic energy an economic viable option to other forms of generation such as fossil, hydroelectric and nuclear. Since 1990 Germany has incentive programs aimed to increase the generation of clean and renewable energy and has been one of the world leaders in investments and in installed capacity for photovoltaic energy generation. Brazil, on the other hand, has only a small fraction of its energy matrix related to photovoltaic energy. In fact, the contribution of photovoltaic energy has grown in recent years, but still well below the countries that are leaders in installed capacity. It's clear in the comparison between booth countries that Brazil still has a long path to pursuit, especially regarding its policies of investment in new renewable alternatives.

Keywords: Photovoltaic generation; Brazil; Germany

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço energético Nacional

EEG – Erneuerbare-Energien-Gesetz

EPE – Empresa Pública de Energia

IRENA - International Renewable Energy Agency

REN – Resolução Normativa

LISTA DE SÍMBOLOS

eV – Elétron-volt

GW – Gigawatt

kW_p – Kilowatt-pico

MW – Megawatt

MW_p – Megawatt-pico

TWh – Terawatt-hora

US\$ – Dólar americano

US\$/KWh – Dólar americano por Kilowatt-hora

US\$/W – Dólar americano por Watt

W – Watt

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das fontes de energia elétrica no mundo. Adaptado de: (BP STATISTICAL, 2021)	18
Figura 2 - Estrutura de bandas de energia em (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes. Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).....	20
Figura 3 - Evolução da capacidade instalada de geração fotovoltaica. Adaptado de: (BP STATISTICAL, 2021)	22
Figura 4 – Ilustração de sistema fotovoltaico <i>off-grid</i> . Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014) ..	23
Figura 5 – Ilustração de sistema fotovoltaico <i>on-grid</i> . Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014) ...	23
Figura 6 - Dados de geração líquida da Alemanha com ano base 2020. Adaptado de: (ISE, 2021)	24
Figura 7 - Capacidade instalada de geração por tipo de fonte. Adaptado de: (ISE, 2021).....	25
Figura 8 - Geração líquida de energia elétrica no ano de 2020 no Brasil. Fonte: (BEN, 2021)	31
Figura 9 - Histórico de geração de energia por fonte de geração. Fonte: (BP STATISTICAL, 2020).....	32
Figura 10 - Comparação de geração por fontes renováveis Brasil x Mundo. Fonte: (BEN,2021)	33
Figura 11 - Histórico de preços de módulos em US\$/Watt 1976 – 2019. Fonte: (LAFOND; IRENA, 2021).....	40
Figura 12 – Gráfico da potência instalada de geração fotovoltaica no Brasil em MW. Fonte: (ABSOLAR, 2021).....	41
Figura 13 - Potência fotovoltaica instalada em GW Brasil x Alemanha. Fonte: (EPE, 2021) (ISE, 2021)	42
Figura 14 - Geração líquida de energia no ano de 2020, comparativo Brasil x Alemanha. Adaptado de: (EPE, 2021) (ISE, 2021)	42
Figura 15 - Dados de geração distribuída por capacidade do sistema em kW _p . Fonte: (ANEEL, 2021) (ISE, 2021)	43
Figura 16 - Distribuição da geração distribuída por classe de consumo. Fonte: (ANEEL, 2021)	43
Figura 17 - Comparativo entre capacidade de produção e preço de módulos em US\$/W. Fonte: (GRENTECH, 2019)	46

Figura 18 - Investimento de cada país em bilhões de dólares em fontes renováveis e investimento por tipo de geração. Fonte: (BLOOMBERGNEF, 2020)	47
Figura 19 - Dados de importação de módulos solares em 2020 e 2021. Fonte: (GREENER, 2021).....	49
Figura 20 - Dados dos módulos nacionais x importados no Brasil em MWp. Fonte: (GREENER, 2020).....	49
Figura 21 - Valores médios de instalações residenciais, comerciais e industriais no Brasil. Adaptado de: (GREENER, 2021).....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação da capacidade instalada por fonte de geração. Fonte: (BEN, 2021)	31
Tabela 2 - Variação da capacidade de energias renováveis na geração distribuída. Fonte: (EPE,2021)	32
Tabela 3 - Ranking das maiores produtoras de módulos solares. Fonte: (GLOBAL, 2019) ...	47
Tabela 4 - Valores em US\$/ kW médios para instalações residenciais. Fonte: (IRENA, 2020)	48
Tabela 5 - Valores em US\$/ kW médios para instalações comerciais. Fonte: (IRENA, 2020)	48

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1.	A Geração de Energia Elétrica.....	17
3.2.	Energia Solar Fotovoltaica.....	19
3.2.1.	O Efeito Fotovoltaico	19
3.2.2.	As Células e Módulos Fotovoltaicos.....	20
3.2.3.	Geração Solar Fotovoltaica	21
3.2.4.	Geração Fotovoltaica Off-Grid e On-Grid	22
3.3	Matriz Energética da Alemanha	24
3.3.1	Legislação de Energias Renováveis	25
3.3.1.1	Lei de Energias Renováveis – EEG 2000.....	26
3.3.1.2	Lei de Energias Renováveis – EEG 2004.....	26
3.3.1.3	Lei de Energias Renováveis – EEG 2009 e <i>PV Act</i> 2010.....	27
3.3.1.4	Lei de Energias Renováveis – EEG 2012 e <i>PV Act</i> 2013.....	27
3.3.1.5	Lei de Energias Renováveis – EEG 2014.....	29
3.3.1.6	Lei de Energias Renováveis – EEG 2017	30
3.4.	Matriz Energética do Brasil	30
3.4.1	Resolução Normativa – REN 482/2012	34
3.4.2	Resolução Normativa – REN 687/2015	35
4	METODOLOGIA	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	Análise Brasil X Alemanha: Impacto das Políticas Públicas na Matriz Energética	39
5.2	PL 5829/19 x EEG 2021	44

5.3 Mercado de Fotovoltaicos e Investimentos em Energia Renovável	46
6 CONCLUSÃO	51
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

Sem energia, não há vida! As diferentes formas de vida no planeta têm mecanismos específicos para extrair energia do meio ambiente e convertê-la em uma forma que possa ser utilizada. Para humanidade a energia elétrica é a forma de energia vital suprir nossas demandas por desenvolvimento e sustentar os diferentes modelos de crescimento econômico. Precisamos de uma quantidade crescente de energia elétrica que seja abundante e produzida de maneira constante. Não existem dúvidas que a energia elétrica é parte fundamental da sociedade atual e que sem ela não seriam possíveis os avanços obtidos no século XX.

Em 1752 Benjamin Franklin, realizou seu famoso experimento com uma pipa em uma tempestade, que é associado a descoberta da eletricidade. Em 1831 Michael Faraday montou o primeiro motor elétrico e em 1879 Thomas Edison apresentou ao mundo a primeira lâmpada incandescente. Pouco mais de 200 anos depois do experimento de Franklin a energia elétrica evoluiu de um experimento científico para algo vital no dia-dia das pessoas, sendo utilizada para tarefas tão simples quanto iluminar um ambiente, até tarefas inimagináveis para o período da sua descoberta, como alimentar um computador que exerce bilhões de cálculos por segundo.

Com o aumento constante da demanda por energia a humanidade tem buscado diferentes maneiras para converter energia em energia elétrica, por exemplo através da queima de carvão que passou a ser utilizado nas termoelétricas, através da queima de combustíveis derivados do petróleo e através de hidrelétricas. Com uma matriz energética baseada principalmente em combustíveis fósseis, e com a previsão, num futuro próximo, de oferta limitada de petróleo, somada ao aquecimento global e aos desenvolvimentos tecnológicos das últimas três décadas, o mundo tem acompanhado uma busca crescente por fontes alternativas de energia que sejam renováveis e limpas. De fato, embora ainda contribuindo em pequena proporção para a matriz energética mundial, se observa nos últimos anos uma grande expansão da capacidade instalada de sistemas alternativos de conversão de energia, principalmente de energia solar e eólica, que tem impulsionado uma transição da matriz energética, ainda fundamentalmente baseada em combustíveis fósseis, para um sistema mais renovável e limpo.

Esta transição energética tem sido capitaneada por países como a Alemanha, que foi pioneira no incentivo para desenvolvimento e instalação de sistemas de conversão de energia de forma renovável, principalmente de energia solar fotovoltaica e eólica. O Brasil por sua vez conta com uma matriz predominantemente renovável, que, contudo, é baseada quase que

exclusivamente na geração hidroelétrica, sendo um sistema frágil que depende de grandes volumes anuais e constantes de chuva para se manter eficiente. Além disso, necessita de longas linhas de transmissão para atingir um país com dimensão continental.

Neste contexto, e considerando que a energia solar é uma das fontes primárias de energia do nosso planeta, e que tem sido cada vez mais explorada para geração de energia elétrica, neste trabalho fizemos um levantamento sobre os investimentos em energia fotovoltaica no Brasil e na Alemanha.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a análise do panorama de energia fotovoltaica no Brasil e a comparação com a Alemanha, o país pioneiro na instalação desse tipo de geração e líder em capacidade instalada por muitos anos.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Avaliar as atuais fontes de energia da matriz energética do Brasil.
- b) Avaliar as atuais fontes de energia elétrica da matriz energética da Alemanha.
- c) Comparar as matrizes energéticas e as legislações pertinentes que possibilitaram a atual distribuição entre as capacidades instaladas.

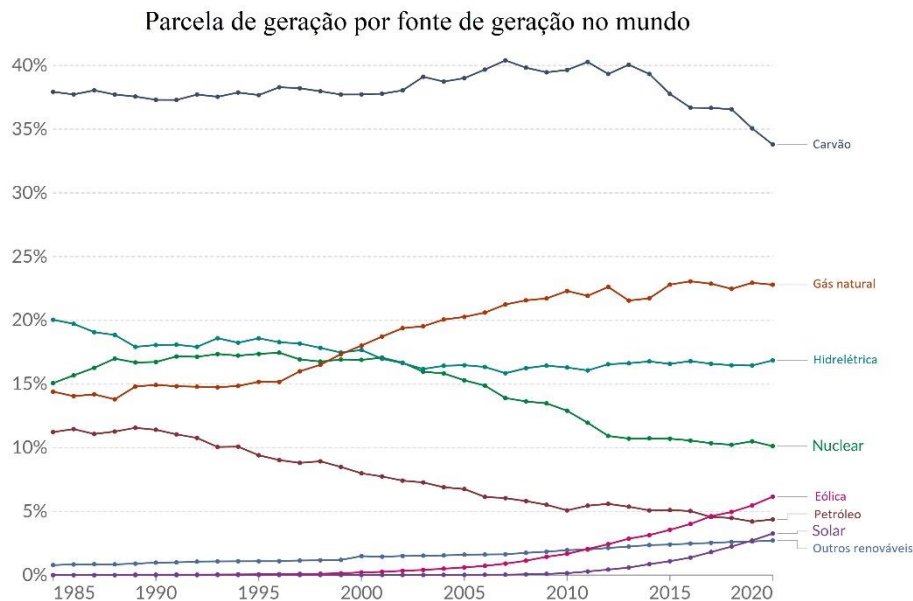
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A Geração de Energia Elétrica

A primeira revolução industrial teve como principal fonte de energia o carvão, gerando vapor para os mais diversos usos no século XIX. Com o avanço da tecnologia e consequentemente uma segunda revolução industrial entraram em cena novos tipos de máquinas menores e mais eficientes, aquelas a combustão interna, movidas pelo combustível fóssil extraído do petróleo e vieram os motores elétricos. Com as novas tecnologias seria lógico esperar que o uso do carvão, matéria prima da longínqua primeira revolução estivesse com seus dias contados, entretanto, ele apenas foi movido para os bastidores, atuando como o principal gerador de vapor das termoelétricas pelos últimos 120 anos. Atualmente mais de um terço da produção mundial de eletricidade é proveniente da queima de carvão nas usinas termoelétricas (PALZ, 2019).

Durante o século XX outras formas de geração de energia elétrica precisaram ser exploradas, pois sabe-se que apesar de grande, há uma quantidade limitada de carvão a ser extraída, e uma das maiores promessas sem dúvidas era a energia nuclear. Em 1960 foi alcançada a marca do primeiro 1 GW de energia nuclear, e 30 anos após tinha-se instalado 300 GW ao redor do mundo. Apesar de ser uma opção zero carbono as usinas termonucleares se mostraram pouco confiáveis, com grandes acidentes como o de three mile island em 1979 nos EUA, de Chernobyl em 1986 na URSS e o mais recente de Fukushima em 2011 no Japão. Apesar do último ter sido fruto de um abalo sísmico, ficou evidente que não existem garantias quando se trata da segurança na operação desse tipo de geração. Em 1993 a produção nuclear atingiu seu pico com 17% da parcela mundial (PALZ, 2018). Desde então perde margem ano a ano para outras fontes, principalmente para o gás natural, que além de suprir a demanda das temidas usinas termonucleares passa a ser utilizado como um substituto mais limpo em comparação ao carvão e aos derivados de petróleo. Abaixo o gráfico demonstrativo do histórico de cada fonte geradora de energia elétrica no mundo em relação percentual (BP STATISTICAL, 2020).

