



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

ÁLVARO MARQUES BORGES CALAZANS



Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
ESTUDO COMPARATIVO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA:  
ESTUDO DE CASO ESTADOS UNIDOS E BRASIL



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2016

ÁLVARO MARQUES BORGES CALAZANS

ESTUDO COMPARATIVO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA:  
ESTUDO DE CASO ESTADOS UNIDOS E BRASIL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
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 Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande  
2016

ÁLVARO MARQUES BORGES CALAZANS

ESTUDO COMPARATIVO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA:  
ESTUDO DE CASO ESTADOS UNIDOS E BRASIL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
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 Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais, pessoas exemplares, que foram essenciais para mim durante a minha graduação, sempre me apoiando e me alimentando com força e coragem. Graças ao investimento deles na minha educação, eu estou finalizando esse ciclo na minha vida.

## AGRADECIMENTOS

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

Agradeço aos meus pais, Eduardo e Edileuza, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por ter me alimentado com saúde, força e coragem, as quais foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Agradeço à minha namorada Isabella, pelo apoio, carinho e motivação, principalmente, nesse final de curso.

Agradeço ao Professor Leimar, pela orientação nesse trabalho de conclusão de curso. Sua orientação foi de extrema importância.

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

## RESUMO

Esse trabalho realiza um estudo comparativo da energia solar fotovoltaica nos Estados Unidos e no Brasil. Esse estudo leva em consideração aspectos como radiação solar, e incentivos governamentais para a utilização dessa fonte de energia renovável. Além disso, no início do trabalho é feita uma comparação da evolução da energia solar nesses dois países. Isso ajuda o leitor a se contextualizar e entender o cenário atual de desenvolvimento da energia solar, tanto nos Estados Unidos, quanto no Brasil. Logo após essa análise, um sistema de energia solar e seus principais componentes são descritos em detalhes. E, por fim, as políticas energéticas de cada país são delineadas, mostrando como isso influencia o desenvolvimento deles na utilização dessa fonte de energia renovável.

**Palavras-chave:** Energia solar fotovoltaica, incentivos governamentais, radiação solar, painel solar

## ABSTRACT

The present study analyzes the photovoltaic solar energy in the United States and in Brazil. This study considers aspects like solar radiation and government incentives for the use of this renewable source of energy. In the beginning of this work, it is presented a comparison of the evolution of the solar energy in both countries. Such analysis helps the reader to be contextualized and understand the current scenario of the development of the solar energy, both in the United States and Brazil. After this analysis, a solar power system and its main components are described in details. And, finally, the policy energy of each country is outlined, and how it influences the development of them on the use of this source of energy.

**Keywords:** Photovoltaic solar energy, government incentives, solar radiation, solar panel.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Energia solar e o efeito fotoelétrico .....	21
Figura 2: Extrato da patente da primeira célula solar .....	23
Figura 3: Primeira aplicação de uma célula solar de silício.....	23
Figura 4: Preço de células fotovoltaicas de silício cristalino .....	24
Figura 5: Sistema de energia solar fotovoltaico .....	27
Figura 6: Seção transversal de uma célula solar .....	28
Figura 7: Características de uma célula solar real e ideal sob diferentes níveis de iluminação .....	29
Figura 8: Determinação do ponto de máxima potência na característica de operação de uma célula solar	30
Figura 9: Caminho de descarga da bateria através do módulo PV com e sem diodo de bloqueio .....	31
Figura 11: Baterias RV/Aplicações Marítimas/Golf .....	32
Figura 12: Baterias flooded .....	32
Figura 13: Baterias do tipo gel .....	33
Figura 14: Bateria do tipo AGM.....	33
Figura 15: Tipos de painéis solares .....	35
Figura 16: Fases do ciclo de carga.....	36
Figura 17: Formas de ondas geradas pelos tipos de inversores .....	37
Figura 18: Mapa global da irradiação solar horizontal .....	38
Figura 19: Radiação solar global diária no Brasil.....	39
Figura 20: Média anual de incidência solar nos Estados Unidos.....	40



# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede, instalados no país (1995-2008). (CARVALHO,2010). .....	19
Tabela 2: Detalhes dos benefícios fiscais federais.....	43

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	12
1.1	Objetivos.....	13
1.2	Motivação.....	14
1.3	Estrutura do trabalho.....	14
2	Evolução da energia solar: Estados Unidos e Brasil.....	16
2.1.1	brasil.....	16
2.1.2	Estados Unidos.....	20
3	Sistemas de energia solar fotovoltaicos.....	26
3.1	Operação de células solares.....	27
3.2	Módulo e arranjo solar fotovoltaico.....	30
3.3	Armazenamento de energia.....	31
3.4	Painéis solares.....	33
3.5	Controlador de carga.....	35
3.6	Inversor.....	36
4	Energia solar fotovoltaica no Brasil e nos Estados Unidos.....	38
4.1	Potencial de radiação solar.....	38
4.2	Políticas de incentivo à produção de energia solar.....	41
4.2.1	Estados Unidos.....	41
4.2.2	Brasil.....	44
5	Conclusão.....	48
6	Referências.....	49

# 1 INTRODUÇÃO

O mundo vem mudando significativamente ao longo dos últimos 20 anos. A tecnologia é uma das razões pelas quais se observa um desenvolvimento social e econômico constante. Praticamente todas as tecnologias funcionam à base de eletricidade, de modo que consumo da mesma vem crescendo rapidamente.

A diversificação da matriz energética mundial vem passando por um processo de inovação tecnológica, com o intuito de reduzir os problemas ambientais, e atender à crescente demanda energética mundial. A produção de energia elétrica a partir da energia solar fotovoltaica vem gerando grandes discussões, pois essa é uma das fontes renováveis que mais cresce no mundo.

A energia solar é uma das fontes de energia mais abundante no nosso planeta, ela está disponível para o uso de forma direta, por meio da radiação solar, e de forma indireta, por meio do vento, dos oceanos e da biomassa. Aproximadamente 60% da energia total emitida pelo sol alcança a superfície da Terra. Se apenas 0,1% dessa energia pudesse ser convertida com uma eficiência de 10%, isso seria quatro vezes maior que a capacidade de geração de eletricidade de aproximadamente 5000GW (WER,2013).

Devido ao rápido declínio nos custos de manufatura dos painéis solares, o uso da energia solar vem crescendo rapidamente no mundo. A geração de energia por meio da instalação de painéis fotovoltaicos varia com o grau de radiação solar que eles recebem, e isso depende da região geográfica em que eles estão localizados. Nas regiões tropicais a radiação solar é mais intensa, e quanto mais próxima a elas maior é essa intensidade. Em dias claros, a geração de energia alcança seu máximo em torno do meio-dia, mas em dias nublados, com neve, areia ou poeira, essa produção sofre uma queda.

Nos últimos 10 anos, tecnologias como a de filme fino estão ganhando cada vez mais espaço no mercado, propiciando redução de custos, e aumentando a captação dos painéis. Este método passou a aumentar a produção de energia solar significativamente. Por esse motivo, a geração de energia solar fotovoltaica expandiu-se até 50% por ano no mundo todo ao longo da última década, alcançando aproximadamente 100TWh em 2012 (CML,2013).

No ano de 2013, a capacidade total de energia solar fotovoltaica instalada aumentou até 43%, ou 29,4 GW, representando 15% do crescimento total na capacidade global de geração de energia. A Alemanha, por exemplo, aumentou 7,6GW, graças a diversos incentivos do governo. Outros países como Itália, China, Estados Unidos, Japão e Índia tiveram um aumento de 3,6GW, 3,5GW, 3,3GW, 2,0GW e 1,1GW respectivamente. Tudo isso foi possível graças a programas de suporte e incentivos dos governos desses respectivos países. (CML,2013).

A expansão no Japão, por exemplo, está sendo possível graças à tarifa *feed-in*. Este é um mecanismo utilizado com o propósito de acelerar o investimento em tecnologias de energias renováveis, por meio da oferta de contratos de longo prazo aos produtores de energias renováveis.

No Japão, esse programa de incentivo determina que os serviços públicos locais comprem 100% da energia gerada por instalações solares de mais de 10 kW por um período de 20 anos. Até mesmo a Índia declarou que visa ter uma capacidade instalada de energia solar fotovoltaica de 100 GW até 2022.

No caso do Brasil, tem-se grande potencial em energia solar, no entanto, essa peculiaridade ainda não está sendo usada a seu favor no momento. À medida que os custos caem, a capacidade instalada de energia solar tende a aumentar. Por exemplo, a previsão é que em 2020 essa capacidade chegue a 2 GW, e em 2035 8 GW, com a maior parte sendo energia solar fotovoltaica, e uma menor parcela sendo energia solar concentrada (CML,2013).

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho é fazer uma análise comparativa da energia solar fotovoltaica no Brasil e nos Estados Unidos. O intuito disso é recomendar a implementação de algumas políticas públicas de incentivo a essa fonte de energia renovável no Brasil, visando alavancar o uso da mesma no país.

Ainda foram buscados os seguintes objetivos:

- i. Comparar o potencial de radiação solar no Brasil e nos Estados Unidos;
- ii. Delinear os incentivos governamentais para a energia solar tanto nos Estados Unidos, quanto no Brasil;
- iii. Fazer uma análise de qual país oferece melhores incentivos.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

O interesse por esse tema surgiu durante a realização do meu intercâmbio acadêmico, financiado pelo Governo Federal, por meio do programa Ciências sem Fronteiras, com duração de 1 ano e 2 meses nos Estados Unidos.

O Ciência sem Fronteiras é um programa que busca promover a consolidação, expansão e internacionalização da ciência e tecnologia, da inovação e da competitividade brasileira, por meio do intercâmbio e da mobilidade internacional.

Durante esse tempo de intercâmbio, eu participei de uma pesquisa na área de energia solar com o Prof. Mahbube. K. Siddiki. O tema do trabalho era: “Projeto e análise econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede em Recife”. Como resultado dessa pesquisa, publiquei um artigo na 42nd IEEE *Photovoltaic Specialists Conference*, em 2015, em Nova Orleans, nos Estados Unidos.

Após o retorno ao Brasil, e com os conhecimentos adquiridos em energia solar durante o intercâmbio, entrei em contato com o Prof. Leimar para pedir orientação no meu Trabalho de Conclusão de Curso. Ele sugeriu que os conhecimentos adquiridos nos Estados Unidos fossem compartilhados com a comunidade acadêmica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A partir disso, surgiu a ideia da análise comparativa da energia solar fotovoltaica nos Estados Unidos e no Brasil.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Como forma de sistematizar o tema abordado neste Trabalho de Conclusão de Curso, o texto foi organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1 é composto por uma visão geral de como é a energia solar fotovoltaica no mundo, e como o uso da mesma vem crescendo ao longo dos anos. O Capítulo 2 visa analisar a evolução da energia solar no Brasil e nos Estados Unidos, com relação às dificuldades encontradas para o estabelecimento dessa fonte de energia renovável, avanço da tecnologia e custos das células solares.

