



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

FRANK WESLEY RODRIGUES



Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
A TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande, Paraíba.  
Abril de 2017

FRANK WESLEY RODRIGUES

A TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Ubirajara Meira Junior, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba.  
Abril de 2017

FRANK WESLEY RODRIGUES

A TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Leimar de Oliveira**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Ubirajara Meira Rocha, M. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha avó Isabel (in memoriam), pelo seu amor incondicional, pelos sonhos e por seus conselhos sobre a vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e pelo dom da perseverança, que me permitiu concluir este trabalho.

Agradeço a minha mãe Vilma Silva, por seu amor pelos seus filhos, pelas suas palavras de apoio e de superação e por ser meu porto seguro em toda minha jornada acadêmica.

Agradeço ao meu pai Eroley Rodrigues, pelos seus ensinamentos sobre humildade, trabalho e superação e por ter se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação.

Agradeço também aos meus irmãos, Mateus Rodrigues e Marcia Rodrigues, pelo qual sirvo de exemplo, e também a minha namorada pelo companheirismo ao longo desses anos.

Ao meu orientador, Ubirajara Meira, que colaborou com toda sua paciência, empenho, orientação e toda instrução que foi dada para a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos amigos de curso Suelson Batista e Raymundo Júnior, Ulysses Gabriel, Denis Iago e Jose Victor pela união, companheirismos e pelos momentos de superação ao longo do curso.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas os sonhos não tem alicerce. Sem prioridades os sonhos não se tornam reais.”*

Augusto Cury.

## RESUMO

No cenário de crescimento da demanda de energia e a preocupação com o meio ambiente, surgiu a necessidade de desenvolver tecnologias de geração de energia elétrica, principalmente renováveis, com menor índice de emissão de poluentes, como as fontes eólicas, maremotriz, solar entre outras. Neste sentido, a energia solar fotovoltaica apareceu como uma boa opção, tendo em vista que é considerada uma fonte de energia inesgotável e que possui um baixo potencial poluidor em sua geração. Logo, nos últimos anos esta fonte de energia vem apresentando crescimentos constantes o que vêm a destacando entre as fontes de energias renováveis. Em alguns países como China, Alemanha, Estados Unidos da América e Japão esta já se encontra como realidade, devido aos altos investimentos tecnológicos neste tipo de geração e das políticas adotadas nestes países. Já no Brasil a energia solar fotovoltaica começa a crescer de maneira relevante, devido ao surgimento dos seus primeiros leilões e do conceito de geração distribuída, estimasse que em 2020 seja o 9º país com maior capacidade instalada desta forma de energia. Portanto, neste trabalho é apresentado o crescimento relacionado à energia fotovoltaica, a sua capacidade instalada, o custo de geração e o número de empregos gerados, bem como, a sua tendência de crescimento para o futuro.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica, Crescimento, Capacidade Instalada, Custo.

# ABSTRACT

In the scenario of growing energy demand and concern for the environment, there was a need to develop electricity generation technologies, mainly renewable, with a lower rate of emission of pollutants such as wind, tidal, solar and other sources. Inserted in this line of research solar photovoltaic appeared as a good option, considering that it is considered an inexhaustible source of energy and that it has a low polluting potential in its generation. Therefore, in recent years this energy source has been showing steady growth, which has come to stand out among the sources of renewable energy. In some countries such as China, Germany, the United States of America and Japan this is already a reality due to the high technological investments in this type of generation and the policies adopted in these countries. In Brazil, photovoltaic solar energy begins to grow significantly, due to the appearance of its first auctions and the concept of distributed generation, estimated that in 2020 it will be the 9th country with the largest installed capacity of this form of energy. Therefore, this work presents the growth related to photovoltaic energy, its installed capacity, the cost of generation and the number of jobs generated, as well as its growth trend for the future.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy, Growth, Installed Capacity, Cost.



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Gerald Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller e a sua primeira célula solar. ....                               | 19 |
| Figura 2: Fotografia da aplicação da primeira célula de silício. ....   | 19 |
| Figura 3: Eficiência das células ao longo dos anos. ....  | 22 |
| Figura 4: Fotografia de uma célula de quatro junções. Célula de quatro junções ....                                     | 23 |
| Figura 5: Organograma contendo os tipos de sistemas fotovoltaicos. ....   | 25 |
| Figura 6: Componentes de um sistema <i>off-grid</i> . ....  | 26 |
| Figura 7: Sistema <i>off-grid</i> instalado em uma escola. ....   | 27 |
| Figura 8: Componentes de um sistema <i>on-grid</i> . ....   | 28 |
| Figura 9: Fotografia da implantação de um sistema de distribuição em microgeração fotovoltaica em uma Empresa. ....     | 31 |
| Figura 10: Fotografia da implantação de um sistema de distribuição em microgeração fotovoltaica em uma residência. .... | 31 |
| Figura 11: Fotografia minigeração fotovoltaica em uma indústria. ....   | 32 |
| Figura 12: Fotografia minigeração fotovoltaica em um comércio. ....   | 32 |
| Figura 13: Fotografia do primeiro sistema solar fotovoltaico isolado. ....  | 33 |
| Figura 14: Diagrama Esquemático de uma central fotovoltaica. ....   | 33 |
| Figura 15: Fotografia da usina solar fotovoltaica Solar Star. ....  | 34 |
| Figura 16: Usina solar fotovoltaica de <i>kamuthi solar power project</i> . ....  | 35 |
| Figura 17: Etapas industriais de produção dos sistemas fotovoltaicos. ....  | 37 |
| Figura 18: Evolução da Capacidade de energia fotovoltaica instalada no mundo 2000-2015. ....                            | 38 |
| Figura 19: 10 países com maior capacidade instalada em 2015. ....   | 39 |
| Figura 20: Evolução da capacidade de energia fotovoltaica na China. ....  | 40 |
| Figura 21: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada na Alemanha. ....                             | 40 |
| Figura 22: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada no Japão. ....                                | 41 |
| Figura 23: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada na Itália. ....                               | 42 |
| Figura 24: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada na França. ....                               | 42 |
| Figura 25: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada em Espanha. ....                              | 43 |
| Figura 26: Capacidade instalada de energia fotovoltaica no Brasil. ....   | 43 |
| Figura 27: Número de sistemas fotovoltaicos e unidades beneficiadas. ....   | 44 |
| Figura 28: Evolução da potência instalada (KW) de microgeração e minigeração distribuída. ....                          | 44 |
| Figura 29: Queda do preço da energia fotovoltaica de 1977 a 2015. ....  | 45 |
| Figura 30: Evolução dos preços dos módulos fotovoltaicos de 2010 a 2015. ....   | 46 |
| Figura 31: Evolução do preço da energia fotovoltaica em escala industrial no mundo. ....                                | 47 |
| Figura 32: Preço médio de leilões de geração, por fonte – 2015. ....  | 48 |
| Figura 33: Número de emprego gerado por fonte de energia renovável. ....  | 49 |
| Figura 34: Distribuição de empregos gerados pela indústria fotovoltaica nos EUA em 2012. ....                           | 51 |
| Figura 35: Queda do preço dos componentes fotovoltaicos. ....   | 53 |
| Figura 36: Cenário do mercado do top 20 dos países no ano de 2020. ....   | 54 |
| Figura 37: Projeção da capacidade instala de energia solar fotovoltaica 2016-2020. ....                                 | 56 |

# LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Principais fabricantes dos módulos PV. ....                                  | 37 |
| Tabela 2: Leilões de geração solar fotovoltaica.....                                   | 47 |
| Tabela 3: Evolução do preço da energia fotovoltaica com a realização dos leilões. .... | 48 |
| Tabela 4: Número de emprego gerado por MW instalado.....                               | 50 |
| Tabela 5: Projeção da energia solar fotovoltaica 2016-2020.....                        | 55 |

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |  |
|-------|--|
| AIE   | International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)                                       |
| AIST  | Institute of Advanced Industrial Technologies (Instituto de Tecnologias Industriais Avançadas)       |
| APAC  | Ásia-Pacífico  |
| CAPEX | Capital Expenditure  |
| CEPEL | Centro de Pesquisa de Energia Elétrica   |
| CCEE  | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica  |
| CHESF | Companhia Hidroelétrica do São Francisco   |
| EPI   | Equipamento de Proteção Individual   |
| EUA   | Estados Unidos da América  |
| IEEE  | Institute of Electrical and Electronic Engineers (Instituto de Engenheiros Eletricista e Eletrônico) |
| IRENA | International Renewable Energy Agency (Agência Internacional de Engenharia Elétrica)                 |
| LER   | Leilão de Energia Renovável  |
| MEA   | Middle East and Africa (Oriente Médio e África)  |
| MME   | Ministério de Minas e Energia  |
| OPEX  | Operational Expenditure (Despesas de Capital)  |
| PCH   | Pequenas Centrais Hidrelétricas  |
| PV    | Fotovoltaico   |
| RoW   | Rest of the Word (Resto do Mundo)  |
| SFCR  | Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede  |
| UAE   | Emirados Árabes Unidos   |
| UFMG  | Universidade Federal de Campina Grande   |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul  |
| USP   | Universidade São Paulo   |
| TCC   | Trabalho Conclusão de Curso  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                 |                |
|-----------------|----------------|
| cm              | Centímetros    |
| GW              | Gigawatt       |
| Km              | Quilômetro     |
| kW <sub>p</sub> | Quilowatt-pico |
| MW              | Megawatt       |
| MW <sub>p</sub> | Megawatt-pico  |
| W <sub>p</sub>  | Watt-pico      |
| MWh             | Megawatt-hora  |
| GWh             | Gigawatt-hora  |

# SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Introdução.....  | 14 |
| 1.1   | Objetivos.....   | 15 |
| 1.2   | Estrutura do Trabalho .....                                      | 16 |
| 2     | Histórico da energia Fotovoltaica.....                           | 17 |
| 2.1   | Descoberta do efeito fotovoltaico .....                          | 17 |
| 2.2   | Primeira célula solar .....                                      | 18 |
| 2.3   | A corrida espacial e o desenvolvimento das células solares ..... | 20 |
| 2.4   | Estado Atual.....  | 21 |
| 2.5   | O futuro.....  | 24 |
| 3     | Energia solar fotovoltaica.....                                  | 25 |
| 3.1   | Sistemas fotovoltaicos isolados .....                            | 26 |
| 3.2   | Sistemas fotovoltaicos conectados à rede .....                   | 28 |
| 3.2.1 | Geração distribuída.....   | 29 |
| 3.2.2 | Sistemas Fotovoltaicos Centralizados .....                       | 32 |
| 4     | Evolução do mercado de energia solar fotovoltaica .....          | 36 |
| 4.1   | Indústrias.....  | 36 |
| 4.2   | Capacidade instalada.....  | 38 |
| 4.3   | Custo da produção.....   | 45 |
| 4.4   | Geração de emprego .....   | 49 |
| 4.5   | Futuro da energia fotovoltaica .....                             | 52 |
| 5     | Conclusão .....  | 57 |
|       | Referências .....  | 58 |

# 1 INTRODUÇÃO

Uma das formas de definir se uma nação é desenvolvida é observar a facilidade da população a serviços de infraestrutura, transporte, saneamento básico, telecomunicações e energia. Todos esses serviços são de grande importância, mas a questão energética é considerada o fator determinante para o desenvolvimento econômico e social de uma nação, fornecendo apoio mecânico, térmico e elétrico às ações humanas. Com o crescimento da economia e da demanda de energia, surgem preocupações dos países com a utilização das fontes de energia não renováveis, tendo em vista que a utilização desse tipo de fonte de energia pode causar desastres ambientais muito graves, como a poluição do lençol freático, formação de chuvas ácidas e aumento do efeito estufa através da queima de combustível fóssil, além do elevado custo de exploração, transporte e refinação.

Para solucionar estes entraves da sociedade moderna, e depender cada dia menos deste tipo de fonte de energia, países vem investindo em fontes de energia renováveis como: solar, eólica, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas (PCH), para que se possa gerar energia de um modo menos agressivo ao planeta.

O Brasil possui uma localização privilegiada para geração de energias renováveis tais como hidráulica, eólica e solar. Apesar de sua matriz energética atual ser predominantemente hidráulica, já se explora outras fontes de energias renováveis, visando diversificar a matriz energética. Devido aos baixos níveis dos reservatórios de água, o potencial hidrelétrico está chegando ao seu limite e o custo da energia elétrica está bastante elevado por conta do acionamento das usinas termelétricas. Isto mostra uma necessidade ainda maior de geração de outras fontes de energias que possam servir de alternativa à geração de energia hidráulica. Dentro dessas se destaca a solar.

A geração de energia solar é um termo que se refere à energia proveniente da luz e do calor do sol. A forma mais simples de aproveitar essa energia é através de soluções de arquitetura que privilegiem a iluminação solar ou o controle natural da temperatura. Há também a possibilidade de utilizar sistemas de captação dessa energia para convertê-la em energia térmica e depois utilizá-la para aquecer outro meio, geralmente a água.

Hoje são três os principais tipos de sistema de energia solar: Sistema Solar Térmico, Sistema Solar Fotovoltaico e Sistema Termossolar.

Dentre os tipos de geração de energia solar se destaca a solar fotovoltaica, como fonte de energia alternativa e renovável, esse tipo de geração está sendo cada vez mais difundido no Brasil e no mundo. Porém temos que a sua contribuição ainda é de pouca expressão, menos de 1% de toda a energia gerada no mundo (IRENA, 2015).

Em países como Alemanha, Estados Unidos da América (EUA), Japão e China esse tipo de geração já se encontra como realidade e com maiores perspectivas de crescimento para o futuro, isto por causa do avanço tecnológico e das políticas e ações adotadas por esses países, o que vem melhorando a eficiência e diminuindo o custo relacionado à implementação dessa fonte energética.

No Brasil este mercado vem crescendo de forma expressiva nos últimos anos, através das novas normas e resoluções adotadas para a produção de geração distribuída fotovoltaica e pelos primeiros leilões de energia fotovoltaica de grande porte. Mesmo com este crescimento é possível notar que o Brasil está bem atrás dos países com maior geração.

Dentre as características que foram apresentadas a respeito da energia fotovoltaica é possível observar que esse tipo de produção de energia elétrica está em constante crescimento desde tecnologias associadas a sua fabricação às políticas públicas adotadas para a sua inserção na matriz energética. Neste contexto, pretende-se expor ao longo deste Trabalho de Conclusão de Curso a tendência de crescimento associado a este tipo de geração.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste Trabalho de Conclusão de Curso é realizar um estudo sobre o crescimento da energia solar fotovoltaica.

- Inicialmente será feito um estudo histórico referente à sua tecnologia;
- Estudo sobre as formas de distribuição da energia elétrica baseada na tecnologia de geração fotovoltaica;
- Análise da evolução do mercado frente a essa fonte de geração de energia elétrica;

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Como formas de sistematizar o tema abordado neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), o texto foi organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1 é composto por uma visão geral do crescimento da geração de energia renovável, dentro deste se destaca a geração de energia fotovoltaica, tecnologia esta que vem demonstrando grande avanço nos últimos anos e que será tratada nesse trabalho.

O Capítulo 2 visa analisar o avanço tecnológico da energia fotovoltaica, desde a descoberta do efeito fotovoltaico até os dias de hoje e o futuro desta tecnologia.

Posteriormente, no Capítulo 3 serão tratados os tipos de sistemas fotovoltaicos, com ênfase para os Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede (SFCR) que correspondem a grande maioria dos sistemas fotovoltaicos. Dentre os SFCR serão abordadas suas divisões e subdivisões.

No Capítulo 4, será realizada uma análise da evolução do mercado de geração de energia fotovoltaica no Brasil e no mundo, para isso será estudado o crescimento da geração de energia em termo de potência instalada, o número de empregos associado a este tipo de geração e os avanços tecnológicos.

O capítulo 5 será abordado o estudo sobre como deverá se comportar o crescimento da energia fotovoltaica nos próximos anos. Por fim, no Capítulo 6 é exposta a conclusão do Trabalho de Conclusão de Curso.