Figura 1 – Distribuição das fontes de energia elétrica no mundo. Adaptado de: (BP STATISTICAL, 2021)



A terceira maior fonte de energia elétrica no mundo é a geração hidrelétrica, que é considerada uma fonte renovável e uma fonte estável de geração, pois é possível obter um bom controle do nível da área represada e gerar energia sob demanda. Entretanto, existe um grande impacto ambiental nesse tipo de geração, dado que se perde toda flora e se afeta a fauna da área represada, além da possível remoção de cidades que possam ficar submersas. A geração hidroelétrica perdeu apenas uma pequena fatia da matriz energética com a chegada de outras formas de energia renovável, pois ela possui uma característica importante que é a geração sob demanda. Enquanto a energia solar e a eólica dependem de condições específicas para sua produção, a energia hidrelétrica depende apenas do estoque acumulado em sua represa, gerando assim uma produção mais estável de energia sob demanda (PALZ, 2011, 2019).

A energia eólica é outro modelo de geração que merece destaque. Desde a virada do século vem ganhando espaço como uma fonte alternativa de energia renovável, com custo de instalação que vem diminuindo ano após ano esta tecnologia tem se tornado extremamente competitiva comparada as demais fontes. Entretanto a geração eólica é uma fonte intermitente e devido a sua baixa previsibilidade de produção, sua implementação requer a combinação com outras fontes para períodos em que a geração eólica não é possível.

3.2. Energia Solar Fotovoltaica

3.2.1. O Efeito Fotovoltaico

A descoberta do efeito fotovoltaico data de 1839, quando o físico Edmond Becquerel, observou uma geração de diferença de potencial entre as extremidades de 2 folhas de prata ou ouro em uma solução alcalina neutra ou ácida, expostas desigualmente ao sol (PALZ, 2011).

O primeiro módulo a base de silício para uso externo foi fabricado em 1955 na Bell Labs, como uma forma de uma possível fonte de energia para equipamentos de telecomunicações. O módulo gerava 10 W em um dia de sol claro, e possuía uma eficiência de aproximadamente 2%, relativamente baixa, atribuída principalmente a baixa densidade do empacotamento das células (GREEN, 2005).

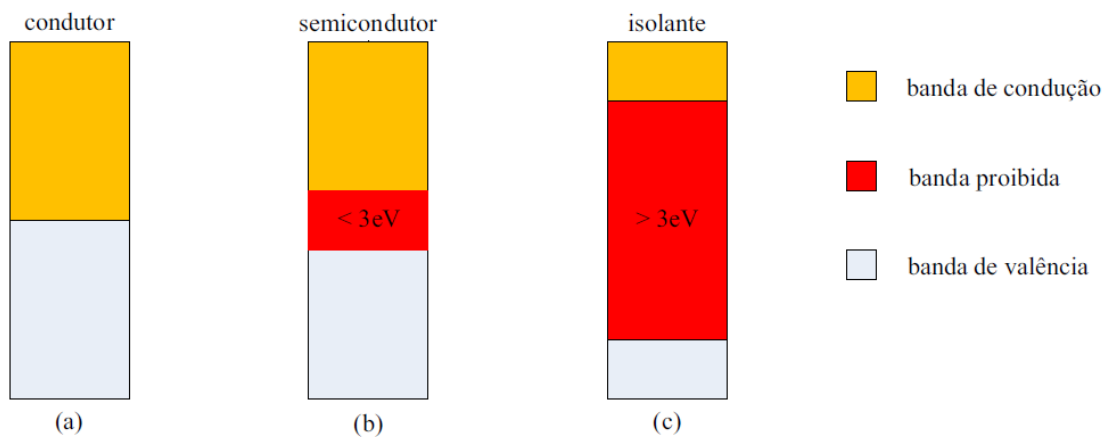
A década de 70 foi marcada pela crise do petróleo, com o preço do barril quadruplicando dada a crise energética que se instalou no mundo. Diversas empresas ‘start-ups’ foram formadas neste período, em busca de novas soluções energéticas, e uma das soluções apostadas foi a energia fotovoltaica (GREEN, 2005). A busca por essas novas soluções impulsionou a pesquisa da geração fotovoltaica reduzindo o seu custo em aproximadamente 90% em uma década, tornando cada vez mais possível sua popularização. O preço estimado em 1976 era de 106 US\$/W, o qual foi reduzido a aproximadamente 11 US\$/W em 1986, ainda alto comparado as demais alternativas, porém se sedimentando cada vez mais como uma alternativa de geração de energia limpa (LAFOND; IRENA, 2021).

A possibilidade de suprimento limitado de fontes fósseis, e a crescente busca por energias limpas e renováveis para frear o avanço do aquecimento global, impulsionaram as pesquisas no campo da energia fotovoltaica nas décadas seguintes. No ano 2000 o mundo alcançou o primeiro 1 GW de capacidade instalada. Contudo para um sistema ser considerado uma fonte de energia convencional é necessária ter capacidade de instalada de 100 GW. Em 2009 foi alcançado 25 GW e logo em 2012 se alcançou os 100 GW, e desde então a indústria cresce ano após ano com uma taxa de crescimento maior que de qualquer outro tipo de energia, inclusive entre os competidores não renováveis, atingindo um total de 500 GW em 2018 (PALZ, 2011).

3.2.2. As Células e Módulos Fotovoltaicos

A célula fotovoltaica é por definição o dispositivo que converte energia solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico. Para se obter essa conversão são utilizados materiais com características semicondutoras, estes são assim classificados por possuírem uma banda de energia proibida (bandgap, ou apenas gap), separando as bandas de condução e valência. A diferença entre um material semicondutor e um material isolante é justamente o tamanho da banda proibida, onde fica representado a figura abaixo que é considerado um semicondutor o material que possuem bandas com até 3 eV (elétron-volt) (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 2 - Estrutura de bandas de energia em (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes. Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)



Embora novos semicondutores venham sendo desenvolvidos e aplicados para montagem de células solares, o semicondutor mais utilizado, comercialmente, na fabricação de painéis fotovoltaicos é o silício. Os átomos de silício são caracterizados por possuírem quatro elétrons, que assim como o carbono, se interligam formando uma rede cristalina. Para obter o efeito fotovoltaico é necessário a dopagem dessa rede cristalina, para gerar uma assimetria, a fim de se obter um desequilíbrio eletrônico (G. N. TIWARI; DUBEY, 2009).

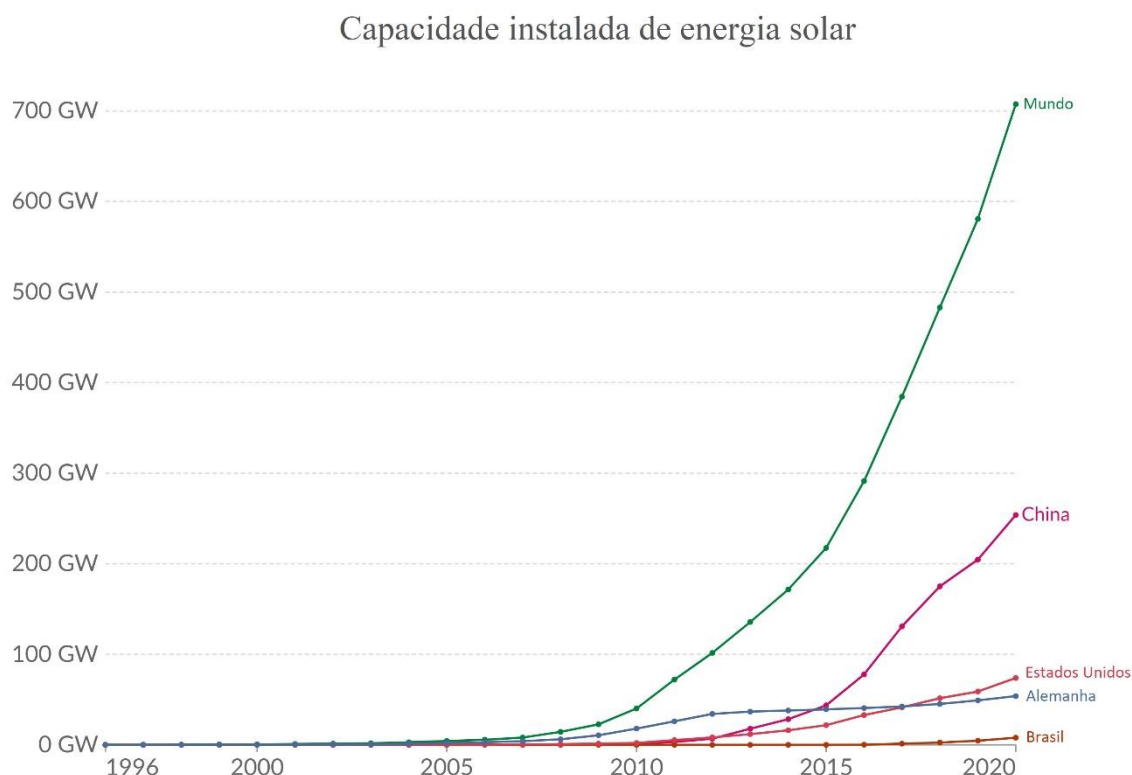
3.2.3. Geração Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica iniciou o novo século com a soma de 1 GW de capacidade instalada, enquanto a eólica já possuía 18 GW ao redor do mundo. A geração eólica seguiu um crescimento constante, atingindo 100 GW logo em 2008, e dobrando para 200 GW em 2011, enquanto a energia solar fotovoltaica atingiu seus primeiros 100 GW apenas em 2012. A partir deste ano a instalação de novas capacidades iniciou uma crescente, atingindo ao final de 2019 mais de 580 GW de capacidade instalada. Esse crescimento pode ser explicado pela redução dos preços dos painéis acompanhado do aumento da eficiência, obtendo a maior redução de preço de US\$/KWh comparado a todos os outros tipos de geração de energia. A estimativa é que mais de 100 GW tenham sido instalados em 2020, apesar da recessão causada pela pandemia de covid-19 no mundo, a instalação de novas capacidades seguiu em ritmo avançado de crescimento (IRENA, 2020; PALZ, 2018).

Até o ano de 2016 a Alemanha era o líder mundial em capacidade instalada, resultado da sua série de legislações de incentivo ao uso de energias renováveis, quando foi passada pelo crescimento da instalação de novas capacidades na China, Estados Unidos e Japão. Após assumir a liderança na capacidade de geração em apenas um ano a China já possuía mais de três vezes a capacidade instalada que a anterior líder de geração e o somatório de toda União Europeia já havia sido superado pela nova capacidade do país em geração solar fotovoltaica em 2017 (BP STATISTICAL, 2020; PALZ, 2019).

Após a China, os EUA são o segundo maior gerador de energia fotovoltaica no mundo, e tiveram sua entrada como um grande gerador também apenas nos últimos anos. No ano 2000 o país possuía apenas 4 MW de capacidade instalada, atingindo 1 GW apenas em 2009. Em 2019 o país já possuía mais de 62 GW de capacidade instaladas, e é estimado que tenham sido instalados mais 19 GW em 2020 (PALZ, 2018).

Figura 3 - Evolução da capacidade instalada de geração fotovoltaica. Adaptado de: (BP STATISTICAL, 2021)

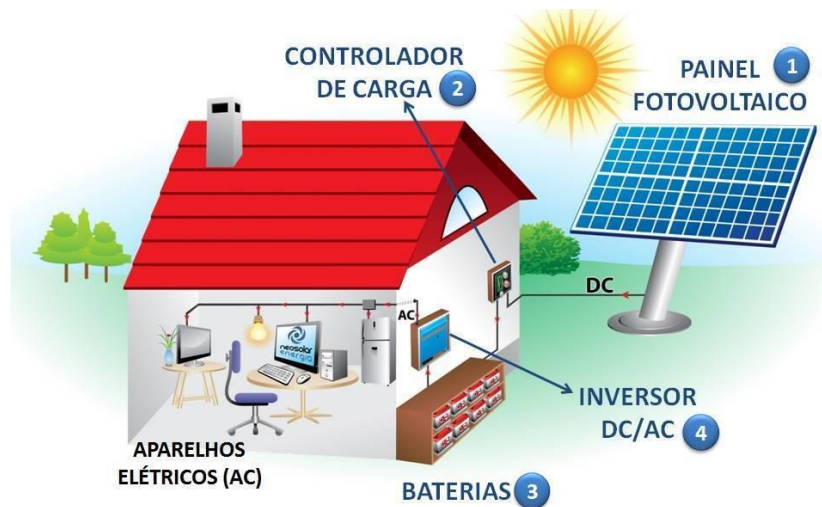


3.2.4. Geração Fotovoltaica Off-Grid e On-Grid

Existem duas formas de classificar os sistemas de instalação fotovoltaica. Os sistemas isolados são chamados de *off-grid* e os integrados a rede de *on-grid* ou ainda *grid-tie*. Os sistemas *off-grid* necessitam baterias para assegurar a manutenção do suprimento de energia elétrica nos horários em que não há geração. Já os sistemas *on-grid* contam com a energia proveniente da rede elétrica pública, em horários de pico o excedente pode ser transmitido para a rede (G. N. TIWARI; DUBEY, 2009).

