

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANTONIO VICTOR CARVALHO MACHADO**

**ESTUDO COMPARATIVO NA APLICAÇÃO DAS TRÊS  
GERAÇÕES DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS EM UMA  
RESIDÊNCIA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO SANTA INÊS - MA**

São Luís

2018

**ANTONIO VICTOR CARVALHO MACHADO**

**ESTUDO COMPARATIVO NA APLICAÇÃO DAS TRÊS GERAÇÕES DE  
CÉLULAS FOTOVOLTAICAS EM UMA RESIDENCIA LOCALIZADA NO  
MUNICIPIO SANTA INÊS – MA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Airton Egydio Petinelli  
Coorientador: Prof. Me. Cláudio Roberto Medeiros de Azevedo Braga Martins

São Luís

2018

Machado, Antonio Victor Carvalho.

Estudo comparativo na aplicação de três gerações de células fotovoltaicas em uma residência localizada no município de Santa Inês – MA / Antonio Victor Carvalho Machado. – São Luís, 2018.

77f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Me. Airton Egidio Petinelli.

1. Energia solar. 2. Células fotovoltaicas. 3. Geração de energia.  
I. Título.

CDU 620.92 (812.1)

ANTONIO VICTOR CARVALHO MACHADO

**ESTUDO COMPARATIVO NA APLICAÇÃO DAS TRÊS  
GERAÇÕES DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS EM UMA  
RESIDÊNCIA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO SANTA INÊS – MA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Airton Egydio Petinelli  
Coorientador: Prof. Me. Cláudio Roberto Medeiros de Azevedo Braga Martins

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA



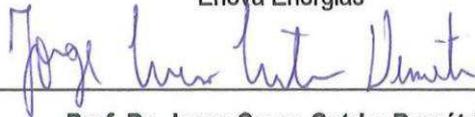
---

**Prof. Me. Airton Egydio Petinelli (Orientador)**  
Universidade Estadual do Maranhão



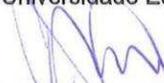
---

**Prof. Me. Cláudio Roberto Medeiros de Azevedo Braga Martins**  
Enova Energias



---

**Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio**  
Universidade Estadual do Maranhão



---

**Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho**  
Universidade Estadual do Maranhão

À minha família e amigos por todo o apoio e incentivo durante os momentos de incerteza e dificuldade.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por ter me possibilitado o dom da vida e concedido saúde e força durante esta caminhada. Aos meus pais, Antonio e Lucia, por toda sabedoria repassada, amor incondicional, apoio e dedicação diário que me incentivaram a prosseguir com minha formação acadêmica.

Ao meu irmão Vinicius, por sua cooperação e pelos momentos de companhia. À minha namorada Marianna, por toda paciência e zelo, nunca deixando com que eu fraquejasse ou desistisse. A minha tia Vera e ao meu primo Artur, que estiveram diariamente ao meu lado.

Aos meus amigos de infância Gabriel, Marcus, Alex, Luan e Paulo pelos momentos de descontração. À Mel Ramos pelo auxílio e correções que foram imprescindíveis para o desenvolvimento desse trabalho. Ao meu orientador Prof. Me Airton Egydio Petinelli, pelos debates, orientações e observações que foram imprescindíveis na elaboração desse trabalho. Ao meu coorientador Prof. Me Cláudio Martins pelas informações repassadas.

Ao diretor do curso de Engenharia Civil da UEMA, prof. João Aureliano de Lima Filho e demais docentes que acompanharam minha jornada acadêmica sendo essenciais para o desenvolvimento do curso e responsáveis pela minha formação e evolução como profissional.

Aos meus colegas de graduação, no qual tive o prazer de compartilhar inúmeros momentos, desde aulas e provas, até noites mal dormidas por conta de projetos, pois possibilitaram que essa caminhada fosse um pouco mais tranquila. Em especial, aos meus amigos Nicolas Mota, Elisandra Lobato, Adila Kalyne e Leticia Torquato que compartilharam diretamente de todos esses momentos comigo.

