

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**HEITOR ALEXANDRINO CHIQUETI**

**Regulamentação e Geração de Energia em Usinas  
Fotovoltaicas Centralizadas no Brasil**

Ilha Solteira  
2023

**HEITOR ALEXANDRINO CHIQUETI**

**Regulamentação e Geração de Energia em Usinas  
Fotovoltaicas Centralizadas no Brasil**

Trabalho de Graduação apresentado à  
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –  
UNESP como parte dos requisitos para  
obtenção do título Engenheiro Eletricista.

Nome do orientador

**PROF. DR. CARLOS ANTONIO ALVES**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C541r Chiqueti, Heitor Alexandrino.  
Regulamentação e geração de energia em usinas fotovoltaicas centralizadas no Brasil / Heitor Chiqueti. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023  
64 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -  
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Carlos Antonio Alves

Inclui bibliografia

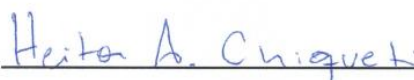
1. História da energia solar. 2. Geração centralizada. 3. Análise de crescimento do mercado de energia solar.

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

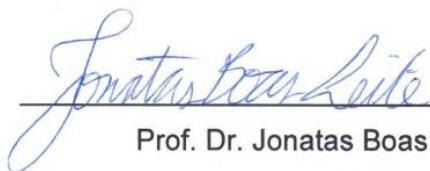
Aos vinte e quatro dias do mês de novembro do ano de dois mil e vinte e três, o discente **Heitor Alexandrino Chiqueti**, matriculado sob o nº 161050409, tendo como banca examinadora o seu orientador, o *Prof. Dr. Carlos Antonio Alves*, o *Prof. Dr. Jonatas Boas Leite* e o *Doutorando Rodrigo Serra Daltin*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "**Regulamentação e Geração de Energia em Usinas Fotovoltaicas Centralizadas no Brasil**", obtendo a nota **9,0 (Nove)** e conceito **APROVADO**.



Prof. Dr. Carlos Antonio Alves  
- Orientador -



Heitor Alexandrino Chiqueti  
- Discente -



Prof. Dr. Jonatas Boas Leite  
- Membro da Banca -



Doutorando Rodrigo Serra Daltin  
- Membro da Banca -

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus amigos de república e colegas de turma, que tornaram essa experiência única e inesquecível, expressei minha profunda gratidão. Sua companhia e apoio foram fundamentais ao longo dessa jornada acadêmica.

Aos docentes que fizeram parte da minha formação acadêmica, profissional durante as aulas e como pessoa, agradeço imensamente por serem fontes inspiradoras. Suas orientações e conhecimentos contribuíram significativamente para o meu crescimento.

Não posso deixar de agradecer minha família, que sempre acreditou em mim e tornou possível minha formação, oferecendo apoio incondicional. Seu amor e suporte foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Gostaria de estender meus agradecimentos ao Professor Dr. Carlos Alves, que me orientou durante o desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação e confiança em mim foram valiosas e fizeram toda a diferença.

Por fim, agradeço a mim mesmo por nunca ter desistido dessa graduação.

A todos vocês, meu sincero agradecimento. Sem seu apoio e incentivo, esta conquista não seria possível.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o mercado e o crescimento das usinas fotovoltaicas no Brasil em comparação com o cenário mundial. Utilizando-se de diversas fontes literárias para corroborar com os pontos abordados durante o trabalho. Dentro do contexto, em que, os combustíveis fósseis são os principais contribuidores para a mudança climática global, e a transição para fontes renováveis é fundamental e urgente na redução das emissões de gases de efeito estufa, além de, diminuir a dependência de fontes únicas de energia e assim, mitigar os riscos de possíveis faltas de energia. A energia solar fotovoltaica apresenta um grande potencial no Brasil e no mundo, impulsionada por incentivos governamentais e leilões específicos para essa fonte de energia. O estudo utiliza-se de dados de crescimento e acúmulo de capacidade de potência instalada de instituições reconhecidas, como a ANEEL, EPE, IEA, IRENA e *SolarPower Europe*, e aborda aspectos relacionados à legislação, desafios e tendências desse setor. Com o objetivo final de comparar o cenário do mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica, as tendências e desafios, com os países que lideram os rankings de crescimento e capacidade acumulada mundialmente. Nota-se evidente diferença do perfil de crescimento e tendências do Brasil em comparação com países como China, EUA e Índia. As nuances dos projetos em cada país explicitam comprometimento dos governos citados na mudança de suas respectivas matrizes energéticas elétricas com grandes esforços e investimentos no segmento de usinas solares de geração centralizada, enquanto o Brasil se desenvolve no setor de maneira mais orgânica, uma vez que a sua matriz já conta com mais de 80% de fontes renováveis, com um crescimento mais expressivo no segmento da geração distribuída. O objetivo final é fornecer uma análise sobre a evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil, considerando o seu contexto nacional e comparando-o com o panorama global.

**Palavras-chave:** História da energia solar, geração centralizada, análise de crescimento do mercado de energia solar.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to analyze the market and the growth of photovoltaic plants in Brazil in comparison with the world scenario. It uses various literary sources to corroborate the points raised during the work. In a context where fossil fuels are the main contributors to global climate change, the transition to renewable sources is fundamental and urgent in order to reduce greenhouse gas emissions and reduce dependence on single sources of energy, thus mitigating the risks of possible energy shortages. Photovoltaic solar energy has great potential in Brazil and worldwide, driven by government incentives and specific auctions for this energy source. The study uses data on growth and accumulation of installed power capacity from recognized institutions such as ANEEL, EPE, IEA, IRENA and SolarPower Europe, and addresses aspects related to legislation, challenges and trends in this sector. The final objective is to compare the Brazilian photovoltaic solar energy market, trends and challenges with the countries that lead the world in terms of growth and accumulated capacity. There is a clear difference in Brazil's growth profile and trends compared to countries such as China, the USA and India. The nuances of the projects in each country show that the governments mentioned are committed to changing their respective electricity matrices with major efforts and investments in the segment of centralized generation solar plants, while Brazil is developing in the sector in a more organic way, since its matrix already has more than 80% renewable sources, with more expressive growth in the distributed generation segment. The final objective is to provide an analysis of the evolution of photovoltaic solar energy in Brazil, considering its national context and comparing it with the global panorama.

**Keywords:** History of solar energy, centralized generation, growth analysis of the solar energy market.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	- Previsão de capacidade de potência acumulada por fonte de geração.....	13
<b>Figura 2</b>	- Distribuição da matriz de energia elétrica do Brasil em 2021.....	14
<b>Figura 3</b>	- Potencial brasileiro em termos de rendimento de geração solar fotovoltaica.....	15
<b>Figura 4</b>	- Esquema didático da construção de um painel fotovoltaico.....	19
<b>Figura 5</b>	- Esquema básico de uma usina heliotérmica.....	20
<b>Figura 6</b>	- Capacidade Instalada (MW) por Tipo de Usina no Brasil em 2006.....	23
<b>Figura 7</b>	- Preço (dólares) por Watt dos painéis fotovoltaicos ao longo do tempo.....	25
<b>Figura 8</b>	- Geração atual e projeção da energia solar no mundo por segmento.....	29
<b>Figura 9</b>	- Esquema didático de funcionamento de uma usina fotovoltaica.....	30
<b>Figura 10</b>	- Potência Instalada (MW) de energia solar fotovoltaica por estado.....	34
<b>Figura 11</b>	- Fotografia aérea do maior complexo solar do Brasil - Janaúba..	39
<b>Figura 12</b>	- Histórico matriz energética nacional de 2000 até 2022 em MWmed.....	42
<b>Figura 13</b>	- Capacidade instalada de geração de energia renovável em 2022.....	48
<b>Figura 14</b>	- Top 10 países em termos de crescimento de mercado solar fotovoltaico.....	48
<b>Figura 15</b>	- Previsão da capacidade acumulada de geração fotovoltaica no Brasil.....	51
<b>Figura 16</b>	- Crescimento anual do mercado Chinês de energia solar fotovoltaica.....	52
<b>Figura 17</b>	- Previsão do acúmulo de capacidade instalada de energia solar na Índia.....	55
<b>Figura 18</b>	- Projeção do crescimento da geração solar fotovoltaica por segmento.....	56

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
BEN	Balanco Energético Nacional
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CPIA	China Photovoltaic Industry Association
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GSC	Global Solar Council
IEA	International Energy Agency
IRENA	International Renewable Energy Agency
MME	Ministério de Minas e Energia
NSEFI	National Solar Energy Federation of India
ONU	Organização das Nações Unidas
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PPA	Power Purchase Agreement
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
SIGA	Sistema de Informações de Geração da ANEEL
SPE	SolarPower Europe

SEIA Solar Energy Industries Association

Unesp Universidade Estadual Paulista

## LISTA DE SÍMBOLOS

G	Giga - $10^9$
k	Quilo - $10^3$
M	Mega - $10^6$
W	Watts - medida de potência
Wp	Watts pico - medida de potência máxima
Wmed	Watts médio - medida de potência média

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1. Contexto energético global.....	12
1.2. Contexto energético brasileiro.....	14
1.3. Objetivos do trabalho.....	16
<b>1.3.1. Objetivo geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
1.4. Organização do trabalho.....	17
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1. A Energia Solar.....	18
<b>2.1.1. A tecnologia da geração solar e fotovoltaica.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2. História da geração solar e fotovoltaica.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.3. História da geração fotovoltaica no Brasil.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.4. Tipos de geração de energia solar.....</b>	<b>27</b>
2.2. Geração Centralizada de energia solar.....	29
2.3. Contexto da Geração Centralizada de energia fotovoltaica no Brasil.....	33
<b>2.3.1. Panorama das usinas solares no Brasil.....</b>	<b>36</b>
<b>3. MARCOS LEGAIS DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>40</b>
3.1. Principais Leis e Resoluções Normativas da Geração Distribuída.....	40
3.2. Principais Leis e Resoluções Normativas da Geração Centralizada.....	44
<b>4. PERSPECTIVAS DO MERCADO GLOBAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>47</b>
4.1. Panorama do mercado brasileiro de energia solar.....	49
4.2. Panorama do mercado chinês de energia solar.....	51
4.3. Panorama do mercado estadunidense de energia solar.....	53
4.4. Panorama do mercado indiano de energia solar.....	54
4.5. Panorama do mercado europeu de energia solar.....	55
4.6. Panorama do mercado global de energia solar.....	56
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contexto energético global

Os combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás são os maiores contribuidores para a mudança climática global, responsáveis por mais de 75% das emissões globais de gases de efeito estufa e quase 90% de todas as emissões de dióxido de carbono (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2021).

A mudança climática vem trazendo grandes impactos ambientais ao longo das últimas décadas, alterando ecossistemas e regimes de precipitações, causando secas mais severas e irregulares (SOUZA, BARBOSA; COSTA, 2015), atingindo diretamente o crescimento da economia mundial, a fome e a segurança das pessoas, uma vez que essas mudanças no clima prejudicam a agricultura e causam diversos desastres ambientais muitas vezes irreversíveis.

Diante do cenário do aquecimento global, causado pelas mudanças climáticas, a Organização das Nações Unidas promove ao final de cada ano uma conferência mundial sobre o assunto, reunindo os países para discutir o tema e propor uma série de decisões que os participantes devem seguir a fim de atingir os objetivos propostos pela conferência, e assim, mitigar os danos causados pelo aquecimento global.

Atualmente, a geração de energia a partir de fontes renováveis representa 29% da matriz energética mundial, enquanto que a partir de combustíveis fósseis ainda representa 71%. Com o intuito de reduzir o impacto das mudanças climáticas, os índices de emissão de gases carbono precisam ser reduzidos pela metade até 2030, e chegar a zero até 2050 (ONU, 2021). As energias renováveis possuem um papel fundamental na transformação e transição da matriz energética mundial. E portanto, a eletricidade renovável e limpa precisa se expandir mais rapidamente para atingir a meta de redução de emissão de gases de efeito estufa até 2050, em que a participação da geração renovável precisa aumentar de 29% (2021) para mais de 60% até 2030.

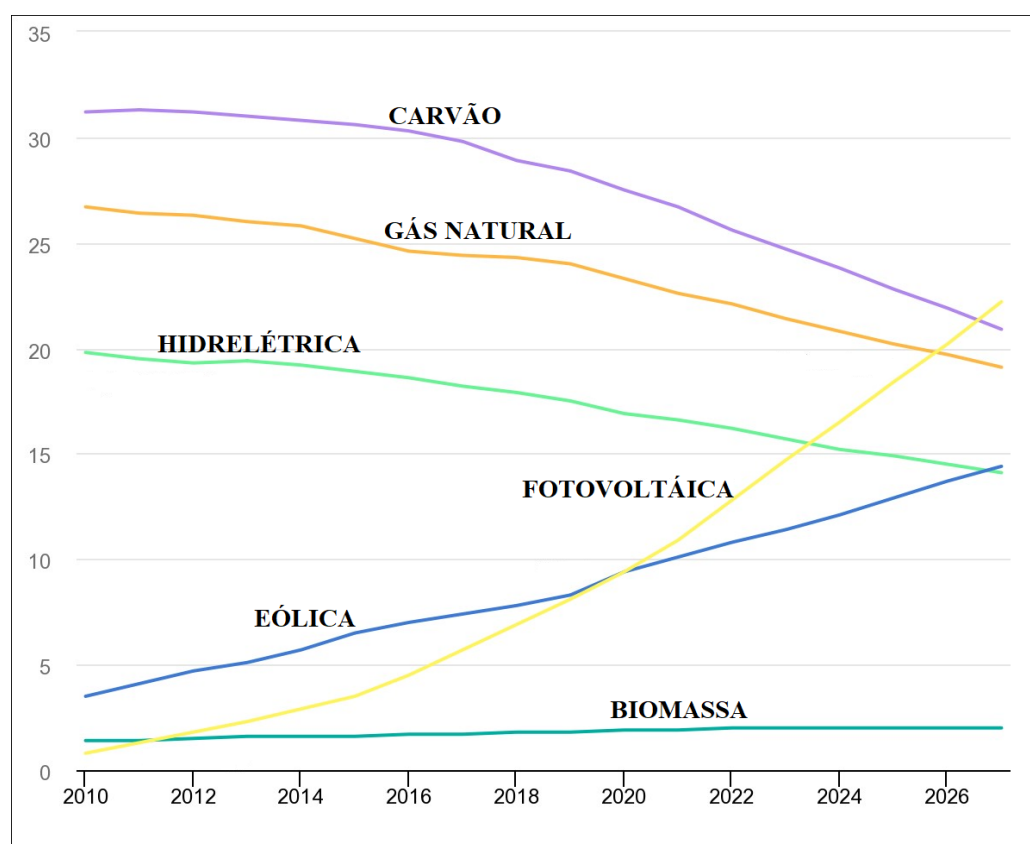
Contudo, a adoção dessas fontes de energias renováveis sofreu uma desaceleração em 2021 devido à demanda global de eletricidade atingir seu nível

mais alto da história, com a recuperação da atividade econômica após a desaceleração relacionada à Covid-19, e as secas em várias regiões diminuíram a geração de energia hidrelétrica (IEA, 2021), o que torna ainda mais urgente o investimento e incentivos nessas formas de geração de energia limpas e renováveis alternativas à geração hidrelétrica.

Como descrito anteriormente, a energia solar pode proporcionar uma grande oportunidade de transformação de geração de energia, visto que ainda há muito potencial a ser explorado. Além disso, apesar do custo de implementação ter aumentado durante os últimos anos devido a uma elevação global dos preços das commodities, a energia solar ainda é uma das opções mais promissoras em termos de participação de geração de energia na maioria dos países ao redor do mundo.