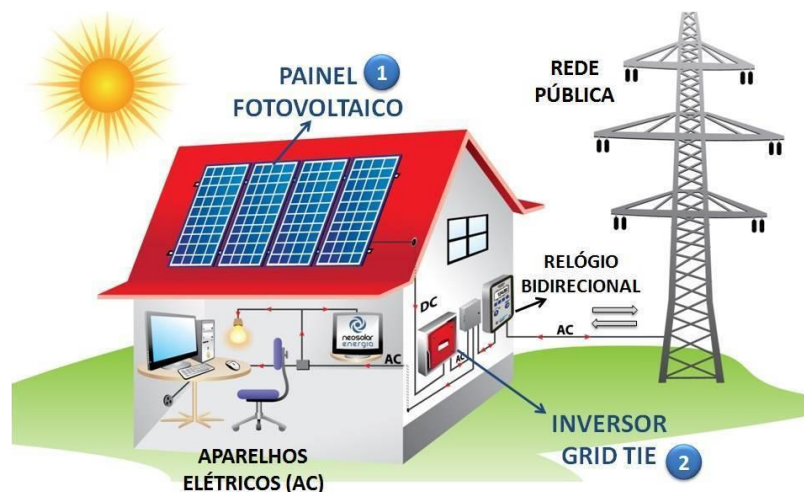
Os sistemas *off-grid* funcionam da seguinte forma representados pela figura abaixo: As placas fotovoltaicas produzem a energia elétrica na forma de corrente contínua, que passa pelo controlador de carga responsável da proteção das baterias contra descargas irreversíveis e excessos de carga. Após o armazenamento então que as cargas passam pelo inversor que converte a corrente contínua em corrente alternada, podendo ser utilizada no consumo normal (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 4 – Ilustração de sistema fotovoltaico *off-grid*. Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)



Os sistemas *on-grid* são representados pela figura abaixo, e funcionam da seguinte forma: A energia proveniente das placas é encaminhada para o inversor que transforma a corrente contínua em alternada, sincronizada com a frequência da rede de alimentação externa a partir de um oscilador interno, a qual é direcionada para um relógio de luz bidirecional, que faz a leitura da energia da concessionária e a da produzida pelo sistema. Em momentos de pico de geração, o sistema alimenta a rede, e quando não há geração a rede alimenta a residência (PINHO; GALDINO, 2014).

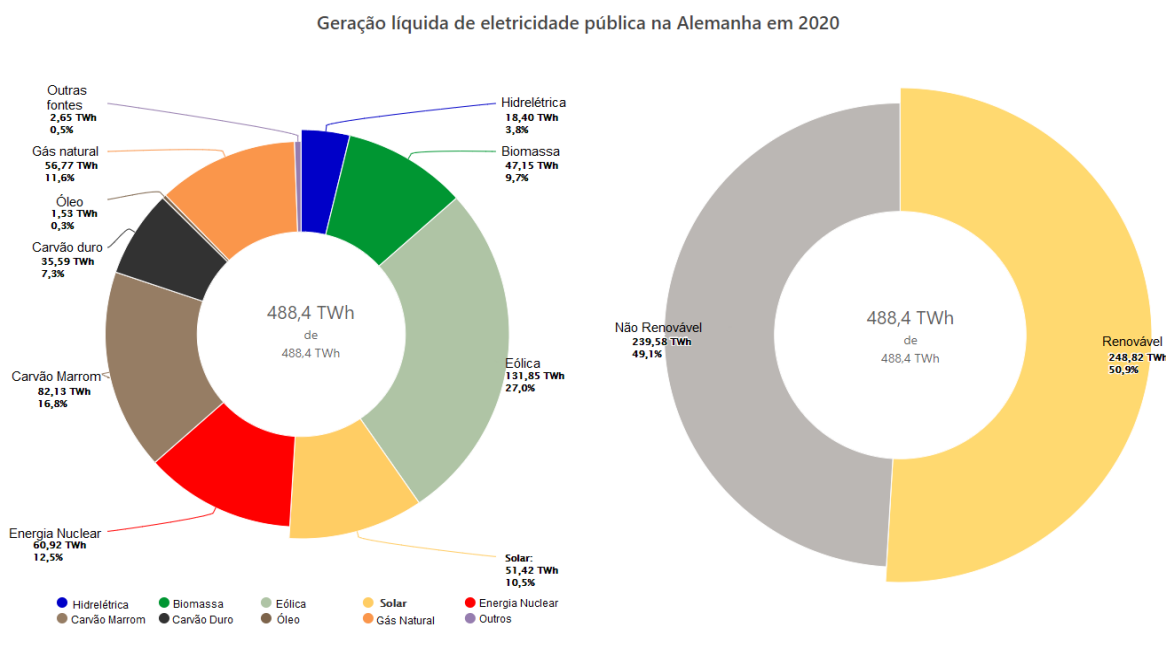
Figura 5 – Ilustração de sistema fotovoltaico *on-grid*. Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)



3.3 Matriz Energética da Alemanha

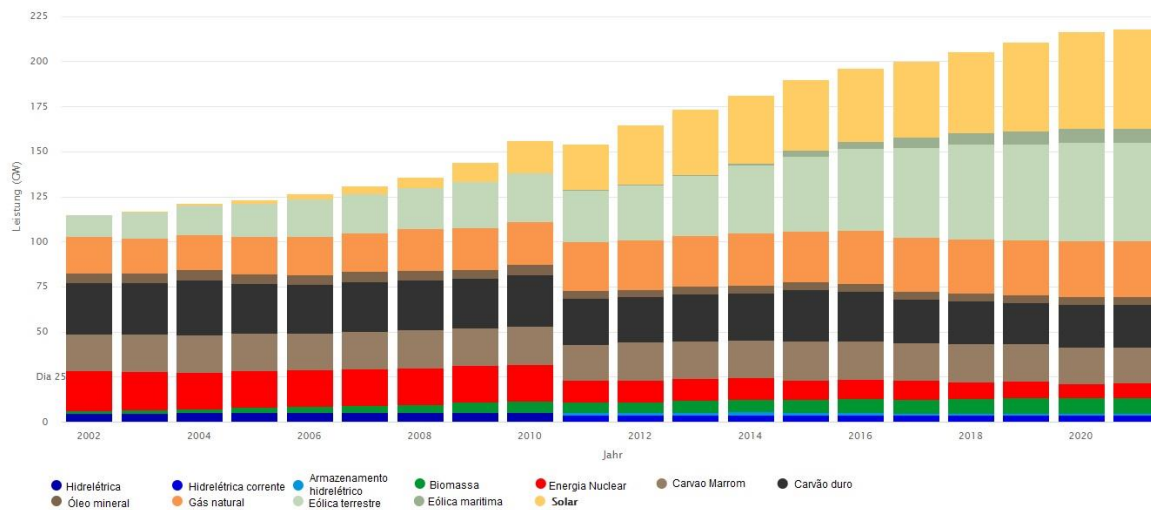
Em 2020 a Alemanha atingiu 488,4 TWh de geração de energia elétrica sendo que 50,9% foram gerados através de fontes renováveis. O número cresce ano após ano, dado que no ano de 2019 o somatório resultou em 46,1%, e em 2018 era de 40,6%. (ISE, 2021)

Figura 6 - Dados de geração líquida da Alemanha com ano base 2020. Adaptado de: (ISE, 2021)



O cenário atual da geração de energia elétrica no país é o resultado de uma série de legislações que são aprovadas desde o início dos anos 90, com o intuito de transformar completamente o setor elétrico e se distanciar da geração, dominada até então, pelas usinas de carvão e nucleares. É possível observar na figura abaixo a evolução na capacidade instalada do país com o crescimento contínuo das alternativas renováveis e a simultânea retração da capacidade não renovável, principalmente da capacidade instalada de geração de energia nuclear.

Figura 7 - Capacidade instalada de geração por tipo de fonte. Adaptado de: (ISE, 2021)



3.3.1 Legislação de Energias Renováveis

A Alemanha é a pioneira no mundo quando se trata de geração de energia solar fotovoltaica em grande escala. O ano de 1990 data o primeiro esforço do país rumo a alternativa renovável, quando é lançado o programa de 1000 telhados solares em um esforço de fomentar o início do uso da energia no país (PALZ, 2011).

Em 1991 o país aprova a *Stromeinspeisegesetz* (StrEG), sendo traduzida como a Lei de Injeção de Eletricidade, que obrigava as companhias elétricas alemãs a adquirirem energia elétrica gerada por fontes renováveis, sendo a primeira iniciativa no mundo de *feed-in tariff* (FIT), a qual entraria em vigor a partir de 1991 (PALZ, 2019).

Após a StrEG, em 2000 o país aprovou o instrumento central da expansão das fontes geradoras de energias renováveis. A Lei de energias renováveis (*EEG - Erneuerbare Energie Gesetz*) tem como objetivo aumentar a participação das fontes limpas de energias ao patamar de 80% até o ano de 2050.

3.3.1.1 Lei de Energias Renováveis – EEG 2000

Em 2000 o país coloca em vigor a primeira versão da Lei de energias renováveis, com um total de doze parágrafos a lei surge com a proposta de atender ao Protocolo de Kyoto, com a meta de reduzir em 21% a emissão de gases do efeito estufa.

Na sessão 1 a EEG propõe um acréscimo substancial da geração de energias renováveis, e como meta dobrar pelo menos até 2010 a geração por fontes renováveis. Seria a primeira vez que a geração de energia renovável teria prioridade sobre as fontes não renováveis (EEG, 2000).

As sessões 3 e 11 atualizam as obrigações de compra e remuneração, padronizando uma estrutura de cinco níveis de conexão, compra, remuneração e obrigações de expansões da rede, junto aos regulamentos de equalização em toda nação (EEG, 2000).

As sessões de 4 a 8 especificam a remuneração mínima legal para os tipos de geração hidrelétrica, de gases provenientes de aterros, minas e esgoto, de biomassa, geração geotérmica, geração eólica e geração solar fotovoltaica. Cada tipo de geração possui uma remuneração diferente, para as gerações de biomassa, eólica e fotovoltaica há uma regressão da remuneração de uma porcentagem específica a cada tipo de geração. A remuneração específica para a geração fotovoltaica foi estipulada no mínimo de 50,62 centavos/Euro, com reduções de 5% aos anos subsequentes a data da lei (EEG, 2000).

A sessão 9 estipula que os pagamentos mínimos da remuneração se estendem por 20 após o comissionamento, e aquelas que foram instaladas anterior a legislação teriam sua data considerada o ano da lei (EEG, 2000).

3.3.1.2 Lei de Energias Renováveis – EEG 2004

A EEG foi submetida a sua primeira emenda em 2004, a qual modificou substancialmente a estrutura de remuneração e estipulou metas fixas de geração de energias renováveis, fixando em 12,5% até 2010 e pelo menos 20% até 2020. As novas tarifas atribuíram melhores condições para instalação de instalações de fotovoltaicos, biomassa, eólica *offshore* e geração geotérmica, deixando as hidrelétricas e eólica *onshore* com os mesmos valores do modelo inicial (EEG, 2004).

Ao que diz respeito a energia fotovoltaica, a emenda alterou o sistema de remuneração que era cotado a 45,7 centavos/Euro a cada kWh estipulando valores para sistemas instalados em telhados. Instalações até 30 kW_p teriam remuneração mínima de 57,40 centavos de euro/kWh, entre 30 kW_p e 100 kW_p teriam remuneração de 54,60 centavos de euro/kWh e acima de 100 kW_p seria de 54,00 centavos de euro/kWh. As instalações terrestres seguiam com seu valor e a taxa de redução anual de 5% foi mantida (EEG, 2004).

3.3.1.3 Lei de Energias Renováveis – EEG 2009 e *PV Act* 2010

Face ao extraordinário crescimento de novas capacidades renováveis, a emenda foca em aumentar a taxa de regressão da FIT. O principal foco era a maior regressão nas taxas da energia solar fotovoltaica, que vinha superando as expectativas. Para isso foi introduzida uma flexibilidade na redução da taxa, que passou a variar dos fixos 5% para valores entre 8 e 10%, a depender do tipo de instalação. Apesar da redução imposta e na maior taxa de regressão não foi suficiente para frear as novas instalações, dado que a redução dos custos e aumento de eficiência (EEG, 2009).

O FIT foi revisto em 2010 por meio da emenda fotovoltaica (*PV Act*) a fim de impor uma redução ainda mais incisiva, tendo em vista que o crescimento de instalações de novas capacidades seguiu crescendo, apesar dos cortes realizados na EEG para as novas capacidades geradoras fotovoltaicas. Para contexto em 2009 foram gerados 6,58 TWh, em 2010 o valor alcançou 11,73 TWh e em 2011 19,60 TWh foram gerados a partir de geração fotovoltaica. As tarifas foram cortadas a depender do tamanho da instalação e um incentivo maior para o autoconsumo foi previsto. Os sistemas em áreas de agricultura foram excluídos por completo do programa de FIT (EEG, 2010).