Ao meu colega de profissão Antonio José Lago, pela oportunidade de ter me recebido como seu estagiário e pelos diversos ensinamentos repassados.

Por fim, agradeço todos àqueles que de alguma forma estiveram comigo nessa jornada, vocês com certeza são parte dessa vitória.

*“Só é útil o conhecimento que nos torna  
melhores”*

Sócrates

## RESUMO

A temática deste trabalho é voltada para uma análise da maneira mais eficiente de se gerar energia sustentável, baseado no princípio da utilização da energia solar. O seu objetivo é comparar dentre as três principais gerações de células fotovoltaicas e identificar qual seria a mais eficiente para a implantação em uma casa localizada em Santa Inês - MA. Como metodologia para condicionar a abordagem desse tema, foi utilizado um levantamento bibliográfico e documental relacionado a este tema, além de simular a aplicação de cada geração em uma residência de padrão médio. Cabe ressaltar que no decorrer do trabalho, foram abortadas informações gerais sobre a energia solar e sobre cada uma das gerações de placas solares para facilitar a compreensão do tema, somente após isso é que foi possível iniciar a compilação de informações úteis para a comparação entre essas células. Possibilitando assim, a determinação de qual geração é a mais indicada para a situação em que foi analisada.

**Palavras-chave:** Energia sustentável. Energia solar. Células fotovoltaicas.

## **ABSTRACT**

The theme of this work is focused on an analysis of the most efficient way to generate sustainable energy, based on the principle of the use of solar energy. Its objective is to compare among the three main generations of photovoltaic cells and to identify which would be the most efficient for the implantation in a house located in Santa Inês - MA. As a methodology to condition the approach of this theme, a bibliographic and documentary survey related to this theme was used, besides simulating the application of each generation in a residence of average standard. It should be noted that in the course of the work, general information on solar energy and on each of the generations of solar panels was aborted to facilitate the understanding of the subject, only after that it was possible to begin the compilation of useful information for the comparison between these cells. Thus, the determination of which generation is the most appropriate for the situation in which it was analyzed.

**Keywords:** Sustainable energy. Solar energy. Photo-voltaic cells.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Usina Solar Star – Rosamond CA .....	17
Figura 2 – Penetração da energia fotovoltaica na matriz energética .....	20
Figura 3 – Usina Solar Tauá -CE .....	21
Figura 4 – Usina Solar de Ribeira -PI .....	22
Figura 5 – Fluxo de potência global ( $W/m^2$ ).....	25
Figura 6 – Componentes da radiação solar.....	26
Figura 7 – Piranômetro Termoelétrico .....	26
Figura 8 – Piranômetro Fotovoltaico .....	27
Figura 9 – Sistema off grid .....	29
Figura 10 – Sistema On grid .....	30
Figura 11 – Módulo Fotovoltaico .....	31
Figura 12– Caixa de conexões.....	32
Figura 13 – Terminais .....	32
Figura 14 – Tensão x Corrente em sistemas em série .....	33
Figura 15 – Tensão x Corrente Sistema em Paralelo .....	33
Figura 16 - Inversor.....	35
Figura 17 – Sistema de armazenamento, banco de baterias.....	36
Figura 18 – Bateria estacionaria de chumbo ácido inundado .....	36
Figura 19 – Bateria de chumbo ácido selado .....	37
Figura 20 – Bateria Estacionaria Níquel-Cádmio.....	38
Figura 21 – Controlador de carga.....	39
Figura 22 – Célula Fotovoltaica de Silício Cristalino.....	40
Figura 23 – Módulo Fotovoltaicas de Filme Fino .....	41
Figura 24 – Filme Orgânico Fotovoltaica.....	41
Figura 25 – Esquema do encapsulamento de um módulo fotovoltaico .....	42
Figura 26 – Célula de monocristalino .....	43
Figura 27 – Célula de policristalino .....	44
Figura 28 – Blocos de silício .....	44
Figura 29 – Célula de Telurieto de Cádmio .....	46
Figura 30 – Célula de Diselenieto de Cobre e Índio .....	47
Figura 31 – Célula de Silício Amorfo .....	50
Figura 32 – Filme Orgânico.....	51