Posteriormente, no Capítulo 3, é abordado o detalhamento da parte física de um sistema de energia solar, especificando quais os equipamentos que fazem parte desse sistema, e explicando cada um deles. Além disso, é feita uma análise de como é o

funcionamento das células solares, de que forma podem ser instalados os painéis solares, e quais são os tipos existentes no mercado.

No Capítulo 4 é feita uma comparação da energia solar fotovoltaica no Brasil e nos Estados Unidos, levando em consideração o potencial de radiação solar de cada país, além das políticas públicas, no que diz respeito ao incentivo e suporte do governo na geração desse tipo de energia. Por fim, no Capítulo 5 é apresentada a conclusão do trabalho, onde são expostas sugestões para trabalhos futuros, bem como a síntese de tudo o que foi abordado neste trabalho.

## 2 EVOLUÇÃO DA ENERGIA SOLAR: ESTADOS

### UNIDOS E BRASIL

Esse capítulo irá abordar como se deu o processo de desenvolvimento das tecnologias em energia solar nos Estados Unidos, as dificuldades encontradas para o estabelecimento dessa fonte de energia renovável no Brasil, e os custos das células solares ao longo dos anos.

#### 2.1.1 BRASIL

O Brasil é um país de dimensões continentais, sendo considerado o quinto maior país do mundo, e com uma grande diversidade de ecossistemas. Além disso, possui um sistema denso e complexo de rios, com oito grandes bacias hidrográficas que drenam para o Atlântico. Por esses motivos, o país possui uma matriz energética considerada limpa, baseada em fontes renováveis, com ênfase em hidrelétrica e o etanol, além de fontes não-renováveis de energia, como o petróleo e o gás natural.

Segundo o Relatório de Estrutura de Acompanhamento Global da Energia Sustentável para Todos, durante a realização do Fórum de Energia, o Brasil é o sétimo maior consumidor de energia do planeta. No caso da China, essa ocupa a primeira posição, ultrapassando os EUA nessa questão.

Ao longo das últimas três décadas, o Brasil vem buscando desenvolver uma alternativa viável à gasolina. Tudo isso começou com o Pró-Álcool, em 1970, devido às crises no mercado de petróleo, e como forma de diminuir a dependência do país ao petróleo importado. A produção de etanol foi feita a partir da cana-de-açúcar por causa das baixas no preço do açúcar na época.

Entretanto, o programa começou a ruir à medida que o preço internacional do petróleo baixava, e o preço do açúcar começava a aumentar na mesma época. Isso tornou o álcool combustível pouco vantajoso tanto para o consumidor quanto para o produtor, fazendo com que os usineiros produzissem açúcar no lugar do álcool.

Apesar dos problemas enfrentados pelo álcool na década de 1970, foi possível na década de 1980 a reutilização desse tipo de combustível, sendo que em conjunto com

outro tipo de combustível, surgindo dessa forma os carros flex, tecnologia desenvolvida nos Estados Unidos, por causa da crescente pressão por carros menos poluentes.

Após essa época do auge do etanol, começaram a ganhar destaque outras fontes de energia limpa, como a energia eólica e solar. Aquela é a que recebe maior parte dos investimentos, devido ao PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia. Esse tipo de energia poderá ocupar, em médio prazo, um importante papel no país, atuando como fonte descentralizada e complementar de energia acoplada à rede elétrica. Isso será possível graças a diminuição no custo da eletricidade de origem eólica, e o enorme potencial que o país possui nessa forma de geração.

Em contrapartida, o Brasil possui um grande potencial para geração de energia solar, pelo fato de ser um país intertropical e possuir regiões onde o sol aparece o ano todo. Esse tipo de energia pode ser aproveitado, por exemplo, para desenvolver áreas remotas que não possuem eletrificação pela rede convencional, por ser algo muito custoso, além de diminuir a dependência do petróleo, reduzindo dessa forma os gases do efeito estufa.

Esse tipo de energia pode ser empregado para a criação de pequenos sistemas fotovoltaicos autônomos, ou acoplados a rede elétrica, contribuindo com essa no fornecimento de excedente de energia, até grandes centrais que empregam energia solar concentrada.

As perspectivas e oportunidades de aproveitamento do potencial econômico desse tipo de fonte renovável dependem basicamente do desenvolvimento de tecnologia competitiva de conversão e armazenamento de energia, de informações seguras na área e das políticas públicas energéticas no país.

O elevado custo da instalação de um sistema de energia solar fotovoltaico tem sido um dos principais obstáculos para essa fonte renovável se destacar. Todavia, o preço dos equipamentos desse sistema vem caindo consideravelmente, e a tendência é que continue assim por muitos anos.

Em 2001, foi o ano que começou a surgir a necessidade de buscar novas fontes de fornecimento de energia, como a solar por exemplo. Isso se deu graças à crise de energia que gerou o apagão em várias regiões do Brasil.

Entretanto, apesar dessa situação difícil, pouco se tem feito na promoção do uso da energia solar fotovoltaica. O meio acadêmico é impulsionado pelas pesquisas e como elaboradores de programas de incentivos, mas são poucos os que buscam consolidar o



mercado para uso dessa tecnologia no país, e desenvolver a indústria nacional de equipamentos e serviços.

Para diminuir o problema da falta de acesso à energia elétrica em diversas regiões do Brasil foram instalados mais de 40 mil sistemas fotovoltaicos autônomos, de acordo com o relatório desenvolvido pelo Winrock International Brazil. Isso foi possível graças a algumas instituições de ensino, centros de pesquisa, governos estaduais e municipais, com a criação de programas como: Programa Luz Solar, em Minas Gerais; Programa Luz do Sol, na região Nordeste e o Programa Luz no Campo de dimensão nacional. Além dessas entidades, existem Organizações Não Governamentais Internacionais que estão viabilizando a ampliação da instalação desses sistemas autônomos, por intermédio de entidades como a Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ e pelo Laboratório de Energia Renovável dos Estados Unidos – NREL/DOE. (CARVALHO,2010).

Até 2012, a potência instalada acumulada total de sistemas fotovoltaicos era muito pequena no Brasil comparado a outros países no mundo, e isso era equivalente somente aos sistemas fotovoltaicos autônomos (eletrificação rural e bombeamento de água), pois no país não havia SFCR (sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica) em utilização comercial, mas apenas experimental. Em 2010 eram 29 SFCR experimentais no país, o que era equivalente a aproximadamente 153KW. (CARVALHO,2010). A seguir é apresentada a Tabela 1, com todos esses sistemas experimentais conectados à rede de 1995 à 2008.

Tabela 1 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede, instalados no país (1995-2008).

<b>Sistema Fotovoltaico</b>	<b>Ano de Instalação</b>	<b>Potência (KWp)</b>
Chesf	1995	11
Lab. Solar (UFSC)	1997	2,1
LSF(IEE/USP)	1998	0,75
COPEE(UFRJ)	1999	0,85
Lab. Solar(UFSC)	2000	1,1
Grupo FAE - UFPE	2000	2,5
LSF(IEE/USP)	2001	6,3
Lab. Solar	2002	10
Cepel	2002	16
HR	2002	3,3
Grupo FAE - UFPE	2002	3,5
CELESC (3x1,4KWp)	2003	4,2
LSF - IEE/USP	2003	6
UFRGS	2004	4,83
CEMIG	2004	3
Escola Técnica de Pelotas	2004	0,85
LSF - IEE/USP	2004	3
Grupo FAE - UFPE	2005	1,7
Charmonia (SP)	2005	1
CEMIG (3x3KWp)	2006	9
UFJF	2006	30
Greenpeace (SP)	2007	2,9
Grupo FAE - UFPE	2007	-
Residência Particular, Recife	2007	1
LH2 Projeto CPFL	2007	7,5
Residência Particular, São Paulo	2008	2,9
Solaris, Leme - SP	2008	1
Zepini, Motor Z	2008	2,4
Zepini, Fundação Estrela	2008	14,7
<b>TOTAL</b>		<b>152,5KWp</b>

Fonte: (CARVALHO, 2010)

Por outro lado, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede comerciais foram surgindo a partir de 2012, com a resolução normativa número 482, de 17 de abril de 2012. Ela possui regras destinadas a reduzir barreiras para instalação de geração distribuída de pequeno porte, que incluem a microgeração, com até 100KW de potência, e a minigeração, de 100KW a 1MW.

A norma estabelece o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. A regra é válida para geradores que utilizem fontes incentivadas de energia híbrida, solar, biomassa e eólica.

Caso a unidade geradora instalada em uma residência produza mais energia do que necessita, esse excedente será injetado na distribuidora de energia. A concessionária utilizará o crédito para abater o consumo dos meses subsequentes, e esses créditos poderão ser utilizados em um prazo de 36 meses.

Recentemente, a resolução 482/2012 sofreu alguns aprimoramentos de forma que o consumidor reduza ainda mais o valor da sua fatura de energia elétrica. Segundo as novas regras, que estão previstas para começar a valer a partir de 1º de março de 2016, denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada de até 75 kW, e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW(sendo 3 MW para fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (ANEEL,2016)

Além disso, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que agora eles podem usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outros locais, desde que na mesma área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse é o chamado “autoconsumo remoto”.

Outra novidade na resolução da ANEEL(Agência Nacional de Energia Elétrica) é a chamada “geração compartilhada”, que possibilita a união de várias pessoas em uma cooperativa ou consórcio, de modo que elas instalem uma micro ou minigeração distribuída, e utilizem a energia gerada para reduzir tarifas dos consorciados ou cooperados.

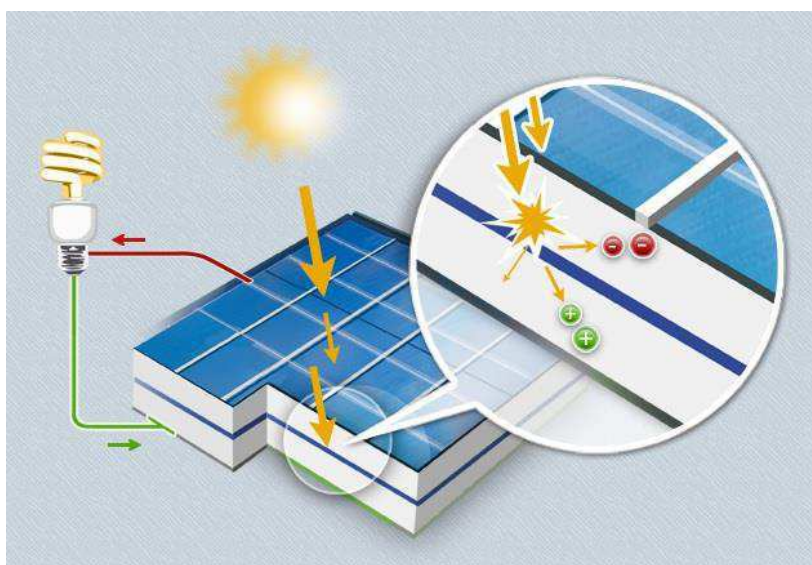
Dessa forma, de acordo com a ANEEL, até 2024 cerca de 1,2 milhão de unidades consumidoras passem a produzir sua própria energia, totalizando 4,5 gigawatts(GW) de potência instalada.