3.3.1.4 Lei de Energias Renováveis – EEG 2012 e *PV Act* 2013

A revisão da lei em 2012 trouxe o aumento das metas de geração por fontes renováveis, de 20% para 35% até 2020, de 50% até 2030, 65% até 2040 e de 80% até 2050. O foco foi voltado ao mercado, a rede e a busca por uma melhor integração dos sistemas, tendo em vista que o crescimento acelerado das novas fontes renováveis adicionou uma grande parcela de

energia variável, levantando preocupações da capacidade do sistema para lidar com essa carga extra. Os operadores de rede passaram a poder controlar a quantidade de alimentação de fotovoltaicos na rede em horas de sobrecarga, com as plantas recebendo compensações em perdas de faturamento (EEG, 2012).

Em abril de 2012, após a revisão da EEG que iniciou em janeiro de 2012, foi realizada a emenda fotovoltaica (*PV Act 2013*), para controlar o crescimento de novas capacidades de geração, que seguiam a crescer apesar dos cortes anteriores no FIT. Para driblar o corte que aconteceria em janeiro de 2012, mais de 3000 MW_p foram instalados em dezembro de 2011. Foi necessário então adiantar cortes no FIT que estavam previstos a mais longo prazo (EEG, 2013).

Para isso se estabeleceram quatro classes de compensação para sistemas fotovoltaicos instalados no telhado: sistemas de até 10 kW de potência instalada, até 40 kW, até 1.000 kW e mais de 1.000 kW. Sistemas montados no solo receberiam a partir daquele momento uma remuneração uniforme. Sistemas com mais de 10 MW não recebem mais nenhuma compensação (EEG, 2013).

A redução da tarifa *feed-in* em 15% esperada para julho de 2012 é antecipada e complementada por uma redução especial. A partir de 01/04/2012, as taxas de remuneração para sistemas fotovoltaicos em construções sobre o telhado foram de:

- Até 10 kW de potência instalada: 19,5 ct/kWh;
- Até 40 kW de potência instalada: 18,5 ct/kWh;
- Até 1.000 kW de potência instalada: 16,5 ct/kWh;
- Até 10 MW de potência instalada: 13,5 ct/kWh;
- Até 10 MW (sistema fotovoltaico sobre o solo) de potência instalada: 13,5 ct/kWh.

Uma meta de expansão foi determinada para sistemas subsidiados no país, sendo a mesma de 52 GW. Foi mantido o corredor de expansão anual entre 2,5 GW_p e 3,5 GW_p até a meta geral do país, os sistemas não serão mais remunerados após a meta ser atingida, porém os sistemas estabelecidos anteriormente permanecem com seu FIT garantido (EEG, 2013).

Para sistemas entre 10 kW_p e 1.000 kW_p, apenas 90% da quantidade total de eletricidade gerada foi remunerada por ano. Para as plantas pequenas de até 10 kW_p, sistemas montados no solo e outros sistemas até 10 MW_p, a compensação foi de 100% da energia gerada. O regime aplicou-se a instalações entre 10 e 1.000 kW_p, que estariam operacionais a partir de primeiro

de abril de 2012, mas foram operadas a partir de primeiro de janeiro de 2014. Em contraste com a taxa de remuneração para sistemas sobre telhado, o modelo de integração de mercado não é calculado em uma base padrão, mas se aplica em cada caso ao volume total de energia dos sistemas analisados. A quantidade de energia não compensada poderia ser consumida, comercializada diretamente ou oferecida ao operador da rede para venda no mercado de ações. O bônus de autoconsumo foi eliminado nesta emenda (EEG, 2013).

3.3.1.5 Lei de Energias Renováveis – EEG 2014

A expansão promovida pelo EEG permitiu que a participação das energias renováveis chegasse a 25%, transformando-as em um dos principais pilares do fornecimento de energia elétrica da Alemanha. Foram redefinidas as metas de expansão da geração renovável, tendo como objetivo alcançar até 2025 entre 40% e 45% e em 2035 entre 55% e 60% da parcela de geração (EEG, 2014).

Para obter um melhor controle e planejamento, foram definidas metas anuais de expansão para cada tipo de tecnologia, sendo estabelecidos como corredores de expansão, com seus volumes sendo:

- Energia fotovoltaica: 2,5 GW_p (bruto) anuais;
- Eólica terrestre: 2,5 GW (líquido) anuais;
- Eólica *offshore*: 6,5 GW até 2020 e 15 GW até 2030
- Biomassa: 100 MW anuais (bruto)

Os corredores de expansão foram inseridos com o objetivo de se obter um maior controle no crescimento da capacidade instalada, tendo em vista que superada a meta de expansão do ano, os valores de subsídio se reduzem automaticamente. A meta fixa de expansão da energia fotovoltaica fixada em 52 GW_p e colocada em vigor no ano anterior segue inalterada, dando fim ao subsídio para novas instalações após ser atingida (EEG, 2014).

3.3.1.6 Lei de Energias Renováveis – EEG 2017

Ao final de 2016 a Alemanha contava com mais de 40 GW de capacidade instalada de energia fotovoltaica, e mais de 49 GW de energia eólica quando somadas *onshore* e *offshore*. Com números expressivos e ocupando um papel de destaque no panorama energético nacional a EEG foi reformulada novamente, sendo a principal mudança a criação de um sistema de leilões para manter a competitividade do setor e disponibilizar oportunidades para todos os participantes do mercado (EEG, 2017).

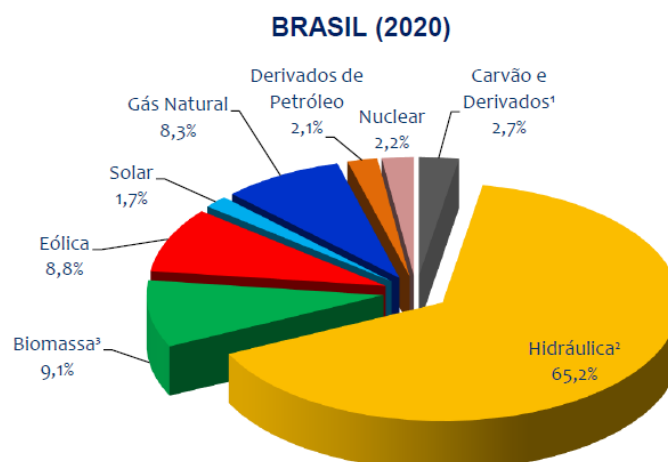
A expansão da rede de distribuição também foi prevista, tendo em vista a grande carga injetada pelo crescimento da capacidade das fontes renováveis e a distância na transmissão, principalmente quando se trata da energia eólica.

No que tange a energia fotovoltaica, a EEG promoveu o aluguel de energia elétrica. Essa modalidade prevê a energia entregue aos vizinhos físicos imediatos, sem necessidade de injeção na rede. Essa energia não possui custos de encargo de rede, impostos e taxas de concessão, o que acaba tornando atrativo o preço do KWh. O objetivo é evitar a sobrecarga das redes e distribuir com mais efetividade a energia fotovoltaica gerada. Também foi criado o aluguel de telhado para lidar com a demanda expressiva por sistemas fotovoltaicos. Proprietários passam a ser remunerados pelo uso do seu telhado por empresas que procuram expandir seu uso de energia renovável, mas não possuem espaço físico suficiente para os sistemas (EEG, 2017).

3.4. Matriz Energética do Brasil

Em 2020 o Brasil atingiu 621,2 TWh de geração de energia, sendo 396,3 TWh provenientes apenas de geração hidráulica. Houve uma redução na produção de energia de 0,8% ante ao ano de 2019, quando foi produzido o valor recorde de 626,3 TWh. A redução pode ser diretamente relacionada a desaceleração da economia causada pela pandemia de covid-19. O gráfico abaixo demonstra a quantidade de energia gerada por cada fonte de geração no ano de 2020 (EPE, 2021).

Figura 8 - Geração líquida de energia elétrica no ano de 2020 no Brasil. Fonte: (BEN, 2021)



Apesar da redução da produção geração total, a capacidade instalada expandiu em 2,7%, com destaque para as gerações solar fotovoltaica e eólica. A capacidade total instalada atual é de 174.737 MW, ante 170.118 MW do ano de 2019. As variações de cada tipo de geração são apresentadas na tabela abaixo (EPE, 2020).

Tabela 1 - Variação da capacidade instalada por fonte de geração. Fonte: (BEN, 2021)

Fonte	2019	2020	Δ 20/19
Hidrelétrica	109.058	109.271	0,2%
Térmica ²	41.219	43.057	4,5%
Eólica	15.378	17.131	11,4%
Solar	2.473	3.287	32,9%
Nuclear	1.990	1.990	0,0%
Capacidade disponível	170.118	174.737	2,7%

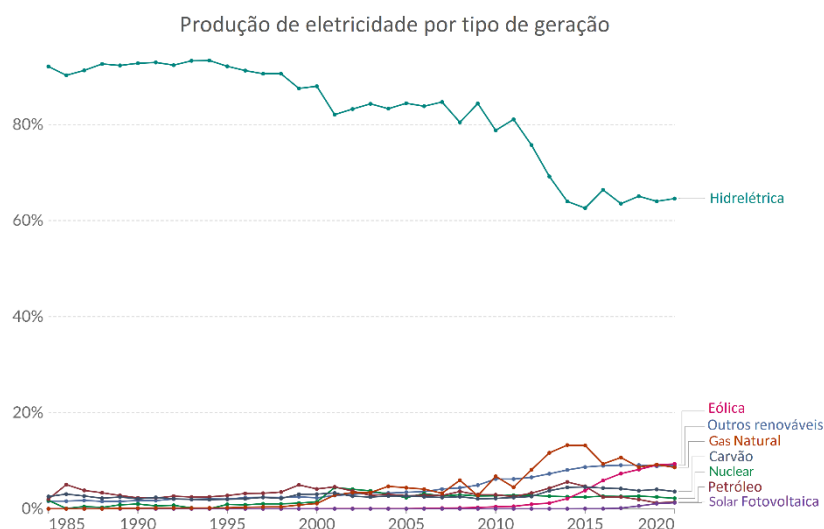
Além dessa capacidade instalada, é necessário se levar em consideração a micro e minigeração distribuídas, as quais são contabilizadas a parte. Pela primeira vez na história a energia fotovoltaica ultrapassou em micro e minigeração a capacidade das usinas de grande porte, atingindo um expressivo número de 4.635 MW. Como mostra a tabela abaixo, a capacidade predominante nesse tipo de geração distribuída é da energia solar fotovoltaica.

Tabela 2 - Variação da capacidade de energias renováveis na geração distribuída. Fonte: (EPE,2021)

Fonte	2019	2020
Solar	1.992,1	4.635,1
Hidráulica	96,7	22,9
Térmica	63,0	95,3
Eólica	10,4	15,0
Capacidade disponível	2.162,1	4.768,3

Como citado por (PALZ, 2019) o Brasil é um país modelo na implementação e uso de energias renováveis. A principal fonte de energia elétrica é a geração hidrelétrica, a qual já chegou a ser responsável por mais de 90% da geração de energia no país na década de 90. O gráfico abaixo representa a parcela de produção de energia a partir das suas fontes.

Figura 9 - Histórico de geração de energia por fonte de geração. Fonte: (BP STATISTICAL, 2020)



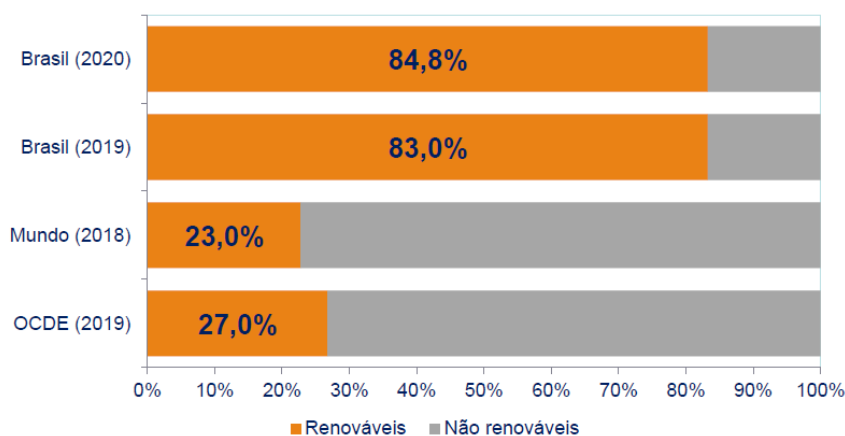
O modelo baseado em geração hidrelétrica é bastante atrativo por possibilitar geração sob demanda e por ser renovável, contudo, além da dependência de grandes volumes de chuva o investimento em um único tipo de geração pode gerar problemas. A crise energética de 2001 e 2002 é um exemplo das consequências de se concentrar a capacidade de geração em apenas

uma fonte energética. Após o início do período seco, foi constatado os baixos níveis dos reservatórios das grandes usinas, e dado a grande dependência do país nesse tipo de geração, a falta de energia e sobrecarga do sistema era iminente. Para mitigar o problema e evitar uma maior crise o presidente da época Fernando Henrique Cardoso instituiu a Câmara de gestão da crise de energia elétrica (CGCE). A CGCE foi responsável por definir os mecanismos de contenção da crise, sendo a principal proposta o racionamento de energia, com o objetivo de reduzir o consumo total em 20%, a fim de não ser necessário utilizar o método de apagões contínuos. O problema foi sanado majoritariamente com o racionamento, porém afetando setores importantes da economia, principalmente a indústria (SILVA, 2011).