Figura 33 – Estrutura do Filme Orgânico.....	52
Figura 34 – Fluxograma de dimensionamento .....	55
Figura 35 - Localização do lote .....	60
Figura 36 - Planta do telhado .....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Os dez países com maior capacidade instalada de geração de FV.....	18
Quadro 2– Dez países que mais ampliaram sua capacidade de geração em 2015 .	20
Quadro 3 – Unidades para radiação solar e os seus devidos fatores de conversão.	24
Quadro 4 - Irradiação solar diária média no município de Santa Inês - MA.....	61
Quadro 5 – Propriedades dos módulos fotovoltaicos .....	62
Quadro 6 - Resumo dos resultados.....	70

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	15
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	15
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
<b>3.1</b>	<b>Energia fotovoltaica</b> .....	16
3.1.1	A energia fotovoltaica no Brasil .....	20
3.1.2	Conceitos Básicos e Características Gerais .....	23
3.1.3	Composição e características dos sistemas fotovoltaicos.....	29
3.1.4	Células fotovoltaicas.....	40
<b>3.2</b>	<b>Células de Silício Cristalino</b> .....	41
<b>3.3</b>	<b>Filmes Finos</b> .....	45
<b>3.4</b>	<b>Células Orgânicas</b> .....	50
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	54
<b>4.1</b>	<b>Levantamento de dados</b> .....	54
<b>4.2</b>	<b>Pesquisa de campo</b> .....	54
4.2.1	Média de consumo .....	55
4.2.2	Consumo diário .....	56
4.2.3	Horas de Sol pico .....	56
4.2.4	Potência do sistema .....	57
4.2.5	Dimensionamento do inversor .....	57
4.2.6	Determinação da quantidade de placas.....	58
<b>4.3</b>	<b>Método de Análise Comparativa</b> .....	59
<b>5</b>	<b>ANÁLISE COMPARATIVA</b> .....	60
<b>5.1</b>	<b>Primeira Geração</b> .....	63
<b>5.2</b>	<b>Segunda Geração</b> .....	65
<b>5.3</b>	<b>Terceira Geração</b> .....	66
<b>5.4</b>	<b>Resultado</b> .....	68
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	71
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	73
	<b>ANEXOS</b> .....	75

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de se encontrar maneiras alternativas de gerar energia sem impactar diretamente no meio ambiente possibilitou o desenvolvimento de tecnologias que buscassem aproveitar os recursos naturais de forma mais limpa e renovável. Nesse sentido, diferentemente das termoelétricas e hidroelétricas, surge à opção de se aproveitar a geração de energia solar fotovoltaica.

A constante queda das chuvas, e por consequência queda da produção das hidroelétricas, causou um desequilíbrio na geração de energia elétrica do Brasil, foi reequilibrada atualmente, por meio de termoelétricas, essas além de gerar resíduos prejudiciais ao meio ambiente, também oneram os custos de geração, resultando na elevação da conta de energia do consumidor final. Diante disso, investir em tecnologias que venham a suprimir esses gastos, além de reduzir os impactos gerados são ações pertinentes.

Quando se compara a geração de termoelétricas com a fotovoltaica percebe-se que essa possui um sistema mais seguro, pois tem menor incidência de blecautes, baixo custo de operação e manutenção e é mais eficiente em condições diversas como altitudes elevadas.

O grande potencial solar energético que o Brasil possui favorece a geração de energia solar fotovoltaica. Essa tecnologia consiste em um sistema que absorve a radiação solar, por meio de células fotovoltaicas, transformando a mesma em energia elétrica, isso é resultado do efeito fotovoltaico. Segundo Severino e Oliveira (2010, p.287) este efeito “[...] consiste no surgimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz incidente”.