### 2.1.2 ESTADOS UNIDOS

A era moderna da energia solar é considerada como tendo início em 1954 quando um químico chamado Calvin Fuller dos Bell Laboratories em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos desenvolveu o processo de dopagem do silício. Entretanto, antes disso, diversas pessoas contribuíram para chegar até esse processo. (IST,2016)

Em 1839, por exemplo, o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, durante experiências eletroquímicas, notou que a exposição à luz de eletrodos de platina, ou de prata, dava origem ao efeito fotoelétrico. Esse fenômeno é caracterizado pela emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto a uma radiação eletromagnética (como a luz) de frequência suficientemente alta a depender do material. Os elétrons ejetados são chamados de fotoelétrons. A figura 1 a seguir apresenta como funciona esse efeito.

Figura 1: Energia solar e o efeito fotoelétrico.



Fonte: (ANTONIO PRALON,2013).

Logo em seguida, na década de 1860, um matemático francês August Mouchet propôs uma ideia para motores a vapor movidos a energia solar. Nas duas décadas seguintes, ele e seu assistente, Abel Pifre, construíram os primeiros motores movidos a energia solar e os usaram para uma variedade de aplicações. Esses motores tornaram-se os predecessores dos modernos coletores parabólicos. (EERAE,2016).

Em 1873, Willoughby Smith descobriu a fotocondutividade do selênio. Isso ajudou William Grylls Adams e Richard Evans Day mais tarde a descobrir que o selênio produz eletricidade quando exposto à luz. Embora as células de selênio falhassem para converter suficiente luz solar em equipamentos elétricos de potência, elas provaram que um material sólido poderia transformar a luz em eletricidade, sem calor ou partes móveis. Em 1883, Charles Fritts, um inventor americano descreveu as primeiras células solares feitas a partir de wafers de selênio. (EERAE,2016).

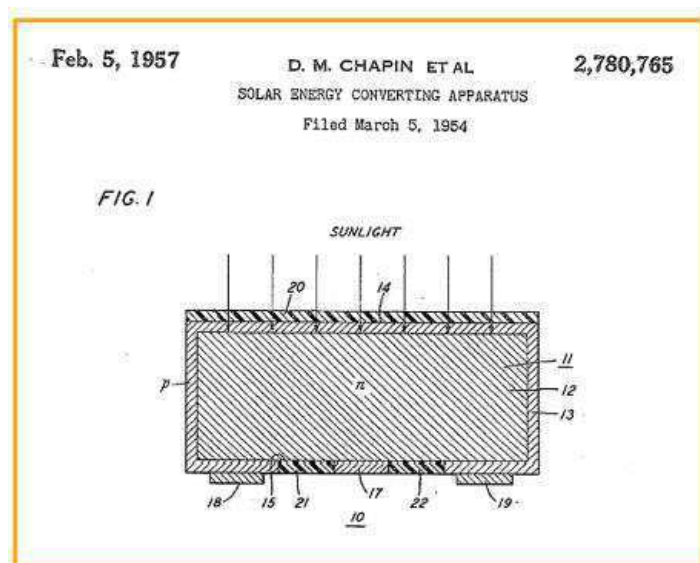
Como consequência, em 1877, Adams e o seu aluno Richard Day desenvolveram o primeiro dispositivo sólido de foto produção de eletricidade, um filme de selênio depositado num substrato de ferro em que um filme de ouro muito fino servia de contato frontal. Esse dispositivo apresentava uma eficiência de conversão de aproximadamente 0,5%. Charles Fritts duplicou essa eficiência para cerca de 1% uns anos depois construindo as primeiras verdadeiras células solares (IST,2016).

Na época o que mais chamava a atenção dos estudiosos era a fotocondutividade do selênio, o fato de a corrente produzida ser proporcional à radiação incidente e dependente do comprimento de onda, de uma forma que o tornava muito atraente como medir a intensidade da luz em fotografia. Isso trouxe muitas aplicações, dentre elas os fotômetros para máquinas fotográficas, que foram comercializados por Werner Siemens.

Ao longo dos anos, muitas pessoas deram sua contribuição, como por exemplo Wilhelm Hallwachs descobrindo que a combinação de cobre e óxido cuproso é fotosensitivo, Albert Einstein publicando um artigo explicando o efeito fotoelétrico, William J. Bailey inventando um coletor solar com bobinas de cobre e caixa térmica, e muitos outros, até chegar na moderna era de 1954, onde o silício passou a ter destaque construção de células solares.

Como havia sido mencionado anteriormente, Calvin Fuller junto com Daryl Chapin e Gerald Pearson em 1954 dos Bell Laboratories, nos Estados Unidos, desenvolveram a primeira célula solar capaz de converter o suficiente de energia solar em energia para fazer funcionar os equipamentos elétricos de uso diário. Na época o jornal *The New York Times* relatou que aquela primeira célula solar “marca o princípio de uma nova era, levando, eventualmente, à realização de um dos mais belos sonhos da humanidade: a colheita de energia solar sem limites, para o bem-estar da civilização”. (CSC,2016). A figura 2 apresentada a seguir mostra uma patente registrada da primeira célula solar com uma eficiência de 4,5%, registrada em Março de 1954.

Figura 2: Extrato da patente da primeira célula solar.



Fonte: (VALLÊRA; BRITO, 2006).

Em 1955 foi realizada a primeira aplicação das células solares de Chapin, Fuller e Pearson em Americus, no estado da Geórgia, para alimentar uma rede telefônica local segundo a figura 3. Esse painel possuía nove células com 30 mm de diâmetro, e os resultados da sua montagem foram promissores, apesar do painel ter ficado rapidamente coberto por uma massa opaca de fezes ornitológicas (VALLÊRA, 2006).

Figura 3: Primeira aplicação de uma célula solar de silício.



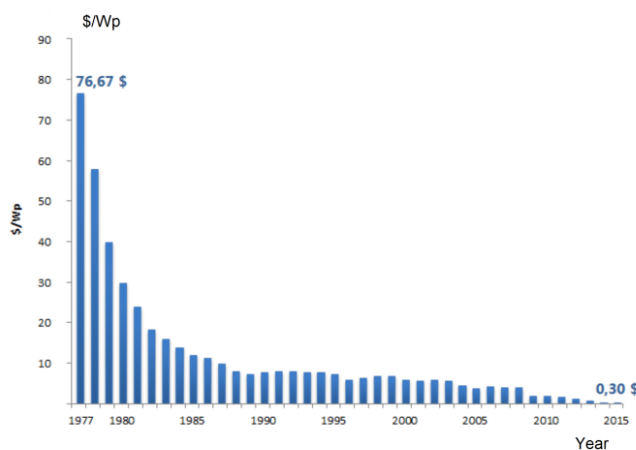
Fonte: (VALLÊRA; BRITO, 2006).

Mesmo após essa descoberta da primeira célula solar de silício, durante anos o seu alto custo a manteve fora do mercado de energia elétrica. Embora o progresso técnico de células solares de silício continuara a uma velocidade vertiginosa, com a duplicação da sua eficiência em dezoito meses, seu custo ainda se mostrava elevado comparado a outras formas de geração de energia.

Por exemplo, uma célula de 1 watt custava quase U\$300,00 por watt em 1956, enquanto uma usina comercial custava 50 centavos de dólar por watt para construir naquele momento. Dessa forma, a única demanda por células solares de silício veio de fabricantes de rádios e brinquedos para abastecer navios em miniatura em piscinas rasas, hélices de modelo DC – 4, e rádios de praia (CSC,2016).

Com o passar dos anos a eficiência das células solares foi aumentando, tendo atingido os 10% em 1959, porém o custo delas era muito alto. O preço vem diminuindo desde 76,67\$/Wp em 1977 até aproximadamente 0,36\$/Wp em 2014, conforme a figura 4 a seguir.

Figura 4: Preço de células fotovoltaicas de silício cristalino.



Fonte: (CARR, 2012).

No final da década de 1950, a utilização de células fotovoltaicas passou a ser economicamente viável em aplicações espaciais, como produzir eletricidade em satélites. Nessa época foi quando começou a corrida ao espaço entre os Estados Unidos e a União Soviética, e ela foi inaugurada com o lançamento do satélite Sputnik em 1957.

Em Março de 1958, o Vanguard I – primeiro satélite equipado com células solares – foi lançado. Ele possuía um painel com cerca de 100 cm<sup>2</sup> e produzia quase 0.1W para alimentar um pequeno transmissor de 5mW. Além desse satélite outros foram lançados e mantidos com células solares: O Explorer III, o Vanguard II e o Sputnik – 3 (BRITO,SERRA;2005).

Com a chegada da década de 1970 veio a crise do petróleo e a necessidade de diminuir a dependência dessa fonte de energia não renovável. Dessa forma, investimentos maciços, tanto privado como público, foram feitos em projetos e institutos de tecnologias solares. O principal objetivo era reduzir o custo dos painéis solares, como ainda acontece hoje em dia.

A Solar Power Corporation, empresa que finalmente trouxe o uso da energia solar para aplicações na Terra, foi fundada e dirigida pelo Dr. Elliot Berman, um químico industrial. Por meio da ajuda financeira da Exxon Corporation, Dr. Berman projetou uma célula solar significativamente menos dispendiosa, utilizando um grau mais pobre do silício, e acondicionando as células com materiais mais baratos.

Isso baixou o preço das células de U\$100 por watt para U\$20 por watt, possibilitando o acesso à eletricidade para pessoas que viviam distante de linhas de transmissão de energia. Além disso, possibilitou que plataformas de petróleo, que requerem a utilização de luzes de alerta e sirenes, utilizassem módulos solares para prover energia para a utilização desses equipamentos, ao invés de usarem baterias tóxicas, pesadas e de curta duração.

Outra aplicação da energia solar foi em campos de gás e petróleo em terra, que precisavam de pequenas quantidades de eletricidade para combater corrosão em cabeças de poço e tubulações, mas estavam distantes das linhas de transmissão de energia. Devido a essas aplicações, a indústria de células solares foi ganhando destaque no mercado.

Com o período pós-choque do petróleo, muitas tecnologias foram desenvolvidas na área de energia solar, como forma de não depender somente do petróleo. Entre essas tecnologias estão a produção de silício multicristalino (mais barato que o monocristalino, utilizado até então, embora a eficiência das células sejam ligeiramente inferior) e a utilização de métodos de processamento de células mais baratas (utilizando serigrafia para colocar os contatos em vez de os depositar por evaporação).



### 3 SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICOS

Células solares tem papel fundamental no projeto de sistemas fotovoltaicos, pois dependendo da forma como estejam conectadas irão produzir muita energia ou não. Para aplicações de alta potência, é importante considerar a conexão das células em série-paralelo para produzir energia suficiente. As células podem ser conectadas em módulos ou arranjos.