Os anos posteriores a esta crise apelidada pela mídia de “a crise do apagão” foram de reformas do setor elétrico, com o objetivo de diversificar a matriz energética do país. Foram aprovadas nas leis 10.847 e 10.848 de 2004 um novo marco regulatório, o qual permitiu a expansão da capacidade, atraindo investidores estrangeiros e nacionais por meio de contratos firmados em leilões. Novas capacidades, principalmente em energias renováveis, que possuem um tempo maior de retorno do capital, acabaram tornando-se possíveis, principalmente a energia eólica, sofrendo assim uma grande expansão nos anos seguintes (SILVA, 2011).

Mesmo com a expansão da capacidade e redução da dependência hidrelétrica o país segue contando com uma matriz majoritariamente renovável, estando muito acima da média mundial. O gráfico abaixo contrasta a diferença entre o Brasil e o mundo, levando em consideração a oferta interna de energia elétrica do país.

Figura 10 - Comparação de geração por fontes renováveis Brasil x Mundo. Fonte: (BEN,2021)



Ainda que o novo marco tenha possibilitado a instalação de outros tipos de geração, a energia fotovoltaica seguiu com uma adesão muito discreta no país, o aliado ao baixo desempenho da tecnologia, apesar das altas taxas de incidência solar, o país não teve grandes avanços, não possuindo nenhum incentivo para geração de energia fotovoltaica que a colocasse como um tipo de geração viável de larga escala, sendo mantida como um nicho para geração em áreas remotas e outras aplicações. Apenas em 2011 a primeira usina foi construída, com 1 MW_p em Tauá no sertão do Ceará.

3.4.1 Resolução Normativa – REN 482/2012

A resolução normativa (REN) 482/2012 (ANEEL, 2012) pode ser considerada o marco inicial da microgeração e minigeração distribuídas no país. A resolução foi criada com o objetivo de permitir o acesso desses sistemas a distribuição de energia elétrica do sistema integrado.

No artigo 2º da resolução é definida a micro e minigeração distribuída a partir de centrais geradoras que utilizem fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica biomassa ou cogeração qualificada e tenha a potência limitada pelas seguintes faixas de valores:

- **Microgeração distribuída:** potência instalada menor ou igual a 100 kW.
- **Minigeração distribuída:** potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW.

A compensação é realizada a partir de energia ativa injetada pelo micro ou minigerador qual gera créditos de energia que valentes para serem consumidos em um período de até 36 meses. De acordo com o artigo ainda o crédito gerado seja utilizado por outra unidade consumidora desde que ela esteja relacionada ao mesmo CPF ou CNPJ da unidade consumidora responsável. Ainda segundo a norma é disposto:

“Para o caso de unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, exceto para aquelas de que trata o inciso II do art. 6º, o faturamento deve considerar a energia consumida, deduzidos a energia injetada e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de

faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir todas as componentes da tarifa em R\$/MWh”.

No âmbito da microgeração e minigeração solar também foi implementada a REN 481/2012 a qual determinou:

“Art. 3º-A Para a fonte solar referida no art. 1º fica estipulado o desconto de 80% (oitenta por cento), para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, aplicável nos 10 (dez) primeiros anos de operação da usina, nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição – TUST e TUSD, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada. §1º O desconto de que trata o caput, será reduzido para 50% (cinquenta por cento) após o décimo ano de operação da usina. §2º Os empreendimentos que entrarem em operação comercial após 31 de dezembro de 2017 farão jus ao desconto de 50% (cinquenta por cento) nas referidas tarifas.”

3.4.2 Resolução Normativa – REN 687/2015

A resolução normativa nº 687 de 2015, REN 687/2015 (ANEEL, 2015) teve como objetivo atualizar a REN 482/2012, com uma reestruturação que permitia a criação de novos nichos de consumidores e modalidades de negócios. Outro objetivo foi reduzir o processo burocrático extenso para inserção das centrais geradoras junto as concessionárias de energia elétrica.

As principais alterações na normativa original foram:

- Aumento no prazo do uso dos créditos de 36 meses para 60 meses.
- Redução no período de aprovação do sistema fotovoltaico junto a concessionária passa de 82 dias para 34 dias.
- Alteração das faixas de potência para microgeração e minigeração. A microgeração passa a ser limitada em 75 kW ou menos. Para a minigeração foi definido o limite da potência instalada passou a ser entre 75 kW a 3 MW para fonte hídrica ou até 5 MW

para as demais fontes renováveis previstas (solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada)

A nova resolução também alterou as modalidades das unidades consumidoras que estão atribuídas ao sistema de geração distribuída. As novas modalidades são as seguintes.

I - Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras.

Condomínios verticais e ou horizontais, situados em mesma área ou área contígua, como um sistema gerador instalado em área comum, onde as unidades consumidoras do local e a área comum do condomínio sejam energeticamente independentes entre si. Os créditos energéticos gerados são divididos entre os condôminos participantes e a área comum do empreendimento ficando sob responsabilidade do condomínio da administração ou do proprietário do local. Não fica necessário estabelecer nenhum tipo de consórcio ou associação pois a própria administradora do condomínio já representa a entidade responsável pelo sistema gerador, visto que os condomínios possuem CNPJ (Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica).

II – Geração compartilhada

Consumidores de CPF (cadastro de pessoa física) ou CNPJ distintos, os quais são abastecidos pela mesma concessionária distribuidora de energia elétrica, associados por meio de uma cooperativa ou consórcio respectivamente onde a unidade micro ou minigeradora fica no local diferente das unidades consumidoras compensatórias.

Nessa modalidade de geração, é necessário estabelecer um consórcio, associação ou cooperativa para que essa entidade (CNPJ) represente e administre o sistema gerador e estabeleça o rateio entre os consumidores do crédito energético.

Sempre que o sistema gerador é instalado em um local diferente do ponto de consumo, já não é possível utilizar o CNPJ do condomínio em questão, sendo necessário então a abertura de um sistema em geração compartilhada.

III – Autoconsumo remoto

Esta modalidade é indicada para consumidores (CPF) que possuem unidades consumidoras de mesma titularidade, onde a geração distribuída de energia elétrica está em um local diferente dos locais que fazem uso dos créditos energéticos, e consumidores pessoa jurídica que possuem unidades consumidores e mesmo CNPJ, inclusas matriz e filiais, onde a geração distribuída de energia elétrica está em local diferente dos locais que fazem uso dos créditos de energia.

São enquadrados nessa modalidade todos os consumidores que desejam instalar um gerador de energia elétrica para compensar os gastos de fatura de energia, mas não possuem espaço suficiente para a instalação do sistema.

4 METODOLOGIA

Neste trabalho são descritos por meio de uma revisão da literatura as principais diferenças entre as matrizes energéticas do Brasil e da Alemanha. Para isso foram analisados documentos de agências do setor energético, dos dois países, foram analisados artigos científicos e documentos que informam sobre a legislação do setor energético. Utilizou-se livros que abordam os fatores históricos da energia fotovoltaica, funcionamento da célula fotovoltaica e perspectivas futuras do setor a nível mundial.

Analisou-se também dados referentes as fontes de geração de energia elétrica de ambos os países, disponibilizados em relatórios governamentais, com o objetivo de traçar um comparativo entre as duas matrizes energéticas e sua evolução ao longo dos anos. Analisados os dados de geração e expansão da energia fotovoltaica de ambos os países, contrapostos com as legislações aplicadas ano a ano em cada país foi possível elucidar as razões da disparidade evolutiva entre as nações na geração de energia fotovoltaica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

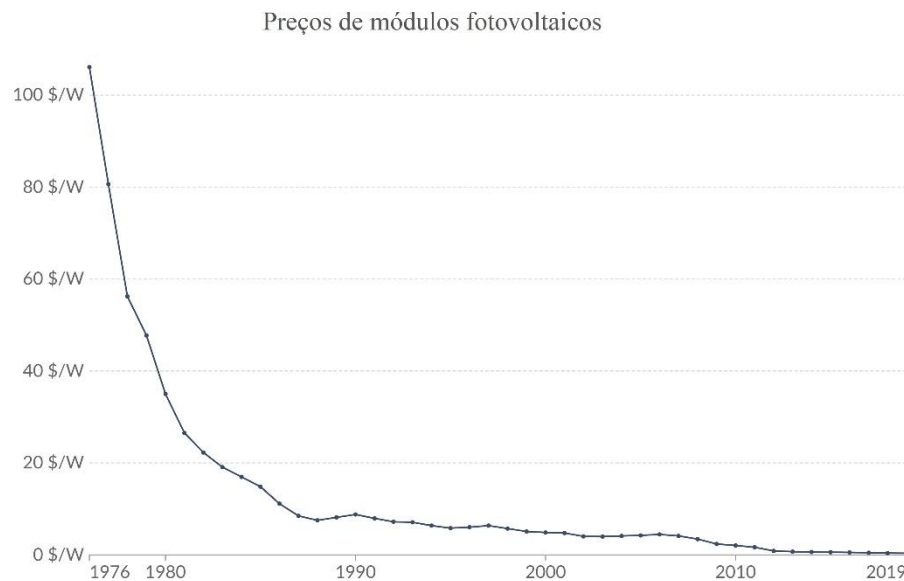
5.1 Análise Brasil X Alemanha: Impacto das Políticas Públicas na Matriz Energética

A análise dos instrumentos de fomento dos dois países, as REN 482/2012 e REN 687/2015 no Brasil e as EEG e sua série de reformas na Alemanha trazem à tona profundas diferenças. Entretanto, pode-se pontuar que possuem objetivos muito semelhantes, e o principal deles é o fomento da geração de energia por sistemas fotovoltaicos.

A diferença mais marcante dos dois modelos regulatórios é que o modelo alemão utiliza remuneração monetária pela energia injetada na rede pelo consumidor, o que significa que se for produzida mais energia que consumida, a concessionária paga ao proprietário o valor gerado. Como citado por (PALZ, 2019) não investir em uma instalação fotovoltaica na Alemanha significa perder dinheiro. O modelo brasileiro como visto anteriormente, utiliza-se da geração de créditos de energia, que possuem um prazo para serem consumidos pela unidade geradora, ou pelas unidades ligadas ao CPF responsável pela geração.

A adoção de uma política pública muito bem estruturada na Alemanha, sendo pioneira no FIT levou o país a ser o modelo de referência mundial na implementação da geração de energia fotovoltaica, com outros países introduzindo o modelo mais tarde, como exemplos sendo a China, Índia e Japão. O modelo teve papel fundamental na implementação da geração fotovoltaica, dado que na época de sua implementação o custo de instalação da energia solar era bastante elevado dado a baixa eficiência da tecnologia aliado ao alto custo de produção. O valor médio mundial do Watt instalado no ano da implementação da primeira EEG em 2000 é estimado em US\$ 4,88 enquanto em 2019 o valor médio chegou a ser de US\$ 0,38. O gráfico abaixo mostra a redução histórica do custo de instalação dos módulos (IRENA, 2020; PALZ, 2019).