## 2 HISTÓRICO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar sempre esteve presente na vida do planeta, esta fonte de energia é fundamental para o desenvolvimento da vida. No entanto, a maneira pela qual a civilização humana inventou estratégias e passou tirar proveito destes novos inventos sofreu uma longa evolução ao longo do tempo.

Desde as primeiras civilizações observou-se que a energia solar era indispensável para a vida humana. Com a evolução da civilização, as técnicas para obtenção desta energia passaram por grandes mudanças ao longo de sua história. No início, eram técnicas para o aproveitamento da energia solar passiva, mais tarde estas técnicas foram desenvolvidas para aproveitar a energia solar térmica e posteriormente acrescentou-se a fotovoltaica.

### 2.1 DESCOBERTA DO EFEITO FOTOVOLTAICO

A história da energia fotovoltaica começa com a descoberta do efeito fotovoltaico, este foi descoberto em 1839 pelo francês Edmond Becquerel, que observou através de um experimento muito simples, que quando placas metálicas, de platina ou cobre mergulhadas em um eletrólito (solução condutora de eletricidade) produziam uma diferença de potencial que aumentava com a presença da luz solar.

Mais tarde, em 1877, dois inventores norte-americanos, W. G. Adams e R. E. Day utilizaram as propriedades fotocondutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz. Este dispositivo era constituído por um filme de selênio depositado num substrato de ferro e com um segundo filme de ouro, semitransparente, que servia de contato frontal. A eficiência de conversão deste dispositivo era menor que 1%. (ADAMS, 1877).

No começo da sua história a energia fotovoltaica era considerada como uma tecnologia futurista, onde seu uso se restringia exclusivamente entre cientistas e pesquisas. O custo inicial desta energia era muito alto, o que levava a acreditar que esta não seria utilizada de maneira geral.

A energia fotovoltaica teve que esperar grandes desenvolvimentos científicos como: a explicação do efeito fotoelétrico por Albert Einstein em 1905, como também o desenvolvimento de técnicas de purificação e dopagem associadas ao desenvolvimento do transistor de silício. Estes desenvolvimentos levaram a esta energia ultrapassar o limiar de eficiência fazendo com que esta se tornasse uma forma mais viável.

## 2.2 PRIMEIRA CÉLULA SOLAR

A primeira célula solar foi descoberta em 1943, pelo cientista estadunidense Calvin Fuller, que desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício de modo que possa controlar suas propriedades elétricas, este processo ficou conhecido como ‘dopagem’. Fuller mergulhou uma barra de silício dopada em uma solução de gálio, tornando a condutor, sendo as cargas móveis positivas (conhecidas hoje por silício do “tipo p”). Seu colega de laboratório Gerald Person, introduziu esta barra de silício dopado em um banho quente de lítio, criando uma zona de elétrons livres, portadoras com cargas negativas (conhecidas hoje como silício “tipo n”). Assim surgiu o campo elétrico permanente através da “junção p-n”. (CHAPIN et al, 1954).

Logo Person observou que a amostra produzia corrente elétrica quando era exposta a luz, ele tinha acabado de fazer a primeira célula solar de silício. As primeiras células de silício foram utilizadas para substituir as baterias de redes telefônicas remotas e apresentava uma eficiência de conversão de 4%, que era superior a melhor célula de selênio.

Entretanto foi observado que em altas temperaturas o lítio migrava para o interior da célula fazendo com que a eficiência diminuísse. Foi então que Fuller substituiu o gálio por arsênio (formando um substrato do tipo n) seguido por uma difusão de boro (formando uma zona do tipo p na superfície). As novas células revelaram eficiência recorde, atingindo 6%.

A primeira célula solar foi apresentada na reunião anual da *National Academy of Sciences*, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de Abril de 1954. Na Figura 1 observa-se a nova celular e seus criadores Gerald Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller.

Figura 1: Gerald Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller e a sua primeira célula solar.



Fonte: (BELL, 1954).

A primeira aplicação das células solares de Chapin, Fuller e Pearson foi realizada em Americus, no estado da Geórgia, para alimentar uma rede telefônica local. Pode-se ver na Figura 2 esta aplicação. O painel, com nove células com 30 mm de diâmetro, foi montado em Outubro de 1955 e removido em Março de 1956 (WOLF, 1960).

Figura 2: Fotografia da aplicação da primeira célula de silício.



Fonte: (LABS, 1956).

### 2.3 A CORRIDA ESPACIAL E O DESENVOLVIMENTO DAS CÉLULAS SOLARES

Nos anos de 1960, o desenvolvimento das células solares se deu por conta da corrida espacial, estas erram vistas como uma fonte de energia inesgotável para os satélites além de possuírem baixo peso e flexibilidade. Esta alternativa se mostrou mais viável que a utilização de pilhas convencionais, até nos dias de hoje os veículos espaciais são equipados com células solares.

Enquanto nas primeiras células solares norte-americanas o substrato era silício do tipo n, os investigadores do programa espacial soviético escolheram substratos do tipo p, por serem mais econômicos de produzir. Mais tarde, verificou-se que o silício do tipo p é mais resistente à radiação, depois da descoberta das cinturas de radiação de Van Allen, em 1960, o programa espacial norte americano começou também a desenvolver células em substrato do tipo p. (LINDEMEYER e ALLISON, 1972).

Todo esse desenvolvimento levou a uma maior eficiência das células solares, mas não a uma queda de seu preço. Isto só aconteceu em 1973, na crise do petróleo onde o barril do petróleo quadruplicou o preço, o que levou um maior investimento em programas para reduzir o custo da produção das células solares.

Com os novos programas surgiram algumas tecnologias que revolucionaram o processamento das células solares. Entre elas a utilização de novos materiais, em particular o silício policristalino e silício amorfo (em vez de cristais únicos de silício, monocristais, muito mais caros de produzir) ou de métodos de produção de silício diretamente em fita (eliminando o processo de corte dos lingotes de silício, e todos os custos associados). Outra inovação particularmente importante do ponto de vista de redução de custo foi à deposição de contatos por serigrafia em vez das técnicas tradicionais: a fotolitografia e a deposição por evaporação em vácuo. Logo o custo da célula solar despencou de 80 \$/Wp para 12 \$/Wp em menos de uma década. (GREEN et al, 1985). Quanto à eficiência de conversão da célula de silício monocristalino, ultrapassou a barreira de 20%. (SINTON *et al.*, 1985).

Em 1975 surgiu a primeira fábrica de módulos fotovoltaicos, a Panasonic-Sanyo que foi instalada no Japão e na Malásia. Essa utilizava a célula de silício cristalino como tecnologia para a fabricação de células fotovoltaicas.

## 2.4 ESTADO ATUAL

As décadas de oitenta e noventa foram marcadas pelo desenvolvimento da célula solar através de programas que tinha como objetivo investir em fontes de energia renováveis, este desenvolvimento foi motivado pela preocupação com a crescente ameaça de alterações climáticas causadas devido à queima de combustíveis fósseis.

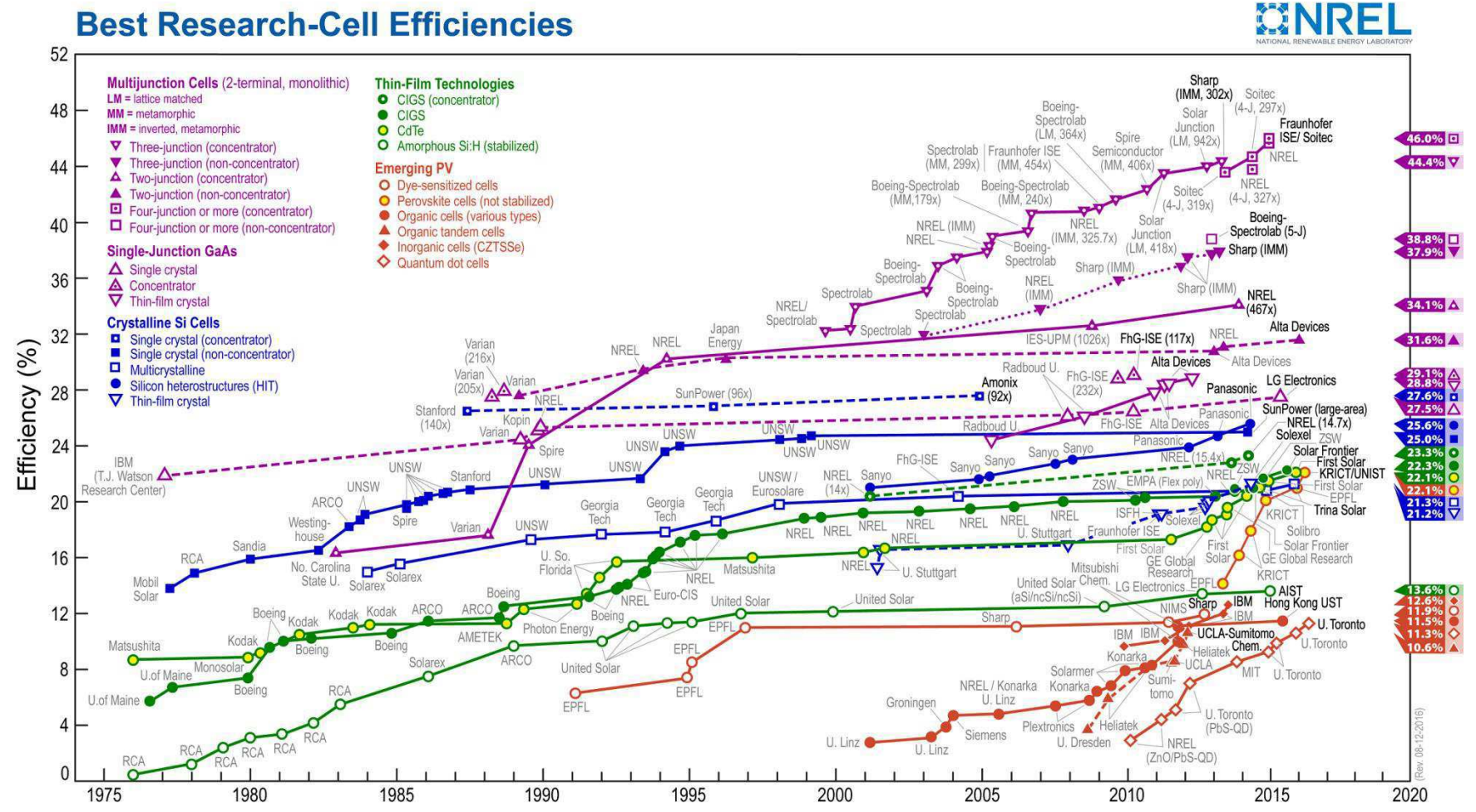
Logo surgiram programas que visavam estimular a produção de energia fotovoltaica, um destes programas foi a criação da primeira central fotovoltaica, que foi instalada na Califórnia, com capacidade de geração 11 MW<sub>p</sub>. Também foram lançados programas como “telhados solares” na Alemanha (1990) e no Japão (1992). (ZHAO *et al.*, 1998).

A Alemanha foi um dos países pioneiros na implementação de programas que tinha como finalidade desenvolver o uso de energia fotovoltaico, esta implementou a lei da tarifa garantida, que proporcionou um crescimento exponencial do mercado de eletricidade fotovoltaica, fazendo com que atingisse o primeiro Gigawatt de potencia instalada por painéis fotovoltaicos.

A chegada do século XXI trouxe um declínio constante nos custos juntamente com uma ligeira melhoria nos processos de fabricação das células fotovoltaicas. Esta chegada trouxe a descoberta de uma nova geração de células solares, a terceira, que é formada pelas células solares de materiais orgânicos e nano partículas.

Pode-se ver na Figura 3 a evolução da eficiência das células fotovoltaicas, verificadas no período de 1975 a 2010, mostrando a melhor eficiência obtida para células de pequena área (0,5 a 5 cm<sup>2</sup>), em escala de laboratório, cuja fabricação encontra-se em escala de diferentes tipos de tecnologias de desenvolvimento. Pelo gráfico é possível observar que a partir de 1990 as células concentradoras de multijunção possuem uma maior eficiência que as células de silício cristalino, isso se deu pelo surgimento da tecnologia de dupla junção, a eficiência dessas células continuou a crescer com a descoberta da tecnologia de tripla junção em 1995. Apesar de sua alta eficiência estas células são de difícil fabricação o que torna seu custo bem mais elevado que as outras células. Hoje a tecnologia mais utilizada para a fabricação de módulos fotovoltaicos é o silício cristalino, onde nota-se que de 1995 a 2015 o crescimento da sua eficiência quase que permaneceu constante.

Figura 3: Eficiência das células ao longo dos anos.



A partir deste período a energia fotovoltaica deixou de ser utilizada somente de maneira isolada (*off grid*) e também passou a ser utilizada como um sistema conectado a rede (*on grid*). Logo é possível notar um crescimento nas instalações de sistemas fotovoltaicos, devido o surgimento da geração distribuída e também do crescimento do número de usinas fotovoltaicas.

Em 2012, foi inaugurada a então maior usina solar do mundo, o *Golmud Solar Park*, na China, com 200 megawatts de capacidade. Menos de três anos depois, em Janeiro de 2015, foram criadas nove usinas maiores, e o posto de maior usina solar do mundo ficariam com *Desert Sunlight Solar Farm*, nos Estados Unidos, com incríveis 550 megawatts de capacidade. Em 2016, foi inaugurada a maior usina de energia fotovoltaica do mundo na Índia com capacidade de geração de 648 megawatts.

Em 2009 foi produzida a primeira célula solar de perovskita e desde então tem sido objetivo de pesquisa intensa. Essa célula é formada pelo material de perovskita tem uma banda proibida direta (ou gap de energia), absorve luz com uma eficiência de 17,5% (WOGAN, 2014), já em maio de 2016 esta célula passou para uma eficiência de 25,5%.

Dois meses depois da descoberta da eficiência recorde da célula de perovskita, surgiu uma nova tecnologia para as células fotovoltaicas, desta vez relacionada à célula de multijunção concentrada, onde foi construída uma célula solar de quatro junções e incorporaram dentro de um prisma onde se obteve uma eficiência em laboratório em torno de 34,5% (INIVAÇAOTECONOLOGICA, 2017).

Um grande avanço da eficiência da terceira geração das células solares se deu pela descoberta por Kazuhiko Seki e seus colegas do Instituto de Tecnologias Industriais Avançadas (AIST) do Japão, onde conseguiram modificar a eficiência das células solares orgânicas de 10% para 21%, em laboratório (SEKI *et al*, 2014).

Figura 4: Fotografia de uma célula de quatro junções. Célula de quatro junções



Fonte: (LARGENT, 2015).

## 2.5 O FUTURO

A Agência Internacional de Energia (AIE) criou cenários para o mercado de geração de energia para as próximas décadas, com foco em alternativas, ela estimou que 66% da geração de energia no mundo serão obtidas por fontes renováveis. A agência ainda estima que 26% da energia gerada por fontes renováveis serão fotovoltaicas.

Do ponto de vista tecnológico fotovoltaico, a ênfase principal será dada à diminuição de custos através da redução da matéria-prima (silício) utilizada por unidade de potência instalada, usando células mais finas ou produzidas diretamente em fita. Destaca-se ainda o desenvolvimento de novas técnicas de soldagem dos contatos elétricos entre células individuais que hoje limitam fortemente a automatização dos processos de montagem de painéis solares (MONTEIRO, 2016).

Como observado na Figura 3, a eficiência energética tende a crescer ao longo dos anos e que novas tecnologias que ainda estão sendo testadas em laboratório como a terceira geração de células solares possam se tornar viáveis.

Já em relação aos custos dos painéis solares é esperado que ele reduza a metade nos próximos cinco anos, isso por duas razões: com a demanda aumentando, os fabricantes podem reduzir os preços, já que fará vendas em larga escalas e também porque as técnicas de fabricação vão ficando cada vez mais eficientes (Global Market Outlook, 2016).