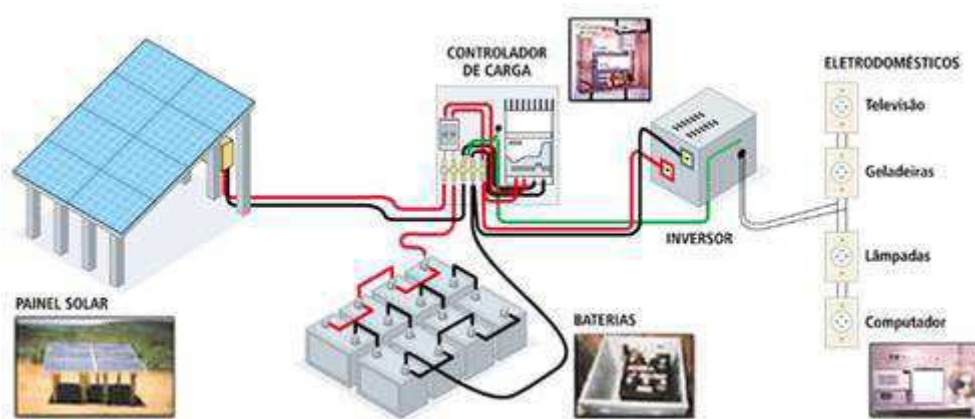
Uma vez que os sistemas fotovoltaicos produzem energia apenas quando existe a presença do sol, é necessário considerar um mecanismo de armazenamento de energia, como algumas baterias recarregáveis. Como forma de prevenir que as baterias alcancem uma condição de sobrecarga ou de sobre descarga, é comum incorporar um controlador de carga no sistema. Além disso, outro importante componente é o inversor, cuja função é converter a corrente contínua do módulo fotovoltaico em corrente alternada, para alimentar os aparelhos elétricos.

Caso um sistema fotovoltaico não produza energia suficiente, um sistema de *backup*, como um gerador, é necessário. Como consequência, faz-se necessário o uso de um controlador para operar esse sistema complementar.

Por outro lado, existe ainda a possibilidade de conectar um sistema de energia solar com a rede elétrica. Dessa forma, esse tipo de sistema pode tanto transferir e vender o excesso de energia à rede elétrica, quanto usar a rede como um sistema de *backup* no caso de produção insuficiente. Sendo assim, o uso de um interruptor de desconexão se faz necessário no caso de uma eventual falha da rede.

Na Figura 5 é apresentada uma ilustração de um sistema de energia solar fotovoltaico.

Figura 5: Sistema de energia solar fotovoltaico.



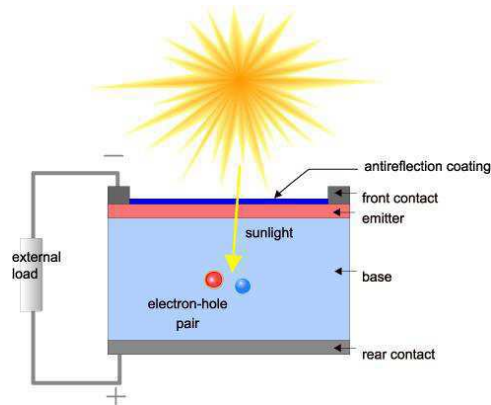
Fonte: (BRITO, 1996).

### 3.1 OPERAÇÃO DE CÉLULAS SOLARES

Células solares são equipamentos eletrônicos os quais convertem luz solar em eletricidade, por meio da conversão de fótons em elétrons, usando materiais semicondutores. Para gerar energia elétrica, o sol atinge a célula solar, que passa a produzir uma corrente elétrica e uma tensão.

Esse processo acontece devido ao uso de um material semicondutor na forma de junção p-n. Esse material absorve a luz, transferindo um elétron para uma camada energética mais elevada, que logo em seguida vai se desprender da célula solar em direção a um circuito externo. Após isso, existe uma dissipação do elétron no circuito externo, e depois retorna para a célula solar. Esse processo é descrito pela Figura 6 a seguir.

Figura 6: Seção transversal de uma célula solar.



Fonte: (HONSBURG; BOWDEN, 2010).

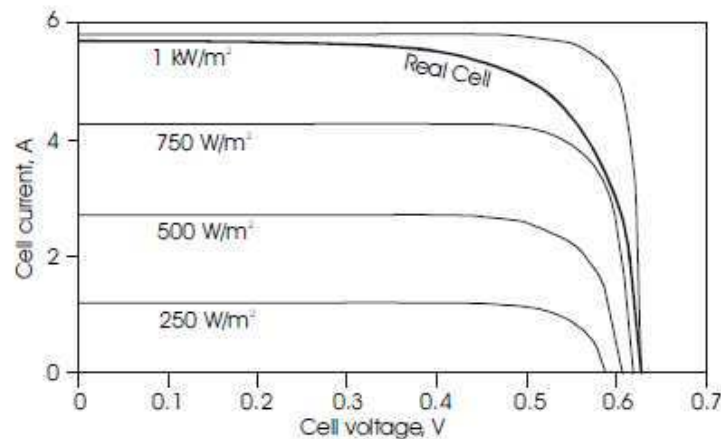
A operação de uma célula solar é descrita pela equação do diodo, que é dada pela Equação 1 dada a seguir.

$$I = I_l - I_0 * \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right), \quad (1)$$

em que  $I_l$  é a componente da corrente da célula devido aos fótons [A];  $q$  é a carga elementar, que é igual a  $1.6 \times 10^{-19} C$ ;  $k$  é a constante de Boltzman que é igual a  $1.38 \times 10^{-23} J/K$ ;  $T$  é a temperatura da célula dada em kelvin [K]

Na Figura 7 é apresentada as características da curva I-V de uma célula fotovoltaica ideal e real, comparando os limites de desempenho. Nela, uma célula fotovoltaica que tem tanto um limite de tensão quanto um limite de corrente. Como consequência, a célula não pode ser danificada se está sendo operada sob condições tanto de curto circuito como de circuito aberto.

Figura 7: Características de uma célula solar real e ideal sob diferentes níveis de iluminação.



Fonte: (MESSENGER,2004).

Como forma de determinar a corrente de curto circuito da célula solar, considere  $V=0$  no expoente, o qual gera o seguinte resultado  $I_{sc} = I_l$ . Então, a corrente da célula é diretamente proporcional à irradiação da célula.

Para determinar a tensão de circuito aberto, a corrente da célula solar é considerada 0, e é resolvida para  $V_{oc}$ , dando o seguinte resultado:

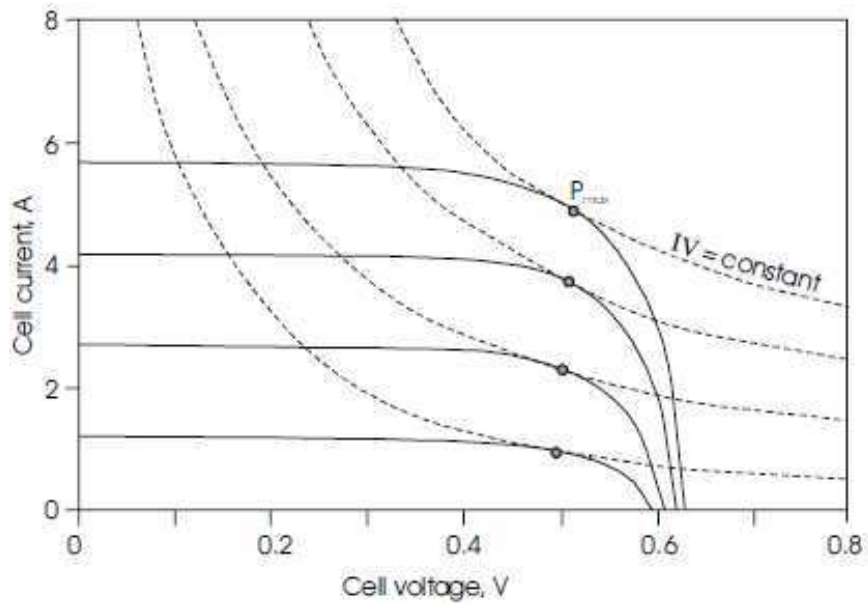
$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_l + I_o}{I_o} \cong \frac{kT}{q} \ln \frac{I_l}{I_o}, \quad (2)$$

em que  $I_l$  é a componente da corrente da célula devido aos fótons [A];  $q$  é a carga elementar, que é igual a  $1.6 \times 10^{-19} C$ ;  $k$  é a constante de Boltzman que é igual a  $1.38 \times 10^{-23} J/K$ ;  $T$  é a temperatura da célula dada em kelvin [K];  $V_{oc}$  é a tensão de circuito aberto [V]

É importante notar que a corrente de curto circuito é diretamente proporcional à iluminação da célula, enquanto que a tensão de circuito aberto é somente dependente logaritmicamente.

Para obter a potência da célula solar, a corrente dela é multiplicada pela tensão. A célula precisa produzir o máximo de potência possível. Na figura 8 abaixo, existe um ponto no gráfico I-V que esse parâmetro pode ser obtido. Além disso, a máxima potência pode ser determinada pela diferenciação da equação da potência da célula, e igualando o resultado a 0.

Figura 8: Determinação do ponto de máxima potência na característica de operação de uma célula solar.



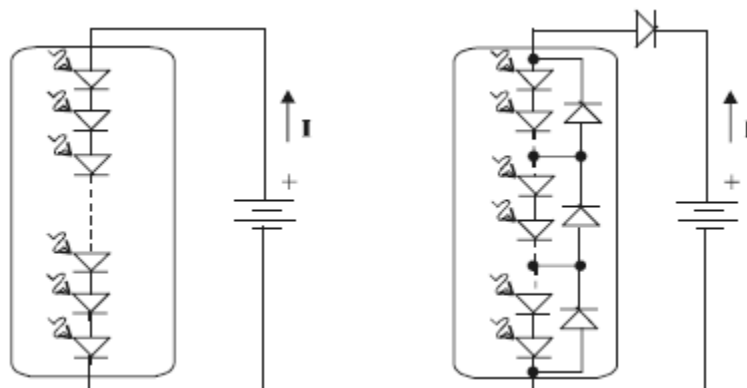
Fonte: (MESSENGER,2004).

### 3.2 MÓDULO E ARRANJO SOLAR FOTOVOLTAICO

Um módulo solar fotovoltaico é um grupo de células solares conectadas em série para obter uma tensão de saída adequada. A tensão  $V_m$  do módulo deve estar em um intervalo de tensão da bateria / sistema sob condições de irradiação média. Como consequência, o módulo terá uma potência de saída próxima do máximo.

Quando nenhuma das células está produzindo corrente suficiente, é importante considerar o módulo como uma conexão em série de diodos, que pode ser polarizado pelo sistema de armazenamento de baterias, como a figura 9 a seguir apresenta.

Figura 9: Caminho de descarga da bateria através do módulo PV com e sem diodo de bloqueio.



Fonte: (MESSENGER,2004).