Figura 11 - Histórico de preços de módulos em US\$/Watt 1976 – 2019. Fonte: (LAFOND; IRENA, 2021)

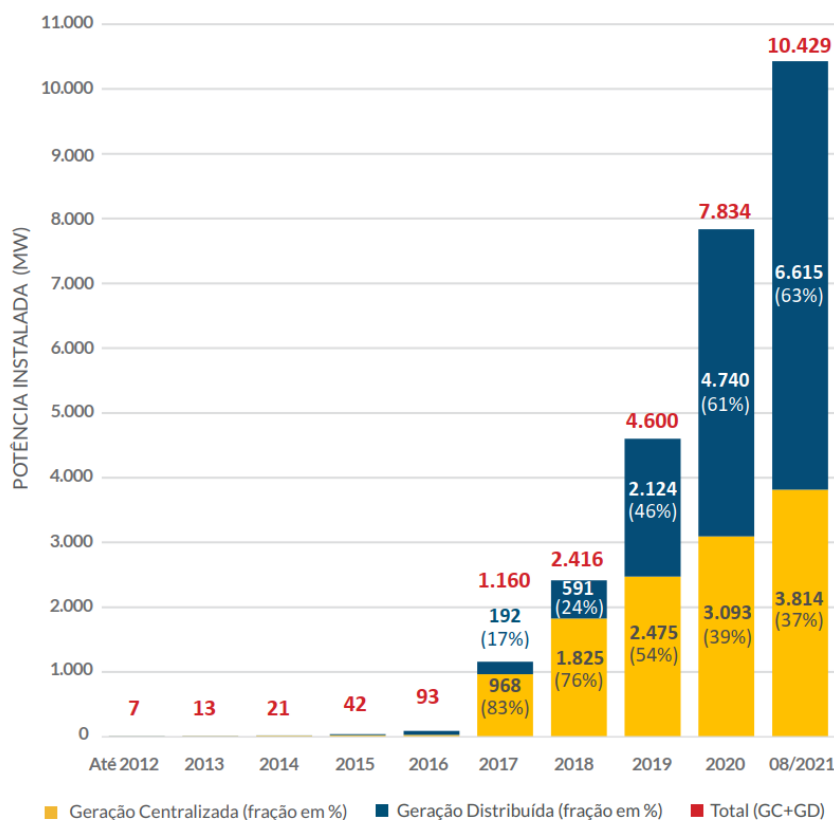


O principal fator que levou a Alemanha a introduzir uma política de fomento de energias renováveis tão abrangente pode ser atribuído a falta de outras fontes de geração. O país era dependente principalmente de termelétricas a carvão e gás natural, e de usinas nucleares. Os acordos climáticos e a insegurança da tecnologia nuclear levaram o país a procurar novas fontes de geração, abrindo caminho para expansão do setor no país, assim como o de outras fontes renováveis. Como visto anteriormente, as EEG bateram todas as metas de expansão e superaram as expectativas, permitindo o país reduzir sua dependência em combustíveis fósseis e principalmente em energia nuclear, a qual segue tendo sua capacidade reduzida.

O Brasil por outro lado possui uma matriz predominantemente renovável, aliado ao alto preço da opção fotovoltaica não houve incentivos ou regulamentações a respeito do tipo de geração, sendo até 2012 utilizadas apenas em alguns nichos. Porém com a queda de preços e aumento da competitividade, aliado as resoluções normativas que preveem a geração distribuída o país passa por uma expansão considerável de energia fotovoltaica. Como visto anteriormente, o país passou de 1992 MW de capacidade instalada para 4635 MW na geração distribuída na comparação entre 2019 e 2020. Ainda sim é necessário contabilizar 3287 MW de capacidade instalada de grandes usinas, ou seja, o país possui 7922 MW de capacidade instalada segundo o balanço energético de ano base de 2020 (EPE, 2021).

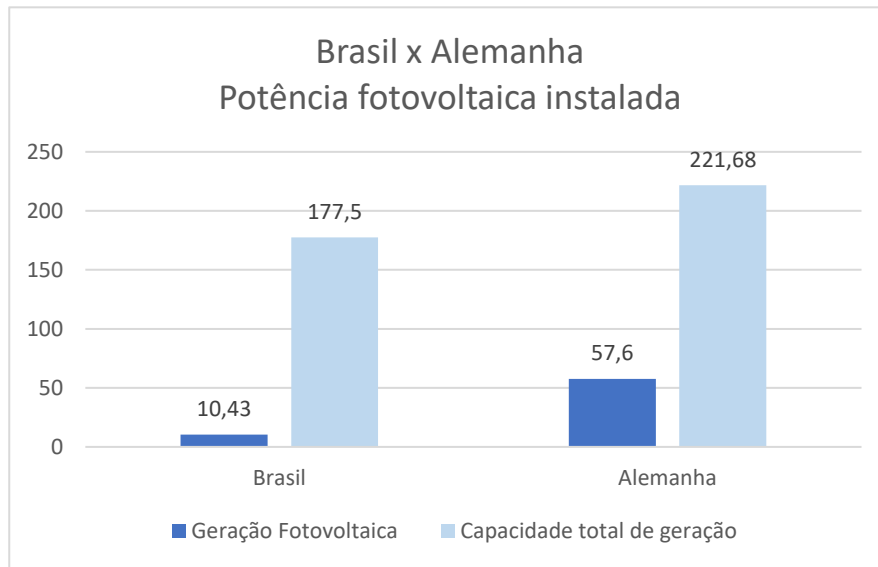
Atualmente o número da capacidade instalada é ainda maior, e segundo os dados mais recentes o país alcançou 10.429 MW de potência instalada, possuindo um crescimento grande na fatia de geração distribuída conforme os dados compilados pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR (ABSOLAR, 2021).

Figura 12 – Gráfico da potência instalada de geração fotovoltaica no Brasil em MW. Fonte: (ABSOLAR, 2021)



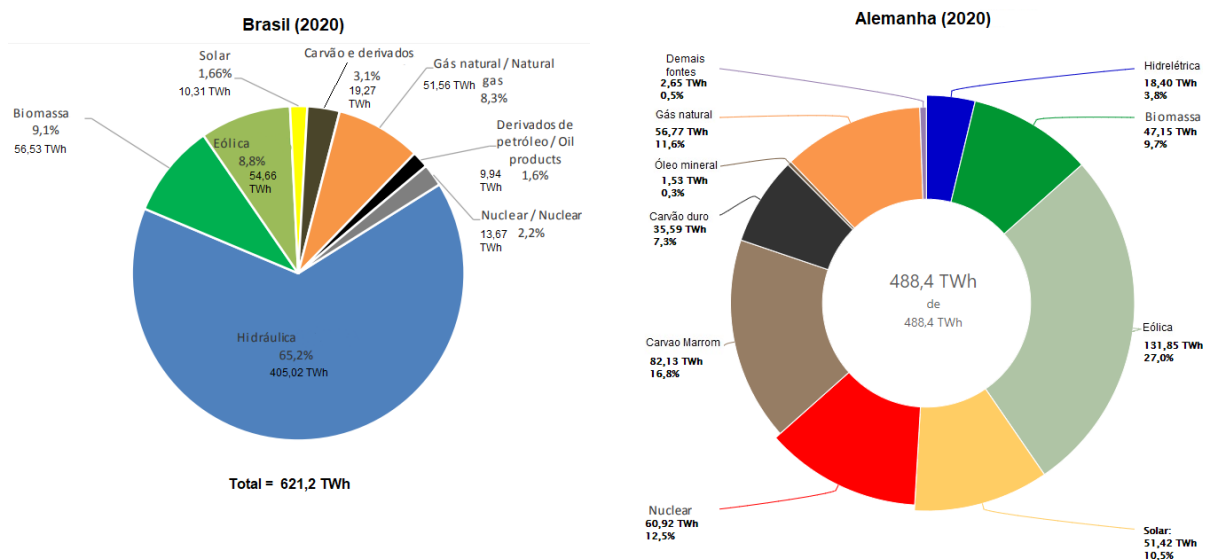
Apesar do crescimento, o país está muito aquém da capacidade instalada quando comparado com a Alemanha, que possui aproximadamente 26% da sua capacidade instalada de geração fotovoltaica com 57,6 GW_p em 2021. Enquanto isso o Brasil com o grande crescimento dos últimos 3 anos, alcança apenas 5,9% da sua capacidade instalada sendo energia fotovoltaica. O gráfico abaixo compara a capacidade total de geração de cada país e sua capacidade instalada de geração fotovoltaica.

Figura 13 - Potência fotovoltaica instalada em GW Brasil x Alemanha. Fonte: (EPE, 2021) (ISE, 2021)



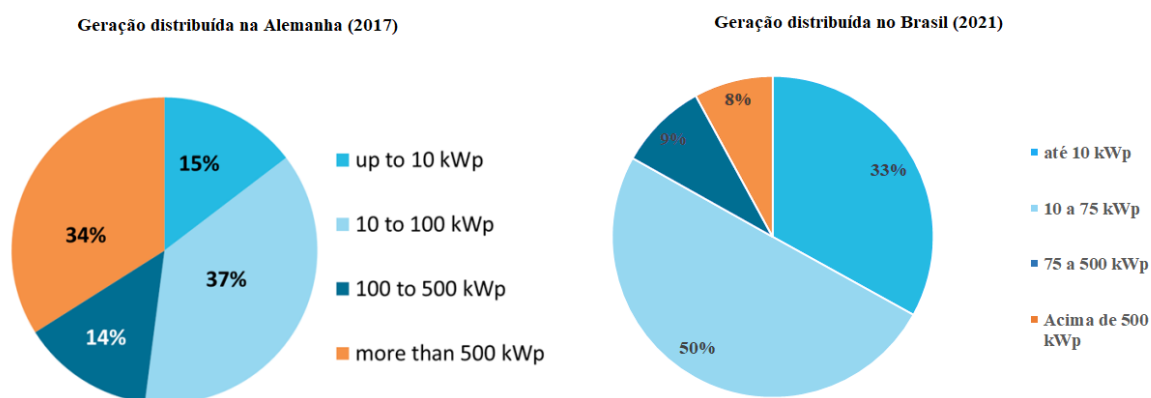
A energia fotovoltaica foi responsável no ano de 2020 por 10,5% da demanda total de energia da Alemanha, totalizando 51,42 TWh de produção no país como visto anteriormente. O acumulado de 2021 já chega a 48,9 TWh, responsável por 12,5% da oferta de energia do país (ISE, 2021). O Brasil com o crescimento dos últimos anos gerou, segundo os dados do (EPE, 2021) 10,31 TWh de energia fotovoltaica em 2020, responsável por apenas 1,66% da geração total no país. A comparação entre as duas matrizes e sua geração líquida de energia no ano de 2020 é representada abaixo.

Figura 14 - Geração líquida de energia no ano de 2020, comparativo Brasil x Alemanha. Adaptado de: (EPE, 2021) (ISE, 2021)



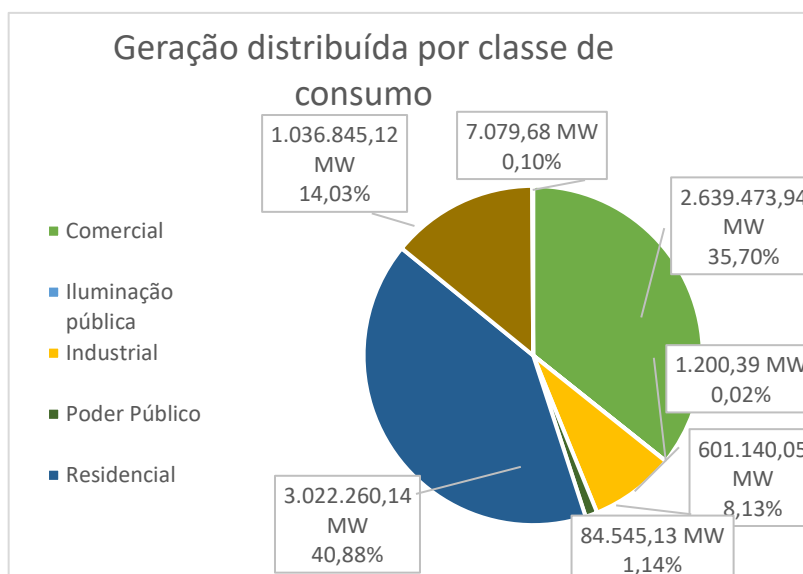
O tamanho dos sistemas de cada país é bastante distinto, dado que as políticas de cada país tendem a favorecer certos tamanhos de sistemas. É possível notar que na geração distribuída o Brasil conta com majoritariamente sistemas de pequeno porte tendo 83% da capacidade concentrada em capacidade menor que 75 kW_p, dado que a microgeração é favorecida pelo fato de o consumidor não arcar com os custos de manutenção em conjunto com a distribuidora.

Figura 15 - Dados de geração distribuída por capacidade do sistema em kW_p. Fonte: (ANEEL, 2021) (ISE, 2021)



A geração distribuída no Brasil ainda conta com dados sobre a classe de consumo das instalações fotovoltaicas, que podem ser conferidas na figura abaixo, tendo com o destaque a geração residencial e comercial sendo responsáveis por mais de 75% de toda capacidade de geração distribuída.

Figura 16 - Distribuição da geração distribuída por classe de consumo. Fonte: (ANEEL, 2021)



Ambos os países possuem majoritariamente conexões ligadas a rede, caracterizando os sistemas como *on-grid*, dado ao elevado custo de instalação e manutenção de armazenamento da eletricidade gerada. Apesar disso, nos últimos anos, com a redução dos custos desse tipo de solução de armazenamento, houve uma grande expansão na instalação desses sistemas. É estimado que o país possua mais de 300 mil moradias com armazenamento próprio com o crescimento dos últimos anos, e é esperado que o número cresça ainda mais à medida que a tecnologia se torna mais barata. As baterias ajudam na estabilidade da rede, tendo em vista que esses sistemas são em sua maioria híbridos, ou seja, seguem ligados como um sistema *on-grid*, mas possuem um backup de baterias. No Brasil o alto custo torna bastante inviável a instalação de armazenamento de baterias, sendo utilizado quase exclusivamente para geração *off-grid*.

5.2 PL 5829/19 x EEG 2021

No ano de 2020 a legislação de energias renováveis (EEG) foi revisada novamente na Alemanha, com seu novo texto entrando em vigor em janeiro de 2021. As principais alterações da EEG tratam da expansão das capacidades instaladas de fontes renováveis até 2030, e o objetivo de se tornar neutra em carbono até o ano de 2050.