A expectativa, conforme apresentado na Figura 1, de crescimento da geração de energia solar é de que se torne protagonista nessa mudança na matriz energética global até 2027.

Figura 1: Previsão de capacidade de potência acumulada por fonte de geração.



Fonte: Adaptado de IEA (2022).

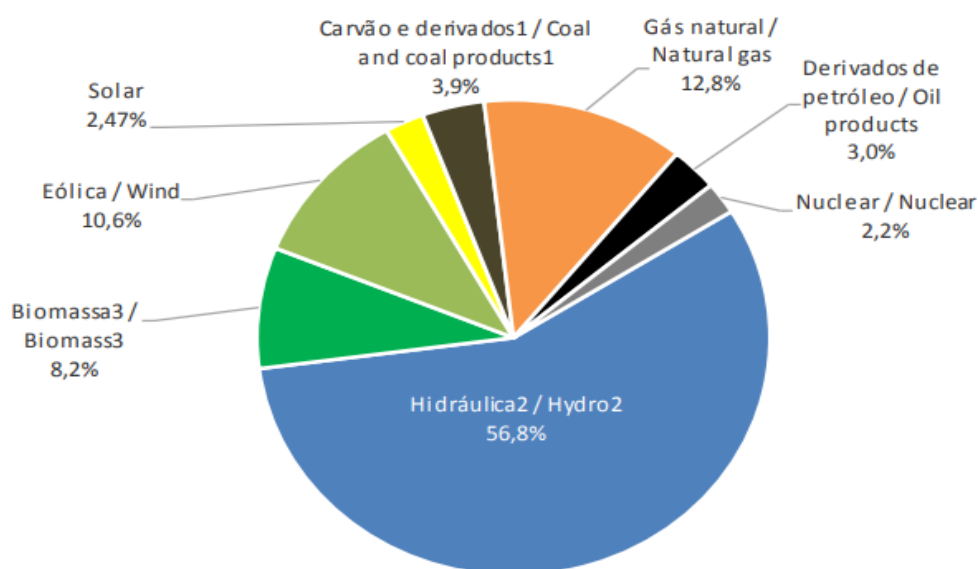
## 1.2. Contexto energético brasileiro

No Brasil, o contexto energético destoa significativamente do cenário mundial, o país é referência no quesito de uso de fontes renováveis na geração de energia elétrica, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022 (BRASIL, 2022) e apresentado na Figura 2.

A maior parcela da geração de energia no país é de origem renovável, principalmente pela contribuição da geração hidrelétrica, e isso se deve a uma série de fatores, como o perfil geográfico do Brasil, que tem grande potencial para a geração de energia hidrelétrica, eólica e solar.

Todavia, a demanda por mais energia aumenta gradativamente ano após ano, e há um limite na oferta de energia hidrelétrica, uma vez que esta depende de características geológicas bastante específicas, além de causar um elevado impacto ambiental e envolver uma grande complexidade e custo na construção destes empreendimentos. (CUSTÓDIO et al., 2022).

Figura 2: Distribuição da matriz de energia elétrica do Brasil em 2021.



Fonte: BEN (2022).

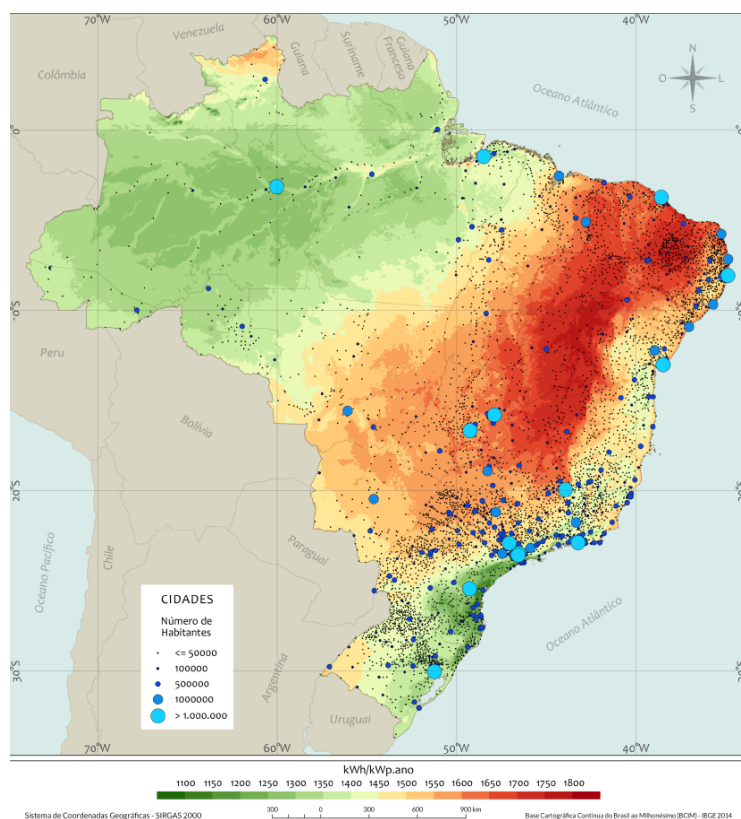
Diante do cenário descrito, outras fontes de energia renováveis se tornam bastante interessantes do ponto de vista de viabilidade econômica e de potencial a ser explorado, por exemplo, geração eólica e solar.

O Brasil, por ter dimensões continentais, é bastante privilegiado no tocante ao potencial fotovoltaico, uma vez que, em território brasileiro, o local menos ensolarado tem mais incidência solar do que o local mais ensolarado da Alemanha (ATLAS SOLAR, 2017).

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Brasil recebe mais de 2.200 horas anuais de insolação, o que pode equivaler a cerca de 15 trilhões de megawatts, o que representa uma capacidade expressiva para suprir a crescente demanda por energia no país. Além de ser uma fonte inesgotável e bastante sustentável de geração de energia elétrica.

Na Figura 3, exibe-se um mapa que representa o potencial de geração de energia solar fotovoltaica em termos de rendimento energético anual em todo o território brasileiro. O cálculo estimativo, medido em kWh/kWp.ano e representado por meio de um perfil de cores, leva em consideração uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixos, bem como a distribuição da população brasileira nas áreas urbanas.

Figura 3: Potencial brasileiro em termos de rendimento de geração solar fotovoltaica.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

É interessante observar que a maior parte da população está mais próxima das regiões com maior potencial de geração de energia solar fotovoltaica, o que demonstra uma vantagem geográfica, uma vez que o custo de transmissão de energia pode inviabilizar a exploração dessa fonte, mas no caso do Brasil a maior parte do mercado consumidor está relativamente próxima das principais áreas com maior potencial e interesse de exploração.

### **1.3. Objetivos do trabalho**

O trabalho tem como principal escopo apresentar uma análise sobre a evolução e crescimento da implementação de usinas fotovoltaicas no Brasil, como também analisar o mercado brasileiro de energia, a legislação vigente e tendências e comparar com o mundo.

#### **1.3.1. Objetivo geral**

Analisar o mercado e a evolução do crescimento de usinas fotovoltaicas no Brasil e no mundo.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Análise do contexto de geração solar mundial e nacional;
- Análise da história da geração solar no Brasil e no mundo;
- Análise de dados sobre potencial de geração centralizada de energia fotovoltaica e seu crescimento;
- Análise do mercado interno, legislação brasileira e tendências sobre geração fotovoltaica centralizada;
- Comparar volumes de geração, desafios e tendências do Brasil com os principais mercados solares do mundo.

#### **1.4. Organização do trabalho**

Este trabalho consiste no estudo do contexto nacional da geração centralizada de energia fotovoltaica: na análise do crescimento da implementação nos últimos anos, legislação vigente, desafios e tendências, e novos projetos, a fim de comparar com o cenário mundial.

No capítulo de revisão de literatura são abordados tópicos desde conceitos básicos acerca da tecnologia, os tipos de geração mais abrangentes e um pouco do contexto nacional das usinas e o panorama dos principais complexos solares no país, como também a história da evolução da tecnologia e uso da energia solar pela humanidade.

No capítulo sobre os marcos legais da geração de energia solar fotovoltaica no Brasil se tem um panorama de como as resoluções normativas da Aneel e as leis sancionadas pelo governo federal até 2023 impactaram no crescimento da adoção da tecnologia, e também as tendências e os desafios do setor.

Por fim, no capítulo sobre as perspectivas do mercado global de energia solar fotovoltaica se tem uma macro análise do contexto atual e das tendências e desafios dos principais mercados de energia solar ao redor do mundo, e compara as capacidades de potência instalada acumuladas até então, o crescimento da adoção e implementação da tecnologia e o perfil e nuances de cada mercado citado.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Este capítulo aborda tópicos relacionados à energia solar fotovoltaica, desde o surgimento da tecnologia e funcionamento, no cenário global até a história no Brasil, incluindo alguns marcos importantes. Em seguida, são examinadas as diversas formas de exploração dessa fonte de energia, com foco na compreensão dos benefícios e desafios da geração centralizada, especialmente no contexto brasileiro. Ainda aborda a legislação vigente e as expectativas para o futuro das usinas fotovoltaicas e da geração de energia solar como um todo.

### **2.1. A Energia Solar**

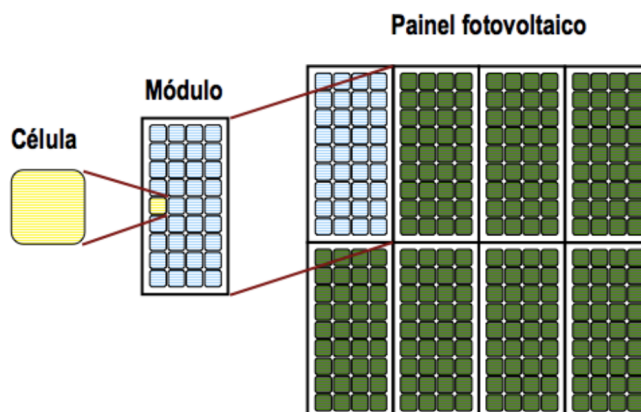
#### **2.1.1.A tecnologia da geração solar e fotovoltaica**

Existem diversas maneiras e tecnologias para explorar e capturar a energia solar. Uma das abordagens é o uso de painéis fotovoltaicos que por meio do efeito fotoelétrico, têm a capacidade de absorver fótons (partículas de luz) e consequentemente liberar elétrons no material dos painéis, gerando corrente elétrica.

De acordo com Carneiro (2010), em seu trabalho sobre módulos fotovoltaicos, características e associações, um painel fotovoltaico é composto por módulos, que são grupos de células solares (ou fotovoltaicas) conectadas, geralmente em série, para aumentar a tensão total do sistema e garantir que a potência gerada seja suficiente para aplicações práticas. Isto é essencial, visto que as células individuais, em geral, não ultrapassam a potência de 3 W.

Na Figura 4, tem-se um esquema didático para o entendimento da construção de painéis fotovoltaicos.

Figura 4: Esquema didático da construção de um painel fotovoltaico.



Fonte: Carneiro (2010).

Vale ressaltar que, embora seja comum associar as células e módulos de um painel em série para aumentar a tensão do sistema, uma ligação mista, com algumas associações em série enquanto outras são ligadas em paralelo, pode ser interessante para buscar corrente e tensão adequadas para fins reais e talvez mais específicos de aplicação da tecnologia.

As células solares são dispositivos semicondutores que geralmente são fabricados a partir de materiais como silício monocristalino, policristalino ou amorfo, além de outros semicondutores de camada fina. A diferença entre os materiais utilizados para as células solares impacta diretamente na eficiência, custo e finalidade.

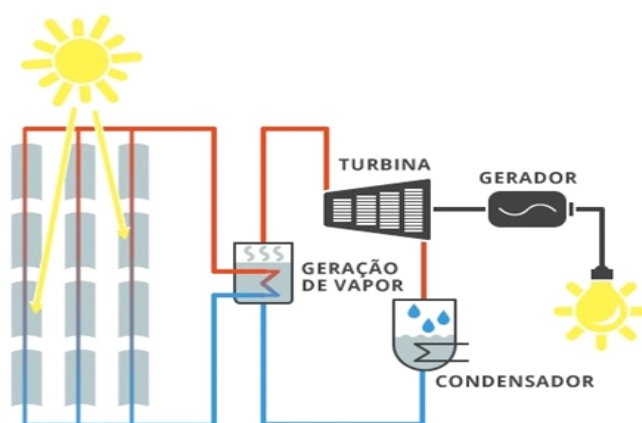
O silício monocristalino é o mais eficiente, com uma eficiência média de 19%, porém, é mais caro devido ao processo de fabricação complexo. O silício policristalino, sendo o mais comum, possui um custo de produção menor e uma eficiência média de cerca de 16,75%. Já o silício amorfo, com sua estrutura cristalina desordenada, apresenta uma eficiência média de 8,5% e é o material mais econômico dos três. Painéis solares fabricados com silício amorfo são finos e flexíveis, o que pode ser vantajoso para aplicações específicas, como painéis integrados a vidros de edifícios (Iberdrola, 2023).

Além do esquema representado na Figura 4, há outros métodos que exploram as características térmicas da energia solar. Os aquecedores solares, por exemplo, aquecem água por meio de painéis que absorvem a radiação solar, aquecendo um

reservatório de água e podem ser empregados em aplicações domésticas, reduzindo gastos residenciais com a conta de luz.

Ainda na linha da energia térmica, existe uma terceira abordagem, as usinas heliotérmicas (conhecidas mundialmente como “*Concentrated Solar Power*” - CSP - e em português como energia solar térmica concentrada). Essas usinas utilizam painéis solares (heliostatos, espelhos ou coletores) para converter energia solar em eletricidade, atuando como pequenas usinas termelétricas, aquecendo água até o ponto de ebulição para gerar vapor, que movimenta uma turbina conectada a um gerador capaz de produzir eletricidade, como representado na Figura 5.

Figura 5: Esquema básico de uma usina heliotérmica.



Fonte: Portal solar (2023).

### 2.1.2.História da geração solar e fotovoltaica

É possível identificar fortes indícios de que a energia solar já era utilizada em algum nível por nossos antepassados há pelo menos 2700 anos. No século VII a.C., já se empregava vidro para acender fogueiras, e 400 anos mais tarde, no século III a.C., tanto gregos quanto romanos faziam uso de lentes para acender tochas em contextos religiosos (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, [s.d.]).

Há relatos também de que, cem anos após, no século II a.C., ainda na Grécia, o renomado cientista Arquimedes utilizou propriedades reflexivas de escudos de cobre para concentrar a luz solar e incendiar navios romanos, que bloqueavam os portos de Siracusa.

Embora não haja evidências concretas desse feito, recentemente, por volta de meados da década de 1970, a Marinha Grega recriou o experimento e conseguiu incendiar uma embarcação a 50 metros de distância. Ilustrando que a relação entre o Homo sapiens e a energia solar não é tão recente como se poderia supor, e além destes ainda existem dezenas de outros marcos (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, [s.d.]).

No entanto, apesar de contar com muitos outros marcos importantes para a evolução da tecnologia ao longo da história e, conseqüentemente, da exploração da energia solar da maneira como é conhecida atualmente, foi somente em 1839 que o cientista francês Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico, marcando o início da história contemporânea da energia fotovoltaica (OLIVEIRA et al., 2022).

Enquanto Becquerel estava estudando a fosforescência, sendo a emissão da luz por um material, após ter sido exposto à luz. Observando um eletrodo de platina exposto à luz solar era capaz de gerar uma corrente elétrica. O experimento é considerado a primeira célula solar da história.