Por outro lado, quando dois ou mais módulos são conectados em série ou em paralelo, eles são chamados de arranjos. No caso dos arranjos conectados em série, isso resulta em altas tensões, enquanto que quando eles estão em paralelo isso resulta em altas correntes.

### 3.3 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Essa seção irá apresentar considerações acerca da seleção da bateria para sistemas fotovoltaicos. Uma das considerações é como escolher uma bateria baseada nos princípios econômicos e de engenharia, dependendo do projeto do sistema fotovoltaico específico.

Existem muitos tipos de baterias recarregáveis para esses tipos de sistemas. A de chumbo ácido é a mais comum para o armazenamento econômico de, relativamente, grandes quantidades de energia elétrica. Este tipo de bateria é composta de cátodo de chumbo e ânodo de óxido de chumbo ( $PbO_2$ ) imersos numa solução de ácido sulfúrico.

No entanto, há baterias de Ni-Cd utilizados em aplicações que requerem baterias seladas capaz de funcionar em qualquer posição, e necessitam de alta densidade de energia. O problema é o custo destas baterias. Um dia, talvez, o hidreto de metal de níquel e tecnologias de lítio pode fornecer armazenamento de custo eficaz.

Dependendo do tipo de aplicação, as baterias podem ser classificadas como baterias para veículos recreativos (RV) / aplicações marítimas e golf, *flooded* ou inundadas, gel e baterias AGM (FSP,2016).

Baterias para veículos recreativos (RV) / aplicações marítimas e golf são baterias de ciclo profundo (é uma bateria de chumbo-ácido projetado para ser regularmente completamente descarregada usando a maior parte de sua capacidade) para barcos, RV e para sistemas muito pequenos. Eles não têm a capacidade de carregar e descarregar continuamente por muitos anos. A figura 11 a seguir apresenta esse tipo de bateria.

Figura 10: Baterias RV/Aplicações Marítimas/Golf.



Fonte: (ENERGIZER, 2000).

Baterias *flooded*, ou inundadas, são feitas pela maioria dos fabricantes para fins de energia solar. Eles são bateria de chumbo-ácido. O problema delas é o gás que elas liberam quando estão carregando, e por isso, não devem ser usadas dentro de ambientes fechados. Se essas baterias são instaladas dentro de casa, é necessário um sistema de ventilação. Observe a figura 12.

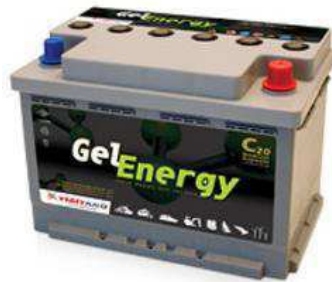
Figura 11: Baterias flooded.



Fonte: (PERKINS, 2013).

Baterias do tipo gel não liberam gás durante o processo de carregamento, e por isso podem ser usadas dentro de casa. Por causa disso, pode manter uma temperatura mais constante, e possuir um desempenho melhor. Observe a figura 13.

Figura 12: Baterias do tipo gel.



Fonte: (SOLAR, 2016).

AGM (*Absorbed Glass Mat*) é um dos melhores tipos de bateria para sistemas de energia solar. Elas não liberam gás quando estão carregando, e possui um excelente desempenho. Além disso, elas são de alta qualidade, mantêm a tensão melhor que os outros tipos de baterias e duram mais. Entretanto, elas são um pouco custosas, mas vale a pena o preço que se paga pelo benefício que se tem. Observe a figura 14.

Figura 13: Bateria do tipo AGM.



Fonte: (STORE, 2016).

### 3.4 PAINÉIS SOLARES

Os painéis solares geram energia a partir do sol, através da conversão de luz solar em eletricidade. A classificação deles é feita de acordo com o tipo de célula. Existem vários tipos de painéis solares, dentre eles estão: monocristalino, policristalino, filme fino (que podem ser categorizados por material fotovoltaico que é depositado sobre o substrato) e painel solar híbrido. A seguir estão descritas algumas vantagens e desvantagens.



O painel monocristalino é feito com células monocristalinas de silício de elevada pureza. Por essa razão, as técnicas usadas nesse painel fotovoltaico são caras e complexas. Entretanto, dentre as tecnologias acessíveis no mercado, essa é a que possui maior eficiência, podendo chegar a 21%. Por isso, o painel monocristalino abrange um espaço menor como forma de gerar a mesma quantidade de energia elétrica que outros tipos de painéis. Além disso, ele é feito de um único cristal puro de silício, que é cortado em lâminas individuais, possui vida útil longa (por volta de 30 anos), e funciona melhor em dias nublados que o painel policristalino (SOLAR VOLT,2016).

A principal diferença entre os painéis mono e policristalinos é o método utilizado na fundição dos cristais. No policristalino as células não são cultivadas num único cristal, mas em um grande bloco de múltiplos cristais. Quando esse bloco é cortado e fatiado, é possível observar essa formação múltipla de cristais (SOLAR VOLT,2016).

As principais vantagens do painel solar policristalino estão no fato deles serem mais baratos que o monocristalino, possuir uma vida útil maior que 30 anos, além da quantidade de silício residual, causado durante o processo de corte das células fotovoltaicas, ser menor em comparação com o monocristalino. Entretanto, eles possuem desvantagens, tais como: a eficiência está entre 13% e 16,5%, devido a menor pureza do polisilício, e necessitarem de uma área maior de painéis policristalinos para gerar a mesma quantidade de  $\text{Watts/m}^2$  que o painel monocristalino (SOLAR VOLT,2016).

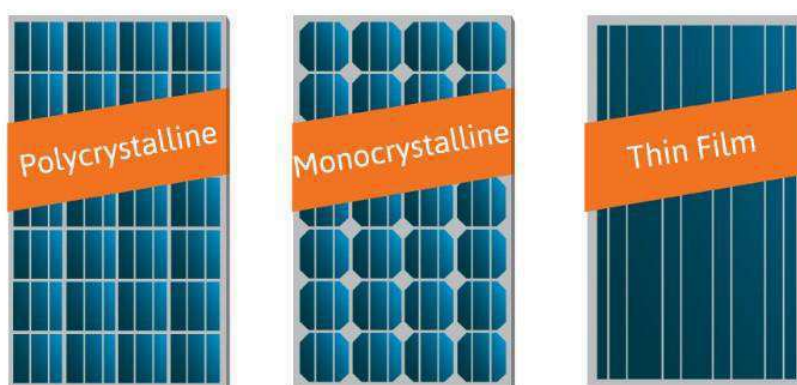
Além desses tipos de painéis mencionados anteriormente, existem os painéis solares de filme fino, ou também conhecidos como células fotovoltaicas de película fina (TFPV). Eles podem ser classificados em 4 tipos, de acordo com o material fotovoltaico que é depositado sobre o substrato: silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe), cobre, índio e gálio selento (CIS/CIGS) e células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV). Os painéis de filme fino apresentam eficiências médias entre 7-13%, podendo chegar até 16%, dependendo da tecnologia de célula fotovoltaica de filme fino utilizada. (SOLAR VOLT,2016).

As vantagens do painel solar de filme fino são: flexibilidade (o que abre um leque de aplicações muito grande), o seu desempenho é menos afetado por causa de altas temperaturas, e sombreamento de árvores ou outras obstruções, se comparado com outros tipos de painéis, além de ser potencialmente mais barato de fabricar do que células solares de base cristalinas. Dentre as principais desvantagens desse tipo de

painel podem-se destacar o fato de se degradarem mais rapidamente que os painéis mono e policristalinos, são menos eficientes por m<sup>2</sup>, e exigem uma grande quantidade de espaço na hora da instalação.

E, por último, o painel solar híbrido é conhecido pela “nova” tecnologia chamada heterojunção. A eficiência dos painéis que utilizam essa tecnologia está em torno de 20%. O processo de fabricação é similar ao dos painéis monocristalinos, porém, possuem uma passivação com camada de Silício Amorfo (a-Si), dentre outras diferenças. Além disso, possui como vantagens a produção de mais energia por metro quadrado, e funciona muito bem com altas temperaturas. Por isso, é uma tecnologia ideal para o Brasil, mas ainda não se encontra no mercado. Na Figura 15 encontram-se exemplos de painéis solares monocristalinos, policristalinos e amorfos.

Figura 14: Tipos de painéis solares.



Fonte: (ENERGIA, 2015).

### 3.5 CONTROLADOR DE CARGA

Além dos equipamentos mencionados anteriormente, que fazem parte de um sistema de energia solar, existe um dispositivo muito importante chamado controlador de carga. Ele é usado para manter uma tensão de carga adequada nas baterias, prevenindo o sobrecarga ou o descarregamento delas.

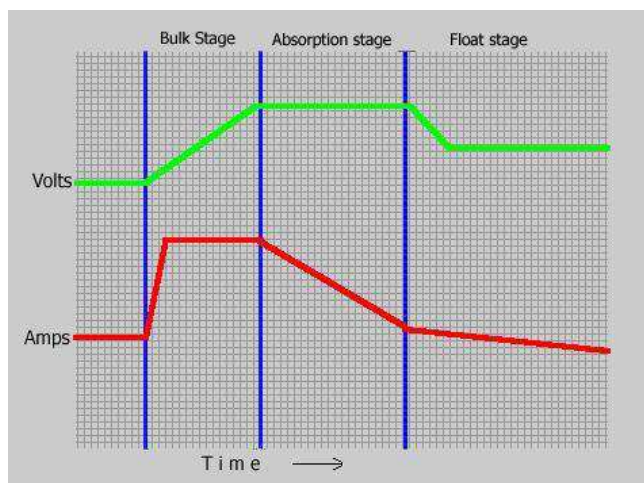
O controlador de carga possui 3 ciclos de carga: estágio em massa (*bulk*), estágio de absorção, estágio de flutuação (*float*). Esse último estágio reduz a formação de gases da bateria, minimiza a perda de eletrólitos e garante a recarga completa da bateria. A seguir são descritos esses três ciclos de carga com mais detalhes.

Durante o estágio em massa, o controlador de carga fornece o máximo de corrente às baterias, operando em modo de corrente constante. Quando a tensão da bateria alcançar a configuração de tensão de absorção, o controlador passará automaticamente para o estágio de absorção (SE,2015).

Nesse segundo estágio, o controlador operará em modo de tensão constante, e a corrente cairá gradativamente, conforme a carga for retornada para a bateria. No terceiro estágio, a tensão é reduzida a um nível de flutuação, e as baterias absorvem uma pequena corrente de manutenção até o próximo ciclo.

A Figura 16 a seguir apresenta um gráfico relativo aos três estágios.

Figura 15: Fases do ciclo de carga.



Fonte: (POWER, 2012).

### 3.6 INVERSOR

O último dos equipamentos de um sistema de energia solar, tratados nesse capítulo, é o inversor. Ele pode ser considerado o coração de um sistema de energia solar, porque ele é capaz de fornecer uma tensão alternada (220V/60Hz, por exemplo), ou uma corrente alternada, a partir de uma fonte de alimentação de tensão/corrente contínua. Isso tudo é feito com o intuito de alimentar os aparelhos elétricos no local onde o sistema de energia solar está sendo instalado.