Foram criados os seguintes corredores de expansão no país até 2030:

- Expansão de fotovoltaicos até 100 GW
- Eólica terrestre até 71 GW
- Eólica marítima até 20 GW
- Biomassa até 8,4 GW

Foram prorrogados os FIT das instalações do EEG original em 2000 até o ano de 2027, aplicável para instalações de até 100 kW_p, tendo em vista que esses sistemas perderam suas remunerações de FIT em 2020. Para instalações acima de 750 kW_p a lei obriga as instalações fotovoltaicas a participar de leilões. As instalações menores entre 300 kW_p e 750 kW_p podem optar por participarem de leilões ou consumir sua própria energia e receber uma taxa fixa pelo excedente, porém recebendo apenas pagamento de 50% da eletricidade gerada via FIT (EEG, 2021).

A legislação também prevê preços de energia negativos, que ocorrem quando a oferta de energia é maior do que a demanda, que acaba aumentando a sobretaxa de renováveis. A remuneração nesses picos de preços negativos passa a cessar a remuneração quando o mercado atinge 4 horas seguidas de preços negativos, obrigando novas instalações a procurarem novas soluções que possam absorver essa sobrecarga, como sistemas de armazenamento de energia (EEG, 2021).

O Brasil por sua vez aprovou no congresso a sua primeira lei que tange a geração distribuída, tendo em vista que anteriormente só havia no país resoluções normativas da ANEEL sobre o assunto. O PL 5829/19 cria o Marco Legal da GD e passa a tramitar no senado, com expectativas de que o texto seja aprovado integralmente. O texto prevê a manutenção de microgeradores até 75 kW e minigeradores de 75 kW a 5 MW, porém limitando em 3 MW após a transição para a geração fotovoltaica de minigeração.

A lei prevê a manutenção das regras atuais para os atuais geradores até 2045, e após a sanção 12 meses de carência para as novas instalações. Após o período de carência, é previsto um período de transição, onde serão aplicadas as taxas referentes a remuneração da tarifa de uso do sistema de distribuição do fio B (TUSD Fio B) gradualmente da seguinte maneira:

- 15% em 2023 e 30% em 2024;
- 45% em 2025 e 60% em 2026;
- 75% em 2027 e 90% em 2028;

As novas regras estabelecidas pela ANEEL passam a vigorar então a partir de 2031 para os que solicitarem acesso entre os meses 13 e 18 após a sanção da lei, ou 2029 para as novas conexões desses anos.

Atualmente cada 1 kWh produzido e transmitido gera 1 kWh de crédito para ser consumido, porém com a nova regra se interpreta da seguinte forma: para novos sistemas (após período de transição) um consumidor bifásico que consuma 30 kWh e gere 100 kWh compensará 30 kWh pagando apenas parte da TUSD Fio B e pagará custo de disponibilidade sobre 20 kWh (pagando todas as componentes). O saldo remanescente para os próximos ciclos será de 70 kWh.

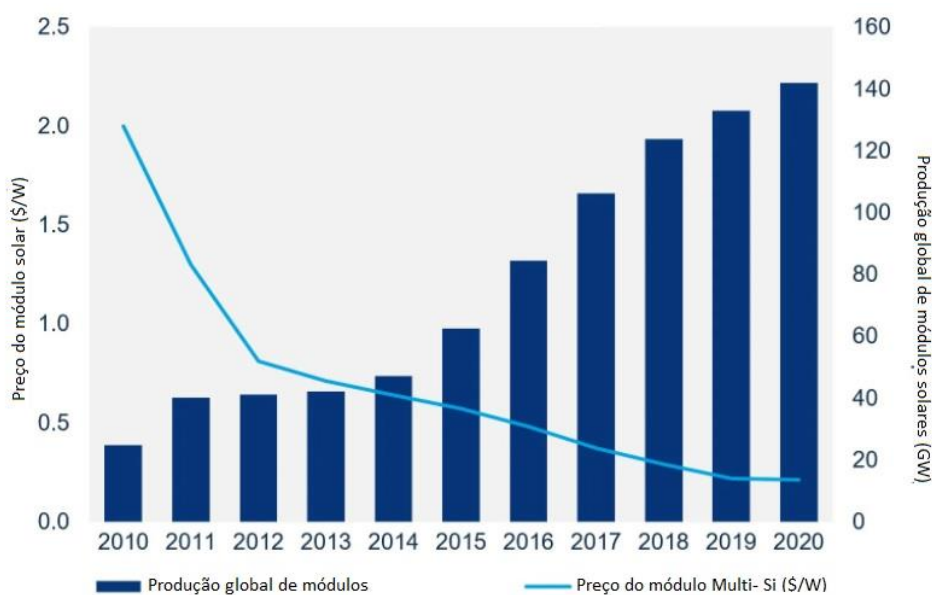
A validade dos créditos fica inalterada, permanecendo em 60 meses, e prevê ainda a possibilidade de comercialização de créditos, porém que ficam a cargo da ANEEL para futuros

critérios de aplicação. Também não foi alterada a tarifa mínima, que é de 30 kWh, 50 kWh e 100 kWh para monofásico, bifásico e trifásico respectivamente.

5.3 Mercado de Fotovoltaicos e Investimentos em Energia Renovável

A geração de energia fotovoltaica é o tipo de geração que mais reduziu seu preço ao longo dos anos. Estimasse que entre dezembro de 2009 e dezembro de 2019 o preço dos módulos foi reduzido entre 87% e 92%. Tal redução pode ser atreladas a vários fatores, os principais sendo a expansão e melhoria na capacidade produtiva e o aumento da eficiência dos módulos. O gráfico abaixo representa a capacidade global de produção de módulos e a queda do preço.

Figura 17 - Comparativo entre capacidade de produção e preço de módulos em US\$/W. Fonte: (GRENTECH, 2019)



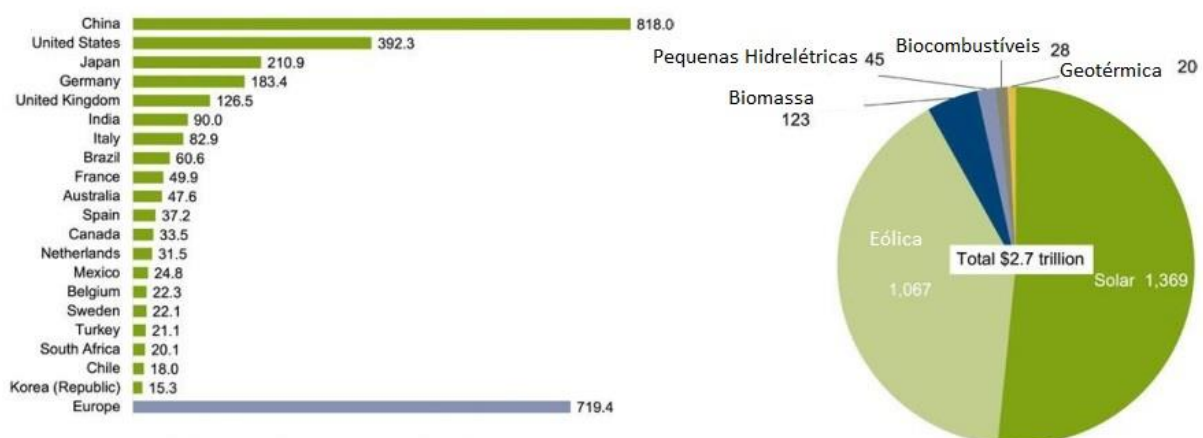
A expansão do mercado fotovoltaico levou a globalização da tecnologia, tendo hoje os principais players do mercado concentrados na china. Estimasse que os 10 maiores produtores de placas solares detêm mais de 75% da fatia de mercado, e apenas 3 delas não são empresas chinesas, a Hanwha Q-cells empresa coreana, a First Solar empresa americana e a Canadian Solar empresa canadense. As demais têm sua sede e produção na China. A tabela abaixo mostra os maiores produtores até 2019.

Tabela 3 - Ranking das maiores produtoras de módulos solares. Fonte: (GLOBAL, 2019)

1	Jinko Solar Holding Co., Ltd.	-	11.4	14.2	25%
2	JA Solar Holdings Co Ltd	-	8.8	10.3	17%
3	Trina Solar Limited	-	8.1	9.7	20%
4	LONGi Solar Technology Co Ltd	-	7.2	9.0	25%
5	Canadian Solar Inc	-	7.1	8.5	20%
6	Hanwha Q CELLS Co., Ltd.	-	5.5	7.3	33%
7	Risen Energy Co., Ltd.	-	4.8	7.0	46%
8	First Solar Inc.	+3	2.7	5.5	104%
9	GCL System Integration Technology Co., Ltd.	-1	4.1	4.8	17%
10	Shunfeng Photovoltaic International Limited	-1	3.3	4.0	21%

Estima-se que entre os anos de 2010 a 2019, os investimentos em energia renovável ao redor do mundo foram de US\$ 2,7 trilhões segundo o relatório (BLOOMBERGNEF, 2020) excluídas as instalações de grandes hidrelétricas. A energia solar se destaca com quase 1,4 trilhões de dólares investidos na década, atraindo mais da metade do valor total investido em fontes renováveis. A figura abaixo demonstra os investimentos por tipo de geração e o investimento de cada país em bilhões de dólares no período.

Figura 18 - Investimento de cada país em bilhões de dólares em fontes renováveis e investimento por tipo de geração. Fonte: (BLOOMBERGNEF, 2020)



5.3.1 Custos de Mercados: Brasil x Alemanha

Segundo o relatório da International Renewable Energy Agency (IRENA, 2020), os valores de instalação de energia fotovoltaica no mundo são demonstrados nas tabelas abaixo.

Tabela 4 - Valores em US\$/ kW médios para instalações residenciais. Fonte: (IRENA, 2020)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Australia	7.715	6.126	4.301	3.670	3.424	2.198	1.988	1.738	1.557	1.380
Brasil				3.947	3.657	3.458	2.664	2.126	1.604	1.350
China			2.823	2.432	2.330	1.672	1.591	1.436	1.079	840
França		9.797	6.950	5.773	4.231	2.359	2.174	1.967	1.771	1.600
Alemanha	4.277	3.634	2.712	2.414	2.229	1.750	1.704	1.645	1.746	1.646
Japão	7.314	7.228	6.237	4.601	3.771	3.313	2.927	2.685	2.361	2.250
Califórnia	7.756	7.325	6.323	5.475	5.155	5.231	5.053	4.529	4.294	4.096
Estados Unidos	7.705	7.049	5.697	4.921	4.954	4.925	4.280	3.844	3.702	3.652

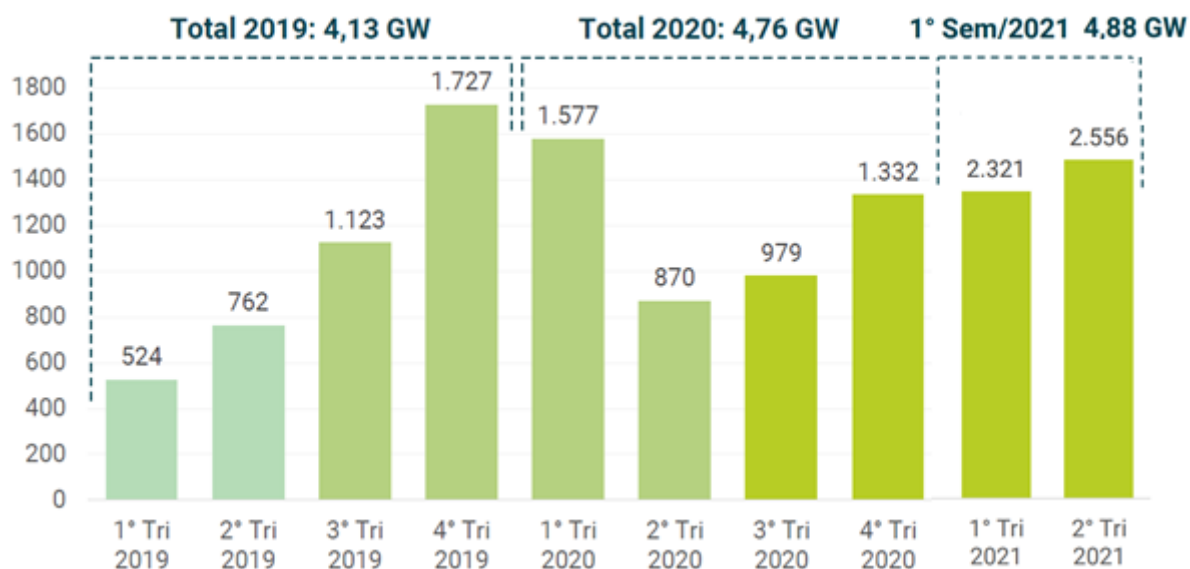
Tabela 5 - Valores em US\$/ kW médios para instalações comerciais. Fonte: (IRENA, 2020)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Australia					2.846	2.222	1.957	1.674	1.562	1.464
Brasil							2.126	1.565	1.228	1.040
China		3.193	2.495	2.118	1.661	1.403	1.285	1.226	936	760
França	8.534	4.145	2.889	2.932	2.880	2.262	1.854	2.138	1.999	1.678
Alemanha		3.496	2.259	1.927	1.691	1.267	1.354	1.290	1.260	1.130
Japão			5.238	4.212	3.122	2.421	2.356	2.269	2.076	1.980
Califórnia (EUA)	6.491	6.267	4.970	4.634	3.668	3.569	3.697	3.505	3.197	3.081

A partir dos dados é possível afirmar que o Brasil possui um menor custo para instalação de geração solar atualmente quando comparado com a Alemanha, porém este é um cenário muito recente, principalmente atribuído a expansão da produção de larga escala da tecnologia, a qual reduziu drasticamente os custos das placas fotovoltaicas.