Cerca de duas décadas depois, em 1861, um outro cientista francês e também considerado pioneiro da energia solar, o matemático Augustin Mouchot, propôs a ideia de um motor solar a vapor, na época, Augustin já acreditava que a energia solar era uma fonte renovável e inesgotável, e nos anos seguintes, juntamente com seu assistente, dedicaram-se a construção do primeiro motor solar a vapor.

E em 1866, Augustin construiu um motor capaz de gerar até 12 cavalos de potência, considerado um predecessor dos coletores parabólicos, que foi citado neste trabalho no tópico em que se discutiu as usinas heliotérmicas (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, [s.d.]).

No início da década de 1890, outro pioneiro da energia solar, o inventor Clarence Kemp, patenteou o primeiro aquecedor solar de água, tornando-se assim, uma das primeiras aplicações reais da energia solar térmica da história (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, [s.d.]).

No século IX, houve maiores avanços e participação de figuras ilustres do mundo acadêmico na evolução da tecnologia. Em 1905, por exemplo, Albert Einstein publicou, junto com seu artigo sobre a teoria da relatividade, um artigo sobre o efeito

fotoelétrico. Em seu artigo ele explicou como a luz era capaz de ser usada para liberar elétrons em superfícies metálicas (KAKU, 2018).

E, cerca de uma década após, outro cientista, Robert Millikan, provou experimentalmente o efeito fotoelétrico citado por Einstein. Pouco tempo depois, em 1918, o cientista polones Jan Czochralski, desenvolveu uma forma de fabricar silício monocristalino. Três anos depois, em 1921, Albert Einstein recebeu o prêmio Nobel por suas teorias, explicando o efeito fotoelétrico (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, [s.d.]).

Após o artigo e a comprovação, o contexto geopolítico mundial mudou drasticamente, primeiro com a fatídica quebra da bolsa de valores em 1929, e pouco tempo depois com o advento da segunda grande guerra. Mas os avanços na tecnologia seguiram, e em 1954, a tecnologia fotovoltaica como é conhecida atualmente, nasceu com a criação da primeira célula fotovoltaica de silício capaz de converter energia suficiente do sol para aplicações reais, construída pela indústria norte-americana na Bell Labs, por Daryl Chapin, Gerald Pearson e Calvin Fuller, possuía uma eficiência média de 6% (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, [s.d.]).

No ano seguinte, outra indústria norte-americana - a Western Electric - passou a comercializar células fotovoltaicas, e depois disso a tecnologia continuou a avançar a passos largos por despertar forte interesse econômico, e então a eficiência das células aumentou cada vez mais. Até que, em 1999, o mundo atingiu um recorde de capacidade fotovoltaica instalada de 1000 Megawatts, e a eficiência das células solares já era capaz de atingir 18% de eficiência (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, [s.d.]).

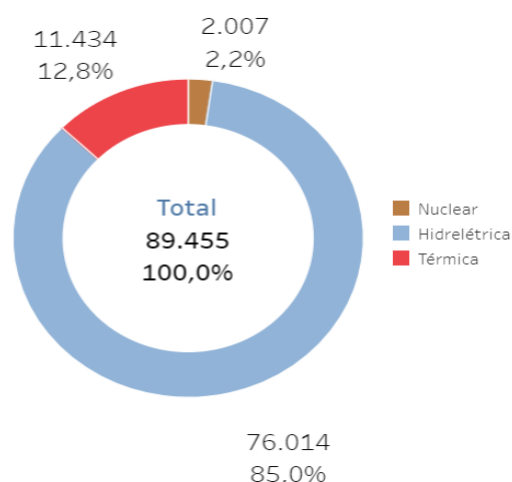
Depois disso o interesse e aplicações da tecnologia avançou e vem avançando cada vez mais. A NASA utiliza painéis solares na estação espacial desde os anos 2000, e também foi neste ano, em que se começou a conectar sistemas fotovoltaicos às redes de energia, da forma como é mais utilizada atualmente. (OLIVEIRA et al., 2022).

### 2.1.3.História da geração fotovoltaica no Brasil

Pelo contexto nacional, representado na Figura 6, até meados dos anos 2000, cerca de 85% da matriz energética era representada por usinas hidrelétricas. Outras fontes renováveis de energia haviam sido pouco exploradas no país, afinal, como ressaltado no tópico anterior sobre a história da geração fotovoltaica, nesta época, início do século XXI, as aplicações mais comuns desse tipo de tecnologia eram no âmbito espacial, havendo poucas aplicações terrestres e era apenas o início das usinas fotovoltaicas conectadas às redes de transmissão no mundo.

Contudo, em 2001, no Brasil, durante um prolongado período de seca, que culminou em um apagão em todo território nacional e na necessidade de racionamento de energia durante vários meses, constatou-se que depender majoritariamente de uma única fonte de energia elétrica seria sempre um risco.

Figura 6: Capacidade Instalada (MW) por Tipo de Usina no Brasil em 2006.



Fonte: ONS (2023).

O presidente na época era Fernando Henrique Cardoso, e de acordo com o jornal Nexo (2022), na matéria intitulada “O crescimento da energia solar no Brasil”, ainda durante a gestão de Fernando Henrique, foram instituídos incentivos e programas a fim de diluir a participação das hidrelétricas na geração de energia elétrica, incentivando alternativas com o foco em fontes eólicas, PCH e termelétricas à base de biomassa.

Apesar dos incentivos, a energia solar praticamente não avançou durante os últimos anos, e isso se deu pelo elevado custo de implantação da tecnologia,

principalmente, naquele período, em que essa fonte ainda não havia sido popularizada da forma como é hoje.

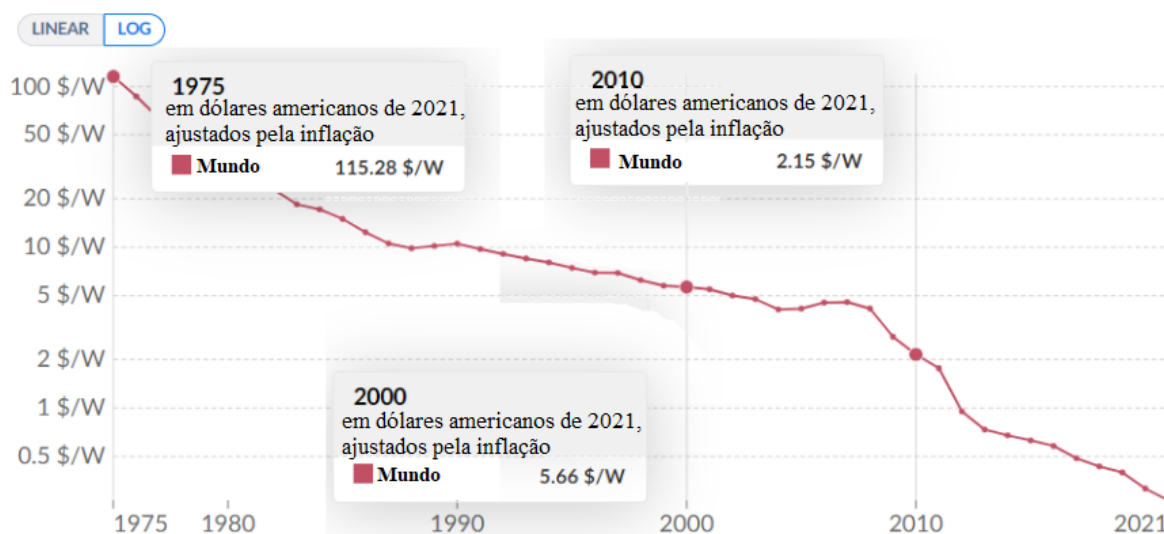
Em 2002, a Câmara dos deputados aprovou a lei Lei nº 10.438/2002, um dos primeiros passos em direção à expansão da adoção e desenvolvimento de fontes renováveis de geração de energia elétrica, para além das grandes usinas hidrelétricas.

A lei dispunha, basicamente, acerca da criação de programas de incentivo como o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), que visava conceder descontos nas tarifas de uso de sistemas de transmissão e distribuição de energia proveniente de fontes renováveis, favorecendo a diversificação da matriz energética nacional, como também estabelecendo metas de implementação de capacidade dessas fontes para as Centrais Elétricas Brasileiras S.A., a Eletrobrás (BRASIL, 2002).

A energia solar no Brasil começou a ganhar força apenas a partir de 2010, devido à, principalmente, dois fatores: custo e regulamentação da implementação. Com a popularização da tecnologia ao redor do mundo, movida pela crescente necessidade de diminuição da emissão dos gases do efeito estufa, avanços nos processos de fabricação e a entrada de mais fabricantes no mercado fez com que o custo das células solares ao redor do mundo diminuísse significativamente.

Na Figura 7 se tem um gráfico de preços da energia solar ao longo do tempo, pode-se observar que, durante a década de 1970, o preço da geração por watts, ou seja, o custo unitário do watt gerado a partir de células solares fotovoltaicas superava 100 dólares por watt (considerando taxa de câmbio de 2021). No mesmo gráfico, ve-se também que, em 2010, o custo já era de pouco mais de 2 dólares por watt, enquanto nos anos 2000, esse custo era de US\$5.66/W, uma diminuição em dez anos de aproximadamente 38%. Em 2021, este custo era de cerca de US\$0.27/W, o que indica outro motivo do elevado interesse de países que buscam aumentar a oferta de energia e diversificação de matriz energética na geração solar fotovoltaica desde 2020.

Figura 7: Preço (dólares) por Watt dos painéis fotovoltaicos ao longo do tempo.



Fonte: Adaptado de Our World in Data (2023).

Além da considerável redução de custo da implementação da tecnologia, em 2012, a ANEEL, passou a regulamentar - definindo regras de implementação dos sistemas solares para geração distribuída - e incentivar - a partir de descontos e sistemas de compensação e crédito de energia - a exploração da energia solar fotovoltaica a partir da Resolução Normativa (RN 482), de 17 de abril de 2012.

A RN 482, estabeleceu regras para a microgeração (até 100 kW de capacidade) e minigeração (acima de 100 kW e até 5 MW, para fonte solar) distribuída de energias renováveis, como também criou um sistema de compensação, no qual o consumidor que tivesse um excedente de geração de energia poderia o injetar na rede de distribuição recebendo troca créditos de energia elétrica que poderiam ser abatidos da conta luz (BRASIL, 2012).

Além dessas mudanças, a resolução normativa também explicitava as ações que deveriam ser seguidas pelas concessionárias de energia elétrica, como a adequação de seus sistemas comerciais, para adoção do regime de compensação, e elaboração de normas técnicas que deveriam ser seguidas pelos consumidores, tendo como referência o PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) (BRASIL, 2012).

Vale ressaltar que a RN 482 não é mais a única regulamentação relevante para geração de energia solar, principalmente em termos de geração distribuída, uma vez que muitas regras foram contempladas e re-estabelecidas em leis e

regulamentações mais modernas, como as leis nº 13.203/2015 e nº 14.300/2022 e a Resolução Normativa nº 1059/2023, que complementa a lei nº 14.300.

As novas normas e leis asseguram isenções nas tarifas e aprimoram regras de conexão e faturamento das centrais de microgeração e minigeração distribuída nos sistemas de distribuição de energia elétrica e do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (MME, 2023).

De acordo com dados de histórico de empreendimento de operação da ANEEL, até o ano de 2010, a potência média instalada de usinas fotovoltaicas, ou centrais geradoras solares fotovoltaicas, no país não alcançava a marca de 100 kW. Isso se dá pelo fato de que a primeira usina fotovoltaica a ser construída e entrar em operação no Brasil em escala comercial ocorreu apenas em 2011.

A usina, localizada no município de Tauá, no Ceará, foi pioneira não só no país como na América Latina, contava, à época, com uma capacidade instalada de geração de 1 MW de potência, eram cerca de 4600 painéis ocupando uma área equivalente a dez piscinas olímpicas, e, era suficiente para abastecer algo em torno de 1500 famílias na região (ARCE, 2015).

De acordo com o Informe da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), intitulado "Leilões de Energia Nova de 2017 - Apresentando os resultados e como isso afeta os estudos de planejamento energético", em 2017, a energia solar fotovoltaica participou pela primeira vez do Leilão de Energia Nova, o que resultou em 20 grandes contratos de usinas fotovoltaicas que deveriam entrar em operação até 2021. Os 20 contratos contemplavam 574 MW (com 790 MWp), a um custo médio de R\$145,68/MWh.

Já em 2019, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR, 2020) a geração de energia solar fotovoltaica centralizada atingiu o marco de 2 GW de capacidade instalada, tornando-se, à época, a 7ª maior fonte de energia elétrica centralizada do país, superando naquele momento a fonte nuclear de geração energia elétrica.

E, finalmente, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2022), no ano passado, a energia solar centralizada ultrapassou as pequenas centrais hidrelétricas na matriz energética brasileira, atingindo a marca de 5,6 GW e, tornando-se a 4ª maior fonte de energia elétrica centralizada do país.

Em um cenário mais atual, ainda de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023), existe uma previsão de expansão de geração centralizada no país de cerca de 10,3 GW de capacidade instalada nesse ano de 2023, representando a maior expansão da capacidade registrada desde a criação da agência em 1997.

Essa expansão ocorre, devido à expectativa de que 298 projetos devam entrar em operação comercial ainda em 2023, e as fontes eólicas e centrais solares representam, juntas, cerca de 90% dessa ampliação. Somente no estado de Minas Gerais, tem-se a previsão de um acréscimo de 1,87 GW de capacidade instalada de geração solar centralizada, que significa um aumento de 80% na representação na matriz energética dessa fonte no Estado.

#### **2.1.4. Tipos de geração de energia solar**

Existem diversas maneiras de explorar a energia fotovoltaica, cada uma adaptando-se às diferentes necessidades e recursos disponíveis. Desde a instalação de painéis solares em heliostatos que concentram a luz solar para maximizar a eficiência, até a integração de sistemas fotovoltaicos em edifícios e estruturas, como fachadas e janelas, e a criação de usinas solares flutuantes em corpos d'água para otimizar o uso de espaço. Essa diversidade de abordagens demonstra a versatilidade dessa fonte de energia e como ela pode ser adaptada a diferentes cenários.

Ainda assim, apesar da grande variedade de formas de exploração da energia solar, é possível agrupá-las em duas categorias abrangentes: geração centralizada e geração distribuída. A geração centralizada envolve a produção de energia fotovoltaica em usinas de grande escala (no Brasil, acima de 5 MW), em que a eletricidade é gerada em um local e distribuída para diversas localidades através da rede de transmissão e distribuição elétrica.

Por outro lado, a geração distribuída consiste em instalações em pequena escala, como em residências e edifícios comerciais, na qual a energia é produzida localmente, necessariamente perto do ponto de consumo, e na maior parte das vezes utilizada no próprio local de geração. A escolha entre essas abordagens

depende do contexto e dos objetivos específicos, e cada uma apresenta suas próprias vantagens e desvantagens, além de incentivos diferenciados pelos governos ao redor do mundo.

O contexto dos tipos de geração de energia fotovoltaica no mundo é bastante interessante. De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2023), as plantas de geração centralizada de energia fotovoltaica foram responsáveis por cerca de metade de toda capacidade instalada no ano de 2022, seguidas pelas gerações comerciais e industriais (geração distribuída), representando cerca de 25% da adição de capacidade instalada, e pela geração distribuída residencial, que representou 23% desta adição.

Apesar disso, a contribuição das plantas de geração centralizada foi a menor desde 2012, e isso se deve ao fato de que países como China, Brasil, Estados Unidos, e outros representantes da União Europeia, lançaram políticas com incentivos generosos para o segmento da geração distribuída nos anos de 2020 e 2021.