É válido ressaltar que esse sistema não é constituído apenas por células fotovoltaicas, mesmo que seja um dos equipamentos mais importantes, mas por uma gama de equipamentos, tais como: módulos, inversores, controladores de cargas, cabeamentos e um painel de controle que tem como função transformar e regularizar a energia que foi obtida. Sendo necessário que cada parte desse sistema esteja funcionando corretamente para que a geração seja equilibrada.

O avanço e popularização dessa tecnologia no mercado repercutiram no incentivo ao desenvolvimento da mesma, buscando sanar os problemas e baratear o

custo de produção das células solares. Dessa forma, foi necessário explorar novos materiais que pudessem aumentar a efetividade do mesmo, o que resultou no surgimento de três gerações de células fotovoltaicas, em que cada geração possui uma característica específica.

Considerando o exposto, a problemática abordada nesse trabalho baseou-se em comparar as três gerações de células fotovoltaicas de forma a perceber em quais situações é mais indicado empregar cada uma delas. Com isso, é possível identificar cientificamente em quais condições devem ser melhoradas para superar as atuais dificuldades, além disso, é importante ressaltar que socialmente esse tipo de tecnologia beneficia o meio ambiente, proporcionando maior qualidade de vida para população.

A primeira geração é composta por silício cristalino, representa aproximadamente 85% do mercado, por ser uma tecnologia eficiente, consolidada e que gera mais confiança (CEPEL; CRESESB, 2014).

A segunda geração é constituída de filmes finos que podem utilizar diversos materiais semicondutores, além disso, consomem menos matéria prima que a primeira geração, contudo, sua eficiência é bem menor.

A terceira geração é constituída por células orgânicas ou poliméricas, também são conhecidas pela sigla OPV. É baseada na utilização de um semicondutor orgânico, responsável pela absorção de luz, que transporta cargas para a geração de energia. Por serem realizadas com materiais orgânicos, são consideradas mais limpas ecologicamente que as gerações anteriores, além disso, possuem bom potencial de geração e baixo custo.

Como base teórica para este trabalho foram utilizados os estudos de Pinho e Galdino (2014), Portal-Energia (2014) e Balfour, Shaw e Nash (2016), estes foram fundamentais para a realização da análise comparativa dentre as três gerações analisadas.

Este estudo visou identificar as características individuais de cada geração de célula fotovoltaica, na tentativa de compará-las. Dentre os aspectos que foram comparados estão: análise estética e adaptação ao ambiente, análise ambiental, eficiência e tendência evolutiva, aplicabilidade em condições extremas e análise econômica e acessibilidade.

## **1.1 Justificativa**

Tendo em vista a necessidade de investimento na geração de energia alternativa como formas de diversificar a matriz energética do nosso país, ocasionou em investimentos em novas tecnologias como a energia solar fotovoltaica.

Aprimorar os conhecimentos sobre as tecnologias já existentes, entendendo sua forma de funcionar e para que situações sejam mais indicadas é fundamental para aumentar o rendimento na geração de energia e por consequência diminuir os custos na produção.

O desenvolvimento dessas novas tecnologias é que surge a necessidade de comparar efetivamente essas três gerações e por meio disso identificar em quais situações elas serão mais indicadas para suprir sua necessidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar os tipos disponíveis atualmente de células fotovoltaicas utilizadas para geração de energia.

### **2.2 Objetivos específicos**

- I. Avaliar o rendimento dos tipos disponíveis de células fotovoltaicas utilizadas para geração de energia;
- II. Indicar em quais quesitos cada tipo de célula fotovoltaica se sobressai em relação às outras;
- III. Determinar qual a geração de célula fotovoltaica é a mais indicada para as condições apresentadas na cidade de Santa Inês.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Energia fotovoltaica

As primeiras utilizações da energia solar surgiram durante o século VII a.C. com a finalidade de acender fogueiras. Para tanto eram utilizados materiais vitrificados para focalizar a luz em determinado ponto, atingindo tal finalidade. No século III a.C., gregos e romanos utilizavam um jogo de espelhos que direcionavam os raios solares para acender as tochas em seus rituais religiosos (FONTES, 2017).