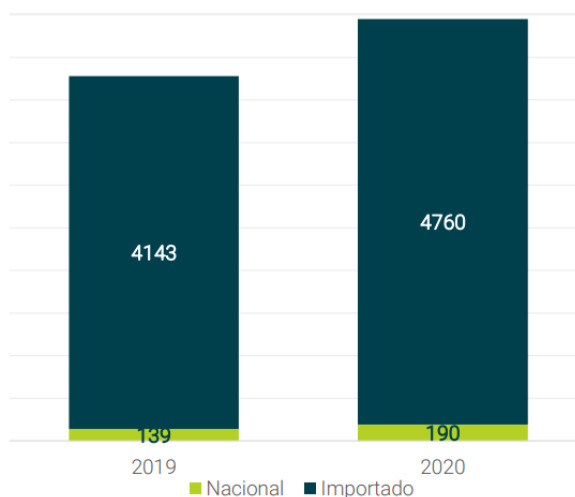
O mercado brasileiro de energia solar é formado majoritariamente por equipamentos importados, segundo os dados do relatório da pesquisa da empresa Greener em 2019, 2020 e 2021 o volume de módulos fotovoltaicos importados em MW é representado na figura abaixo.

Figura 19 - Dados de importação de módulos solares em 2020 e 2021. Adaptado de: (GREENER, 2021)



Desse total em 2020 apenas 3,8 % foram produzidos em solo nacional, e em 2019 apenas 3% conforme disposto na figura abaixo.

Figura 20 - Dados dos módulos nacionais x importados no Brasil em MWp. Adaptado de: (GREENER, 2020)



Os baixos números da indústria nacional são apontados principalmente pelo alto custo de instalar esse tipo de produção no Brasil, tendo em vista que o país não tem uma indústria

consolidada de semicondutores. Os painéis fabricados nacionalmente são apenas montados no Brasil, e tem como objetivo atender a linhas de financiamento do Banco nacional de desenvolvimento econômico e social (BNDES), pois só são aceitos módulos fabricados nacionalmente são contemplados por financiamentos do BNDES.

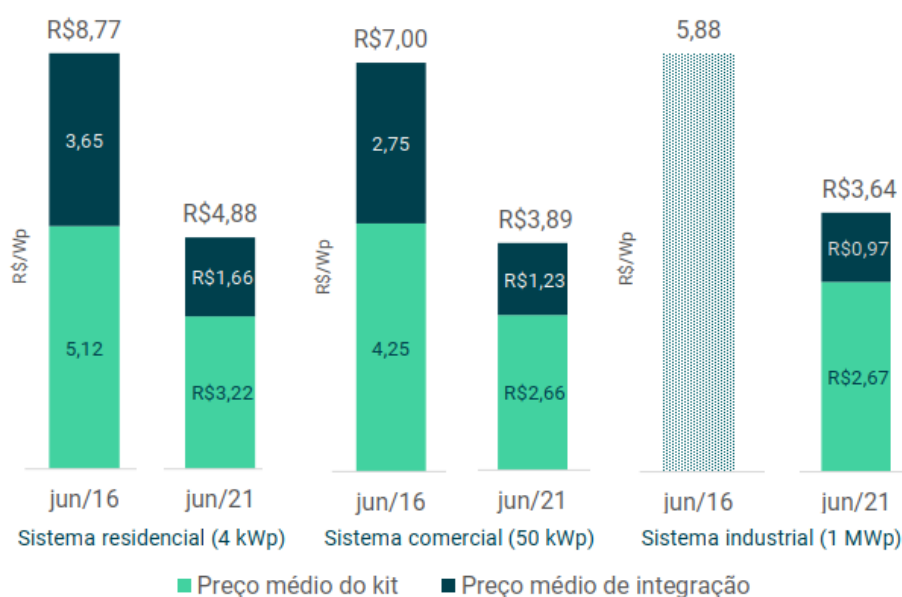
Para os módulos importados, que são vasta maioria no país, é possível obter em bancos públicos ou privados linhas de crédito que financiam 100% da instalação com prazos de até 60 meses para pessoas físicas e prazos chegando a 180 meses para pessoas jurídicas.

Ainda segundo o relatório da (GREENER, 2021) os preços médios para instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil são:

- Sistema residencial de 4 kW_p em média R\$19.520,00, sendo R\$4,88 o W_p
- Sistema comercial de 50 kW_p em média R\$194.520,00, sendo R\$3,89 o W_p
- Sistema industrial de 1 MW_p em média R\$3.640.000,00, sendo R\$3,64 o W_p

Para os sistemas residenciais e comerciais os valores são 44% menores quando comparados com o mesmo período em 2016, e para os sistemas industriais são 38% menores em comparação com 2016.

Figura 21 - Valores médios de instalações residenciais, comerciais e industriais no Brasil. Adaptado de: (GREENER, 2021)



6 CONCLUSÃO

É notável a diferença entre Brasil e Alemanha quando comparadas as capacidades instaladas de geração solar fotovoltaica. É possível atribuir essa diferença a uma série de fatores, sendo os principais o forte subsídio de energia solar pelo governo alemão tendo em vista a suas opções limitadas de fontes renováveis de energia e a necessidade de iniciar a transição energética para cumprir acordos internacionais, e ao elevado custo desse tipo de geração, que passou a se popularizar apenas na última década como uma fonte renovável viável do ponto de vista econômico. No cenário brasileiro, possuindo uma matriz energética baseada em geração hídrica, considerada limpa e renovável, a energia solar fotovoltaica não possuía ganhos que justificassem seu fomento por parte do governo. Após a aprovação da REN 482/2012 foi muito aguardado o *boom* da geração de energia fotovoltaica, porém este veio a acontecer apenas no final da década, onde os preços do W/US\$ instalação de novas capacidades caíram ao seu mínimo histórico, e apesar da alta desvalorização do real frente ao dólar, houve uma expansão considerável da capacidade instalada no país. Face a revolução energética que ocorre no mundo, onde países criam metas de eletrificação de suas frotas e o banimento de carros a combustão e inevitável que a geração solar no Brasil se expanda cada vez mais. Hoje ela compete diretamente com os meios convencionais de geração, sendo em alguns casos até mais vantajosa. Atualmente o incentivo a geração solar fotovoltaica no Brasil é a isenção de impostos de importação dos módulos e inversores que foi zerada em agosto de 2020 com a intenção de fomentar um aumento nos investimentos do setor, visto que a grande parcela da capacidade instalada é importada. Esse incentivo levou a instalações recordes no país, que expandiu significativamente sua capacidade fotovoltaica em 2020, apesar da desvalorização do real frente ao dólar no período. A geração fotovoltaica pode ser considerada a saída do Brasil para a crise energética que o país enfrenta silenciosamente, ao passo que o incentivo de instalação de capacidades de geração distribuída poderia colocar em desuso grande parte dos consumidores, retirando a sobrecarga imposta na dependência da geração hidrelétrica, que passa por um momento de crise sazonal muito similar a crise do apagão de 2001. Além disso, o mundo encontra-se na transformação do seu modal de transportes, tendo um crescimento acentuado ano após ano de veículos elétricos, que tendem a se popularizar nas próximas décadas. Fica evidenciado que o país necessita de um alto investimento no setor elétrico nos próximos anos, principalmente no setor fotovoltaico, que ainda possui um grande potencial de crescimento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. **Infográfico ABSOLAR - Setembro 2021**. [S. l.], 2021. Available at: <https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2021/09/2021.09.17-Infografico-ABSOLAR-no-35-.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

ANEEL. **Resolução nº 482/2012 da ANEEL**. Brasil, 2012. Available at: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

ANEEL. **Resolução nº 687/2015 da ANEEL**. Brasil, 2015. Available at: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

BLOOMBERGNEF; FRANKFURT SCHOOL-UNEP. **Global Trends in Renewable Energy Investment 2020**. [S. l.], 2020. Available at: https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf. Acesso em: 5 nov. 2021.

BP STATISTICAL. **Share of electricity production by source, World**. [S. l.], 2021. Available at: <https://ourworldindata.org/grapher/share-elec-by-source>. Acesso em: 3 nov. 2021.

EEG. **(Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) 2000 Lei de energias renováveis**. Deutschland, 2000. Available at: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl100s0305.pdf%27%5D__1634664303159. Acesso em: 19 out. 2021.

EEG. **(Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) 2004 Lei de energia renováveis**. Deutschland, 2004. Available at: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&start=//%255B@attr_id=%27bgbl108s2074.pdf%27%255D#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl103s3074.pdf%27%5D__1636044470889. Acesso em: 4 nov. 2021.

EEG. **(Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) 2009 Lei de energia renováveis** Deutschland: 2009. Available at: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl108s2074.pdf. Acesso em: 4 nov. 2021.

EEG. **(Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) 2010 Emenda PV act**. Deutschland, 2010. Available at: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl110s1

170.pdf. Acesso em: 4 nov. 2021.

EEG. (**Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG**) **2012 Lei de energia renováveis**. Deutschland, 2012. Available at: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl111s1634.pdf. Acesso em: 4 nov. 2021.

EEG. (**Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG**) **2013 Emenda PV Act**. Deutschland, 2013. Available at: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl112s1754.pdf. Acesso em: 20 out. 2021.

EEG. (**Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG**) **2014 Lei de energia renováveis**. Deutschland, 2014. Available at: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Gesetze-Verordnungen/eeg_2014_engl.pdf;jsessionid=A85BA0EC6FC2274BA053998176070B43?__blob=publicationFile&v=4. Acesso em: 4 nov. 2021.

EEG. (**Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG**) **2017 Lei de energia renováveis**. Deutschland, 2017. Available at: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl116s2258.pdf. Acesso em: 4 nov. 2021.

EEG. (**Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG**) **2021 Lei de energia renováveis**. Deutschland, 2021. Available at: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl120s3138.pdf. Acesso em: 5 nov. 2021.

EPE, E. de P. E. **Balanço Energético Nacional 2020: Relatório síntese, ano base 2019**. Brasil, 2020. Available at: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 19 out. 2021.

EPE, E. de P. E. **Balanço Energético Nacional 2021: Relatório síntese, ano base 2020**. Brasil, 2021. Available at: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_Síntese_2021_PT.pdf. Acesso em: 19 out. 2021.

G. N. TIWARI; DUBEY, S. **Fundamentals of Photovoltaic Modules and their Applications**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2009. Available at:

<https://doi.org/10.1039/9781849730952>

GLOBAL, D. **Global solar PV module shipment rank**. [S. l.], 2019. Available at: <https://www.globaldata.com/chinas-jinkosolar-preserves-its-leading-global-solar-pv-module-shipment-rank-in-2019/>. Acesso em: 5 nov. 2021.

GREEN, M. A. **Silicon photovoltaic modules: A brief history of the first 50 years**. [S. l.: s. n.], 2005. Available at: <https://doi.org/10.1002/pip.612>

GREENER. Relatório Greener GD 2021. [s. l.], 2021. Available at: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-1-semester-de-2021/>

GREENTECH. **Solar Technology Got Cheaper and Better in the 2010s. Now What?**. [S. l.], 2019. Available at: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-has-become-cheaper-and-better-in-the-2010s-now-what>. Acesso em: 5 nov. 2021.

IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2019**. [S. l.: s. n.], 2020. ISSN 1476-4687. *E-book*.

ISE, F. **Energy Charts - Germany electric generation**. [S. l.], 2021. Available at: <https://energy-charts.info/index.html?l=de&c=DE>. Acesso em: 19 out. 2021.

LAFOND; IRENA. **Solar PV module prices**. [S. l.], 2021. Available at: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>. Acesso em: 3 nov. 2021.

PALZ, W. Power for the world: the emergence of electricity from the sun. **Choice Reviews Online**, [s. l.], v. 48, n. 12, p. 48-6931-48-6931, 2011. Available at: <https://doi.org/10.5860/CHOICE.48-6931>

PALZ, W. **The Triumph of the Sun**. [S. l.: s. n.], 2018. Available at: <https://doi.org/10.1201/9780429488641>

PALZ, W. **The Triumph of the Sun in 2000–2020**. [S. l.: s. n.], 2019. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781003000860>

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. [S. l.: s. n.], 2014. *E-book*.

SILVA, B. G. da. Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional: uma análise histórica e econométrica de longo prazo. [s. l.], p. 162, 2011. Available at:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12032012-091848/>