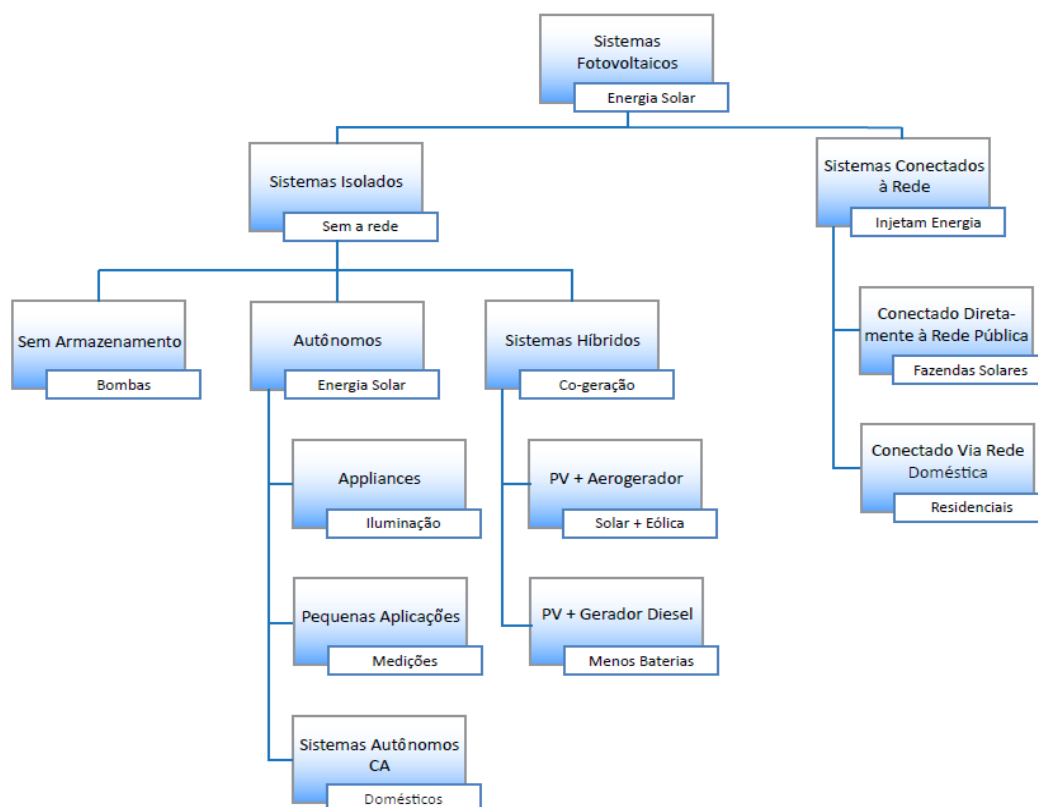
### 3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão (PINHO, 2012).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser implantados em qualquer localidade desde que esta possua radiação solar suficiente. Uma das vantagens dos sistemas fotovoltaicos é que não utilizam combustíveis fósseis, não possui partes móveis, e por serem dispositivos de estado sólido, requerem menor manutenção. A sua alta confiabilidade faz com que possam ser instalados em locais inóspitos como: regiões desertas, selvas, regiões remotas, espaço, etc.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de acordo com a forma de distribuição da energia elétrica. Sendo assim este sistema é dividido em dois grupos: Sistemas Isolados e Sistemas Conectados à Rede.

Figura 5: Organograma contendo os tipos de sistemas fotovoltaicos.



Fonte: (BLUE SOL, 2015).

### 3.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

Os sistemas isolados (também chamados of-grid) são os sistemas que não estão conectados à rede de distribuição de eletricidade das concessionárias. São utilizados na maioria das vezes em lugares remotos ou de difícil acesso a energia elétrica. Esse tipo de sistema funciona armazenando a energia excedente em baterias e não na rede elétrica. Essas baterias garantem o abastecimento em período noturno ou com baixa incidência solar (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Este sistema é composto por painéis solares, cabos e estrutura de suporte que compõem juntos o bloco de geração de energia. Inversores e controladores de carga que formam o bloco de condicionamento de potência. E as baterias propriamente ditas que são do bloco de armazenamento. Pode-se ver na Figura 6 os componentes de um sistema autônomo.

Figura 6: Componentes de um sistema *off-grid*.



Fonte: (NEO SOLAR, 2015).

Este sistema de geração foi muito utilizado no começo da história da energia solar fotovoltaica, hoje ele representa uma pequena fração da geração desta forma de energia. Os sistemas *off-grid* são utilizados de acordo com o propósito do local, como: bombeamento de água, eletrificação de cercas, iluminação em poste assim como atender

a demanda de consumidores de pequeno porte que estão situados em locais de difícil acesso a rede elétrica.

Sistemas *off-grid* podem ser considerados de pequeno ou grande porte. Os de pequeno porte são aqueles que geram sua energia em menor escala, mas que ainda são independentes da energia elétrica convencional, vinda da rede.

Estes sistemas são geralmente indicados para a utilização em antenas de comunicação, monitoramento de radares, residências e empreendimentos em locais remotos. De forma geral, possuem capacidade energética de até 20 kW<sub>p</sub>.

Já os sistemas *off-grid* de grande porte são indicados para aqueles clientes com altas demandas energéticas, e que assim como aqueles consumidores de pequeno porte, também estão situados em localizações de difícil acesso à rede. Estes locais, de forma geral, recebem altos índices de radiação solar, mas as fontes de energia mais comumente encontradas como as responsáveis pelo atendimento dessa demanda são os geradores movidos à gasolina ou diesel.

Sistemas de grande porte são comumente aplicados em minerações, fazendas, comunidades isoladas, e empresas com fábricas em áreas remotas. No geral, apresentam capacidade energética acima de 20 kW<sub>p</sub>.

No Brasil, existem projetos com o intuito de levar energia elétrica para locais de difícil acesso à rede. Algumas comunidades dos estados do Amazonas e Acre se caracterizam por se localizarem remotamente em locais como estes, logo os sistemas fotovoltaicos isolados são utilizados como uma opção para o acesso a energia elétrica.

Figura 7: Sistema *off-grid* instalado em uma escola.



Fonte: (KELLY, 2014).

## 3.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (*on-grid*) são aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica. (PEREIRA; OLIVEIRA, 2013).

Este sistema também é conhecido como *on-grid*, não utilizam sistema de armazenamento de energia, e por isso são mais eficientes que os sistemas autônomos, além de geralmente serem mais baratos.

O sistema *on-grid* é composto por painéis solares, inversor de frequência, medidor bidirecional e monitoramento do sistema. Na Figura 8 observam-se os componentes de um SFCR.

Figura 8: Componentes de um sistema *on-grid*.



Fonte: (NEO SOLAR, 2015).

Os primeiros SFCR foram instalados no Brasil no final dos anos 90 em concessionárias de energia elétrica, universidades e centros de pesquisa. A Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) foi pioneira nesta área ao instalar um sistema fotovoltaico de 11 kW<sub>p</sub> em 1995, em sua sede em Recife. Outros sistemas pioneiros

foram instalados na Universidade de São Paulo (USP), na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e no Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) (PINHO, 2014).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede apresentam duas configurações distintas: os sistemas fotovoltaicos distribuídos e os sistemas fotovoltaicos centralizados (RÜTHER *et al.*, 2005). Este primeiro pode ser chamado de geração distribuída, no qual se divide em microgeração e minigeração distribuída.

### 3.2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

De acordo com *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, a geração distribuída é definida como a geração realizada por unidades geradoras de pequeno porte conectadas ao sistema de distribuição localizado próximo a unidade de consumo. Ela é implementada para suprir o autoconsumo residencial, comercial e industrial, com ou sem produção de excedentes injetados na rede. Algumas das suas características são de poder atender a expansão da demanda em uma região ou local, o abastecimento da demanda no horário de ponta ou até mesmo garantir o atendimento de cargas prioritárias.

A geração distribuída no Brasil é definida de acordo com o artigo 14º do Decreto nº 5.163/04. Considera-se geração distribuída toda produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...) conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de: hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75%.

Seja pela diversificação da matriz energética, domínio da tecnologia ou busca por minimização dos impactos ambientais provindos de fontes não sustentáveis, a geração distribuída vem se consolidando no mundo como uma das formas mais inteligentes de se produzir energia.

No Japão, em 1994 surgiu o programa “70.000 telhado solar” com um investimento de US\$ 457 milhões de dólares pelo governo, que também realizou uma redução fiscal para a indústria solar e aumentou os subsídios para o financiamento solar. A adoção destas medidas ocasionou um aumento de 15 MW de geração de energia solar fotovoltaica em 1993 para 127 MW em 2001 (PORTALSOLAR, 2017).

Na Alemanha, em 1991 foi criada a lei “*Feed-in-Law*”, que trata da venda de energia provinda de geração distribuída, onde a concessionária é obrigada a comprar toda energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos. Já em 1999 surgiu o programa “*10.000 Roofs Solar*”, um programa do governo objetivando a instalação de 10.000 telhados solares contando com financiamento de 0% de juros e 10 anos para o pagamento (PORTALSOLAR, 2017), além de determinar que os módulos fotovoltaicos sejam preferencialmente de fabricação alemã, foi o primeiro país em adotar essa estratégia. Estas e outras políticas adotadas fizeram a consolidação da Alemanha como a maior referência em fomento à geração de energia solar fotovoltaica mundial.

Nos EUA, surgiu em 2006, programa do Estado da Califórnia, chamado “*Million Solar Roofs Plan*”, ou seja, um programa para instalação de sistemas fotovoltaicos em um milhão de telhados, totalizando 18  $GW_p$  de potência até 2018 (PORTALSOLAR, 2017). Já em 2008, o departamento de energia do governo estadunidense anunciou um investimento de US\$ 17,6 milhões em seis companhias de energia, de forma a tornar a energia fotovoltaica competitiva através do desenvolvimento tecnológico. A criação destas políticas junto com os incentivos fiscais e o financiamento fez com que os EUA possuíssem um mercado consolidado em geração distribuída.

É possível notar que o aumento na geração de energia solar fotovoltaica está ligado aos planos e políticas adotadas na geração distribuída.

Um dos fatores que mais influencia na dificuldade de uma maior popularização desse tipo de produção de eletricidade é o alto preço dos módulos fotovoltaicos. Por isto, é necessário que se institua algum tipo de subsídio que incentive o desenvolvimento dessa tecnologia e favoreça a redução de preços por meio do aumento do volume das vendas. Estes subsídios devem ser voltados para incentivar a criação de empresas nacionais com geração de empregos no país (LISITA, 2005).

No Brasil a geração distribuída se divide em: microgeração e minigeração. A microgeração distribuída de energia elétrica compreende as centrais geradoras que utilizam cogeração qualificada ou fontes renováveis (hidráulica, solar, eólica, biomassa etc.), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, e cuja com potência instalada seja menor ou igual a 75 kW.

Nessa categoria se encaixam os sistemas fotovoltaicos pequenos, que produzem até 75 kW, esses sistemas são instalados em telhados residenciais, empresas, shopping centers. Pode-se ver nas Figuras 9 e 10 exemplos de sistemas de microgeração em uma empresa e em uma residência.

Figura 9: Fotografia da implantação de um sistema de distribuição em microgeração fotovoltaica em uma Empresa.



Fonte: (MARCELO, 2014).

Figura 10: Fotografia da implantação de um sistema de distribuição em microgeração fotovoltaica em uma residência.



Fonte: (SUNHYBRID, 2017).

Já os sistemas de minigeração são aqueles instalados pelos consumidores comerciais e industriais com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica). Tem como objetivo suprir uma parte ou por completo sua demanda de energia, fazendo com que diminua a dependência da energia elétrica da rede pública, proporcionando economia na conta de eletricidade e imunidade contra a elevação do preço da energia elétrica (GAZOLI; VILLALVA 2012).

Além do benefício econômico as empresas buscam cada vez mais por soluções sustentáveis e ambientalmente corretas, tendo em vista que os consumidores têm certa preferência por empresas que se preocupam e investem na preservação do planeta. As Figuras 11 e 12 observam-se exemplos de sistemas fotovoltaicos de minigeração.

Figura 11: Fotografia minigeração fotovoltaica em uma indústria.



Fonte: (MARCELO, 2014).

Figura 12: Fotografia minigeração fotovoltaica em um comércio.



Fonte: (MARCELO, 2014).

### 3.2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CENTRALIZADOS

Os sistemas centralizados conectados à rede executam a função de estações centralizadas de energia. A fonte de alimentação desse sistema não é associada com um cliente particular da eletricidade. Estes sistemas são tipicamente instalados em terrenos ou campos e funciona normalmente a certa distância do ponto de consumo (MAYCOCK, 1981; MARKVART, 2000; RÜTHER *et al.*, 2005; IEA-PVPS, 2006).

Pode-se ver na Figura 13 a primeira central fotovoltaica, de 1 MW de potência nominal em módulos de silício cristalino, montados em sistemas de seguimento em dois eixos, em um deserto próximo a *Hesperia*, no sul da Califórnia (MARKVART, 1994).



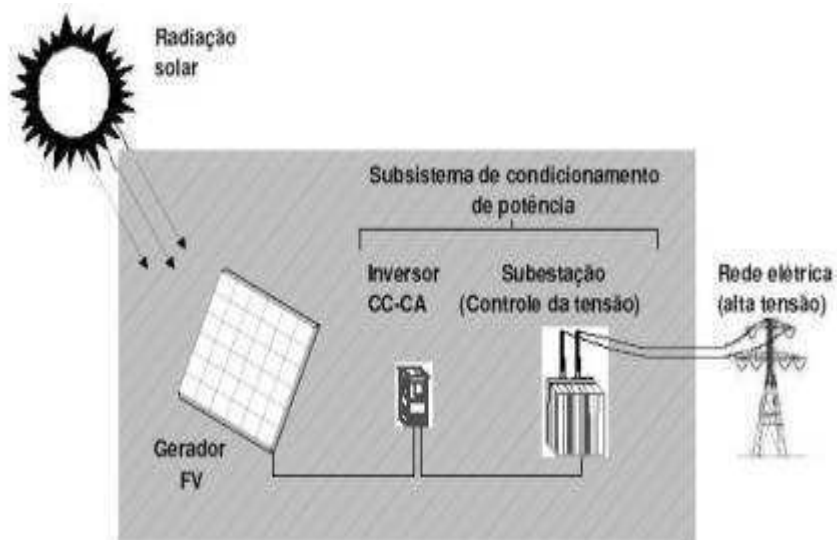
Figura 13: Fotografia do primeiro sistema solar fotovoltaico isolado.



Fonte: (Markvart, 1994).

As grandes centrais fotovoltaicas conectadas à rede têm a desvantagem de, por ocuparem grandes áreas, estão geralmente afastadas do centro de consumo, necessitando de sistema de transmissão e distribuição até o ponto de consumo. Pode-se ver na Figura 14 a configuração básica desse tipo de aplicação.

Figura 14: Diagrama Esquemático de uma central fotovoltaica.



Fonte: (FERNANDO, 2011).

Apesar das grandes centrais fotovoltaicas terem potência muito inferior em comparação às grandes centrais hidroelétricas, nucleares, etc., não há nenhuma barreira técnica ou qualquer restrição quanto à confiabilidade desses sistemas.

A construção destas centrais seguiu o padrão das usinas hidrelétricas, ou seja, quanto maior a capacidade de produção da usina menor é o preço da energia produzida. Acreditava-se que isso também ocorreria nas centrais fotovoltaicas. Após os estudos dos dados obtidos nas primeiras experiências, isso se provou equivocado, pois essas grandes construções não fizeram o preço da energia fotovoltaica produzida diminuir. Isso porque o rendimento dos módulos não está relacionado com o tamanho da instalação e sim com o desenvolvimento tecnológico da produção das células e com a economia de escala dessa fabricação. A quantidade de energia elétrica produzida depende da quantidade de módulos instalados e o preço destes não varia de forma significativa para uma grande instalação, não afetando o valor da energia produzida (LISITA, 2005).

Mas o cenário atual se mostra diferente, com o aumento do rendimento e da queda de preço dos módulos fotovoltaicos, o preço da energia fotovoltaica se mostra de maneira decrescente.

Como consequência da queda do preço da energia fotovoltaica em escala industrial, notou um avanço significativamente no número de usinas fotovoltaicas no Brasil e no mundo.