Baseado no princípio citado anteriormente, no século XVII e XVIII d.C., cientistas conseguiram utilizar a luz do sol para alimentar fornos portáteis durante longas viagens. Somente no século XIX d.C. é que o princípio de aproveitamento da energia solar para fins de geração da energia elétrica começava a surgir. Esse fato se consumou a partir do experimento com elétrodos realizado pelo físico francês Alexander Edmond Becquerel proporcionando o conhecimento sobre o efeito fotovoltaico (FONTES, 2017).

Em 1873 o engenheiro elétrico inglês Willoughby Smith descobriu a propriedade fotocondutiva do selênio e com o auxílio de Grylls Adams e Richard Evans foi descoberto que seria possível utilizar a luz do Sol para geração da energia elétrica. Charles Fritts, em 1883, foi o primeiro a conseguir criar uma célula solar feita de selênio, esta possuía eficiência de cerca de 1% (FONTES, 2017).

Neste sentido, as placas solares surgiram de modo iterativo, com a contribuição do trabalho de vários cientistas durante o século XIX d.C. No século XX d.C., grandes estudiosos contribuíram para o desenvolvimento da área, Albert Einstein em 1923 ganhou o seu primeiro prêmio Nobel por conta de estudos relacionados ao efeito fotovoltaico (MEYER; NETO, 2018). Em 1941, Ohl criou a primeira fotocélula de silício monocristalino (QUANTUM, 2016).

Na mesma época, Calvin Fuller, tornou-se o precursor no avanço da captação da energia solar, desenvolvendo o processo de dopagem do silício com arsênio e boro. Com o auxílio dos físicos Gerald Pearson e Daryl Chapin, em 25 de abril de 1954 apresentou na reunião anual da *National Academy Sciences* em Washington a primeira célula fotovoltaica. Cabe ressaltar que essa célula possuía

uma eficiência de 6%, ou seja, era 6 vezes mais eficiente que a placa criada por Fritts (MEYER; NETO, 2018).

Já em 1958, a tecnologia começa a ganhar destaque, sendo utilizada em programas espaciais. Basicamente foi nesse momento que essa tecnologia passou a ser comercializada. De acordo com o Instituto Superior Técnico de Lisboa, IST (2018), “[...] no período de 1958 a 1970 a eficiência das células era de apenas 14%”. Essa situação começou a mudar quando no início da década de 70, Joseph Lindmeyer inventou uma célula que era quase 50% mais eficiente que as demais, atingindo algo próximo de 20% de eficiência, além de possuir um baixo custo de fabricação (IST, 2018).

Contudo, o grande impulso ocorreu com a crise energética de 1973/74, quando finalmente o uso terrestre ultrapassou o uso espacial. Paralelamente, Lindmeyer juntamente com Peter Varadi fundaram a Solarex, que se tornou uma das primeiras empresas a revender a tecnologia diretamente para civis (IST, 2018). Na mesma época, surgiu a primeira usina solar comercial em Albuquerque – Novo México, que possuía uma potência de 5 MW (Megawatts). Atualmente a maior usina solar do Estados Unidos é a Solar Star em Rosamond Califórnia (Fig. 01) com uma potência de 579 MW (GUIMARÃES, 2017).

**Figura 1 – Usina Solar Star – Rosamond CA**

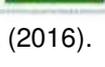


**Fonte:** ECOTECHTUBE. **The Largest Solar Plant On Earth.** Disponível em: <[http://www.ecotechtube.com/uploads/flashs/273/1442289694\\_98342591\\_thumb.jpg](http://www.ecotechtube.com/uploads/flashs/273/1442289694_98342591_thumb.jpg)> Acesso em: 04 mar 2018.