E de acordo com a Agência Internacional de Energia, o incentivo é fruto de uma particularidade de alguns países, em que apesar da geração centralizada ser mais interessante do ponto de vista econômico, locais e infraestrutura para instalação dessas grandes usinas fotovoltaicas podem ser um problema para boa parte dos países ao redor do mundo.

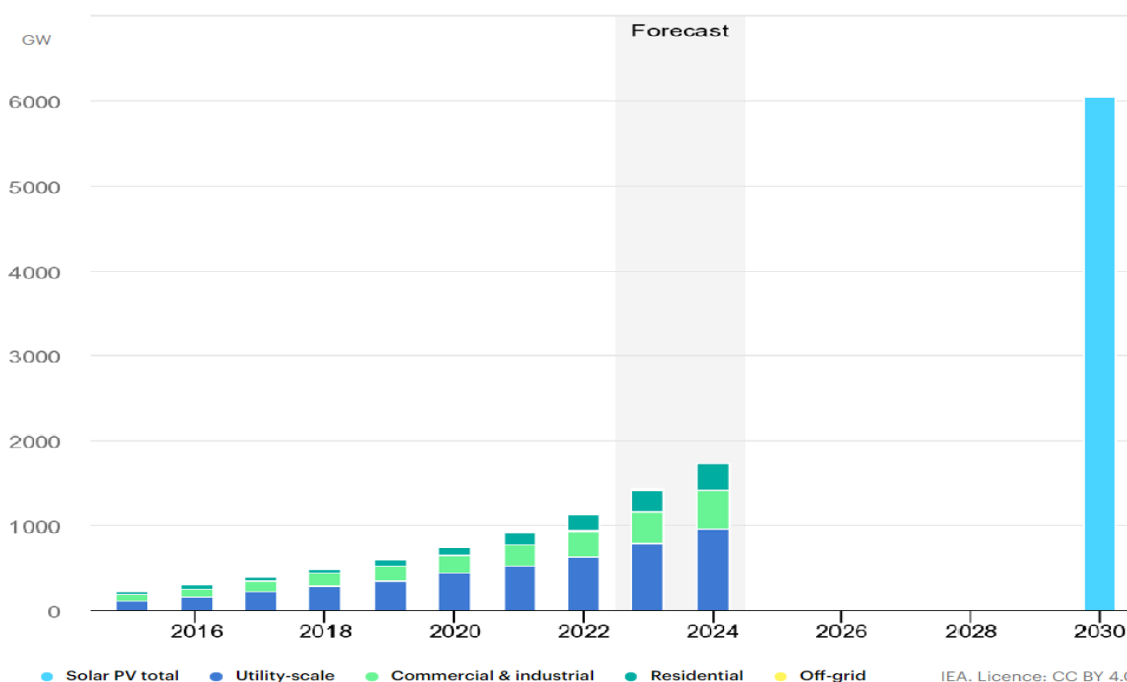
Apesar disso, para que a meta de 6000 GW de capacidade instalada seja atingida em 2030, conforme acordado para o cenário de emissões (de gases do efeito estufa) líquidas zero (Net Zero Emissions) pelos países integrantes da ONU (Organização das Nações Unidas) na COP 26 em 2021, que visava, principalmente, limitar o aquecimento global a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais, a eliminação do carvão natural como fonte de energia até 2050, o aumento dos investimentos em fontes renováveis de energia e a redução das emissões de metano, será necessário uma rápida e consistente evolução de ambas formas de exploração e geração da energia solar fotovoltaica.

A meta de 6000 GW de capacidade instalada de energia solar até 2030, foi estabelecida pela ONU em 2022, como sendo a estimativa necessária para que o mundo possa atingir os acordos firmados na COP 26, no acordo de Paris (COP 21,

2015) e das demais convenções que acontecem desde 1995, e, assim, evitar que o aquecimento global atinja níveis que causaram catástrofes ambientais irreversíveis.

Na Figura 8 é apresentado o crescimento das principais finalidades da geração de energia solar, na qual “*Utility-Scale*” representa a geração a partir de usinas solares ao redor do mundo, “*Comercial & Industrial*” representam a geração para o consumo local, na qual empresas e indústrias têm investido para reduzir custos operacionais com energia; “*Residencial*” representando a geração em casas e prédios residenciais e; “*Off Grid*” representa sistemas de geração solar isolados, cujo excedente de energia gerada é armazenada em baterias, e portanto não estão conectados nem à redes de transmissão como usinas, nem a redes de distribuição como nos casos de geração para fins comerciais, industriais e residenciais.

Figura 8: Geração atual e projeção da energia solar no mundo por segmento.



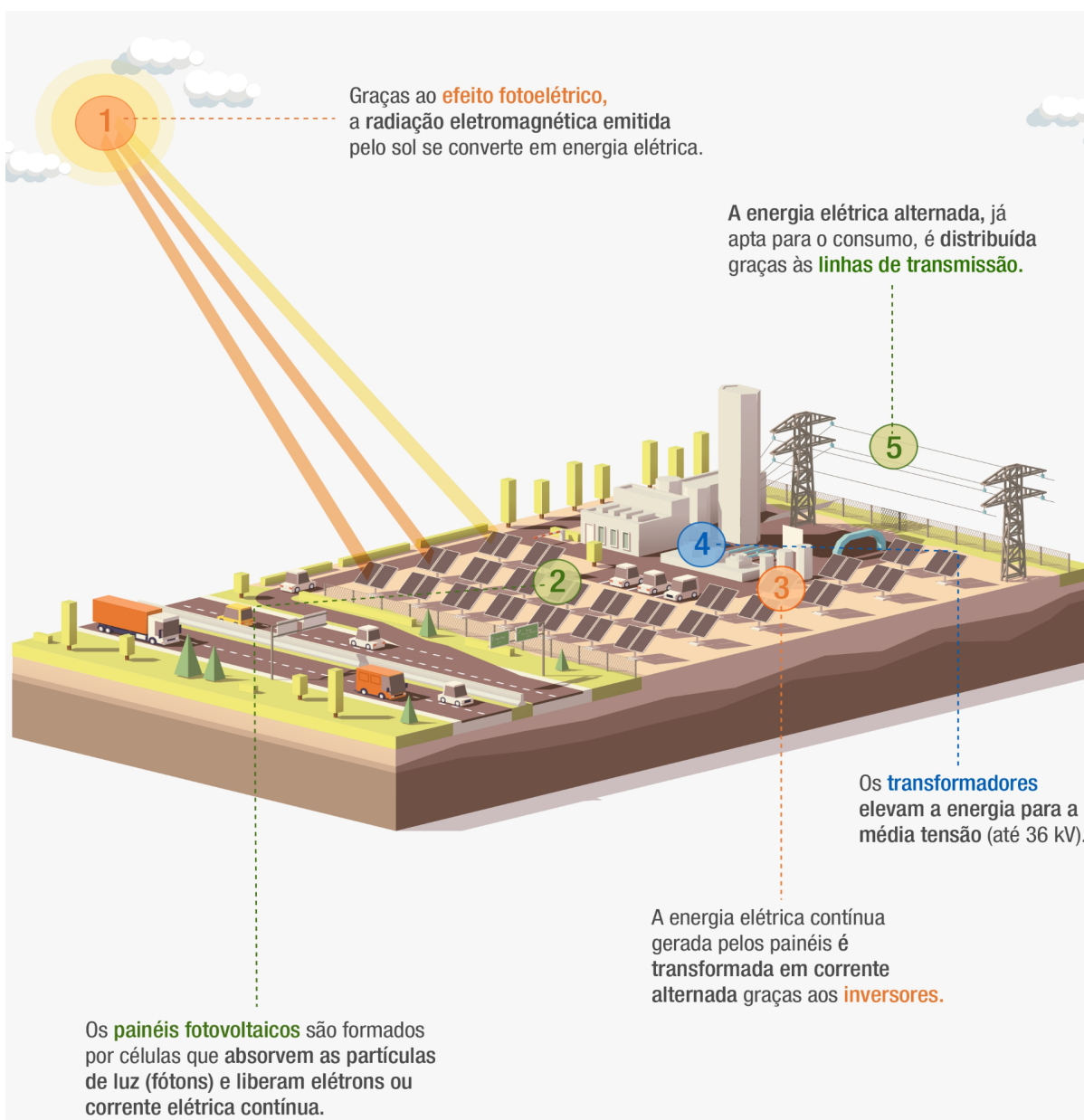
Fonte: IEA (2023).

## 2.2. Geração Centralizada de energia solar

A geração centralizada se dá através de geradores solares fotovoltaicos instalados em estruturas, geralmente metálicas, e posicionados no solo ou sobre

corpos d'água. Na sequência, passam por subestações elevadoras de tensão e, por fim, a energia gerada é injetada na rede de transmissão de energia elétrica, como mostrado na Figura 9.

Figura 9: Esquema didático de funcionamento de uma usina fotovoltaica.



Fonte: Iberdrola (2023).

A outorga para operação desses empreendimentos é garantida através de leilões de energia promovidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), uma entidade privada sem fins lucrativos que é responsável pela organização e coordenação do mercado de energia elétrica no país, nos quais altas

quantidades de energia são negociados, tipicamente ultrapassando 1 GWp de potência por leilão.

Nestes leilões, a empresa ganhadora assume o risco de construir o empreendimento e vender a energia gerada a um preço pré-definido no leilão, mesmo que os custos de operação aumentem no futuro.

Outra opção para construção de usinas, seriam os acordos de livre comércio de energia (ou, *Power Purchase Agreement* - PPA), em que a empresa geradora comercializa a produção de energia diretamente com os consumidores finais (não tendo um contrato de fornecimento com o governo), o que possui menos garantias, mas a princípio pode ser mais interessante economicamente - não é a forma mais comum no Brasil. Destoando muito das iniciativas de geração distribuída, pois, devido às grandes escalas das usinas, a instalação das mesmas tem sido feita em lugares com maior potencial solar, ou seja, maior irradiação solar ao longo do ano.

As usinas seguem, geralmente, dois sistemas de instalação: Fixo, com as placas sendo orientadas para o norte verdadeiro e inclinados entre 10 à 20 graus, para o melhor aproveitamento da incidência solar, e sistemas com seguimento, em que as placas acompanham a trajetória do sol em um ou dois eixos (horizontal e vertical).

Sistemas com seguimento são mais caros, mas tem um aproveitamento mais interessante do potencial solar. Um dado interessante, é que no primeiro leilão de energia que ocorreu no Brasil, cerca de 68% dos empreendimentos eram compostos por sistemas fixos, enquanto já no terceiro leilão, realizado em 2015, essa proporção foi contrariada, e cerca de 90% das outorgas de usinas naquele ano eram projetos de sistemas com seguimento em um eixo (leste-oeste), a configuração mais comum no país neste sistema (ATLAS SOLAR, 2017).

Grandes usinas fotovoltaicas podem oferecer uma série de vantagens econômicas, sociais e ambientais. Pois levam investimento para as áreas em que serão construídas, geram empregos para diversas formações (engenheiros, eletricitas, biólogos, entre outros).

E com impacto ambiental relativamente reduzido em comparação com outras fontes que emitem gás carbônico, poluição sonora e visual, ou têm grande impacto ambiental na implementação, como nos casos de hidrelétricas. As usinas podem ser

instaladas em regiões desérticas, que não geram interesse para agricultura, por exemplo. Para além disso, requerem manutenção constante, o que contribui para mais geração de empregos (PEREIRA, 2019).

Contudo, a geração centralizada enfrenta entraves que desaceleram a implementação no Brasil e no mundo. No mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica, por exemplo, há desafios causados por falta de infraestrutura de transmissão de energia em determinadas regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos, o que tem limitado a implementação de novos projetos em larga escala.

No caso da geração solar fotovoltaica distribuída, o principal desafio tem sido os longos prazos para obtenção de licenças (tanto em nível administrativo, junto a prefeitura, quanto o nível da rede, junto às concessionárias de energia), devido aos processos divergentes entre os municípios e à redução das isenções de licenças para acesso à rede nesse tipo de geração. Além disso, atrasos na implementação de programas de apoio dos planos nacionais de recuperação estão retardando os processos de tomada de decisão de consumidores e investidores no mundo todo, que aguardam a disponibilidade de fundos de investimentos em suas regiões.

Outro grande desafio para o crescimento da energia solar fotovoltaica, tanto em usinas de solo quanto em termos da geração distribuída, é a falta de mão de obra qualificada, o que tem impulsionado o aumento dos salários, e por sua vez, os custos relacionados à implementação da tecnologia. O aumento dos preços da eletricidade também contribui para as taxas de inflação, o que acaba afetando diretamente a lucratividade dos projetos (Global Market Outlook For Solar Power, 2023).

Além disso, vale ressaltar que, com a redução dos custos dos painéis solares ao longo das últimas décadas, o foco para instalação de grandes usinas solares fotovoltaicas aumentou em países com maiores taxas de irradiação solar, como China, Estados Unidos da América, e vários outros países da África, Ásia e América Latina. Em 2016, houve uma grande transição das pequenas instalações residenciais, industriais e comerciais, ou seja, da geração de energia distribuída, para grandes usinas centralizadas, cerca de 75% das instalações (naquele ano) solares fotovoltaicas foram de usinas de grande porte, com uma geração superior a 20 MWp (ATLAS SOLAR, 2017).

### 2.3. Contexto da Geração Centralizada de energia fotovoltaica no Brasil

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2023), em julho de 2023, o Brasil ultrapassou o marco de 32 GW de potência instalada da fonte solar fotovoltaica sendo a maior parte dessa energia proveniente da geração distribuída, cerca de 22,4 GW, enquanto cerca de 9,6 GW são gerados em usinas de grande porte.

Embora a operação da geração centralizada de energia fotovoltaica atualmente não seja tão expressiva quanto a geração distribuída ou outras fontes renováveis, como eólica e biocombustíveis (Figura 2), em termos dos resultados dos leilões de energia realizados para exploração dessa fonte, os números são muito mais impressionantes com potência outorgada de cerca de 140 GW.

Com o estado de Minas Gerais liderando no ranking nacional, seguido pelos estados do nordeste brasileiro. E, a partir da expectativa da potência já outorgada, estima-se que o setor deve receber mais de R\$500 bilhões de investimento nos próximos anos para a exploração total da capacidade outorgada.

De acordo com o *Global Solar Council* (2023), o Brasil quase dobrou a potência instalada do ano de 2021 para 2022, que foi um crescimento de cerca de 10,8 GW, sendo a maior parte dessa expansão do segmento de geração distribuída, isto se deu pelo fato de que, a partir de 2023, entrou em vigor um novo marco legal que mudaria as taxações dos micro e mini produtores de energia solar fotovoltaica.