Os principais tipos de inversores são os inversores de onda quadrada, os inversores de onda senoidal modificada e os inversores de onda senoidal pura. A seguir são descritos cada um deles (FSP,2016).

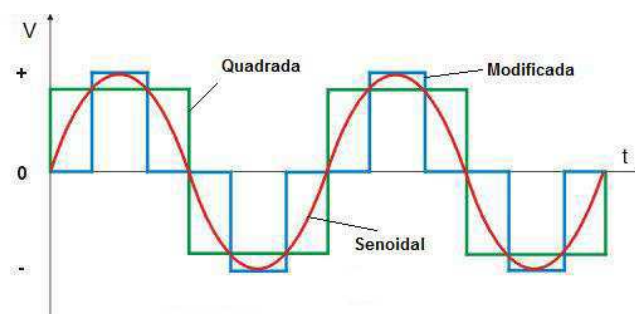
O inversor de onda quadrada é um dos inversores mais simples, e servem apenas para pequenas aplicações. Ele pode usar multivibradores ou chaves controladas externamente, dependendo da aplicação. O uso de chaves controladas permite que o inversor possa ser sincronizado com uma fonte de tensão externa, de corrente alternada. Além disso, o uso de multivibradores permite que o inversor possa ser utilizado em um sistema fotovoltaico auto-suficiente.

O inversor de onda senoidal modificada é um inversor que produz uma aproximação grosseira de uma onda senoidal. Ele pode ser utilizado na maioria das aplicações, com exceção de aparelhos mais exigentes. A saída do inversor de onda senoidal modificada é a soma de duas ondas quadradas, em que uma é defasada de 90 graus da outra. O resultado é uma forma de onda de três níveis, com intervalos iguais de zero volts; volts de pico positivo; zero volts; volts de pico negativo e depois zero volts. Essa sequência é repetida, e o resultado dela gera uma forma de onda grosseiramente parecida com uma onda senoidal.

E, por último, o inversor de onda senoidal pura produz uma forma de onda senoidal AC suave, que é muito importante, pois a maioria dos aparelhos elétricos trabalha bem com essa forma de onda, que é o padrão da energia da rede elétrica. Por esse motivo, os inversores de onda senoidal são mais complexos e possuem um custo maior do que os de onda senoidal modificada.

A seguir, na Figura 17 a seguir pode ser visualizada as três formas de onda geradas por esses três tipos de inversores.

Figura 16: Formas de ondas geradas pelos tipos de inversores.



Fonte: (PRODUTOS, 2016).

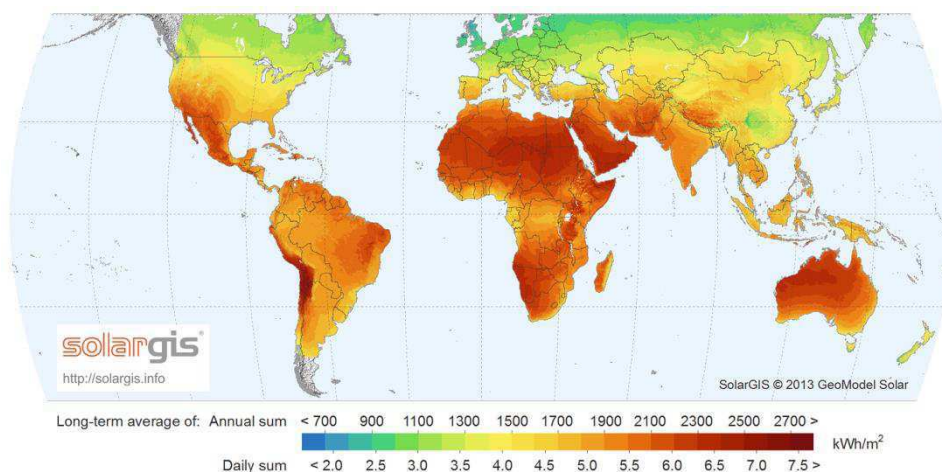
## 4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS

Nesse capítulo será feita uma análise comparativa da energia solar fotovoltaica nos Estados Unidos e no Brasil, de modo a comparar o potencial de radiação solar nesses dois países, e as políticas de incentivo à produção desse tipo de energia.

### 4.1 POTENCIAL DE RADIAÇÃO SOLAR

Como ponto de partida na comparação entre Estados Unidos e Brasil, é importante comparar o potencial solar que esses dois países possuem. Na Figura 18 a seguir pode-se visualizar o mapa global da irradiação solar horizontal.

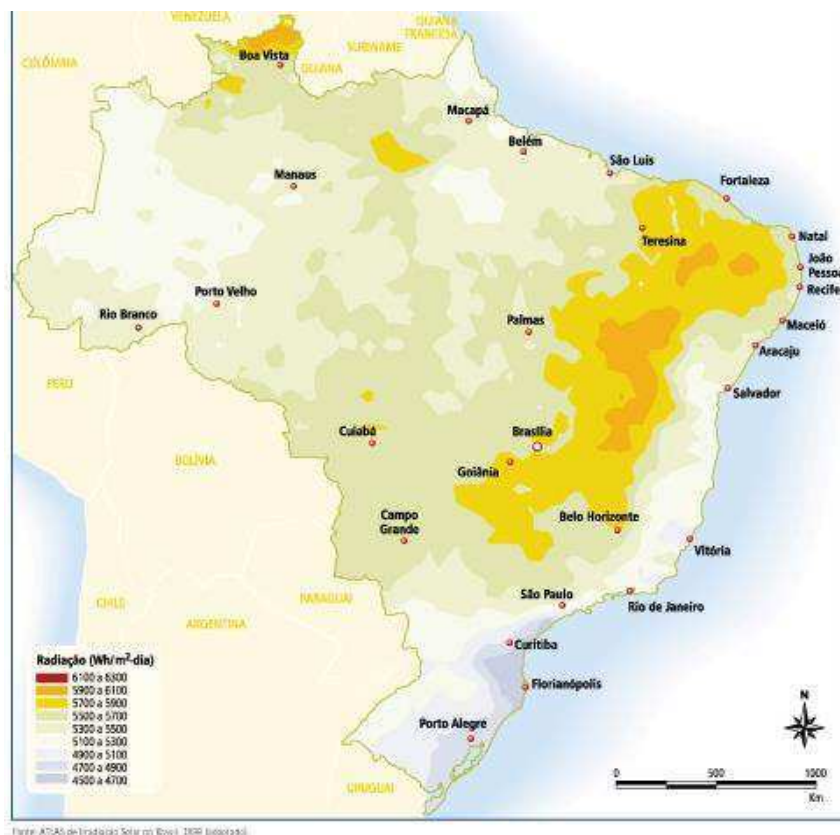
Figura 17: Mapa global da irradiação solar horizontal.



Fonte: (SOLARGIS, 2013).

A partir desse mapa, é possível notar que no Sudoeste dos Estados Unidos existe uma maior concentração de irradiação solar, se comparado a outras regiões do país. Enquanto que no Brasil esse tipo de região, com essa característica, se encontra no Nordeste. Na Figura 19 é apresentada a radiação solar global diária no Brasil.

Figura 18: Radiação solar global diária no Brasil.



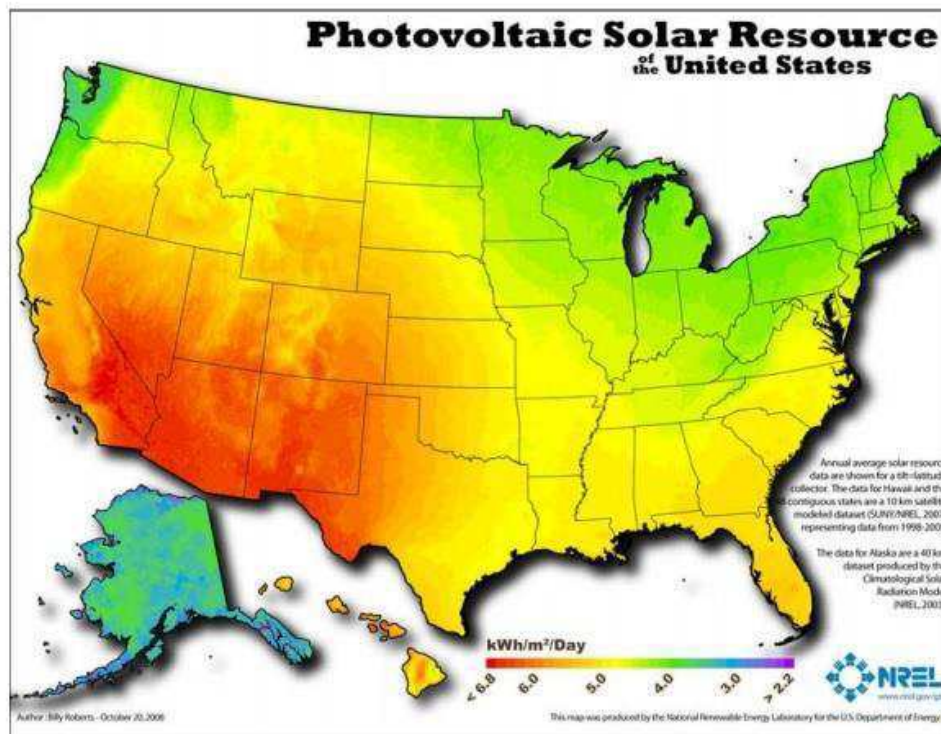
Fonte: (KITS, 2016).

No mapa, observa-se que a média anual de irradiação apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação global – 6,5 KWh/m<sup>2</sup> – ocorre no norte do estado da Bahia. A menor irradiação solar global – 4,25 KWh/m<sup>2</sup> – ocorre no litoral norte de Santa Catarina.

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (4200 – 6700 KWh/m<sup>2</sup>) são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha (900-1250 KWh/m<sup>2</sup>), França (900 – 1650 KWh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200 – 1850 KWh/m<sup>2</sup>), onde projetos de energia solar são amplamente disseminados (ESF,2016).

No contexto da energia solar nos Estados Unidos, o Sudoeste está numa categoria própria, principalmente como resultado do potencial de geração de energia solar na área. Na Figura 20 é possível visualizar a média anual de incidência solar nos Estados Unidos.

Figura 19: Média anual de incidência solar nos Estados Unidos.



Fonte: (IGNIZIO, 2010).

De acordo com os dados do NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), o Sudoeste dos Estados Unidos é incomparável na quantidade de luz solar que recebe anualmente, possuindo “bolsões” de alto potencial para energia solar de todo os Estados Unidos.

Isso ocorre em parte da Califórnia, Nevada, Arizona, Novo México, e oeste do Texas. As regiões do sul de Utah e Colorado também se encontram nessa zona de elevado potencial. Esses dados mostram a relevância dos estudos em energia solar no Sudoeste dos Estados Unidos, examinando o papel dela dentre esses estados, e seu contexto em relação ao resto da região.