Cabem destacar as duas maiores usinas de energia fotovoltaicas do mundo, a *Solar Star* nos EUA e a *Kamuthi Solar Power Project* na Índia.

A *Solar Star* que se encontra nos EUA (VER Figura 15). É um projeto de 579 MW<sub>p</sub> instalado perto de *Rosamond* na Califórnia, em 2015. Este na verdade consiste em duas usinas juntas e utilizam 1.700.000 painéis fotovoltaicos, ocupando uma área no deserto de aproximadamente 13 km<sup>2</sup>.

Figura 15: Fotografia da usina solar fotovoltaica Solar Star.



Fonte: (PORTALSOLAR, 2015).

Já a usina de *Kamuthi solar power project* (VER Figura 16), localizada na cidade de Kamuthi é considerada como a maior usina solar fotovoltaica do mundo, esta foi concluído em setembro de 2016, e tem uma capacidade de geração de 648 MW. Consiste em 2.500.000 módulos solares, 27.000 metros de estruturas de suporte, 576 inversores e 154 transformadores. Os painéis ocupam uma área de mais de 5 km<sup>2</sup>.

Figura 16: Usina solar fotovoltaica de *kamuthi solar power project*.



Fonte: (NATIONAL GEOGRAFIC, 2016).

No Brasil a usina solar de Tauá, construída em 2011, está localizada no município de Tauá, no sertão do Ceará, e tem capacidade inicial de geração de 1 MW<sub>p</sub>. Ela produz energia suficiente para 650 casas populares e foi à primeira usina solar no Brasil a gerar eletricidade em escala comercial.

Já no segundo semestre de 2017, vai entrar em operação a maior usina solar fotovoltaica da América do Sul, com capacidade instalada no total de 254 MW, vai ser instalada do complexo de Ituverava, na cidade de Tabocas do Brejo Velho na Bahia. Essa usina de energia solar vem sendo instalada desde dezembro de 2015, e poderá gerar mais de 550 GWh por ano. Esta ocupará uma área de 5 km<sup>2</sup> (CREA BAHIA, 2016).

## 4 EVOLUÇÃO DO MERCADO DE ENERGIA SOLAR FOTVOLTAICA

Energia solar fotovoltaica é um tipo de energia alternativa que vem se expandindo ao redor do mundo. Existe uma predisposição para que surjam cada vez mais dispositivos de captação e armazenamento, com preços mais acessíveis como forma de estímulo ao comércio e ao uso consciente da energia. Por isso, é importante conhecer as tendências de crescimento desta.

Dentre as fontes de energia renováveis a solar fotovoltaica é a que apresenta atualmente o maior crescimento de mercado, logo este capítulo vai realizar uma análise sobre a sua evolução, para isto será estudado sua indústria, capacidade instalada, custo e a geração de emprego.

### 4.1 INDÚSTRIAS

O sector industrial tem vindo a evoluir a um ritmo muito acelerado, acompanhando ou mesmo antecipando o mercado. Atualmente, praticamente todas as semanas surgem notícias de novas fábricas. No início, apenas as grandes empresas energéticas (como a BP e a Shell) ou as de electrónica (Sharp, Kyocera e Sanyo) marcavam presença no mercado (RODRIGUES, 2007).

Embora a produção continue a concentrar-se maioritariamente na China, Japão, Alemanha, EUA, países como a Espanha, Coreia do Sul e outros têm visto a sua importância aumentar consideravelmente, fazendo com que o negócio assumira proporções mundiais. O China produz 50% das células do mundo, sendo que a sua produção é destinado ao seu mercado interno e externo. Nos EUA, a exportação continua a ser o destino da maioria dos produtos, com um mercado interno ainda pouco significativo. A Europa tem uma balança comercial equilibrada, com as exportações a igualarem sensivelmente as importações.

No diagrama da Figura 17 é possível verificar as etapas industriais do processo de construção dos sistemas fotovoltaicos.

Figura 17: Etapas industriais de produção dos sistemas fotovoltaicos.



Fonte: (RODRIGUES, 2007).

Os fabricantes do setor podem ser divididos em duas categorias: aqueles que compram células já feitas e constroem módulos, e os que controlam todo o processo produtivo, por integração vertical. No caso específico dos fabricantes de silício amorfo, as linhas de produção são quase sempre integradas verticalmente, visto que as células e os módulos são montados no mesmo processo (RODRIGUES, 2007).

Muitas outras indústrias têm um papel relevante no mercado do fotovoltaico, ao produzirem os acessórios indispensáveis ao funcionamento de um sistema PV. São os produtores de componentes, tais como inversores, baterias, controladores de carga, e estruturas de suporte dos painéis. Vários países têm bastante força nestas e outras áreas da indústria, mesmo não tendo produção de módulos significativa. É o caso da Áustria, onde a Isovolta/Werndorf produz e exporta cerca de 50% do tedlar usado em todo o mundo na produção dos módulos, ou da Suíça, país de origem da Meyer & Burger e da HCT Shaping Systems, que controlam o mercado das serras usadas na produção de células (RODRIGUES, 2007).

Pode-se ver na Tabela 1, os dez principais fabricas de módulos fotovoltaicos do mundo. O posto de maior fabrica de módulos PV é da Chinesa Yingli Solar.

Tabela 1: Principais fabricantes dos módulos PV.

| <b>Nome do Fabricante</b> | <b>Sede Principal</b> | <b>Início da Produção</b> |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| <b>Panasonic-Sanyo</b>    | Japão e Malásia       | 1975                      |
| <b>Kyocera Solar</b>      | Japão e Arizona (EUA) | 1978                      |
| <b>SunPower</b>           | Califórnia (EUA)      | 1985                      |
| <b>SolarWord</b>          | Alemanha              | 1988                      |
| <b>Trina Solar</b>        | China                 | 1997                      |
| <b>Yingli Solar</b>       | China                 | 1998                      |
| <b>First Solar</b>        | Arizona (EUA)         | 1999                      |
| <b>Canadian Solar</b>     | Canadá                | 2001                      |
| <b>Suntech</b>            | China                 | 2001                      |
| <b>LG Solar</b>           | Correia do Sul        | 2010                      |

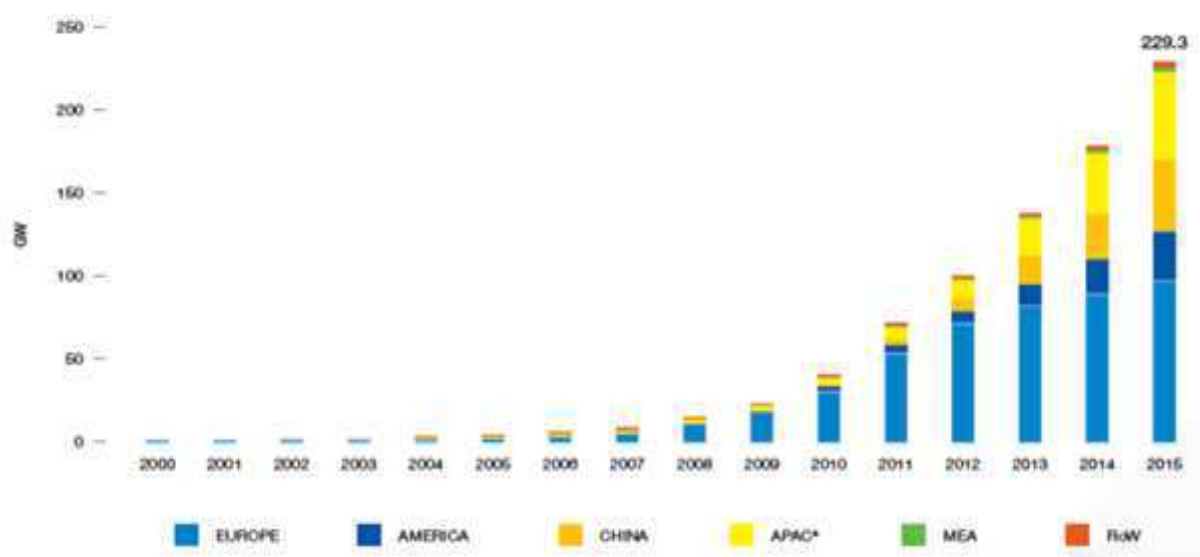
Fonte: Autor Próprio.

Nos últimos anos o Brasil tem anunciado o recebimento de muitas fábricas de módulos fotovoltaicos, como as que estão a ser instalada no Ceara, Piauí, Alagoas e entre outros estados. O que nota que estas fábricas utilizam tecnologias desenvolvidas internacionalmente, o que fica evidente a falta tecnologia brasileiro a respeito dessa geração. Mas uma das etapas para o financiamento destas é justamente que com o passar os anos a tecnologia empregada no processamento de fabricação dos módulos e dos componentes fotovoltaicos sejam todo brasileiro.

## 4.2 CAPACIDADE INSTALADA

A tecnologia fotovoltaica conquistou seu espaço a tal ponto que a capacidade total instalada deste tipo de energia no mundo superou 229,3 GW em 2015. Na Figura 18 é possível observar a evolução do crescimento da capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo, desde os anos 2000 até 2015.

Figura 18: Evolução da Capacidade de energia fotovoltaica instalada no mundo 2000-2015.



Fonte: (Solar Power Europe, 2016).

No ano 2005 a capacidade total instalada de energia fotovoltaica era de 5 GW. Este valor veio crescendo em uma média de 29% a cada ano e em 2015 chegou a 229 GW. Comparando com os cinco anos anteriores a capacidade instalada apresentou um aumento de 450%, de 41 GW para os 229 GW do fim de 2015. O desenvolvimento solar tem sido ainda mais impressionante, o mercado cresceu 45 vezes em apenas uma década.

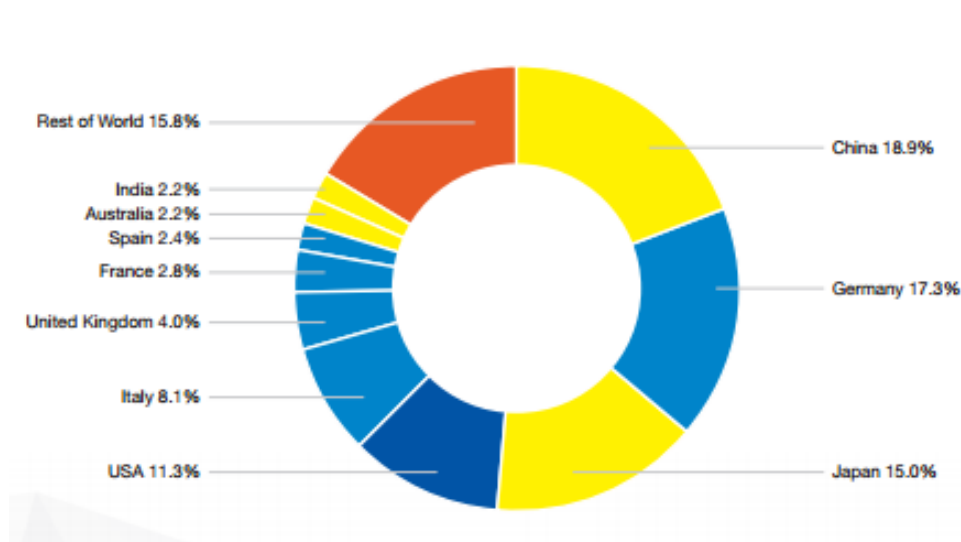
Desde 2000, quando a história de sucesso da energia solar moderna começou, basicamente com a implementação do programa alemão de tarifas de alimentação, a capacidade instalada de energia solar multiplicou por um fator de mais de 150.

No ano de 2015, dos 229 GW de capacidade instalada no final de 2015, a Europa representou a maior participação global com 97 GW, mas os países da Ásia-Pacífico (APAC) quase alcançaram o mesmo nível com 96 GW. A América (incluindo os países do Norte e América do Sul) ainda está atrás em 31 GW, já a Oriente Médio e África (MEA) tinha apenas 3 GW de capacidade instalada no final de 2015.

Em 2016, a capacidade instalada de energia fotovoltaica acumulou um total de 305 GW, um acréscimo de 75 GW, o que representa um crescimento de 32,75% (EXAME, 2017).

Com relação aos países com maior capacidade instalada é possível notar na Figura 19, que a grande quantidade desta capacidade está contida nos dez países com maior capacidade instalada, cerca de 84,6% da capacidade instalada.

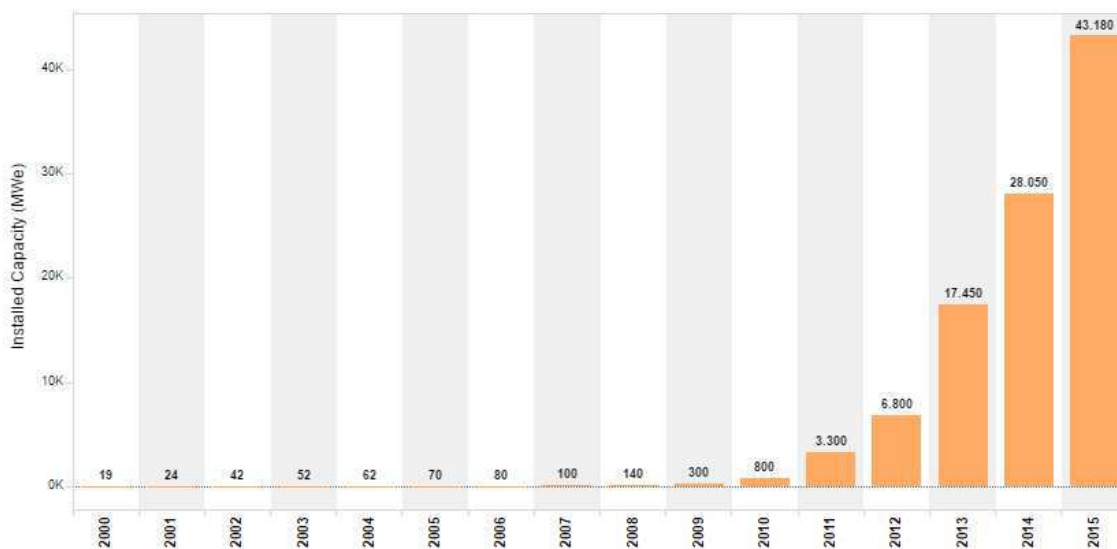
Figura 19: 10 países com maior capacidade instalada em 2015.



Fonte: (Solar Power Europe, 2015).

Pela primeira vez em uma década, a Alemanha não é país com a maior capacidade solar fotovoltaica acumulada. A China além de instalar os maiores volumes solar por ano, também assumiu agora a liderança da capacidade total de energia solar fotovoltaica atingindo 43,5 GW, no qual representa uma parcela de 19% do mercado global no final de 2015. Na Figura 20 é possível observar o crescimento da capacidade de energia fotovoltaica instalada na China.

Figura 20: Evolução da capacidade de energia fotovoltaica na China.

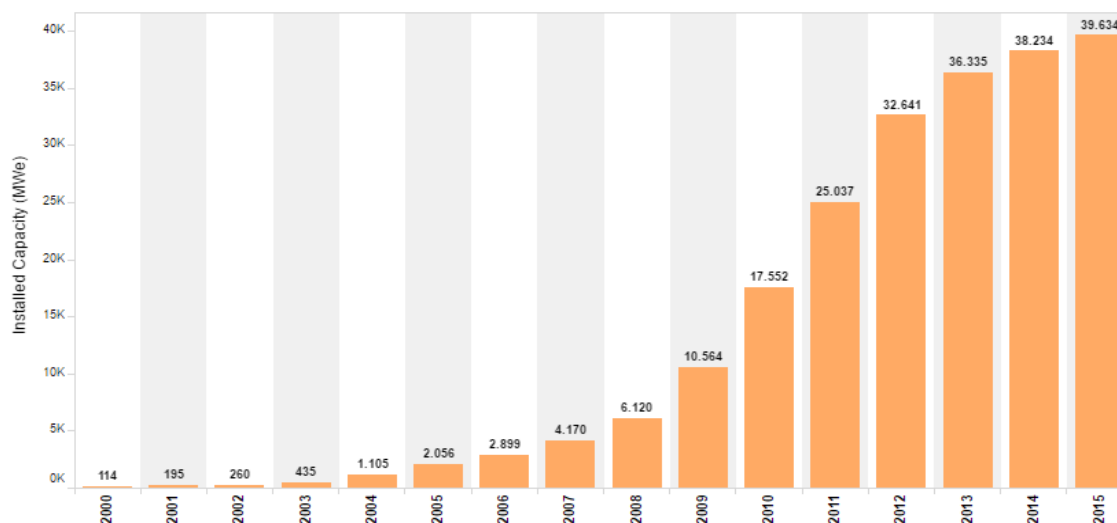


Fonte: (IRENA, 2016).