O mercado fotovoltaico mundial vem crescendo exponencialmente, tendo em 2015, por exemplo, atingido uma capacidade total instalada de 227 GWp (Giga watts pico) (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2016). Quando comparado com o ano anterior, foi possível notar que houve um crescimento de 25%.

Os países que mais possuem capacidade de geração da energia fotovoltaica segundo o IEA (2016) são a China, Alemanha e o Japão. A seguir é apresentado o quadro 01 que demonstra os países com maior capacidade de geração instalada.

**Quadro 1 – Os dez países com maior capacidade instalada de geração de FV**

1		China	43,5 GW
2		Germany	39,7 GW
3		Japan	34,4 GW
4		USA	25,6 GW
5		Italy	18,9 GW
6		UK	8,8 GW
7		France	6,6 GW
8		Spain	5,4 GW
9		Australia	5,1 GW
10		India	5 GW

Fonte: IEA (2016).

Outro fator relevante é o investimento realizado para geração de energia fotovoltaica. Nesse sentido, foi analisado o ranking dos países que mais investem e conseqüentemente se expandem nessa área anualmente. Identifica-se que a China tem novamente maior destaque, seguida pelo Japão e EUA. Conforme o quadro 02 a seguir, no qual são apresentados os países que mais se expandiram no ano de 2015.

**Quadro 2– Dez países que mais ampliaram sua capacidade de geração em 2015**

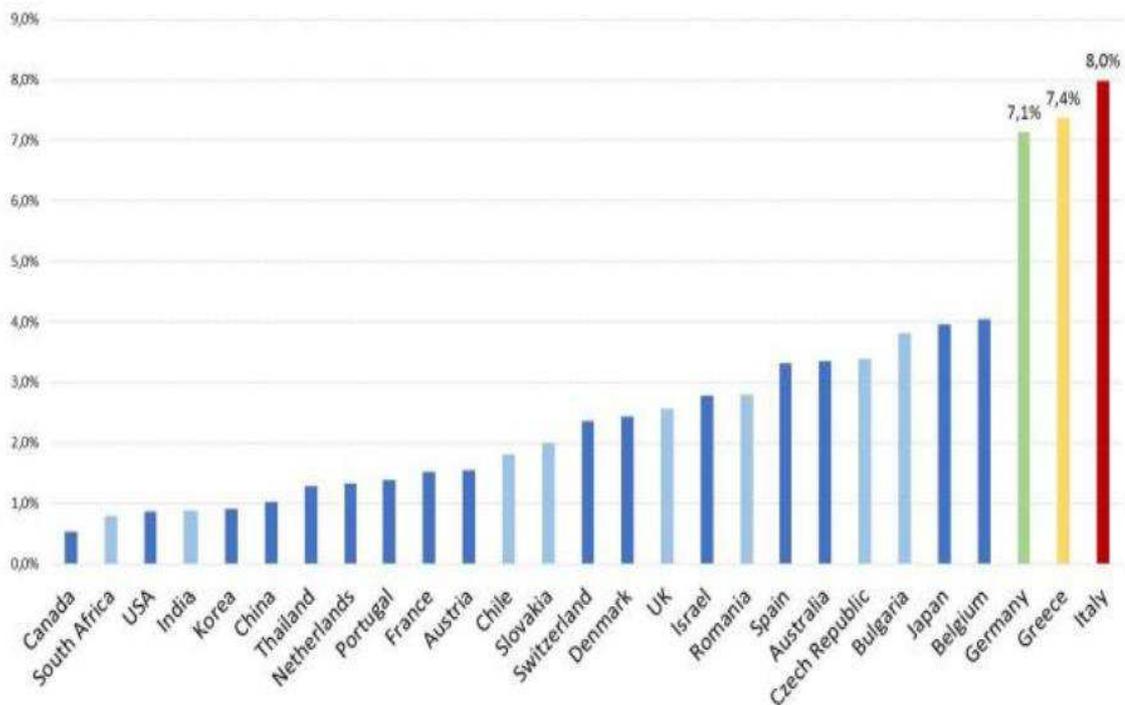
1		China	15,2 GW
2		Japan	11 GW
3		USA	7,3 GW
4		UK	3,5 GW
5		India	2 GW
6		Germany	1,5 GW
7		Korea	1 GW
8		Australia	0,9 GW
9		France	0,9 GW
10		Canada	0,6 GW