Dessa forma, comparando os Estados Unidos com o Brasil, percebe-se que esses dois países possuem regiões onde há uma maior incidência de luz solar. No caso do Brasil é a região Nordeste, e no caso dos Estados Unidos é a região Sudoeste. O que diferencia um país do outro, com relação à geração de energia solar, são as políticas governamentais de incentivo a essa produção. No próximo tópico isso será abordado com mais detalhes.

## 4.2 POLÍTICAS DE INCENTIVO À PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR

### 4.2.1 ESTADOS UNIDOS

Nos últimos seis anos, vários documentos de política energética estratégica têm sido publicados como forma de orientar a economia dos Estados Unidos a um sistema energético sustentável, diminuindo sua dependência com relação aos combustíveis fósseis.

Dentre esses documentos, os que mais se destacam são o “*President’s Blueprint for a Secure Energy Future*”, e o “*All-of-the-Above Energy Strategy*”. Além desses documentos, o ARRA (*The American Recovery and Reinvestment Act*) de 2009 teve um impacto significativo, pois aumenta o investimento em infraestrutura de energia, projetos de energia limpa e eficiência energética.

Por meio do ARRA, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) investiu mais de 31 bilhões de dólares para dar suporte a vários projetos de energia limpa, e tecnologias. [USA 2014 Energy Policies].

Com relação aos outros documentos, o *The President’s Blueprint for a Secure Energy Future* visa duplicar a produção de eletricidade a partir de fontes de energia eólica, solar e geotérmica até 2020, reduzindo pela metade as importações líquidas de petróleo até o final da década, e dobrando a produtividade da energia até 2030.

Além disso, o documento “All-of-the-Above” tem como objetivos principais a utilização de tecnologias energéticas de baixo carbono, apoio ao crescimento econômico e a criação de emprego, e a segurança energética melhorada, tudo isso definido por políticas definidas e ações. [USA 2014 Energy Policies].

Para que essas políticas energéticas sejam alcançadas, várias departamentos e agências desempenham um importante papel ao lado do Departamento de Energia dos Estados Unidos, no desenvolvimento e implementação dessas políticas. Além dessas entidades, o setor privado, os estados e o meio acadêmico também trazem uma significativa contribuição para as políticas energéticas, relatadas nos documentos mencionados anteriormente.

Dessa forma, para alavancar o uso da energia renovável nos Estados Unidos são fornecidos incentivos federais por meio do código tributário americano. No caso da energia solar fotovoltaica, a mesma tem acesso a dois tipos de incentivos fiscais



atualmente: o crédito fiscal ao investimento (ITC) e um programa de depreciação acelerada (conhecido como sistema modificado de recuperação acelerada de custos ou MACRS) para empresas.

O crédito fiscal ao investimento (ITC) é uma redução no imposto de renda, de uma pessoa ou empresa, que deseja investir em um sistema de energia solar, no valor de 30% para sistemas solares em residências e propriedades comerciais. No caso da ITC residencial, a mesma é usada no momento em que os proprietários compram um sistema de energia solar para instalá-lo em definitivo em suas casas. No caso da ITC comercial, a empresa que instala, desenvolve ou financia o projeto é quem usa esse crédito. (SEIA, 2016)

O crédito fiscal ao investimento foi criado em 2005 pela Lei de Política Energética, no valor inicial de 30%, para sistemas de energia solar residencial e comercial, instalados e funcionando entre 1 de janeiro de 2006 e 31 de dezembro de 2007. Ao longo dos anos, esse crédito foi sendo renovado, de modo que atualmente o valor do ITC é de 30% para projetos finalizados até 2019. Em 2020, esse crédito decaiu para 26%, em 2021 para 22%, e após 2023 o crédito residencial irá cair para zero, enquanto que o comercial irá cair para um valor permanente de 10%. Dessa forma, todas essas medidas visam quadruplicar o desenvolvimento da energia solar no Estados Unidos até 2020, além de dobrar o número de empregos nessa área. (SEIA, 2016)

Além do ITC, existe também o MACRS (Sistema Modificado de Recuperação Acelerada de Custos), um programa de depreciação acelerada, que visa incentivar o uso da energia solar fotovoltaica nos Estados Unidos. A depreciação é um aspecto do código fiscal que facilita um maior investimento em energias renováveis, e, conseqüentemente, custos mais baixos para os consumidores.

O MACRS é um método de depreciação, no qual os investimentos do negócio são recuperados, para efeitos fiscais, ao longo de um período de tempo especificado, através de deduções anuais. Esse método gera perdas tributáveis nos primeiros cinco anos de um projeto, e elas podem ser aplicadas como dedução da renda tributável, como é o caso dos equipamentos de energia solar, que são elegíveis para um período de recuperação de custo de cinco anos. Dessa forma, o MACRS permite que as empresas, em uma variedade de setores econômicos, continuem a fazer investimentos de longo prazo, e tem sido um importante impulsionador do investimento privado para o setor de energia solar, e outras indústrias de energia. (SEIA,2016)

Sendo assim, a depreciação acelerada (MACRS), juntamente com outros incentivos fiscais de energia de sucesso, como o crédito fiscal ao investimento (ITC), vem contribuindo para o crescimento, sem precedentes, de instalações solares anuais. Esses dois incentivos juntos podem representar mais de 50% dos custos de capital de um projeto. A Tabela 2 a seguir mostra a composição de cada incentivo.

Tabela 2: Detalhes dos benefícios fiscais federais.

	ITC	Depreciação acelerada
Valor	Um crédito de 10% ou 30% nos custos do projeto, dependendo da tecnologia	Depreciação de custos elegíveis (nem todos os custos do projeto sofrem depreciação acelerada)
Tecnologia	Solar, Células combustíveis, Geotérmico, Eólica	Pode ser aplicada a uma variedade de setores, incluindo energias renováveis
Base de custo	São elegíveis custos do projeto. O crédito é tomado no momento que o projeto é colocado em serviço. Pode ser combinado com a depreciação acelerada	Caso seja aplicada junto com o ITC, a base de custo é reduzida pela metade do valor do crédito, ou seja, 15%
Expiração	Para receber 30%, o projeto deve ser colocado em serviço até 2019	Não expira

Fonte: (FUTURE, 2016).

Nos Estados Unidos, o modelo adotado para o incentivo ao uso da energia solar fotovoltaica é o *net metering*. Esse modelo foi iniciativa própria dos estados americanos, com objetivo de aumentar os investimentos privados em energias renováveis.

No *net metering* o consumidor é remunerado pelo excedente de energia injetado na rede elétrica da concessionária, e isso é verificado por meio de um medidor bidirecional, cuja função é medir a energia consumida e injetada na rede.

Esse modelo é estabelecido por meio de contrato, anual ou mensal, de modo que o consumidor que utiliza mais energia do que consome, se compromete a pagar a diferença a concessionária, com tarifação normal. Caso ele produza mais do que consome, a concessionária paga ao usuário a energia excedente injetada na rede, com

tarifa de custo evitado (valor que a concessionária de energia paga pela energia que ela compra para revender aos consumidores). (Energia TechSolar, 2016)

Sendo assim, nessa relação entre consumidor e concessionária, o usuário sai em desvantagem por receber um valor menor que o valor que ele paga pela energia que consome. A vantagem é que o mesmo não precisa se preocupar em usar a energia excedente no momento em que ela é gerada.

Além disso, cabe a cada estado americano definir as características gerais desse modelo, tais como tecnologia de geração elegível, tipo de consumidor elegível, limite individual de capacidade de geração instalada, e o tratamento do excesso líquido de geração.

#### 4.2.2 BRASIL

Com relação ao Brasil, os incentivos governamentais são bem mais atraentes que o dos Estados Unidos. O motivo pelo qual a energia solar não avança no Brasil é o fato de que são poucos os investidores que buscam desenvolver a indústria nacional de equipamentos e serviços. A razão disso é a taxa básica de juros (Selic) do país, que está em torno de 14% ao ano. Com esse valor, investir no mercado financeiro torna-se bem mais atraente do que investir em tecnologias de energia solar.

Em contrapartida, nos Estados Unidos, a taxa básica de juros está entre 0,25% e 0,50% ao ano. Dessa forma, o investimento no mercado financeiro é bem menor, sendo uma boa opção investir no desenvolvimento de tecnologias para o crescimento do país. Isso pode ser comprovado através do tópico que diz respeito à evolução da energia solar, nos Estados Unidos, bem como no Brasil.

Sendo assim, a seguir são apresentados os principais benefícios fornecidos pelo governo brasileiro, para estimular a geração de energia elétrica através do sol, como forma de comprovar o que foi dito no início desse tópico: (Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa, 2016)

- Programa Luz para Todos: é um programa que instala painéis solares em comunidades que não tem acesso à energia elétrica.
  - Por meio da Resolução Normativa número 488, de 15 de maio de 2012, da ANEEL, é possível verificar as condições para revisão dos planos de universalização dos serviços de distribuição de energia elétrica na área rural.

- A Resolução Normativa número 493, de 5 de junho de 2012, da ANEEL, estabelece procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica, ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente.
- Sistema de Compensação de Energia Elétrica para a Microgeração e Minigeração Distribuídas
  - Instituído pela Resolução Normativa número 482, de 17 de abril de 2012, da ANEEL;
  - Permite que o consumidor instale pequenos geradores (tais como painéis solares fotovoltaicos e microturbinas eólicas) em sua unidade consumidora, e troque energia com a distribuidora local, como forma de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica.
  - De acordo com as novas regras, a partir de primeiro de março de 2016, foi instituído que microgeração distribuída é a central geradora com potência instalada de até 75KW e minigeração distribuída é aquela com potência acima de 75KW e menor ou igual a 5MW.
  - Com as novas regras, caso o consumidor produza mais energia do que utiliza, o mesmo ganha créditos com a concessionária de energia, tendo como prazo de validade de 60 meses.
- Condições diferenciadas de financiamento
  - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES): a geração a partir de biomassa, energia eólica, hidrelétricas, energia solar e outras fontes alternativas podem obter financiamento com taxa de juros abaixo das praticadas pelo mercado, e prazo de amortização de até 20 anos.
  - Para o Leilão de Energia de Reserva de 2014 (LER 2014), foram oferecidas condições especiais para a fonte solar, inclusive para incentivar a produção de equipamentos no Brasil.
- Descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD):
  - Desconto de 80% 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 ou distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW e que entrem em operação até 31 de dezembro de 2017;
- O desconto passa a ser de 50% a partir do 11º ano de operação da usina solar e para empreendimentos que comecem a operar a partir de 1º de janeiro de 2018.
  - Venda Direta a Consumidores:
    - Permissão para que geradores de energia de fonte solar, e de outras fontes alternativas, com potência injetada inferior a 50.000 kW comercializem energia elétrica, sem intermediação das distribuidoras, com consumidores especiais, com carga entre 500 kW e 3.000 kW;
    - Na aquisição da energia, os consumidores especiais são beneficiados com desconto na TUSD, o que estimula a substituição, como fornecedor da energia, da distribuidora pelo gerador da fonte alternativa.
  - Convênio nº 101, de 1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ):
    - Isenta do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) as operações envolvendo vários equipamentos destinados à geração de energia elétrica por células fotovoltaicas e por empreendimentos eólicos;
    - Não abrange todos os equipamentos utilizados pela geração solar, como inversores e medidores.
  - Fundo Clima:
    - Vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), disponibiliza recursos, inclusive não reembolsáveis, para financiar projetos, estudos e empreendimentos que visem à redução dos impactos da mudança do clima e à adaptação a seus efeitos, o que inclui projetos de energia solar.
  - Apoio de financiamento pela Caixa Econômica Federal:

- Em 2014, foram incluídos aerogeradores e equipamentos de energia fotovoltaica como itens financiáveis através do Construcard;
- A pessoa física pode adquirir os equipamentos de microgeração e quitar o financiamento em até 240 meses, a uma taxa de juros mensal que varia de 1,4% + Taxa Referencial (TR) a 2,33% + TR.