É possível observar que a China possui um crescimento acelerado nos últimos anos, isso se deu pelo alto investimento em energia solar fotovoltaica, no que ocasionou um rápido crescimento de suas indústrias de produtos fotovoltaicos. Em 2015 a China produzia a metade dos módulos fotovoltaicos do mundo.

Já na Europa, a Alemanha continua como destaque, esta se encontra como segundo país com maior capacidade de energia fotovoltaica instalada no mundo. Apesar de apresentar um crescimento baixo nos últimos anos devido à crise sofrida pelos países Europeus, esta ainda é referência em energia solar fotovoltaica. Pode-se ver na Figura 21 o crescimento deste tipo de energia na Alemanha nos últimos anos.

Figura 21: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada na Alemanha.

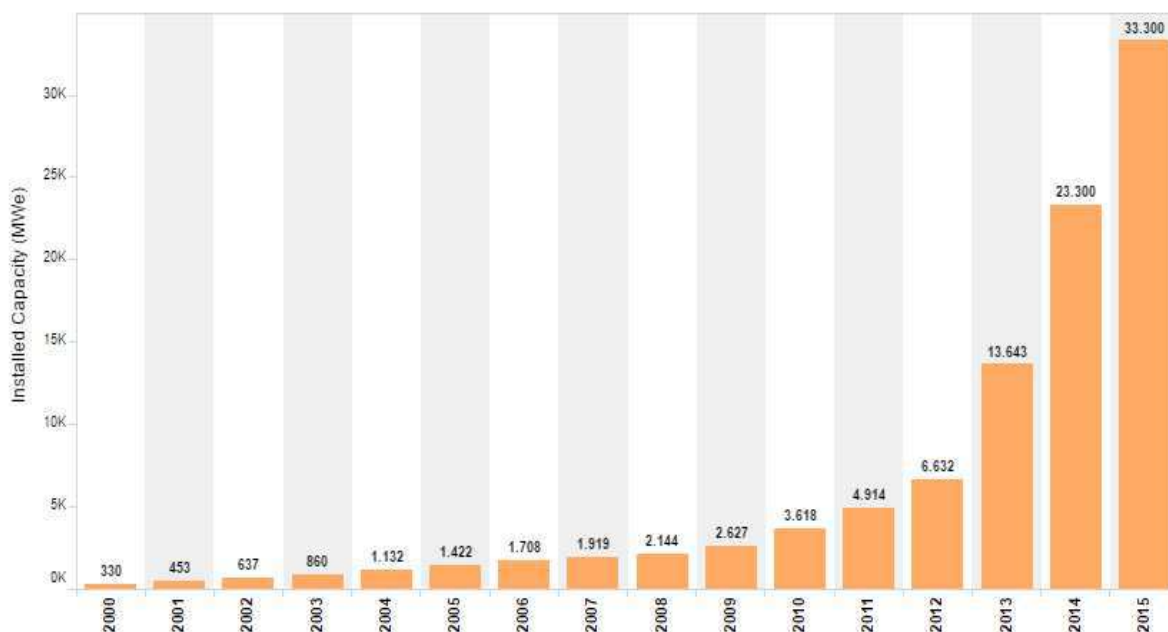


Fonte: (IRENA, 2016).



Além da China, o continente Asiático possui outro país em destaque em relação à capacidade de energia solar fotovoltaica instalada, o Japão, que em consequência do desastre nuclear de Fukushima, decidiu instituir um programa de grande escala encorajando (e subsidiando) a construção de novas usinas e, principalmente levando os consumidores a preferirem a energia solar a outros tipos de energia. Para substituir as centrais de energia nuclear, o Japão está investindo no projeto denominado “Cinturão solar do Leste de Japão”, em que a previsão é de construir 10 novas plantas solares. Para promover ainda mais o uso de energias renováveis, o governo japonês lançou um programa *feed-in-tariffs*, reestruturado em julho de 2012, que determina que os serviços públicos locais sejam obrigados a comprar 100% da energia gerada a partir de instalações solares de mais de 10 kW, por um período de 20 anos. Na Figura 22 é possível observar o crescimento da capacidade instalada no Japão.

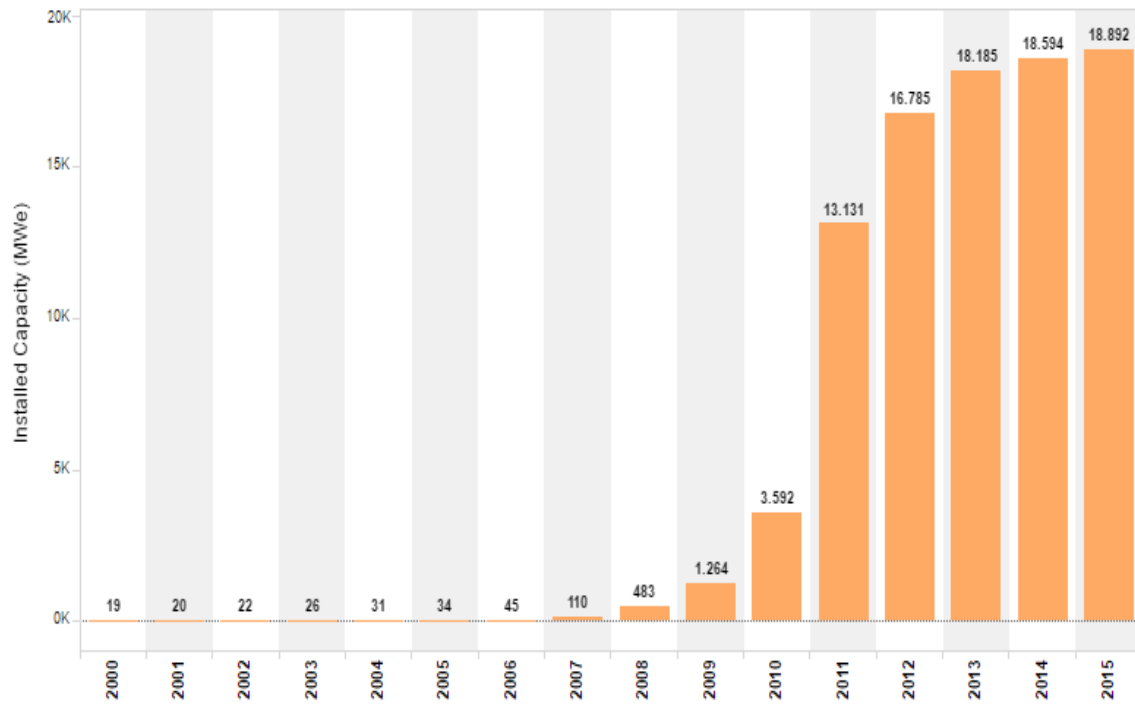
Figura 22: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada no Japão.



Fonte: (IRENA, 2016).

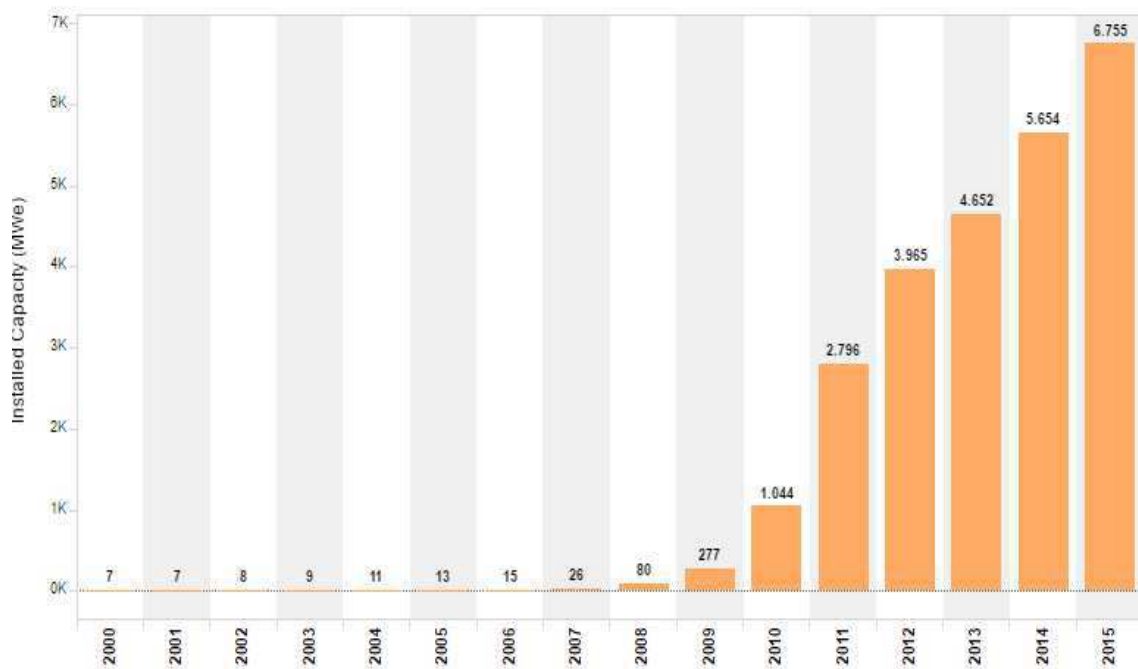
Pode-se ver nas Figuras 23, 24 e 25 o crescimento da capacidade instalada dos países mediterrâneos: Itália, França e Espanha.

Figura 23: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada na Itália.



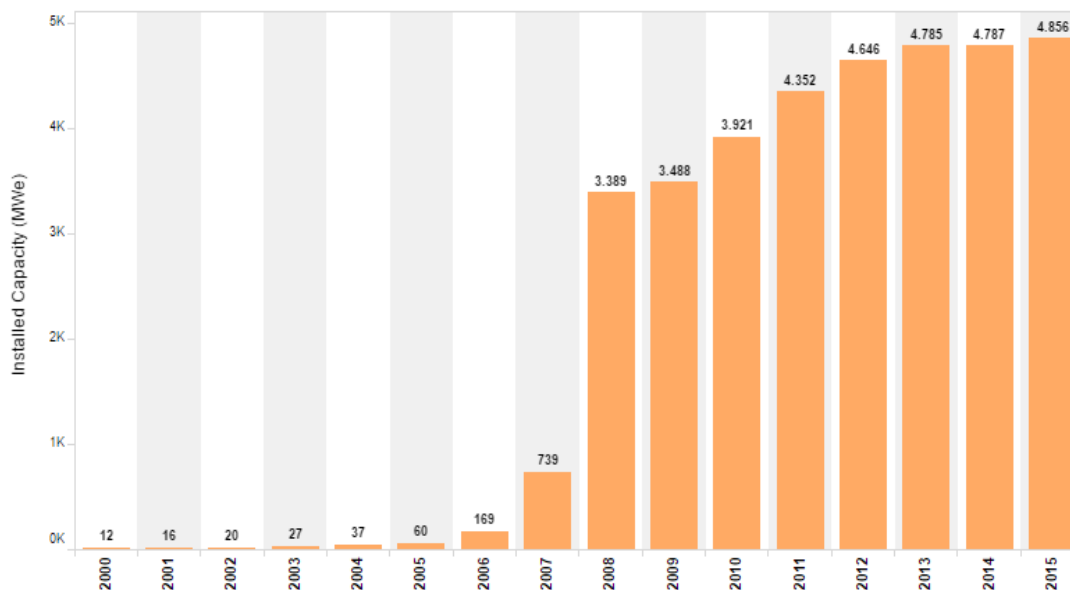
Fonte: (IRENA, 2016).

Figura 24: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada na França.



Fonte: (IRENA, 2016).

Figura 25: Evolução da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada em Espanha.

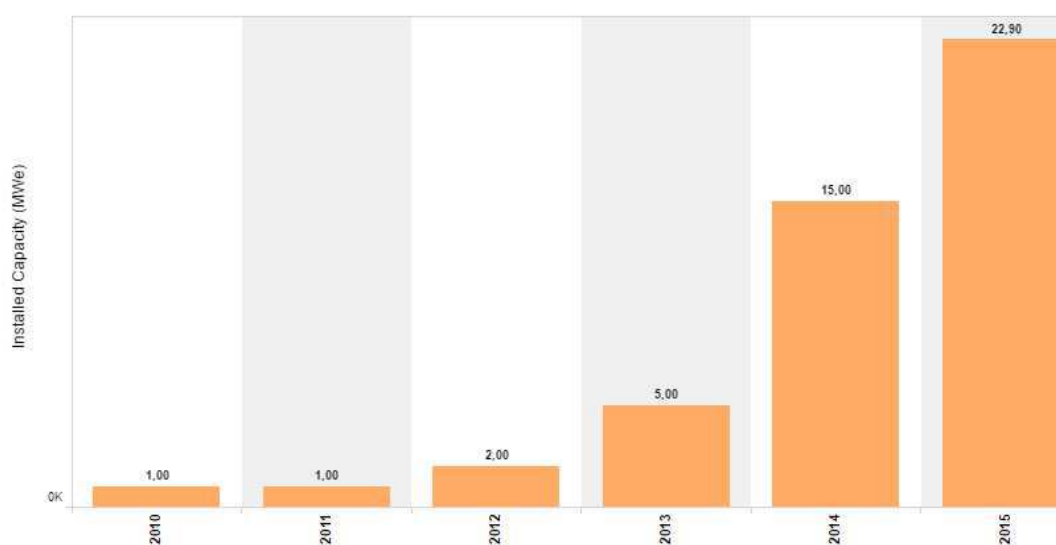


Fonte: (IRENA, 2016).

Como se pode observar que a partir de 2012 a Itália e Espanha conservaram seu crescimento quase que constante, já a França conseguiu manter sua taxa de crescimento ao longo dos últimos anos.

Já o Brasil apresentou um crescimento da sua capacidade instalada de energia solar fotovoltaica nos últimos anos, este foi motivado pela adoção de novas políticas de geração distribuídas e também pela realização dos primeiros leilões de energia solar fotovoltaica em escala industrial. Pode-se ver na Figura 26 o crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil.

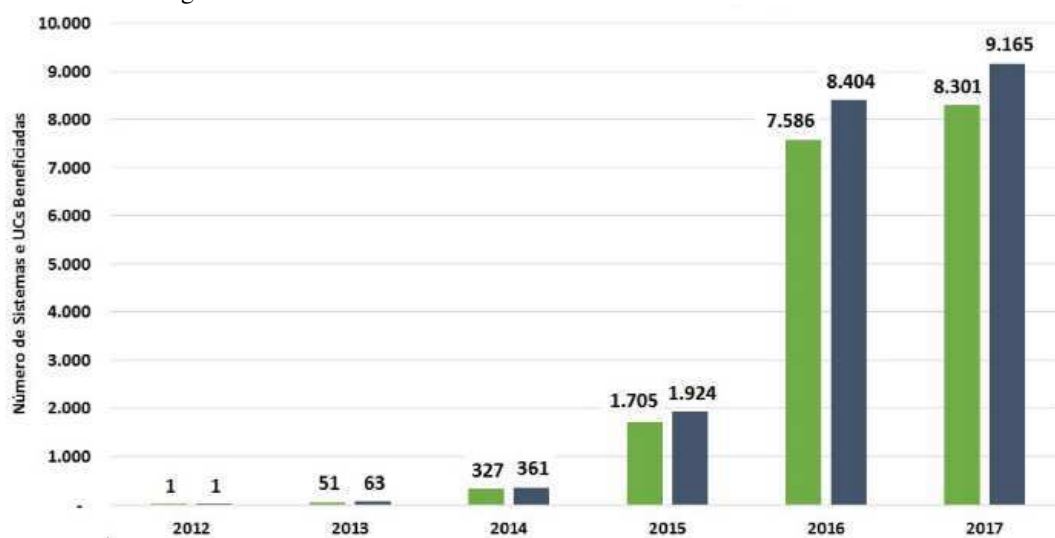
Figura 26: Capacidade instalada de energia fotovoltaica no Brasil.