Fonte: IEA (2016)

Com uma abordagem mais regional, analisando a América do Sul, por exemplo, o Chile é o país com maior destaque na geração de energia baseado no processo de aproveitamento da radiação solar. Os chilenos conseguiram um acréscimo na sua capacidade instalada de 450 MWp (Mega Watts pico) entre os anos de 2014 e 2015 (IEA, 2016).

Cabe ressaltar que mesmo com todo esse alto investimento e valorização da energia solar, a sua penetração na matriz energética continua baixa. Para comprovar essa análise cita-se o caso da Itália, onde apenas 8% da sua matriz energética é abastecida por energia fotovoltaica. A figura 02 a seguir aponta a taxa de demanda de abastecimento por energia fotovoltaica de alguns países.

Observa-se que mesmo com todo investimento a energia solar ainda não é responsável por ser a principal matriz energética de uma nação.

**Figura 2 – Penetração da energia fotovoltaica na matriz energética**

Fonte: IEA (2016)

### 3.1.1 A energia fotovoltaica no Brasil

No Brasil, a energia fotovoltaica ainda está em desenvolvimento e historicamente vem enfrentando vários períodos de dificuldade. Somente em 1950 é que o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) passou a pesquisar sobre os módulos fotovoltaicos, cujo primeiro simpósio aconteceu somente em 1958 e nesse mesmo período a primeira célula fotovoltaica foi produzida em laboratórios da Universidade de São Paulo - USP, a sua eficiência era de aproximadamente 12,5% (NASCIMENTO, 2016).

Em 1970 o Instituto Militar de Engenharia - IME passou a pesquisar e desenvolver filmes finos, posteriormente, conseguiu produzir células de 30x30 cm que possuíam 5% de eficiência (NASCIMENTO, 2016). Na década de 70 o Brasil estava equiparado às vanguardas no mundo, já na década de 80, o foco dos pesquisadores mudou e deixou-se de investir em novas tecnologias solares, iniciando assim a crise do sistema fotovoltaico brasileiro (PINHO; GALDINO, 2014).

Na década de 90, retornaram o investimento, mesmo que timidamente. As pesquisas estavam focalizadas no desenvolvimento de células fotovoltaicas de Sulfato de Cádmio/Telurieto de Cádmio (CdS/CdT) e de silício amorfo hidrogenado, como resultado foram obtidos sistemas com eficiência da ordem de 6 a 7%. Na década seguinte, os principais centros de pesquisa do país buscaram células fotovoltaicas sensibilizadas com corantes e em materiais orgânicos, em que inicialmente foi obtida uma eficiência de 2% (PINHO; GALDINO, 2014).

No início do século XXI, o avanço industrial na fabricação de células e módulos fotovoltaicos, principalmente na China, em paralelo com o aumento da utilização de sistemas fotovoltaicos interligados a rede elétrica, são fatores que demonstram que o Brasil não conseguiu acompanhar a evolução dessa tecnologia no mundo. Por conta disso, em 2001, o governo federal criou o Fundo Setorial de Energia (CT-ENERG) que possibilitou um crescimento na formação de grupos de pesquisas e pós-graduação na área (PINHO; GALDINO, 2014).