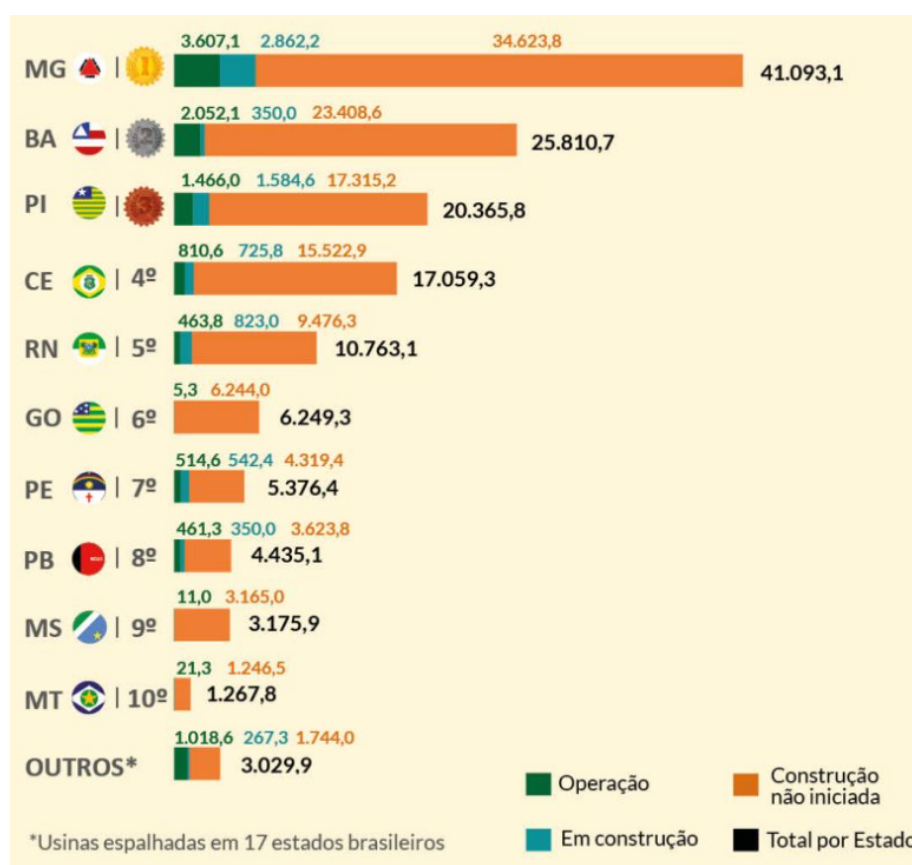
Entretanto a regra seria diferente para quem tivesse instalado os painéis até o ano de 2022, o que acelerou a tomada de decisões de milhares de brasileiros em investir na tecnologia, uma vez que estes estariam isentos da taxa até 2045 (MENDES, FELIPE, 2023), impulsionando o crescimento do segmento. Esta nova cobrança deve, entretanto, desacelerar o crescimento dos investimentos na exploração da geração distribuída no país nos próximos anos.

A ANEEL considera que as usinas em operação são aquelas que começaram a gerar energia para fins comerciais a partir da ativação da primeira unidade geradora. Em contrapartida, usinas em construção são aquelas que obtiveram a autorização ambiental para instalação e já deram início às obras. Por fim, usinas

outorgadas referem-se àquelas que receberam uma concessão, autorização, permissão ou registro oficial, mas ainda não deram início às obras (ANEEL, 2023).

Na Figura 10 é apresentado o panorama da potência instalada por estados no Brasil, que ilustra tanto o cenário atual de geração centralizada de energia solar fotovoltaica no país, quanto a expectativa de crescimento em termos de outorgas autorizadas pela Aneel e usinas em construção.

Figura 10: Potência Instalada (MW) de energia solar fotovoltaica por estado.



Fonte: ABSOLAR (2023).

O contexto de transmissão de energia no Brasil também possui algumas particularidades, e pode ser uma vantagem para empreendimentos de usinas fotovoltaicas de grande porte. O SIN (Sistema Interligado Nacional) possui múltiplos proprietários, e é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte.

A interligação dos sistemas elétricos, por meio da malha de transmissão, favorece a transferência de energia entre subsistemas, permite que haja sinergia entre os subsistemas e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das

bacias, tornando o fornecimento de energia elétrica mais estável e seguro por toda a extensão do território nacional (ONS, 2023).

A interligação representa outra vantagem para as grandes usinas fotovoltaicas, uma vez que, ao estarem conectadas ao SIN, podem ser especialmente eficazes para mitigar os picos de consumo de energia durante o dia, quando estabelecimentos comerciais e industriais mais consomem energia, e, dessa forma, desonerando em partes as principais fontes de energia, como as hidrelétricas e termelétricas (PEREIRA, 2019).

Contudo, um dos principais desafios das usinas fotovoltaicas no Brasil, é justamente a falta de infraestrutura das redes de transmissão, que acaba limitando a viabilidade econômica da implementação destas em regiões em que não existam redes de transmissão disponíveis ou acessíveis, ou ainda, em que as usinas estejam muito distantes dos centros que há uma maior demanda por energia.

Outro grande problema é que altas temperaturas tendem a reduzir significativamente a eficiência de geração dos painéis fotovoltaicos, além disso, poeira, chuvas e granizo são grandes ofensores para a geração e cria uma alta e constante necessidade de manutenção das placas, mas estes são apenas problemas físicos.

Além destes problemas citados, a falta de regulamentações mais claras e modernas, que contemplem outros cenários, como da geração híbrida, na qual se aproveita espaços em empreendimentos como usinas hidrelétricas e eólicas, para exploração solar também é um grande entrave no crescimento dos investimentos nessa tecnologia.

E diante da falta de regulamentação, se fez necessário implementação de políticas públicas para incentivar o crescimento do setor, principalmente ampliando a segurança jurídica, oferecendo vantagens tributárias e ampliando a infraestrutura de transmissão de energia no país (PEREIRA, 2019). E também é importante que haja uma logística reversa para reciclagem dos materiais utilizados na implementação das usinas, uma vez que a maior parte dos materiais são reutilizáveis e recicláveis (ATLAS, 2017).

Uma possível vantagem nacional a ser explorada, se dá pelo fato de que o Brasil também é detentor de cerca de 95% das reservas de quartzo natural,

conhecidas, no mundo (há divergências quanto essa informação, pois o quartzo pode ser encontrado no mundo todo, entretanto, na forma de jazidas de cristais, e assim economicamente viáveis de serem exploradas, sua ocorrência é mais limitada). O minério de quartzo é a principal matéria prima para a produção de silício de grau fotovoltaico, sendo a China o principal produtor atualmente. O quartzo pode ser natural ou cultivado.

O quartzo natural é obtido por meio da garimpagem de cristais de quartzo de graduação 1ª a 3ª, que são processados manualmente para remover impurezas e incrustações argilosas e óxidos de ferro. Esses cristais podem ser utilizados como sementes na obtenção do quartzo cultivado ou fragmentados em lascas de quartzo, que são utilizadas como nutrientes para produção do quartzo cultivado ou em pó de quartzo, que é utilizado na obtenção do quartzo fundido.

Já o quartzo cultivado é produzido em laboratório por meio de processos de deposição química a partir de soluções aquosas de ácido silícico ou por fusão de quartzo em fornos especiais. O quartzo cultivado é utilizado na fabricação de componentes eletrônicos, como cristais osciladores, ressonadores, filtros, superfícies de retardo, filtros monolíticos e transdutores, enquanto o quartzo natural é utilizado na produção de silício de grau fotovoltaico (LUDKE, 2023).

O país não tem expressiva produção própria de painéis solares fotovoltaicos, dependendo da importação da tecnologia, mas explora e exporta suas reservas de quartzo para o mundo todo (ANM, 2014), que são utilizados na fabricação de silício, que são utilizados nos módulos solares como conhecemos.

### **2.3.1. Panorama das usinas solares no Brasil**

Dentro do contexto da geração centralizada, explicitando desafios, nuances e tendências, nesse subtópico trará uma visão atual do panorama das usinas solares fotovoltaicas no país, trata-se de uma lista de projetos já homologados e em operação bem como as novas usinas que estão em processo de construção ou teste, a partir do banco de dados disponibilizado pela agência reguladora nacional, a ANEEL e outras associações que analisam os indicadores do mercado solar no país.

Atualmente, o Brasil possui 383 projetos de geração centralizada em fase de construção inicial, considerando todas as fontes de geração de energia. Desta, cerca de 80% são eólicas e solares, 168 usinas solares, representando uma capacidade de potência outorgada de 6,64 GW, e 145 usinas eólicas (CANAL SOLAR, 2023).

De acordo com os dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA), considerando empreendimentos em operação, em construção e que ainda não tiveram a construção iniciada, mas já possuem autorização da Aneel, existem 3237 usinas solares no país.

Das quais: 285 estão atualmente em operação (representando 10,4 GW), 2768 ainda não tiveram as construções iniciadas (representando 122,6 GW), e 184 estão em construção (representando 7,5 GW). A geração conjunta de todos esses empreendimentos seria de 140,45 GW. Ressaltando que, a partir dos dados do SIGA, tem-se uma visão de usinas individuais, e não complexos solares, que contam com um conjunto de empreendimentos.

Olhando apenas para empreendimentos com potência média outorgada de mais de 100 MW, tem-se um número de 40 usinas que juntas somam cerca de 6,3 GW de potência outorgada.

Sendo que destes: 3 estão em construção (Usinas do complexo Panorama), cada uma com outorga de 100 MW, em Ribeiro Gonçalves, Piauí. 2 estão em operação na Serra do Mel, Rio Grande do Norte, que são as usinas: Serra do Mel I e II, que, respectivamente, possuem outorga de 135 MW e 103 MW, ambas com outorgas em vigência desde 2020, mas com operação iniciada apenas em meados de 2022 e fazem parte do complexo Serra Branca. E outras 35 usinas que ainda não iniciaram a construção, que somam 5,74 GW de potência média outorgada.

Destacando, das usinas que ainda não iniciaram as construções: as usinas GS Jaíba 1 e 2, em Jaíba, Minas Gerais, que juntas possuem potência média outorgada de 720 MW; e as usinas GS Santa Rita 01 e 02, em Santa Rita de Cássia, Bahia, que juntas também possuem potência outorgada de 720 MW.

De acordo com a Agência de Notícias de Energia e Política Energética (EPBR), na Tabela 1 é apresentada a lista dos maiores complexos de usinas solares no Brasil, em junho de 2023, em termos de capacidade de potência solar fotovoltaica instalada.

Tabela 1: Ranking dos 5 maiores complexos solares do Brasil.

Posição	Nome do Complexo / Parque Solar	Localidade	Capacidade Instalada (MWp)	Empresa Responsável
1º	Janaúba	Janaúba - MG	1200	Elera Renováveis
2º	São Gonçalo	São Gonçalo do Gurguéia - PI	864	Enel Green Power
3º	Futura	Juazeiro - BA	837	Eneva
4º	Sol do Cerrado	Jaíba - MG	766	Vale
5º	Hélio Valgas	Várzea de Palma - MG	662	Comerc

Fonte: Adaptado de EPBR (2023).

O maior complexo solar no Brasil é o Janaúba, apresentado na Figura 11, que fica no norte de Minas Gerais. Este não é apenas o maior parque solar do país, como também é considerado um dos maiores da América Latina. Sua geração, de 1,2 GWp, pode abastecer em média cerca de 1,8 milhões de residências, contando com mais de 2,2 milhões de módulos solares em uma área de 3 mil hectares, divididos entre 20 usinas solares com potência média outorgada de 50 MW cada. Esta usina já gerou mais de 10 mil empregos diretos e indiretos.

Figura 11: Fotografia aérea do maior complexo solar do Brasil - Janaúba.



Fonte: Elera (2023).

Diante dos acordos internacionais, da necessidade de diversificar a matriz energética e do potencial solar brasileiro, novas normas regulatórias são discutidas recorrentemente. No próximo capítulo, são apresentados os principais marcos regulatórios, as maiores vantagens e consequências, e a expectativa para os próximos anos.

### **3. MARCOS LEGAIS DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

As leis e resoluções normativas que regulamentam o mercado de energia solar fotovoltaica, e podem tanto incentivar quanto desacelerar os investimentos no setor, evoluíram bastante desde a primeira vez em que foram implementadas. Entende-se que, o começo das regulamentações dessa fonte se deu com a criação da ANEEL, em 1996, tendo em vista seu papel de regulamentar a exploração e fornecimento de energia elétrica no país, e que a energia solar foi citada como fonte renovável a época, apesar de não haver exploração relevante no período (BRASIL, 1996).

Este capítulo, aborda, cronologicamente, os principais marcos regulatórios, em termos de leis e resoluções normativas da ANEEL, como também sobre os impactos e principais mudanças ao longo do tempo, com maior foco em geração centralizada.

#### **3.1. Principais Leis e Resoluções Normativas da Geração Distribuída**

Além da primeira citação sobre energia solar em leis, e regulamentações, com a criação da ANEEL em 1996, nos anos 2000, dois anos antes da implementação do PROINFA, em uma lei que dispunha sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, trouxe pela primeira vez um incentivo fiscal para a exploração da energia solar, apesar de discreta: de acordo com o Art. 2º da Lei nº 9.991/2000:

*As concessionárias de geração e empresas autorizadas à produção independente de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, um por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico, excluindo-se, por isenção, as empresas que gerem energia exclusivamente a partir de instalações eólicas, solares, de biomassa e pequenas centrais hidroelétricas (BRASIL, 2000).*

Pouco tempo depois, em 2002, a Lei nº 10.438/2002, de 26 de abril de 2002, que dispunha sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, criaria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa).

Foi criada também a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), que se tratava de um imposto que passou a ser cobrados à todos os consumidores do setor, e cuja finalidade era financiar projetos de geração, transmissão e distribuição de energia nos estados do país, subsidiar a implementação de infraestrutura, universalizando o acesso à energia de qualidade, e também, para incentivar, financeiramente, projetos de geração de energia a partir de fontes renováveis. Como fica disposto no artigo 13 do documento:

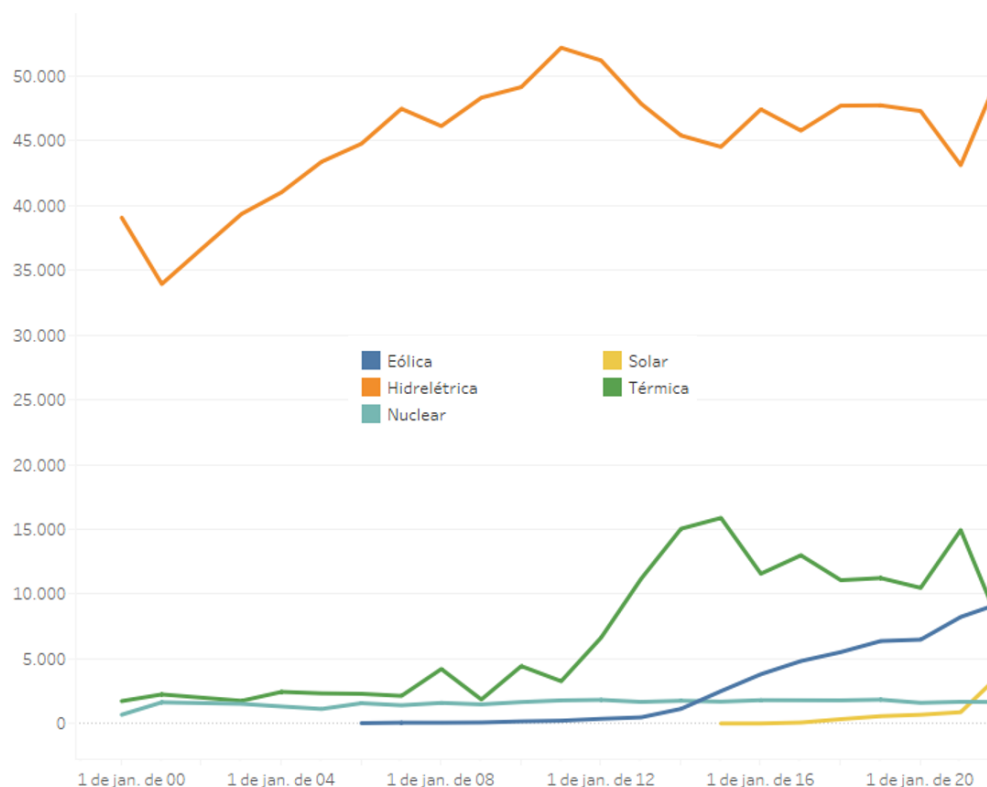
*Fica criada a Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, visando o desenvolvimento energético dos Estados e a competitividade da energia produzida a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas, biomassa, gás natural e carvão mineral nacional, nas áreas atendidas pelos sistemas interligados e promover a universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional, devendo seus recursos, observadas as vinculações e limites a seguir prescritos.*

*Fica criada a Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, visando o desenvolvimento energético dos Estados e a competitividade da energia produzida a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas, biomassa, gás natural e carvão mineral nacional, nas áreas atendidas pelos sistemas interligados, promover a universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional e garantir recursos para atendimento à subvenção econômica destinada à modicidade da tarifa de fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais integrantes da Subclasse Residencial Baixa Renda (BRASIL, 2002).*

Apesar dessas primeiras 3 leis citadas terem aberto o caminho para onde o país seguiria nos próximos anos, não se observam grandes mudanças na matriz

energética brasileira até a próxima década, observando os dados históricos no Operador Nacional do Sistema apresentados na Figura 12.