Fonte: (IRENA, 2016).

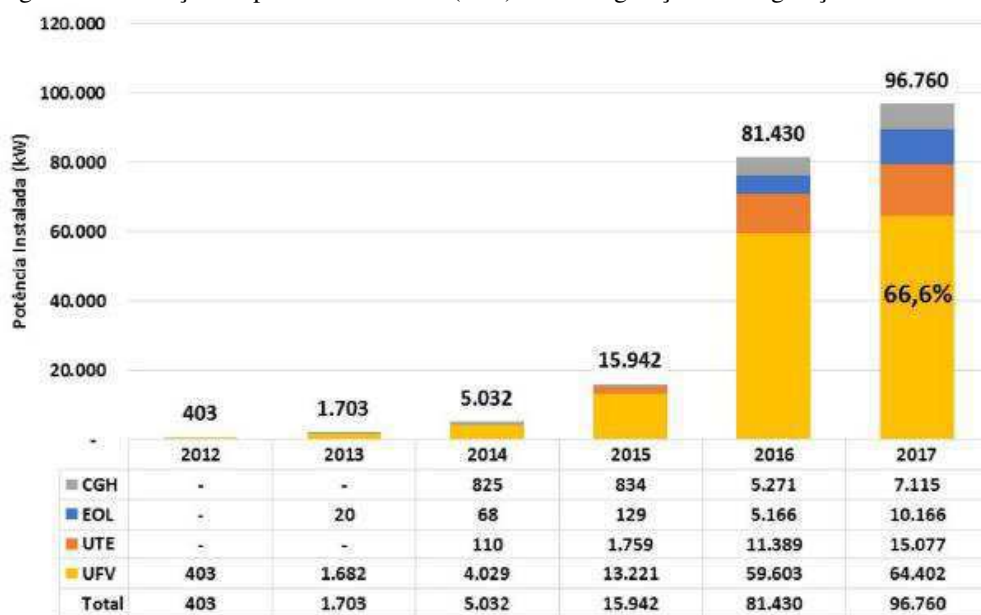
É possível notar que a partir de 2012 o Brasil apresenta um avanço significativo de crescimento, um destes motivos foi à criação da Resolução Normativa - REN nº 482, de 17/04/2012, onde estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica correspondente. Na Figura 27, é possível observar o crescimento da potência instalada, já na Figura 28 verifica-se a evolução do número de conexão de micro e minigeração distribuída.

Figura 27: Número de sistemas fotovoltaicos e unidades beneficiadas.



Fonte: (ANEEL, 2017).

Figura 28: Evolução da potência instalada (KW) de microgeração e minigeração distribuída.

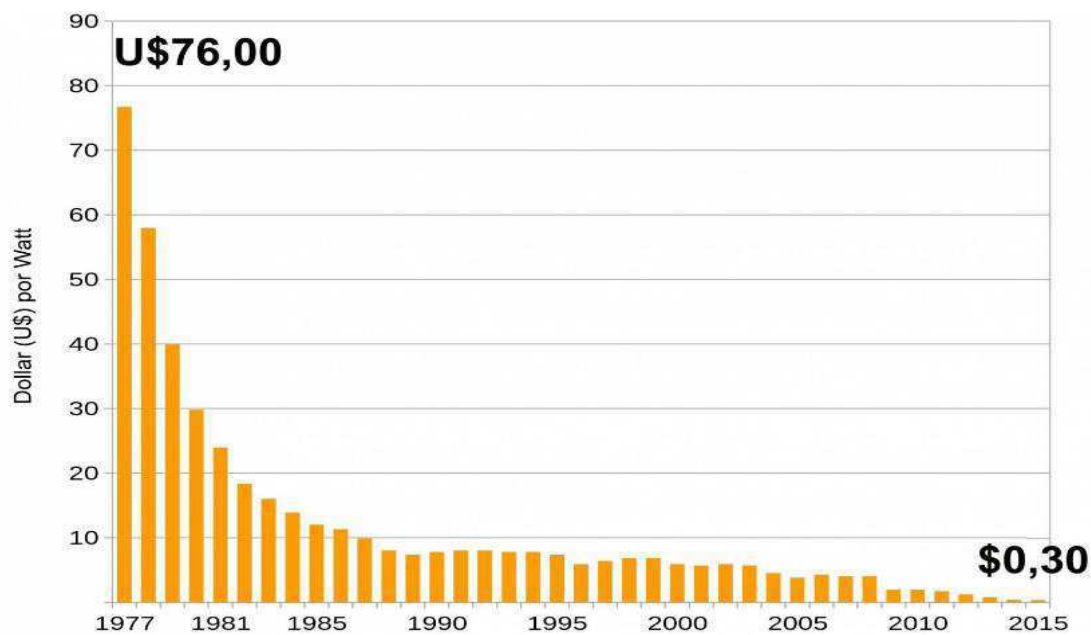


Fonte: (ANEEL, 2017).

### 4.3 CUSTO DA PRODUÇÃO

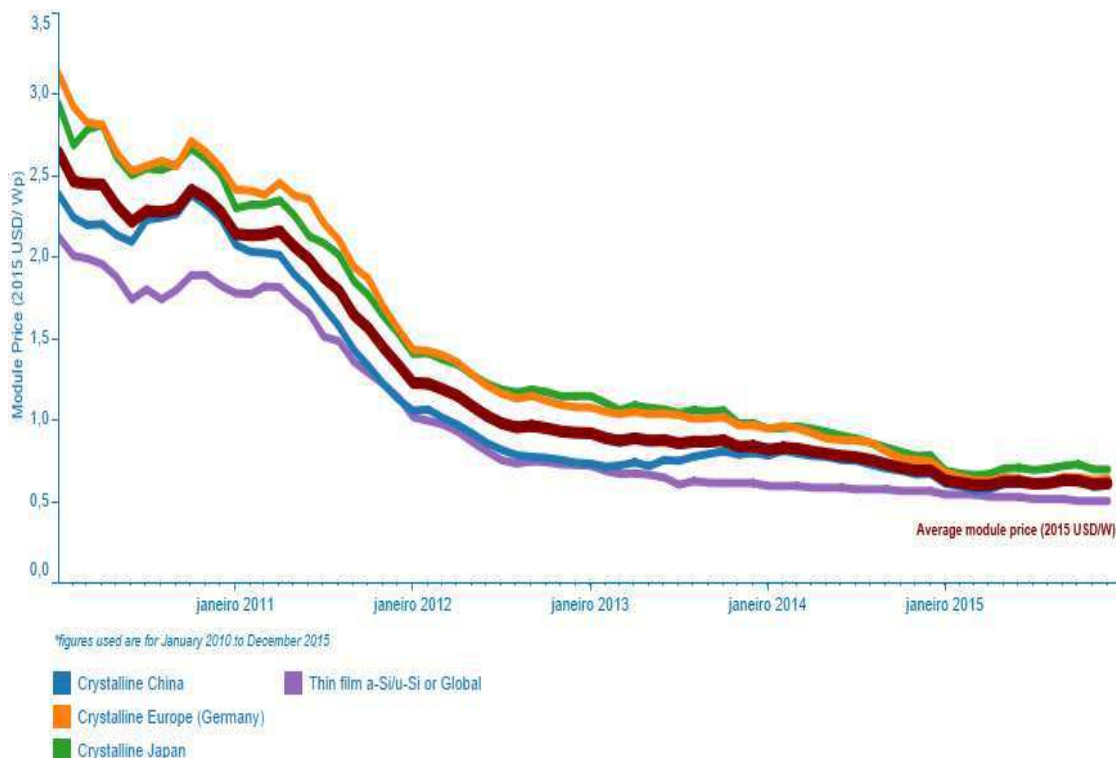
Impulsionado pelos avanços da tecnologia e o aumento da escala de produção, os custos da energia fotovoltaica têm diminuído de forma constante ano após ano. Em 2015 esta forma de geração atingiu os seus menores preços históricos mais uma vez chegando ao patamar de U\$ 0,30/Watt.

Figura 29: Queda do preço da energia fotovoltaica de 1977 a 2015.



Uma das formas que fizeram com que o preço da energia solar fotovoltaica apresente a característica observada na Figura 29 foi à queda do preço dos módulos fotovoltaicos. Isso se deu por conta do aperfeiçoamento das técnicas de produção e descobertas de novas células e tecnologias na fabricação destas. O mercado de módulos solares é dominado pela China e Taiwan, que correspondem a mais de 60% dos módulos do mercado. A tecnologia predominante ainda entre os módulos fotovoltaicos é a cristalina que apesar de ser mais cara possui uma eficiência maior que os outros tipos de células. Na Figura 30 pode-se ver a evolução da redução do preço dos módulos fotovoltaicos de acordo com sua fabricação.

Figura 30: Evolução dos preços dos módulos fotovoltaicos de 2010 a 2015.



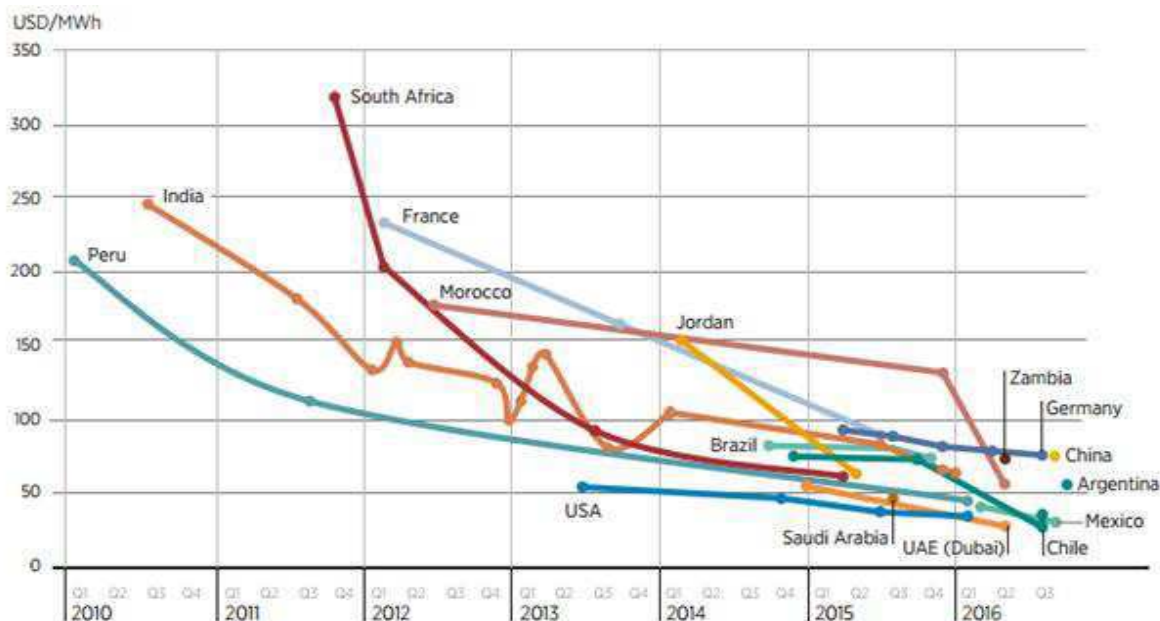
Fonte: (IRENA, 2016).

O módulo de filme fino é o que apresenta um menor preço, cerca de 0,5  $USD/W_p$ , é também o de menor eficiência como notado na Figura 3, onde observa-se uma eficiência máxima de 12% em condições de laboratório. Já entre os módulos cristalinos, o Chinês é o de menor preço, isso devido à ao avanço tecnológico utilizado na fabricação destes, onde apresentam um preço de 0,6  $USD/W_p$ . Os módulos cristalinos fabricados na Alemanha possuem um custo de 0,65  $USD/W_p$ , e os Japoneses de 0,7  $USD/W_p$ .

Logo é possível reparar que o preço da energia fotovoltaica está ligado completamente com o preço do módulo fotovoltaico. Este corresponde a maior parte do preço de um sistema fotovoltaico.

São duas as razões que tem impulsionado a redução dos preços de oferta para a energia solar fotovoltaica: o avanço da sua tecnologia como observado na Figura 30 e a concorrência criada pelos leilões. Pode-se ver na Figura 31 a evolução dos preços da energia solar fotovoltaica em escala industrial no mundo.

Figura 31: Evolução do preço da energia fotovoltaica em escala industrial no mundo.



Fonte: (IRENA, 2016).

É possível verificar que em países como: EUA, México, Peru, Chile, Arábia Saudita, Argentina e Emirados Árabes Unidos o preço da energia fotovoltaica em escala industrial já é menor que 50 US\$/MWh (5 C\$/kWh), nota-se que esse gráfico é descendente o que indica que novos países podem acrescentar esta lista em breve.

Já no Brasil em 2014, houve a primeira contratação de energia solar de geração pública centralizada, de 890 MW, ao preço médio de R\$ 215,50 (US\$ 88,20, pelo câmbio do dia do leilão). Em 2015, mais dois leilões foram realizados, totalizando 2.653 MW contratados, com início de suprimento em 2017 e 2018. Os leilões foram realizados na modalidade de energia de reserva, e com o objetivo de promover o uso e o desenvolvimento da indústria solar no Brasil. Na Tabela 2 observa-se o preço dos últimos leilões de geração de energia solar fotovoltaica.

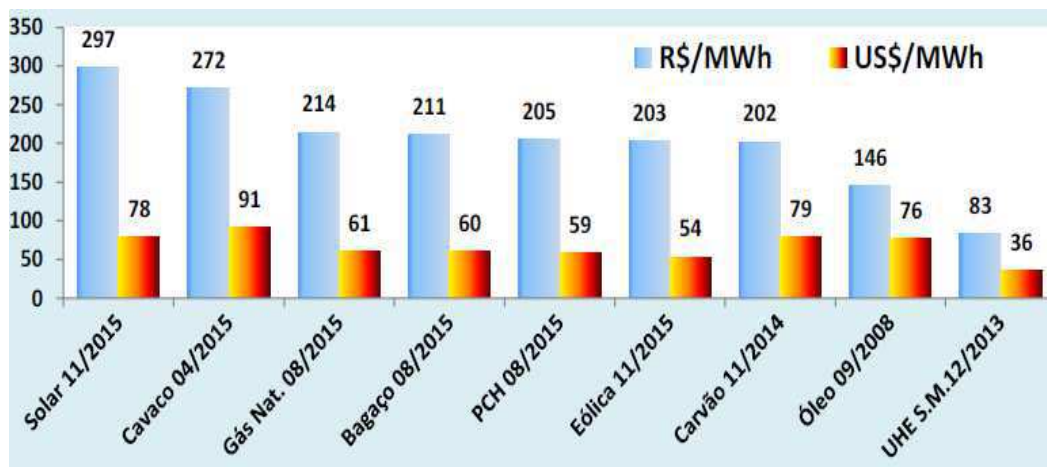
Tabela 2: Leilões de geração solar fotovoltaica.

| Mês/<br>Ano  | Projetos<br>Contra-<br>tados | Capaci-<br>dade<br>Instalada<br>(MW) | Energia<br>Contra-<br>tada<br>(MWe) | Início<br>de<br>Supri-<br>mento | Período<br>Contra-<br>tado<br>(anos) | Preço de<br>Venda<br>(R\$/<br>MWh) | Preço de<br>Venda<br>(US/<br>MWh) |
|--------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 10/2014      | 31                           | 890                                  | 202                                 | 2017                            | 21                                   | 215,5                              | 88,2                              |
| 08/2015      | 30                           | 834                                  | 232                                 | 2017                            | 21                                   | 301,6                              | 84,3                              |
| 11/2015      | 33                           | 929                                  | 245                                 | 2018                            | 21                                   | 297,4                              | 78,2                              |
| <b>Total</b> | <b>94</b>                    | <b>2.653</b>                         | <b>679</b>                          |                                 |                                      |                                    |                                   |

Fonte: (MME, 2016)

Em Reais, a geração solar apresenta o maior valor, se considerando o preço médio do último leilão de cada fonte de energia. Em dólares (câmbio do dia do leilão), os preços de cavaco e do carvão mineral superam o da energia solar.