No caso do Sistema de Compensação de Energia Elétrica para Microgeração e Minigeração Distribuídas, observa-se que esse modelo é similar ao *net metering* dos Estados Unidos. A diferença é que no Brasil a energia excedente gerada pelo consumidor, e injetada na rede elétrica, não é paga pela concessionária. Essa energia é revertida em crédito na conta do consumidor, e tem prazo de validade de 60 dias.

Além desses benefícios, no mês de outubro de 2016, o BNDES elevou o crédito da energia solar e reduziu o apoio a hidrelétricas e usinas termelétricas. O teto para o financiamento pelo BNDES foi elevado de 70% para 80%, com um prazo de 20 anos para financiar a uma taxa de juros de 7,5% ao ano. (Agência Brasil, 2016).

Após todos esses dados apresentados, é notório que os Estados Unidos fornecem incentivos muito menos atraentes que o Brasil. Entretanto, esse país possui uma alta taxa básica de juros, o que não se torna tão viável a aplicação de investimento em energia solar.

## 5 CONCLUSÃO

A comparação da energia solar fotovoltaica no Brasil e nos Estados Unidos foi de suma importância, pois ajudou na compreensão do cenário atual de desenvolvimento dessa fonte de energia renovável.

É notório que os dois países possuem um potencial de radiação solar elevado, com destaque para o Sudoeste dos Estados Unidos e o Nordeste do Brasil. Entretanto, quanto ao desenvolvimento de tecnologia solar própria, o Brasil não possui tecnologia, enquanto os Estados Unidos a possui e de forma bastante avançada. Isso se deve ao fato de que esse país foi um dos precursores na era moderna da energia solar.

No que diz respeito aos incentivos financeiros à energia solar, o Brasil oferece oportunidades de investimento nessa área. Todavia, isso não é usufruído por boa parte dos investidores de maneira efetiva, devido à taxa básica de juros (Selic).

No presente trabalho levou-se em consideração os benefícios fiscais federais dos Estados Unidos. Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se considerar um estudo com mais detalhes nos incentivos financeiros estaduais à respeito da energia solar nos Estados Unidos, destacando vantagens e desvantagens de cada estado.

Além dessa sugestão de trabalho futuro, pode-se considerar também um estudo da viabilidade de incentivar o público não-especulador financeiro, que inclui o pequeno empreendedor, microgerador residencial. Tendo em vista o excesso de energia produzido por eles, deve-se considerar a possibilidade de venda para o mercado de energia, a fim de receber dinheiro e não créditos nas contas de energia, que muitas vezes não são utilizados.

## Referências

CONSEIL MONDIAL DE L'ÉNERGIE. **World Energy Resources**.Disponível em:<  
[https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete\\_WER\\_2013\\_Survey.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf)>. Acesso em: 02 set.2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook**. Disponível em:<  
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013.pdf>>Acesso em:10 set.2016.

CARVALHO,Ana Raquel Franco. **Evolução do uso de energia solar: estudo comparativo entre Israel e Brasil**.Universidade Federal de Lavras.Minas Gerais,2010.

ANEEL,**Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em:<  
[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=8955&id\\_area=90](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8955&id_area=90)>Acesso em: 10 set.2016.

INSTITUTO SUPERIOR TECNICO,**Universidade Tecnica de Lisboa**.Disponível em:<  
<http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>Acesso em: 14 set.2016.

ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY,**The History of solar**.Disponível em:<  
[https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf)>Acesso em: 28 set.2016.

CALIFORNIA SOLAR CENTER.Disponível em:<  
<http://californiasolarcenter.org/history-pv/>>Acesso em:20 set.2016.

BRITO,Miguel C;SERRA,João M. Células solares para a produção de energia eléctrica.Departamento de Física da FCUL.**Quantum**,2005.

VALLÊRA,Antônio M.Meio Século de História Fotovoltaica.**Gazeta de Física**.2006.

FREE SUN POWER.Disponível em:<  
<http://www.freesunpower.com/batteries.php>>Acesso em: 25 set.2016.

SOLAR VOLT.Disponível em<  
<http://www.solarvoltenergia.com.br/conheca-os-tipos-de-painel-fotovoltaico-e-suas-vantagens/>>Acesso em: 25 set.2016.



PORTAL SOLAR.Disponível em:< <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>Acesso em:28 set.2016.

SCHNEIDER ELETRIC.Controlador de Carregamento Solar.Disponível em:< [http://solar.schneider-electric.com/wp-content/uploads/2015/09/conext-mppt-60-150-install-owners-guide-975-0400-08-01-rev-g\\_por.pdf](http://solar.schneider-electric.com/wp-content/uploads/2015/09/conext-mppt-60-150-install-owners-guide-975-0400-08-01-rev-g_por.pdf)>Acesso em:01 out.2016.

Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.Disponível em:< [http://www.entrepreneurstoolkit.org/index.php?title=Energia solar fotovoltaica no Brasil](http://www.entrepreneurstoolkit.org/index.php?title=Energia+solar+fotovoltaica+no+Brasil)>Acesso em 08 out.2016.

IGNIZIO,Drew. Suitability modeling and the location of utility-scale solar power plants in the southwestern United States. **Geography ETDs**.2010.

Solar Energy Industries Association. **The Solar Energy Tax Credit(ITC)**. Disponível em:< <http://www.seia.org/sites/default/files/ITC%20101%20Fact%20Sheet%20-%202004-19-2016.pdf>>Acesso em:24 out.2016.

Solar Energy Industries Association. **Depreciation of Solar Energy Property in MACRS**. Disponível em:< <http://www.seia.org/policy/finance-tax/depreciation-solar-energy-property-macrs>>Acesso em:25 out.2016.

Energia Tech Solar. Disponível em:< <http://energiatecsolar.com.br/energia-solar-e-os-programas-de-incentivo/>>Acesso em:25 out.2016.

Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Disponível em:< <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166>>Acesso em:25 out.2016.

MESSENGER,Roger. **Photovoltaics Systems Engineering**.Segunda edição. CRC Press LLC,2004, p.435

Agência Brasil.Disponível em:< <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-10/bndes-prioriza-energia-solar-e-deixa-de-financiar-termicas-carvao-e-oleo>>Acesso em 28 out.2016.

Energia Solar e o efeito fotoelétrico. Disponível em <<http://ofrioquevendosol.blogspot.com.br/2013/02/tecnologia-fotovoltaica-nocoes-e-limites.html>>, acessado em: 10 set. 2016.

VALLÊRA, Ant3nio M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio s3culo de hist3ria fotovoltaica. **Gazeta de F3sica**, Lisboa, v. 29, n. 12, p.10-16, acessado em: 15 jan. 2006.

CARR, Geoffrey. **Sunny uplands**. 2012. Disponível em: <<http://www.economist.com/news/21566414-alternative-energy-will-no-longer-be-alternative-sunny-uplands>>. Acesso em: 20 out. 2016.

BRITO, S3rgio de Salvo. **Energia solar**. 1996. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_solar/3\\_3\\_2.htm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_3_2.htm)>. Acesso em: 22 out. 2016

HONSBURG, Christiana; BOWDEN, Stuart. **Solar cell structure**. 2010. Disponível em: <<http://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-structure>>. Acesso em: 25 out. 2016.

ENERGIZER. **RV batteries sealed lead-acid batteries**. 2000. Disponível em: <<http://www.energizer.com/more-energizer-power-products>>. Acesso em: 20 out. 2016.

PERKINS. **Watering System For Flooded Batteries**. 2013. Disponível em: <<http://www.dieselprogress.com/March-2013/Watering-System-For-Flooded-Batteries/#.WBjHpUrLIV>>. Acesso em: 24 out. 2016.

SOLAR, Istanbul Energy. **Solar energy**. 2016. Disponível em: <<http://www1.istanbulenergysolar.net/?kw=solar+energy>>. Acesso em: 23 out. 2016.

STORE, Alte. **TROJAN 31-AGM 12V, 100AH (20HR) AGM SEALED BATTERY**. Disponível em: <<https://www.altestore.com/store/deep-cycle-batteries/sealed-agm-batteries/trojan-31-agm-12v-100ah-20hr-agm-sealed-battery-p9844/>>. Acesso em: 24 out. 2016.

ENERGIA, Portal. **Como funcionam as células solares.** 2015. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/como-funcionam-as-celulas-solares-componentes-e-operacoes-das-celulas-solares/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

POWER, Free Sun. **Basic tutorials: charge controllers.** 2012. Disponível em: <<http://www.freesunpower.com/chargecontrollers.php>>. Acesso em: 19 out. 2016.

PRODUTOS, Sol Central. **Inversores interativos.** Disponível em: <<http://www.solcentral.com.br/produtos/>>. Acesso em: 26 out. 2016.

SOLARGIS. **Energia solar.** 2013. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_solar](https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar)>. Acesso em: 15 out. 2016.

KITS, Entrepreneur Tool. **Energia solar fotovoltaica no Brasil.** Disponível em: <[http://www.entrepreneurstoolkit.org/index.php?title=Energia\\_solar\\_fotovoltaica\\_no\\_Brasil](http://www.entrepreneurstoolkit.org/index.php?title=Energia_solar_fotovoltaica_no_Brasil)>. Acesso em: 16 out. 2016.

IGNIZIO, Drew A.. **Suitability modeling and the location of utility-scale solar power plants in the southwestern United States.** 2010. Disponível em: <[http://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1005&context=geog\\_etds](http://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1005&context=geog_etds)>. Acesso em: 17 out. 2016.

FUTURE, Climate Partners For A Clean And Prosperous. **Estratégias Históricas e Atuais dos EUA para Impulsionar a Geração Distribuída: Políticas federais, estaduais e regulatórias para apoiar a DGPV.** 2016. Disponível em: <<https://climate.america.gov/pt-br/estrategias-historicas-e-atuais-dos-eua-para-impulsionar-a-geracao-distribuida/>>. Acesso em: 25 out. 2016.