Figura 12: Histórico matriz energética nacional de 2000 até 2022 em MWmed.



Fonte: Adaptado de ONS (2023).

Fica evidente, a partir do gráfico, que, quando se trata da evolução da energia solar no panorama nacional da matriz energética, os primeiros impactos ocorreram entre 2012 e 2016. Isso se dá ao fato de que a primeira usina solar fotovoltaica entrou em operação em 2011 (ARCE, 2015). Contudo, a primeira usina a entrar em operação não foi o único fator que fez com que a geração solar fotovoltaica começasse a impactar na matriz energética brasileira.

O próximo grande marco regulatório para exploração da energia solar fotovoltaica aconteceu em 2012, com a Resolução Normativa da ANEEL 482/2012, que foi importante para viabilizar a adoção em massa da geração distribuída de energia solar fotovoltaica, pois estabeleceu diretrizes para a conexão de sistemas de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, incluindo, pela primeira vez, a implementação do sistema de compensação de energia elétrica (SCEE).

A implementação do SCEE significou que os consumidores passaram a ter a possibilidade de produzir sua própria eletricidade a partir de fontes renováveis e, quando houvesse excedente, fornecê-la de volta à rede de distribuição da concessionária local, recebendo crédito na conta de energia. Esse sistema transformou o consumidor em um "prossumidor", alguém que não apenas consome energia, mas também contribui para a geração de eletricidade (VEIGA, 2020).

Este passo foi importante para o panorama geral da energia solar fotovoltaica no Brasil, e apesar de ter regulamentado apenas a geração distribuída naquele momento, o crescimento médio da geração distribuída no país, de 2013 a 2020, foi de 230% por ano (ABSOLAR, 2020).

Esta não foi a única regulamentação da geração distribuída no período citado. Em 2015, ocorreram ajustes na regulamentação, com o lançamento da revisão em outra resolução normativa, RN 687/2015. A partir dessa revisão, os limites para microgeração e minigeração foram revisados e ampliados, estabelecendo-se 75 kW para microgeração, 3 MW para minigeração com fonte hídrica e 5 MW para outras fontes, incluindo a solar.

Mais tarde no mesmo ano, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) foi lançado com o propósito de estimular a adoção da geração distribuída no país. Destacando o objetivo principal, a ampliação do uso de geração distribuída, especialmente em residências, comércios, indústrias, instituições de ensino, hospitais e prédios governamentais, estimando-se que até 2030 os investimentos relacionados a esse programa poderiam ultrapassar 100 bilhões de reais, impactando mais de 2,7 milhões de unidades consumidoras e contribuindo com uma geração anual de energia próxima a 50 milhões de MWh.

Para atingir esses objetivos, a iniciativa previa a expansão de linhas de crédito, o incentivo à indústria do setor, a ampliação da capacitação e a busca por atrair investimentos estrangeiros (VASCONCELOS, 2022).

O último passo no sentido do desenvolvimento da Geração Distribuída no Brasil foi recentemente, com a aprovação da lei, que é marco legal da micro e minigeração de energia, a Lei 14.300/2022. Esta teve como finalidade fornecer maior segurança jurídica a todos os investimentos realizados ao longo da última década,

uma vez que a regulamentação do setor passou a ser respaldada por lei, não apenas por regulamentações da ANEEL (BRASIL, 2022).

Além disso, visava modernizar as definições e redefinir aspectos financeiros do sistema de compensação que haviam sido tema de debates recorrentes nos últimos anos, devido às isenções que o segmento possuía, e que agora passará por período de transição até que todos os prossumidores passem a pagar totalmente as tarifas em até 2045.

Essas mudanças no sistema de compensação criaram uma espécie de corrida, na qual muitos investidores se apressaram para terminar as instalações em suas residências antes de janeiro de 2023, para que ficassem isentos das tarifas até 2045. Em números, enquanto o mercado global de energia solar cresceu 50% em 2022, o Brasil cresceu cerca 190% no mesmo período, um crescimento de aproximadamente 5 GW apenas no segmento de geração distribuída (PORTAL SOLAR, 2023).

### **3.2. Principais Leis e Resoluções Normativas da Geração Centralizada**

A história da energia solar no Brasil é relativamente recente, com seus principais avanços em termos de investimentos e regulamentações partindo da década de 2010. Contudo, até um passado ainda mais recente, toda a atenção do mercado nacional estava voltada para geração distribuída de energia solar, como alternativa limpa e renovável para as fontes mais tradicionais de geração de energia.

Por essa razão, há poucas leis e normas que regulamentem especificamente as usinas fotovoltaicas no país. Mas diante do contexto de crescimento na geração centralizada de energia e da demanda cada vez mais crescente, existem uma série de incentivos propostos pelo governo federal, com o intuito de fomentar boas práticas de mercado, e a fim de viabilizar a expansão e aceleração do uso desta na matriz energética no Brasil, conforme elencado por (PEREIRA, 2019, p.52 apud SILVA, 2015, p.8):

*a) Descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) para empreendimentos cuja potência injetada nos*

sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW: - Descontos de, no mínimo 50%, incidindo na produção e no consumo da energia.

b) Convênio nº 101, de 1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ): isenta do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) as operações que envolvem vários equipamentos destinados à geração de energia elétrica por células fotovoltaicas e por empreendimentos eólicos; não abrange, no entanto, alguns equipamentos utilizados pela geração solar, como inversores e medidores;

c) Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI): instituído pela Lei nº 11.488, de 15 de junho de 2007, suspende, por cinco anos após a habilitação do projeto, a contribuição para o PIS/PASEP e Cofins, no caso de venda ou de importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos novos, de materiais de construção e de serviços utilizados e destinados a obras de infraestrutura, entre as quais as do setor de energia;

d) Condições Diferenciadas de Financiamento:

1. BNDES: financiamento para o setor de energia elétrica com taxas de juros abaixo das praticadas pelo mercado (TJLP). Para a fonte solar, o BNDES financia até 80% de alguns itens, contra 70% para as demais fontes de energia renováveis;

2. Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC):

vinculado ao Ministério de Meio Ambiente (MMA), o Fundo visa assegurar recursos para apoio a projetos ou estudos e financiamento de empreendimentos que visem à mitigação da mudança do clima e à adaptação à mudança do clima;

e) Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D): fonte de recursos para projetos realizados pelas empresas do setor elétrico e aprovados pela ANEEL relacionados com desenvolvimento da geração de energia solar fotovoltaica no Brasil;

*f) Leilões de compra de energia elétrica com produto específico para fonte solar.*

Ademais, não há regulamentações específicas para a geração centralizada de energia solar fotovoltaica, pois esta se enquadra em resoluções normativas que regulamentam as demais centrais geradores de grande porte, sempre no contexto geral sobre adequação aos sistemas de transmissão e distribuição. Todos os incentivos são mais amplos, abrangendo não apenas a geração centralizada como a distribuída.

A lei recente que impactou diretamente o retorno sobre investimento dos empreendimentos em usinas de grande porte foi a Lei 14.120 de 2021, que dispõe que usinas de fontes renováveis deixarão de receber descontos nas tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e de Uso do Sistema de Transmissão (TUST), com exceção aos empreendimentos que solicitaram outorga no prazo de até 12 meses a partir de 02.03.2021 e iniciaram a operação de todas as suas unidades geradoras em até 48 meses a partir da data da outorga, bem como qualquer alteração na outorga que resulte no aumento da capacidade instalada no prazo de até 12 meses a partir de 02.03.2021 e a operação de todas as unidades geradoras associadas à solicitação seja iniciada em até 48 meses a partir da data de publicação do ato que altera a outorga (BRASIL, 2021).

Essa mudança fez com que a ANEEL precisasse revisar algumas resoluções normativas no tocante às outorgas, devido ao elevado número de pedidos que foram realizados após a promulgação da lei em 2021. As mudanças foram em prol de simplificar e agilizar o processo, reduzindo a documentação e requisitos necessários e possibilidade de começar a construção, por conta e risco do investidor, antes da emissão da outorga pela Agência (CANAL SOLAR, 2023).

#### 4. PERSPECTIVAS DO MERCADO GLOBAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

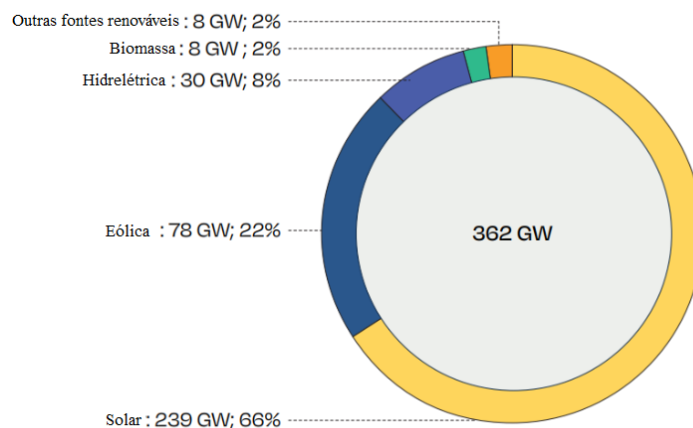
De acordo com órgãos internacionais que acompanham o crescimento da adoção da energia solar como fonte de energia limpa e renovável no mundo, mais especificamente a *SolarPower Europe* (SPE) e a *International Energy Agency* (IEA), o ano de 2022 ficará marcado como o ano que mudou a dimensão do crescimento da energia solar fotovoltaica no mundo.

Este capítulo é uma análise do documento publicado pela *SolarPower Europe*, o premiado relatório anual “Global Market Outlook for Solar”, considerado o relatório de análise de mercado mais confiável para o setor global de energia solar, e que concatena informações de diversos países, partindo de órgãos nacionais e internacionais reconhecidos mundialmente. E também se baseia em relatórios sobre energias renováveis da *International Energy Agency* (IEA).

Impulsionado pela alta demanda gerada pela estabilização das cadeias produtivas globais pós-pandemia, a conscientização e combate, a nível internacional, da emissão dos gases de efeito estufa e da mudança climática, e como reflexo de políticas de descomissionamento de usinas nucleares na Europa, somados com consequências de tensões geopolíticas causados pela guerra entre Rússia e Ucrânia no continente, o crescimento da adoção da energia solar como alternativa ao gás russo, outras fontes fósseis de energia, e até mesmo a própria energia nuclear, apenas em 2022, foi de 45% em relação ao ano anterior, em números absolutos foram 239 GW de nova capacidade de potência instalada no mundo todo.

Vale ressaltar que, de toda a expansão de fontes renováveis de geração de energia, a geração solar se destacou representando dois terços de toda a expansão de capacidade de potência instalada de energia renovável, como representado na Figura 13. Na qual a energia eólica ficou em segundo lugar, representando 22% do crescimento da capacidade instalada de fontes renováveis de energia, enquanto as hidrelétricas e biomassa ocuparam o terceiro e quarto lugar respectivamente.

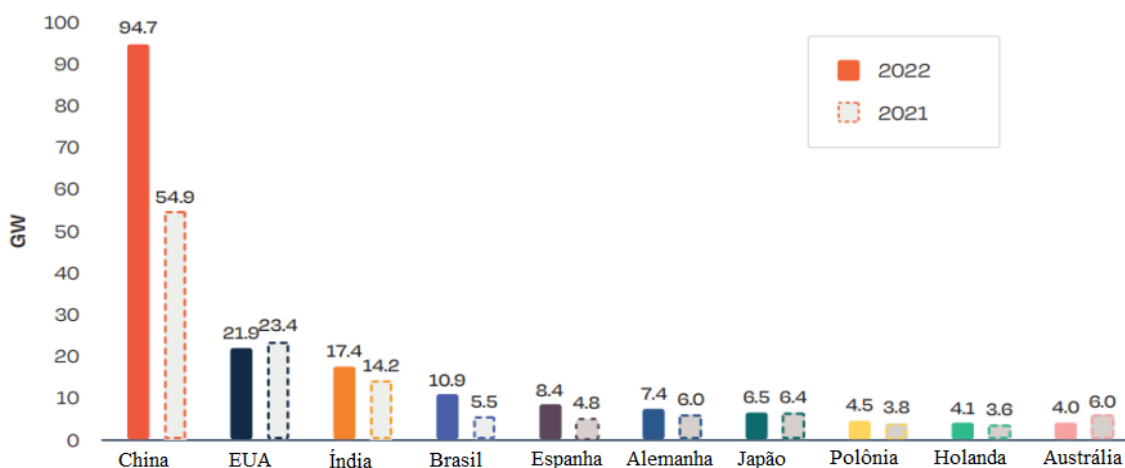
Figura 13: Capacidade instalada de geração de energia renovável em 2022.



Fonte: Adaptado de SPE (2023).

Na Figura 14 é apresentada a lista dos top 10 países que lideram o ranking de crescimento de capacidade de potência instalada anualmente. O Brasil se posicionou pela primeira vez entre os top 5 países que mais cresceram no ano de 2022. Ficando atrás de China, Estados Unidos e Índia. Atualmente, em outubro de 2023, o Brasil já ultrapassou 32 GW de potência instalada.

Figura 14: Top 10 países em termos de crescimento de mercado solar fotovoltaico.



Fonte: Adaptado de SPE (2023).

Na Tabela 2 é apresentado o ranking mundial de capacidade de potência instalada acumulada, o Brasil ocupava a oitava colocação no começo de 2023 com uma capacidade de 24 GW de potência, considerando dados de geração do final do ano de 2022.

Tabela 2: Ranking dos países com maior capacidade instalada acumulada.

Posição	País	Capacidade Instalada Acumulada (GW)
1º	China	392
2º	Estados Unidos	111
3º	Japão	78,8
4º	Alemanha	66,5
5º	Índia	62,8
6º	Austrália	26,7
7º	Itália	25
8º	Brasil	24
9º	Holanda	22,5
10º	Coreia do Sul	20,9

Fonte: Global Solar Council (2023).

#### 4.1. Panorama do mercado brasileiro de energia solar

Em 2022 o Brasil apresentou um crescimento de capacidade solar instalada de cerca de 10,9 GW (considerando geração distribuída e centralizada), basicamente dobrando o crescimento do ano anterior. com o segmento de geração distribuída o maior contribuinte para esse avanço, o que é explicado por uma mudança recente na legislação brasileira, citada no capítulo anterior, na qual os consumidores, ou no caso, prossumidores, passariam a pagar tarifas antes isentas a partir do primeiro trimestre de 2023, a mudança na lei (Lei 14.300/2022) gerou uma “corrida” para instalação dos painéis solares em residências por todo país, pois os consumidores que instalassem antes desse período seguiram isentos das tarifas de distribuição até 2045.