Figura 32: Preço médio de leilões de geração, por fonte – 2015.



Fonte: (MME, 2016)

O preço da energia fotovoltaica vem diminuindo a cada leilão, logo a Tabela 3 pode-se ver a evolução do preço desta energia de acordo com a realização dos leilões no Brasil.

Tabela 3: Evolução do preço da energia fotovoltaica com a realização dos leilões.

| Leilão                | Preço-Médio (C\$/ kWh) | Redução do Preço (%) |
|-----------------------|------------------------|----------------------|
| <b>Leilão PE 2013</b> | 10,30                  | -                    |
| <b>Leilão 2014</b>    | 8,80                   | 14,56                |
| <b>1° LER 2015</b>    | 8,50                   | 17,48                |
| <b>2° LER 2015</b>    | 7,80                   | 24,27                |

Fonte: CCEE, 2016.

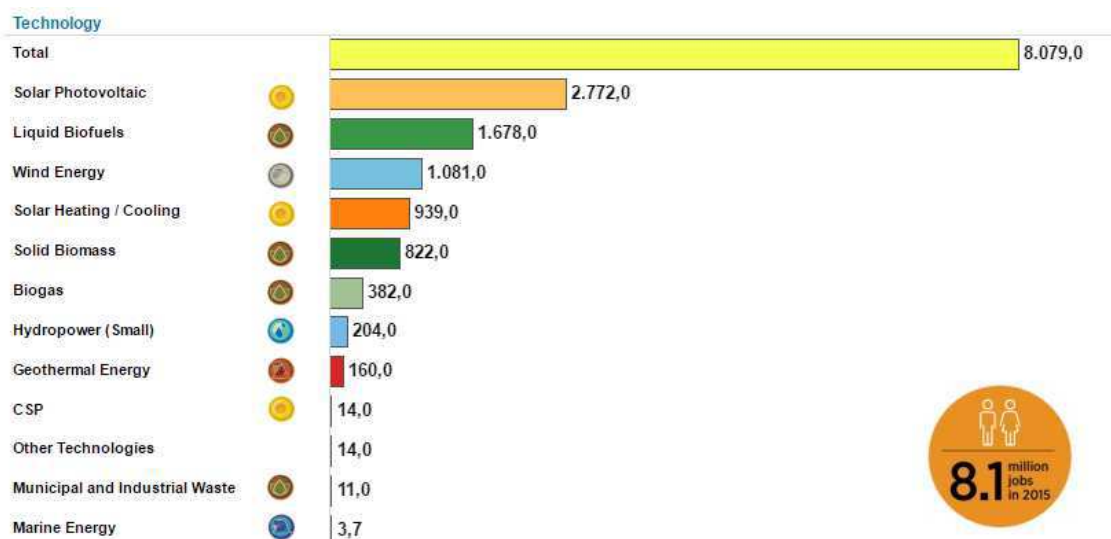
Ademais, é possível observar que ocorreu um decréscimo de mais de 24% do preço da energia solar fotovoltaica em menos de 4 anos, e que este estar relacionado com a realização de leilões. O que se espera sobre o preço desta energia é que aconteçam leilões complementares para os próximos anos, para atrair novos investimentos privados, fazendo com o preço da energia diminua.



## 4.4 GERAÇÃO DE EMPREGO

A fonte de energia renovável que gerar o maior número de emprego no mundo é a solar fotovoltaica. Até 2015, ela foi responsável pela geração de 2,7 milhões de empregos no mundo, dos 8.1 milhões que as energias renováveis geraram o que representa uma fração de 34,3 % da geração de empregos, ou melhor, em cada três empregos gerados pelas energias renováveis um está relacionado com a solar fotovoltaica.

Figura 33: Número de emprego gerado por fonte de energia renovável.



Fonte: (IRENA, 2017).

Analisando o gráfico da capacidade de energia solar fotovoltaica instalada no mundo (VER Figura 17) no qual se obteve um valor de 229,3 *GW*, e observado número de empregos gerados por esta fonte até 2015, de 2.772 milhões, chegou-se ao seguinte número de 12 empregos por megawatt instalado. Realizando essa mesma análise para alguns países, chegou-se ao seguinte resultado da Tabela 4.

Tabela 4: Número de emprego gerado por MW instalado.

| <b>País</b>     | <b>Capacidade Instalada<br/>(MW)</b> | <b>Núm. de<br/>emprego gerado<br/>(Milhares)</b> | <b>Núm. de pessoas<br/>empregadas por MW<br/>instalado</b> |
|-----------------|--------------------------------------|--|--|
| <b>Mundo</b>    | 229.300                              | 2.772,0  | 12   |
| <b>China</b>    | 43.180                               | 1.652,0  | 38   |
| <b>Alemanha</b> | 39.634                               | 38,3   | 1  |
| <b>Japão</b>    | 33.300                               | 377,1  | 11   |
| <b>Brasil</b>   | 69,0                                 | 4,0  | 60   |

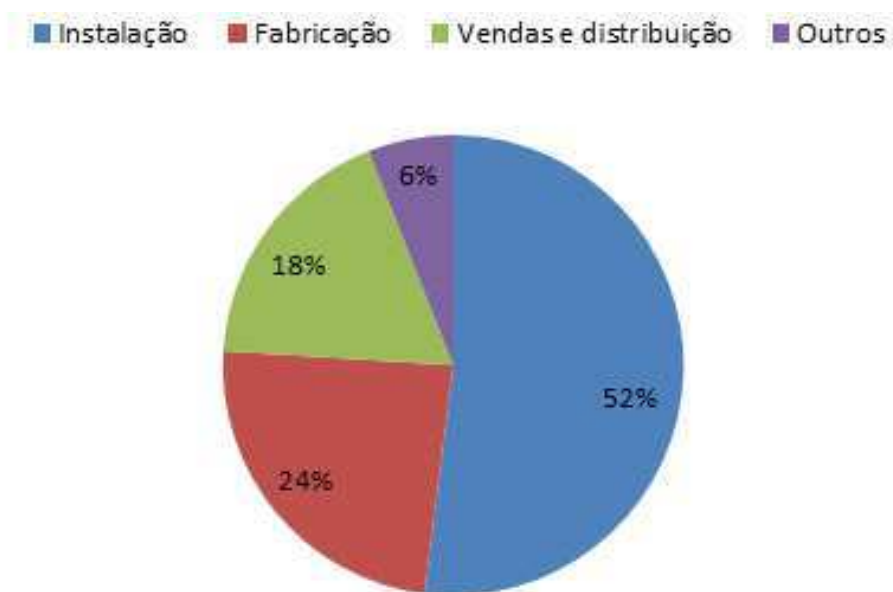
Fonte: Autor próprio.

Assim observa-se que a China possui em média 38 pessoas empregadas por Megawatt, este número está relacionado com o poder de produção dos componentes fotovoltaicos, já que ela domina este mercado, e também pelo crescimento da sua capacidade instalada (uma alta taxa de capacidade instalada significa alto índice de emprego por Megawatt, já que eleva o número de instalações, pois como se observa no gráfico da Figura 34 a instalação corresponde a mais de 50% dos empregos gerados). Já na Alemanha, apenas uma pessoa por Megawatt instalado, este número está associado com a pequena taxa de crescimento da energia solar fotovoltaica nos últimos anos, o que indica um baixo número de instalações/instaladores, por apresentar um mercado já consolidado. O Japão, assim como China, vem-se destacando por seu mercado fotovoltaico crescente, o que ocasiona um maior número de emprego. Já o Brasil, possui um número de empregos bastante alto para a capacidade de energia solar fotovoltaica instalada, isso se dá por alguns motivos como: a energia solar fotovoltaica contratada nos últimos leilões ainda não entrou em operação e também pelo o mercado brasileiro fotovoltaico ser considerado novo, pode-se dizer que o mercado de energia fotovoltaica brasileira começou de fato a partir do ano de 2012, e apresenta um crescimento constante o que tem gerado um maior número de emprego, a tendência é que o número de emprego cresce mais não acompanhe a mesma proporção que a capacidade instalada.

Outra observação que deve ser feita trata-se da fabricação dos módulos fotovoltaicos, que corresponde a 24% dos empregos gerados, devido ao elevado grau de automação. A maior parte dos empregos concentra-se em serviços, como se pode ver no gráfico da Figura 34.

No Brasil, um ponto de destaque em relação à geração de empregos é o fato de que algumas das regiões brasileiras com maior potencial de geração solar, portanto os candidatos a um maior volume de instalações, serem regiões com baixo nível de desenvolvimento. Com capacitação adequada, as instalações fotovoltaicas podem empregar e qualificar a mão de obra destas regiões. Além dos empregos diretos gerados nas instalações fotovoltaicas, o setor tem potencial para geração de empregos indiretos e resultantes da aceleração da renda nas regiões por conta dos salários pagos (chamados de empregos via efeito renda) (PERLOTTI, 2012).

Figura 34: Distribuição de empregos gerados pela indústria fotovoltaica nos EUA em 2012.



Fonte: (*National Solar Jobs Census*, 2012).

## 4.5 FUTURO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Prever o comportamento dos consumidores frente a uma nova tecnologia não é fácil, já que cada pessoa tem motivos diferentes para adquirir um bem ou serviço. Mesmo com algumas vantagens evidentes, como o retorno financeiro ou a grande viabilidade técnica, os consumidores podem não comprar o novo produto.

Outro elemento que dificulta esse tipo de projeção é o fato de a tecnologia fotovoltaica ser uma inovação disruptiva, que cria um novo mercado e disputa com outras tecnologias já estabelecidas. Neste caso, ela compete com a própria distribuição de eletricidade convencional. A adoção de uma inovação desse tipo requer tempo para ser assimilada, pois toda mudança de paradigma gera desconfianças que só são vencidas com a adoção progressiva e positiva da tecnologia.

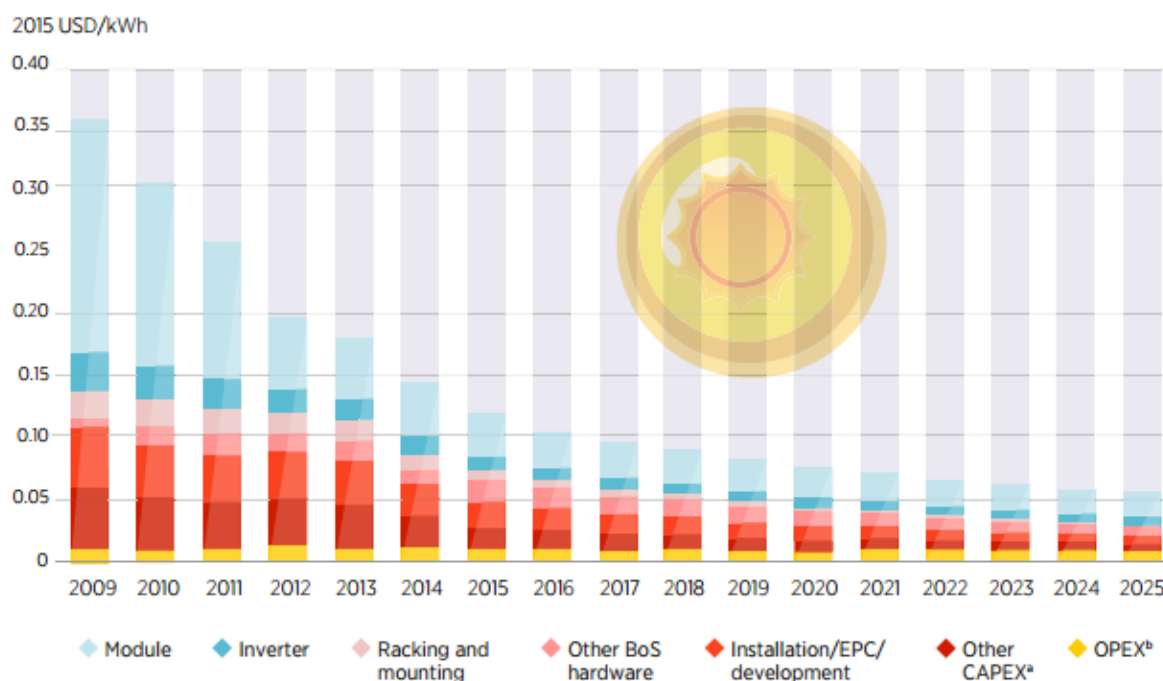
Com base nos dados do Capítulo 4, observa-se que os mercados de todo o mundo estão crescendo, como se pode verificar nos gráficos de capacidade instalada, custo de produção e na geração de emprego. Projeta-se que a energia solar fotovoltaica se consolidará juntamente à eólica, como fonte renovável barata e eficiente.

Para isto, a energia fotovoltaica ainda precisa vencer algumas barreiras, como o custo de produção e sua eficiência.

Como observado na Figura 3 as pesquisas por uma maior eficiência das células ainda não definiram uma tecnologia de alta performance, pois as atualmente difundidas no mercado mundial, de silício monocristalino e policristalino, não ultrapassam 20% de eficiência quando submetido a ambientes não controlados. A tecnologia de células concentradoras de multijunção atinge 46,7% de eficiência nos laboratórios, mas não são viáveis para o mercado devido a sua difícil fabricação e curto período de tempo em alto rendimento. Com isto o que se espera é que estas tecnologias de maior rendimento consigam se inserir no mercado, o que se dará com o avanço dos processos de fabricação.

Outro fator que inibe a consolidação desta fonte é o preço dos componentes. No gráfico da Figura 35 pode-se ver uma projeção do custo dos componentes do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede até 2025, que traz uma redução de praticamente 50% se analisado no período de 2016 a 2025.

Figura 35: Queda do preço dos componentes fotovoltaicos.



Fonte: (Global Market Outlook, 2016)

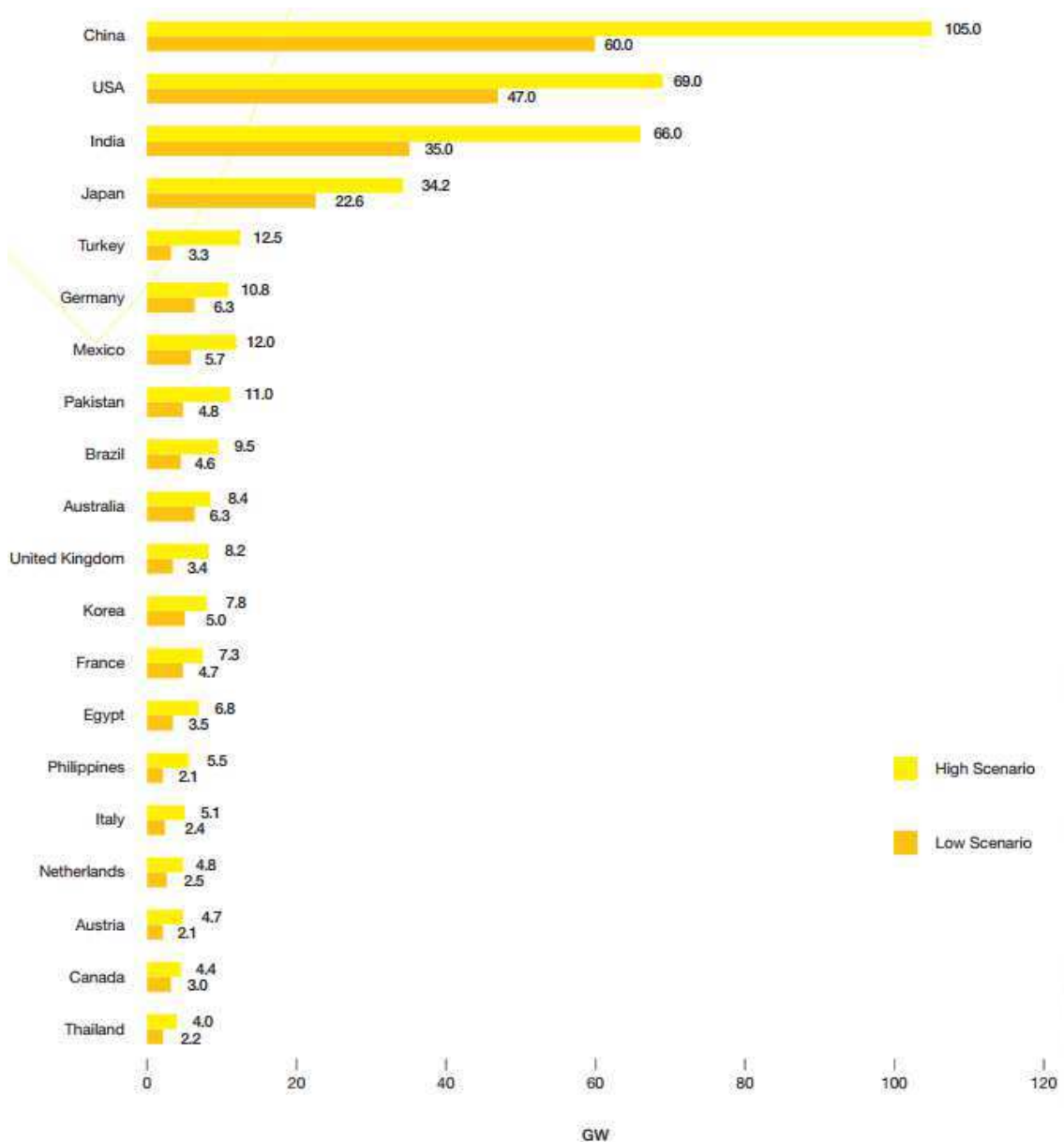
Como se pode observar o preço dos módulos teve uma queda acentuada de 2009 a 2015, o que indica a consolidação do processo produtivo e a fabricação em massa. Tecnologias já consolidadas como a empregada nos inversores, monitoramento e estocagem se mantiveram praticamente constantes de 2009 a 2015, de 2015 a 2025 pode-se notar um avanço, provavelmente advindo da melhoria tecnológica alcançada pelas pesquisas científicas. A instalação vem em constante evolução ao longo dos anos, pois os métodos sempre são melhorados, e as ferramentas e estruturas também. Nota-se que o CAPEX (*capital expenditure*) era alto de 2009 a 2014 justamente pela necessidade de adquirir conhecimento. A partir de 2015 nota-se uma estabilidade, o que indica o domínio da técnica de fabricação. Já o OPEX (*Operational Expenditure*) refere-se às despesas operacionais, como logística, Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) e ferramentário.

Outro fator de extrema importância para análise do crescimento da energia solar fotovoltaica é a sua capacidade instalada, onde indica a evolução.

Segundo a EPE, a previsão é que o Brasil figure entre os 20 países com maiores mercados do mundo em 2017, o que seria um grande avanço, tendo em vista que há dois ou três anos o país tinha poucos investimentos se comparados à adoção dos sistemas de energia solar com os números de outros países mais avançados. A projeção observada na Figura 32, trás os cenários mais otimistas e pessimistas, segundo os especialistas da

*Global Market Outlook*, para os 20 países de maior capacidade instalada no ano de 2020. Pode-se constatar que o Brasil já ocupa a 9ª posição no mundo. E a China continua na 1ª posição com uma projeção da sua capacidade instalada para o melhor cenário de 105 GW.

Figura 36: Cenário do mercado do top 20 dos países no ano de 2020.



Fonte: (Global Market Outlook, 2016).

Por conta da queda dos custos nos equipamentos de energia solar, e também do alto preço de energia em países menos desenvolvidos, a matemática financeira por trás dos sistemas conectados à rede é muito positiva e promissora para países como Brasil,

Índia, México, Filipinas, África do Sul, Chile, Tailândia e até mesmo Argentina, que devem, junto com os líderes de mercado, ter um o crescimento entre 2016 e 2020.

Tabela 5: Projeção da energia solar fotovoltaica 2016-2020.

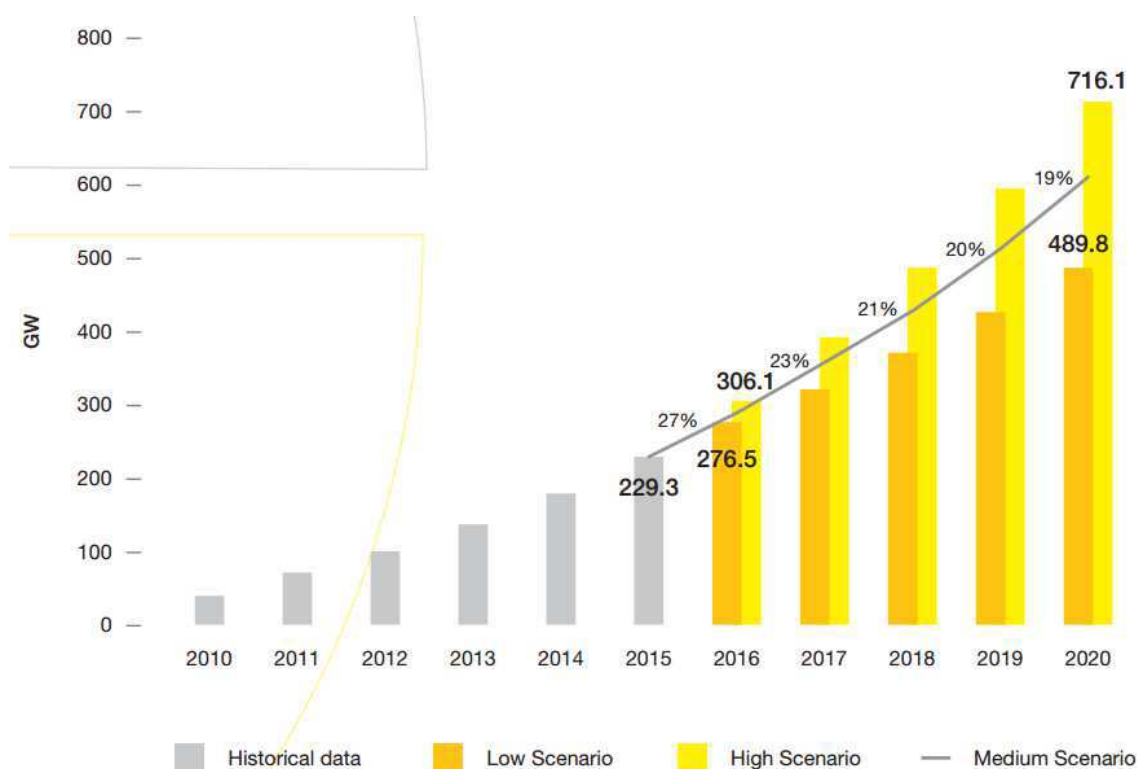
|              | 2015<br>Total Capacity<br>(MW) | 2020<br>Total Capacity Medium<br>Scenario by 2020 (MW) | 2016 - 2020<br>New Capacity<br>(MW) | 2016 - 2020<br>Compound Annual<br>Growth Rate (%) |
|--------------|--------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| China        | 43,381                         | 130,381  | 87,000                              | 25%   |
| USA          | 25,910                         | 85,310   | 59,400                              | 27%   |
| India        | 5,048                          | 57,398   | 52,350                              | 63%   |
| Japan        | 34,347                         | 63,347   | 29,000                              | 13%   |
| Pakistan     | 610                            | 9,985  | 9,375                               | 75%   |
| Mexico       | 205                            | 9,080  | 8,875                               | 114%  |
| Australia    | 5,093                          | 12,248   | 7,155                               | 19%   |
| Brazil       | 69                             | 6,509  | 6,440                               | 149%  |
| Korea        | 3,421                          | 9,821  | 6,400                               | 23%   |
| Egypt        | 16                             | 4,859  | 4,843                               | 214%  |
| Philippines  | 156                            | 3,956  | 3,800                               | 91%   |
| Canada       | 2,371                          | 6,056  | 3,685                               | 21%   |
| Chile        | 854                            | 4,509  | 3,655                               | 39%   |
| Thailand     | 1,444                          | 4,654  | 3,210                               | 26%   |
| Algeria      | 268                            | 3,053  | 2,785                               | 63%   |
| Taiwan       | 1,176                          | 3,726  | 2,550                               | 26%   |
| South Africa | 1,122                          | 3,457  | 2,335                               | 25%   |
| Saudi Arabia | 100                            | 2,285  | 2,185                               | 87%   |
| UAE          | 24                             | 1,786  | 1,763                               | 138%  |
| Israel       | 870                            | 2,220  | 1,350                               | 21%   |

Fonte: (Global Market Outlook, 2016).

Pode-se ver na Tabela 5, o Brasil como o segundo país de maior média de crescimento de capacidade instalada, atingindo uma taxa média de 149% de 2016 a 2020. Esta ainda apresenta porcentagem de crescimento dos 20 países com maiores projeções de capacidade instalada, excetuando-se os países Europeus. É possível verificar que os países do Oriente Médio estão entre os países com maiores médias de projeções de crescimento de capacidade instalada, o Egito apresenta uma projeção de 214% e os Emirados Árabes Unidos (UAE) com 138 %, isso decorre do alto investimento feito por esses países, que se comprometeram em reduzir o uso de combustíveis fósseis, investindo em fontes renováveis.

Já na Figura 37 pode-se ver a projeção de crescimento da capacidade instalada no mundo, de 2015 a 2020. Em 2016 foi registrada uma capacidade de 305 GW de potência instalada, se observar o gráfico no ano de 2016, esperava-se que no melhor cenário essa capacidade seria de 306,1 GW o que se aproxima bastante do valor atualmente registrado. Se o gráfico se comportar nos próximos anos assim como se comportou para o ano de 2016, pode-se esperar que em 2020 a capacidade instalada duplique.

Figura 37: Projeção da capacidade instala de energia solar fotovoltaica 2016-2020.



Fonte: (Global Market Outlook, 2016).



## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi observada a tendência de crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo com base na evolução do seu mercado ao longo dos últimos anos, onde se pôde notar este crescimento por meio das projeções da sua capacidade instalada, custo e a geração de emprego.

Nota-se que a eficiência da tecnologia atualmente empregada no mercado, células de silício cristalino, ainda é um empecilho para adoção da fonte solar fotovoltaica de forma mais contundente, pois de 1995 a 2015 a eficiência desta tecnologia permaneceu quase que constante.

Fica evidente que nos países ricos os incentivos fiscais e as políticas públicas adotadas visam desenvolver e consolidar a penetração da energia fotovoltaica na matriz energética e sustentar suas indústrias de células.

Percebe-se que o crescimento da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no mundo nos últimos anos, foi motivado principalmente pelo crescimento da China, que tem investido bastante neste tipo de fonte de geração. Já o continente europeu vem apresentando taxa de crescimento baixa, isso devido à crise enfrentada na Europa, mas também pelo pequeno crescimento da capacidade instalada na Alemanha, a sua principal referência em energia solar fotovoltaica.

Constata-se que apesar da queda dos custos internacionais dos sistemas fotovoltaicos, o Brasil apresenta preço mínimo de leilão, 78 US\$/MWh (7,8 C\$/kWh), superior a EUA, México, Argentina, Peru, Emirados Árabes Unidos, Chile, onde o custo da energia solar fotovoltaica já é menor que 50 US\$/MWh (5 C\$/kWh).

Com relação à geração de empregos, em cada três empregos gerados por energia renovável um está ligado à solar fotovoltaica. Destes, 52% estão associados a instalações e tendem a desaparecer em mercados fotovoltaicos consolidados, como é o caso da Alemanha. Já 25% dos empregos são de alta qualidade, que estão associados à fabricação e desenvolvimento dos módulos fotovoltaicos e estão nos países que desenvolve a tecnologia.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, W.G.; DAY, R.E. The action of light on selenium, *Proceedings of the Royal Society*. Londres, vol. A25, p. 113, 1877 .

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE, Sustainable Energy in America. Factbook, 2013

CHAPIN, D. M.; FULLER, C. S.; PERSON, G. L. A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power. *Journal of Applied Physics*, vol. 25, p. 676, 1954.

EXAME. Capacidade Mundial de energia solar aumentou 32% em 2016. Disponível em: < <http://exame.abril.com.br/economia/capacidade-mundial-de-energia-solar-aumentou-mais-30-em-2016/>>. Acessado em 15 de Março de 2017.

GAZOLLI, J. R.; VILLALVA, M. G. Energia Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações- Sistemas Isolados e Conectados à Rede. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

GREEN, M. A. et al. Improvements in silicon solar cell efficiency, *Proceedings 18th IEEE PVSC*, Las Vegas, Nevada, p. 39, 1985.

IRENA. Renewable Energy Topic. Disponível em: <<http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/>>. Acessada em 29 de Março de 2017.

LINDEMAYER, J.; ALLISON, J. F. An improved solar cell: the violet cell, *Proceedings 9th IEEE PSC*, Silver Spring, p. 83, 1972.

LISITA, O.J., Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso - 3kWp instalados no estacionamento do IEE-SP. 2005. p. 20-21. Dissertação (Mestrado em Energia)- Instituto de Eletrônica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARKVART, T. Solar Electricity. 2nd ed. 1994 e 2000

MAYCOCK, P. D. Fotovoltaics: Sunlight to Electricity in One Step. Andover: Brick House. 222 p. 1981.

MME, Ministério Minas e Energia. Energia Solar no Brasil e no Mundo - Ano de Referência 2015. Disponível em: < <http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/mme68.pdf>>. Acessado em 12 de Março, 2017.

MONTEIRO, M. C. Células Solares de Silício Cristalino: Tecnologias e Processo de Fabricação. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Pubblindústria, 2011.

PINHO, J.; GALDINO, M. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

Portal Solar, O que é Geração Distribuída. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida.html>> Acessada em: 20 de fevereiro de 2017.

RODRIGUES, E. D. A Energia Solar em Portugal. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

RÜTHER, R. et al. Avaliação do impacto da geração distribuída utilizando sistemas solares fotovoltaicos integrados à rede de distribuição. 2005.

SAUAIA, R. L. Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios. Solar Invest, Natal, 2017. Disponível em:<<http://viex-americas.com/2016/wp-content/uploads/2017/02/RODRIGO-LOPES-2017.02.08-ABSOLAR-Energia-Solar-Fotovoltaica-Dr.-Rodrigo-Lopes-Sauaia.pdf>>. Acessado em : 10 de Março de 2017.

SCHMELA, M. Global Market Outlook 2016-2020. Solar Power Europe. 2016. Disponível em: < <http://www.solarpowereurope.org/insights/new-global-market-outlook-2016/>>. Acessado em: 20 de Março 2017.

SEKI, K; FURUBE, A. and YOSHIDA, Y. Detailed balance limit of power conversion efficiency for organic photovoltaics, 2014.

SINTON, R. A. et al. Silicon point contact concentrator solar cells, *Proceedings 18th IEEE PVSC*, Las Vegas, p. 61, 1985.

WOGA, T. New Solar Cells Use Perovskite to Turn Water into Energy, Chemistry World, 2014.

WOLF, M., Limitations and possibilities for improvement of photovoltaic solar energy converters, *Proceedings of the IRE*, vol 48, pag. 1246, 1960.

ZHAO, J.; WANG, A.; GREEN, M. A.; FERRAZA, F., Novel 19.8% efficient honeycomb textured multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cell, *Applied Physics Letters*, vol. 73, p. 1991, 1998.

REVISTA GAZETA DE FÍSICA. Vol. 29. Lisboa 2006: Sociedade Portuguesa de Física. Disponível em: <<https://www.spf.pt/magazines/GFIS/76/pdf>>. Acessada em: 18 de Março de 2017.

CREA BAHIA. Vol. 15. Bahia 2016: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia. Disponível em: <[https://issuu.com/crea-ba/docs/crea\\_n51](https://issuu.com/crea-ba/docs/crea_n51)>. Acessada em: 10 de Março de 2017.