Diante dessa mudança legislativa, é esperado uma contração no crescimento do setor nos próximos anos, uma vez que o retorno sobre o investimento, agora com a cobrança das tarifas de distribuição, passa a demorar mais tempo para acontecer.

Entretanto, com a expectativa de diminuição do crescimento causado pelas mudanças nas isenções das tarifas de distribuição e uso da rede, a nova legislação teve um forte lado positivo, pois, como mencionado anteriormente, também trouxe estabilidade jurídica para mercado de energia solar nacional, uma vez que antes dela, todas as principais regulamentações eram resoluções normativas da ANEEL, o que gerava certo sentimento de insegurança e falta de transparência nos investidores, principalmente os internacionais.

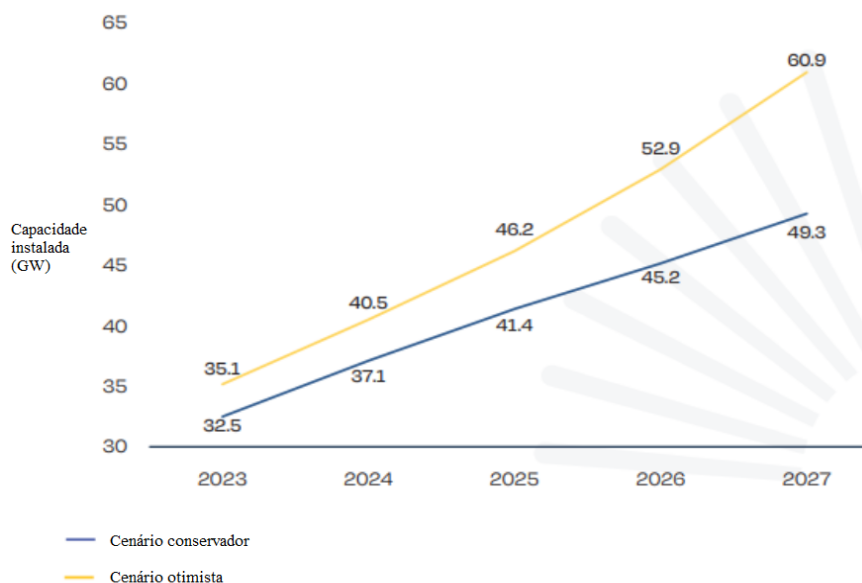
Além disso, o investimento na tecnologia ainda é interessante do ponto de vista do consumidor de energia elétrica, diante do cenário de contas de luz cada vez mais caras e sistemas de painéis fotovoltaicos cada vez mais baratos, como é possível observar na Figura 7.

O país também apresenta números bastante promissores no setor de geração centralizada de energia, com mais de 100 GW de potência solar garantidos pela Aneel via outorga, em leilões já realizados. Há uma projeção, de acordo com a SPE, de que o crescimento das usinas solares deve ser de cerca de 3 GW ao ano, e, até o final de 2027, o país deve possuir uma capacidade instalada entre 49 GW (cenário mais conservador) e 60 GW (cenário otimista), na Figura 15 é apresentado um panorama da expectativa de crescimento do mercado brasileiro de energia solar.

O relatório também destaca que, apesar do contexto e expectativa positiva de crescimento, o Brasil possui um grande desafio para superar em termos de infraestrutura, que são gargalos gerados por um número limitado de linhas de transmissão, o que impacta diretamente na escolha dos locais onde serão construídas as usinas.

Em contrapartida, programas como “Minha casa minha vida”, “Luz para todos” e “Mais luz para a Amazônia”, que aceleram a construção de residência e o acesso à energia de qualidade para comunidades mais carentes, somados à redução de custo de implementação dos painéis solares, devem impulsionar o crescimento do setor apesar dos desafios e recentes mudanças legislativas.

Figura 15: Previsão da capacidade acumulada de geração fotovoltaica no Brasil.



Fonte: Adaptado de SPE (2023).

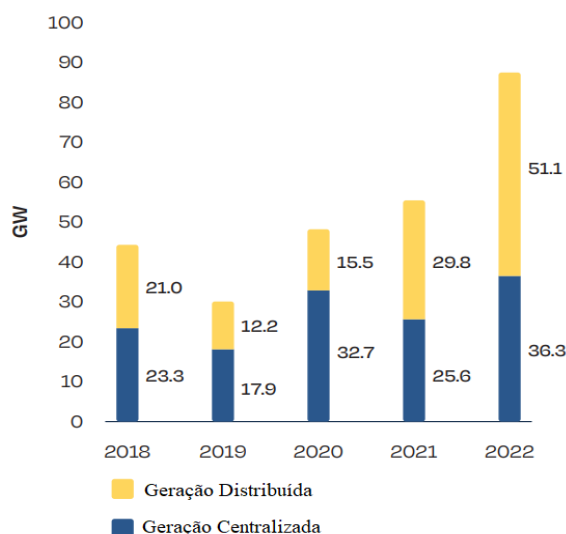
## 4.2. Panorama do mercado chinês de energia solar

De acordo com a SPE, utilizando dados da CPIA (*China Photovoltaic Industry Association*), a China foi líder incontestável para esse marco da energia solar, pois em apenas um ano obteve um crescimento de 72% de sua capacidade instalada, o que em números absolutos representa um aumento de cerca de 100 GW.

Com este crescimento, o país se aproximou, em 2022, da marca de 400 GW de capacidade de potência solar fotovoltaica acumulada, contando até então com uma capacidade de 392,6 GW, e, posicionando-se não apenas como líder de crescimento anual, mas como líder mundial em termos de capacidade instalada acumulada.

Na Figura 16 é apresentado o panorama do crescimento anual da China, evidenciando que a geração distribuída se tornou a principal forma de exploração nos últimos dois anos. Apesar disso, o país tem metas de, no ano de 2023, obter um crescimento de 160 GW de nova potência instalada de fontes eólicas e solares, que deve buscar ser atingida com a construção de grandes usinas em regiões desérticas do país.

Figura 16: Crescimento anual do mercado Chinês de energia solar fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de SPE (2023).

Na atualidade o grande desafio do país se dá pela diferença de política de preços de energia entre as províncias da China, o que torna o contexto complexo para as empresas que buscam investir no setor, portanto, há expectativa de que estas passem a adotar sistemas flexíveis de preço de energia para se contraporem às flutuações de preço.

Ao que tudo indica, com o custo das placas fotovoltaicas ainda em tendência de queda, devido a um aumento na produção e estabilização das cadeias produtivas globais e com metas públicas de mudança de matriz energética para fontes renováveis, a expansão da geração fotovoltaica na China demonstra sinais de crescimento para os próximos anos.

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA), a previsão é de que a China será responsável por quase metade de toda capacidade de potência, instalada entre 2022 e 2027, no mundo. Essa expectativa está embasada por alguns posicionamentos que o governo chinês tomou nos últimos meses, como a aprovação das novas diretrizes e metas políticas do Plano Quinquenal da China sobre energias renováveis, e pelo fato de que usinas solares já são hoje uma alternativa mais barata que o carvão natural na maioria das províncias.

### 4.3. Panorama do mercado estadunidense de energia solar

Pelo relatório da SPE, de acordo com a *Solar Energy Industries Association* (SEIA), mudanças importantes na política federal, como a Lei de Redução da Inflação, impulsionaram o investimento em energia solar nos EUA, alinhando-o com as metas de energia limpa estabelecidas pela indústria e pela Administração Biden.

No entanto, políticas de restrição de oferta, buscando a contenção inflacionária no país, causaram incertezas comerciais, e outros agravantes, como investigações sobre evasão de tarifas e retenção de equipamentos, afetaram negativamente o crescimento da indústria solar.

Em 2022, os EUA adicionaram 20,2 GW de capacidade solar, o que representou uma queda de 16% em relação a 2021, mas ainda manteve o país em segundo lugar no ranking global de crescimento e de capacidade acumulada de potência instalada de energia solar.

O segmento da geração centralizada apresentou quedas significativas nas instalações, com um acréscimo de cerca de apenas 11,8 GW, representando uma queda em relação ao ano anterior de 31%. Enquanto a energia solar residencial teve um aumento de 40% em relação a 2021, com 700.000 proprietários de residências instalando quase 6 GW de capacidade solar.

Apesar da queda, o setor de energia solar ainda se destacou como a principal fonte de energia nova no ano de 2022, representando aproximadamente 50% de toda nova geração de energia elétrica nos EUA.

A indústria solar estadunidense possui uma meta de atingir 30% da geração de energia elétrica total até 2030, atualmente representa apenas 5%. As principais projeções da SEIA e da IEA indicam que haverá um crescimento bastante significativo nos próximos anos, com uma capacidade instalada prevista para 700 GW até 2033, um crescimento de mais de 600% (partindo dos números da Figura 14).

Essas projeções levam em conta políticas de impulsionamento, como a Lei de Redução de Inflação citada, que, dentre suas disposições, aumenta o suporte à

expansão do setor de energias renováveis significativamente pelos próximos 10 anos através de créditos fiscais e outras medidas.

#### **4.4. Panorama do mercado indiano de energia solar**

De acordo com a *National Solar Energy Federation of India* (NSEFI), o ano de 2022 foi bastante promissor para a Índia, o país teve um crescimento de cerca de 14 GW de capacidade, tornando-se o quarto no ranking dos países que mais crescem no contexto do mercado de energia solar. E com este crescimento, obteve uma capacidade acumulada de potência de energia solar de 63 GW, posicionando-se como o quarto maior país em termos de capacidade instalada acumulada.

Diante de todo esse crescimento, a Índia revisou suas metas de geração solar para 2030, que agora visa atingir o marco de 300 GW de energia solar, e um total de 500 GW de capacidade instalada de energia renovável. Para que essa meta seja alcançada, o país terá de ter um crescimento de cerca de 30 GW por ano.

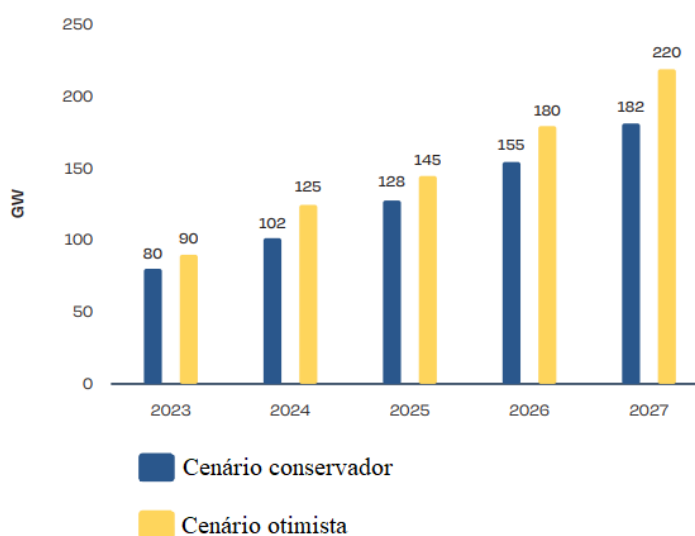
O contexto se destaca um pouco dos demais citados, pois de toda sua capacidade de potência acumulada hoje, 90%, cerca de 53,8 GW, é gerada a partir de grandes usinas solares. Do crescimento de 14 GW no último ano, 11 GW foram de geração centralizada, representando um aumento de 47% em relação ao ano anterior.

O país, que também enfrenta desafios de infraestrutura, aprovou a segunda fase do “Corredor de Energia Verde”, que facilitará a integração de novos projetos de geração de energia renovável às redes de transmissão. Além dessa iniciativa, o governo também tem programas para reduzir custos e facilitar o acesso a painéis solares para população, e assim, aumentar a geração distribuída. Também têm programas de investimentos na produção dos painéis solares, o que tende a baratear ainda mais o acesso à tecnologia por parte da população.

E apesar das metas serem, de certa forma, disruptivas em comparação com outros países, o governo indiano vem tomando uma série de ações para que seja possível alcançá-las. Possuindo a expectativa de crescimento não de 30 GW por ano, mas de 50 GW para os anos fiscais entre 2024 e 2028.

O governo e a NSEFI possuem projeções para ultrapassar a marca de 100 GW de potência acumulada ainda no início de 2024. Ademais, o país está em rota para se tornar um dos maiores produtores de painéis fotovoltaicos do mundo. Na Figura 17 é apresentado um panorama do crescimento e capacidade acumulada para os próximos anos do país.

Figura 17: Previsão do acúmulo de capacidade instalada de energia solar na Índia.



Fonte: Adaptado de SPE (2023).

#### 4.5. Panorama do mercado europeu de energia solar

Diante de um contexto mais abrangente, pode-se dizer que no tocante à participação da União Europeia no ranking de crescimento e capacidade de potência acumulada, quatro países se destacam, Alemanha, Espanha, Itália e Holanda. Mas, generalizando, o mercado europeu de energia solar possui boas expectativas de crescimento como um todo, com exceção da Dinamarca, todos os 27 países da União Europeia projetam instalar mais capacidade solar do que no ano anterior. Em 2022, o mercado europeu teve um crescimento de 46 GW, um aumento de 14 GW em números absolutos e cerca de 30% de aumento relativo ao ano anterior.

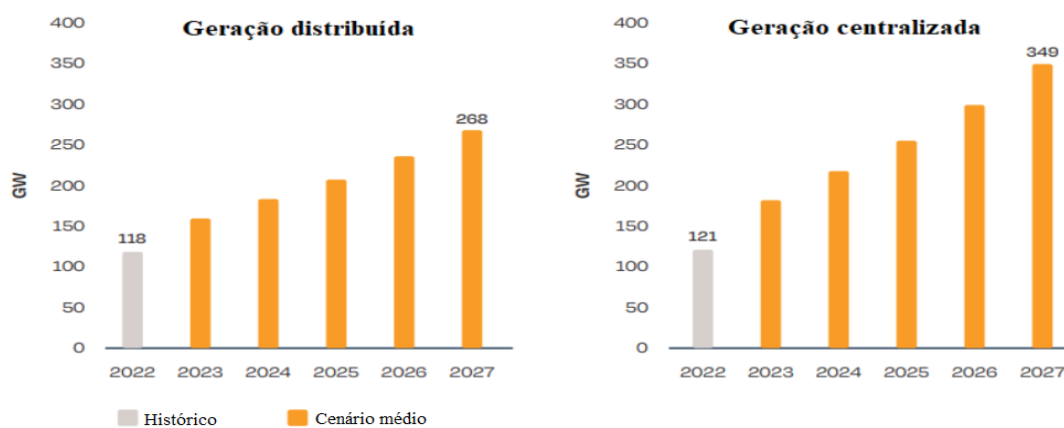
A nova expectativa é de que para o ano de 2023 haja um crescimento de 35%, ou seja, de cerca de 60 GW. Esse crescimento será, e está sendo, impulsionado por duas iniciativas, a *Green Deal Industrial Plan*, que visa melhorar a

competitividade na indústria europeia com emissões zero e acelerar a neutralidade climática, isto é, obter um desenvolvimento sustentável ao ponto de não impactar na mudança climática global. Além dessa, outra iniciativa importante é a *REPowerEU*, que é um plano que conta com investimentos massivos em prol da transição da matriz energética europeia clássica para fontes renováveis de geração de energia, na busca pelo desenvolvimento sustentável, mas principalmente, para mitigar a dependência dos países pelo gás natural russo (EUROPEAN COMMISSION, 2022).

#### 4.6. Panorama do mercado global de energia solar

Diante dos esforços de cada país do mundo em busca da transição energética de fontes fósseis para fontes renováveis, com um foco maior na energia solar, nota-se uma divisão bastante equilibrada entre as formas de geração de energia solar. Na qual fez frente às especificidades de cada país, uma das gerações se torna mais interessante que a outra, na Figura 18 se observa que esse equilíbrio deve se manter relativamente igual pelos próximos anos.

Figura 18: Projeção do crescimento da geração solar fotovoltaica por segmento.



Fonte: Adaptado de SPE (2023).

## 5. CONCLUSÕES

O crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil é um evento que vem se intensificando nos últimos anos, impulsionado por diversos fatores, como a queda do custo dos equipamentos, o aumento da conscientização ambiental e a busca por uma matriz energética mais diversificada, limpa e renovável.

Em 2022, o Brasil se posicionou pela primeira vez entre os top 5 países que mais cresceram de um ano para outro, com um crescimento de 10,9 GW de capacidade instalada, dobrando o crescimento do ano anterior.

O mercado de geração distribuída foi o maior contribuinte para esse avanço, o que é explicado por uma mudança recente na legislação brasileira, em que os consumidores, ou no caso, prossumidores, passariam a pagar tarifas antes isentas a partir do primeiro trimestre de 2023, e pode ser explicado por uma carência de incentivos e políticas públicas direcionadas ao crescimento da geração centralizada de energia solar fotovoltaica no país como metas claras e ambiciosas de crescimento do segmento.

E por falta de investimentos em infraestrutura nas redes de transmissão para facilitar e viabilizar a construção de usinas em locais mais interessantes para geração solar, e por vezes distantes das redes de transmissões existentes. Apesar disso, o Brasil ainda apresenta números promissores no contexto de crescimento da geração centralizada, com um aumento considerável no pedido de outorgas para exploração da energia solar por usinas fotovoltaicas, que devem começar a entrar em operação nos próximos anos.

Em um aspecto global fica evidente a longa distância que o Brasil deve percorrer para alcançar todo seu potencial, em termos de usinas solares, quando comparado com países como China, EUA e Índia, que possuem claros projetos e metas de crescimento, além de uma série de incentivos para exploração dessa forma de geração de energia.

A Índia é um país com um contexto econômico relativamente parecido com o Brasil, que enfrenta desafios semelhantes no tocante à infraestrutura, mas que está muito à frente, tanto nos números de crescimento, quanto nos números de capacidade instalada acumulada, mas principalmente, na produção da tecnologia

necessária para exploração da energia solar, como a produção de painéis solares fotovoltaicos.

Diante do cenário em que todo o mundo busca reduzir as emissões de gases de efeito estufa, transicionando frotas de veículos a combustão para veículos elétricos, a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis e limpas se torna, a cada ano, mais latente. E, além do objetivo da preservação da natureza, também há objetivos de prover energia de qualidade para a crescente demanda industrial, há objetivos de países de emanciparem da necessidade de contar com fontes fósseis de energia importadas de países que, muitas vezes possuem interesses conflitantes.

O mercado de geração de energia solar fotovoltaica também é um importante impulsionador da economia, gerando empregos qualificados, e reduzindo custos operacionais a médio e longo prazo de comércios e indústrias, ainda barateando o custo de vida da população que produz a energia que consome.

É por essas e outras razões que países importantes no cenário geopolítico internacional possuem tanto interesse no mercado de energia solar, que é promissor e ainda possui muito potencial para ser explorado, com a melhoria da tecnologia disponível para exploração solar, aumentando a eficiência das células solares, e o aproveitamento dos espaços desérticos, que não possuem finalidade para o agronegócio, tampouco residenciais.

Ressalta-se também a dificuldade em encontrar dados e informações que se complementam, uma vez que apenas o crescimento durante o ano de 2023 na geração centralizada fotovoltaica cresceu cerca de 1 GW, saindo de 9,6 no início do ano, para cerca de 10,4 GW até outubro. Diante, portanto, desse rápido crescimento de capacidade instalada, e do grande volume de associações, agências e entidades internacionais com interesse em divulgar os números e indicadores desse mercado de energia solar, algumas informações podem parecer controversas, mas o problema em questão é a data de quando se trataram os dados.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Empreendimentos em Operação**. Disponível em:

<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/empreendimentos-em-operacao>. Acesso em: 11 out. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Energia solar centralizada ultrapassa PCHs na matriz energética brasileira**. Disponível em:

<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/energia-solar-centralizada-ultrapassa-pchs-na-matriz-energetica-brasileira>. Acesso em: 19 jan. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **SIGA - Sistema de Informações de Geração da Aneel**. Disponível em:

<<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

AGÊNCIA REGULADORA DO ESTADO DO CEARÁ (ARCE) - **Usina localizada em Tauá é pioneira na geração de energia fotovoltaica**. Disponível em:

<https://www.arce.ce.gov.br/2015/10/16/usina-localizada-em-taua-e-pioneira-na-geracao-de-energia-fotovoltaica/>. Acesso em: 2 set. 2023.

ANM - AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. (2014). **Quartzo - sumário mineral. Agência Nacional de Mineração, Brasília, DF**. Disponível em:

<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/sumarios/quartzo-sumario-mineral-2014#:~:text=Informa%C3%A7%C3%B5es%20sobre%20as%20reservas%20mundiais,a%2078%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas>. Acesso em: 11 out. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR (ABSOLAR). **Estatísticas e análises exclusivas do mercado solar fotovoltaico - Trajetória da energia solar fotovoltaica no Brasil, 2020**. Disponível em:

<https://www.absolar.org.br/mercado/#:~:text=A%20gera%C3%A7%C3%A3o%20centralizada%20solar%20fotovoltaica,do%20Brasil%2C%20superando%20a%20nuclear!>. Acesso em: 2 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR (ABSOLAR). **Geração distribuída fotovoltaica cresce 230% ao ano no Brasil**. Disponível em:

[https://www.absolar.org.br/noticia/geracao-distribuida-fotovoltaica-cresce-230-ao-ano-no-brasil/#:~:text=Desde%202013%2C%20a%20GD%20\(gera%C3%A7%C3%A3o](https://www.absolar.org.br/noticia/geracao-distribuida-fotovoltaica-cresce-230-ao-ano-no-brasil/#:~:text=Desde%202013%2C%20a%20GD%20(gera%C3%A7%C3%A3o). Acesso em: 2 nov. 2023.

BRASIL. **Balço Energético Nacional: Ano base 2022**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2022. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e dá outras providências. Brasília, DF: Senado**

**Federal, 1996.** Disponível em:

[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9427cons.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9427cons.htm). Acesso em: 21 out. 2023.

**BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 jul. 2000.** Disponível em:

<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2000/lei-9991-24-julho-2000-359823-publica-caoriginal-1-pl.html>. Acesso em: 22 out. 2023.

**BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 de abril de 2002.** Disponível em:

<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2002/lei-10438-26-abril-2002-456860-publica-caoriginal-1-pl.htm>. Acesso em: 26 ago. 2023.

**BRASIL. Lei nº 14.120, de 14 de dezembro de 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 dez. 2021.** Disponível em:

[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/lei/L14120.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14120.htm). Acesso em: 3 nov. 2023.

**BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de julho de 2022. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jul. 2022.** Disponível em:

[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm). Acesso em: 2 nov. 2023.

CANAL SOLAR. CALMON, F. **ANEEL simplifica e agiliza a outorga de usinas solares e outras fontes renováveis.** Disponível em:

<https://canalsolar.com.br/aneel-simplifica-e-agiliza-a-outorga-de-usinas-solares-e-outras-fontes-renovaveis/>. Acesso em: 2 nov. 2023.

CANAL SOLAR. HEIN, H. **Solar e eólica somam mais de 80% dos projetos em construção.** Disponível em:

<https://canalsolar.com.br/solar-e-eolica-concentram-mais-de-80-dos-projetos-em-fase-de-construcao/>. Acesso em: 12 nov. 2023.

CARNEIRO, J. **ELECTROMAGNETISMO B MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÕES. [s.l: s.n.].** Disponível em:

[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos\\_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf). Acesso em: 18 ago. 2023.

COELHO, R., & SCHMITZ, L. (2022). **Energia solar fotovoltaica: geração, conversão e aplicações** (5ª ed.). São Paulo: Blucher.

CUSTÓDIO, Douglas et al. **Usinas Hidrelétricas e Seus Impactos Ambientais.** In: Anais da Exposição Anual de Tecnologia, Educação, Cultura, Ciências e Arte do Instituto Federal de São Paulo - Campus Guarulhos, v. 2, 2022. Disponível em: <https://revista.gru.ifsp.edu.br/exatecca/article/download/76/31/501>. Acesso em: 21 jul. 2023.

DANTAS, S. G; & Pompermayer, F. M. (2018). **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico IPEA - Texto para Discussão, n. 2388. Brasília - DF.** Disponível em:

[https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td\\_2388.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf). Acesso em 19 ago. 2023.

ELERA. (s.d.). **Usina solar Janaúba**. Recuperado em 12 de novembro de 2023. Disponível em: <https://www.elera.com/nossos-ativos/janauba/>. Acesso em: 12 no 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Informe: Leilões de Energia Nova de 2017 - Apresentando os resultados e como isso afeta os estudos de planejamento energético, 2017**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-268/Informe%20Leil%C3%B5es%202017%20-%20Portugues.pdf>. Acesso em: 2 set. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **REPowerEU: affordable, secure and sustainable energy for Europe**. Disponível em: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en). Acesso em: 3 nov. 2023.

EPBR. **As 10 maiores usinas solares do Brasil**. Disponível em: <https://epbr.com.br/as-10-maiores-usinas-solares-do-brasil/>. Acesso em: 12 no 2023.

GLOBAL SOLAR COUNCIL (GSC). **Brazil accelerates in solar PV energy and becomes the eighth largest country in the world ranking of the source, informs ABSOLAR**. Disponível em: <https://www.globalsolarcouncil.org/brazil-accelerates-in-solar-pv-energy-and-becomes-the-eighth-largest-country-in-the-world-ranking-of-the-source-informs-absolar/>. Acesso em: 9 out. 2023.

IBERDROLA. **O que é a energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/que-e-energia-solar-fotovoltaica#:~:text=A%20energia%20solar%20fotovoltaica%20%C3%A9%20uma%20fonte%20de%20energia%20renov%C3%A1vel>. Acesso em: 18 ago. 2023.

IEA. **Renewable Electricity**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewable-electricity>. Acesso em: 15 jan. 2023.

IEA. **Solar**. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/solar>. Acesso em: 15 jan. 2023.

IEA. **SOLAR PV**. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv#tracking>. Acesso em: 17 set. 2023.

KAKU, M. **Albert Einstein | Biography, Education, Discoveries, & Facts, 20 set. 2018**. Disponível em <https://www.britannica.com/biography/Albert-Einstein>. Acesso em: 19 ago. 2023.

LEITE, A. L. S., & LEITE, P. R. S. (2023). **Fotovoltaica: fundamentos, aplicações e tecnologias**. São Paulo: Editora Senac São Paulo.

LUDKE, M. C. (2023). **Recursos minerais do estado de Santa Catarina para a produção de silício para células fotovoltaicas**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Disponível em: [MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. \*\*Capacidade instalada de geração distribuída solar cresce e atinge 18 GW\*\*. Disponível em: \[MENDES, FELIPE. \\*\\*“Taxação do sol’ em vigor: ainda vale a pena instalar painéis solares?”\\*\\*. \\*Einvestidor\\*. 20 de julho de 2023. Disponível em: \\[NEXO. \\\*\\\*O crescimento da energia solar no Brasil. E o seu futuro\\\*\\\*. Disponível em: \\\[OLIVEIRA, A. T. E. DE et al. \\\\*\\\\*A energia solar fotovoltaica: transformação, evolução, aspectos ambientais e abordagens na sala de aula\\\\*\\\\*. \\\\*Research, Society and Development\\\\*, v. 11, n. 9, p. e25811932533–e25811932533, 20 jul. 2022.\\\]\\\(https://www.nexojornal.com.br/expresso/2022/09/29/O-crescimento-da-energia-solar-no-Brasil.-E-o-seu-futuro. Acesso em: 22 ago. 2023.</a></p></div><div data-bbox=\\\)\\]\\(https://einvestidor.estadao.com.br/educacao-financeira/energia-solar-taxacao-vale-a-pena/. Acesso em: 11 out. 2023.</a></p></div><div data-bbox=\\)\]\(https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/capacidade-instalada-de-geracao-solar-cresce-e-atinge-18-gw. Acesso em: 26 ago. 2023.</a></p></div><div data-bbox=\)](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188037/TCC_MARCELOCRISTIANOLUDKE_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=De%20todos%20os%20minerais%20silicatos,sil%C3%ADcio%20utilizado%20na%20ind%C3%BAstria%20fotovoltaica. Acesso em: 11 out. 2023.</a></p></div><div data-bbox=)

ONU. **Renewable energy – powering a safer future**. Disponível em: [ONS. \*\*Operador Nacional do Sistema Elétrico\*\*. Disponível em: \[ONS. \\*\\*Plano da operação energética 2021/2025 PEN 2021, Relatório das condições de atendimento\\*\\*. Dezembro de 2021. Acesso em: 19 jan. 2023.\]\(https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade\_instalada.aspx. Acesso em: 21 ago. 2023.</a></p></div><div data-bbox=\)](https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy. Acesso em: 15 jan. 2023.</a></p></div><div data-bbox=)

OUR WORLD IN DATA. **Solar PV module prices**. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>. Acesso em: 24 ago. 2023.

PERAZZOLI, DÉBORA LIA. **ANÁLISE DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO BRASIL: PROPOSTA DE REGULAMENTAÇÃO A NÍVEL NACIONAL**. Monografia de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas**

**brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p.**  
Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em: 31 jul. 2023.

PEREIRA, N. X. Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Unesp Campus de Sorocaba. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/181288>, 2019.

PORTAL SOLAR. **Brasil teve maior crescimento do mundo em energia solar em telhados em 2022.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/geracao-distribuida/brasil-teve-maior-crescimento-do-mundo-em-energia-solar-em-telhados-em-2022>. Acesso em: 2 nov. 2023.

PORTAL SOLAR. **Energia heliotérmica (termo solar): O que é e como funciona?** Disponível em: <https://www.google.com/url?q=https://www.portalsolar.com.br/energia-heliotermica-entenda-como-funciona&sa=D&source=docs&ust=1698663456761561&usg=AOvVaw3oFv4fcVwISuhHNtfOnL5E>. Acesso em: 30 out. 2023.

SOLARPOWER EUROPE. **Global Market Outlook For Solar Power 2023 - 2027: FOCUS ON SOUTHEAST ASIA. 2023.** Disponível em: [https://api.solarpowereurope.org/uploads/Global\\_Market\\_Outlook\\_2023\\_2027\\_report\\_18b86a4568.pdf](https://api.solarpowereurope.org/uploads/Global_Market_Outlook_2023_2027_report_18b86a4568.pdf). Acesso em: 4 out. 2023.

SOUSA, M. I. de F.; BARBOSA, J. J.; COSTA, C. T. F. **Uma reflexão sobre mudanças climáticas, saúde e meio ambiente no semiárido nordestino.** Saúde e Meio Ambiente, 2015.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Solar timeline.** [s.l: s.n.]. Disponível em: [https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf). Acesso em: 19 ago. 2023.

VASCONCELOS, MATHEUS FERREIRA SANTOS. **Panorama da utilização da energia solar fotovoltaica no contexto da geração distribuída na cidade de Teresina, Piauí.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2022.

VEIGA, I. C. L.; SILVA, L. V. G.; GOMES, C. C. C.; TORRES, I. C. **O impacto econômico das propostas de revisão da Resolução 482/2012 da ANEEL para os prosumidores de geração distribuída.** VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 8., 2020, Fortaleza. Anais. Fortaleza: UFAL, 2020. p. 1-10