Em 2002, a Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel iniciou os estudos para regulamentar as especificações técnicas necessárias para instalação de Sistemas individuais de geração de energia elétrica com fontes intermitentes - SIGFis, isso resultou em 2004 na Resolução Normativa nº 83/2004, que posteriormente foi revogada e substituída pela Resolução Normativa nº 493/2012 na qual regulamenta o fornecimento de energia por meio da microssistemas isolados geração e distribuição de energia. Em 2012, por meio da Resolução Normativa nº 482/2012 a Aneel passa a regulamentar os sistemas fotovoltaicos conectados a rede de distribuição, beneficiando o uso da geração doméstica (PINHO; GALDINO, 2014).

A primeira usina solar do Brasil só foi construída em 2011 no município de Tauá no sertão do Ceará (Fig.03).

Dessa forma, é perceptível o quanto este país está atrasado em relação às maiores potências da área. Atualmente uma das principais usinas brasileiras é da Epel em Ribeira do Piauí (Fig. 04) com capacidade de 292 MW.

**Figura 3 – Usina Solar Tauá –CE**



Fonte: CONSOL. **Conheça a primeira usina solar para geração de energia em escala comercial instalada no Brasil.** Disponível em: <<https://static1.squarespace.com/static/564b5502e4b0d99d7201f782/t/57ea763f29687fff987c6d61/1474983496671/usina+solar?format=750w>> Acesso em: 05 mar 2018

**Figura 4 – Usina Solar de Ribeira –PI**



Fonte: Fonte: AMBIENTE ENERGIA. **Piauí instala a maior usina de energia fotovoltaica da América Latina.** Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/wp-content/uploads/2017/11/nova-olinda-e1511307057961.jpg>> Acesso em: 05 mar 2018

Em 2013, ocorreu o primeiro Leilão de Energia (A-3) que disponibilizou empreendimentos para geração de energia fotovoltaicas, esses deviam ter potência igual ou superior a 5 MW, no entanto por conta do alto custo de implantação não houve apresentação de propostas, o que resultou no adiamento do processo transitório de diversificação da matriz energética de nossa nação.

Atualmente, segundo o Ministério de Minas e Energia - MME (2017, p.21), “[...] ao final de 2016, a capacidade de geração instalada no Brasil era de 81 MW (Megawatts), o que não o colocaria entre as vinte principais nações em capacidade de geração instalada”. Esse contraste torna a situação preocupante, já que o mesmo possui um potencial enorme, porém ainda não foi explorado.

A irradiação solar é relativamente alta em todo o território brasileiro, variando de aproximadamente 1500 Wh/m<sup>2</sup> a 2500 Wh/m<sup>2</sup>, enquanto que na Alemanha, por exemplo, a irradiação varia de 900 Wh/m<sup>2</sup> a 1250 Wh/m<sup>2</sup> (PEREIRA ET AL., 2006). Diante disso, é possível perceber o quanto o Brasil precisa melhorar na exploração dessa matéria-prima. Visto que, o investimento nessa área resulta em benefícios que vão desde o fator econômico e se expandem aos fatores sociais e ambientais.

Esse ritmo de crescimento lento ocorre por conta do elevado custo de geração do sistema fotovoltaico, que demanda investimentos para instalações residenciais. Além disso, é importante perceber que falta incentivo das concessionárias que temem perder espaço no mercado, desconhecendo os benefícios que essa tecnologia trás (ABINEE, 2012).

### 3.1.2 Conceitos Básicos e Características Gerais

Para compreender o conceito de energia fotovoltaica, é pertinente apresentar as definições de alguns autores. Imhoff (2007, p. 59) a define como “energia obtida através da conversão direta da radiação solar em eletricidade”. Ocorre por meio de uma célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio de efeito fotovoltaico. De acordo com Severino e Oliveira (2010, p. 287) “o efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar, o que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor gerando energia”.

Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, mas, mantém um fluxo de elétrons do circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela caracterizando assim o efeito fotovoltaico (NASCIMENTO, 2004).

Outro conceito básico e fundamental é a radiação solar, esta consiste em uma fonte inesgotável de energia térmica, que possui grande potencial de utilização por meio de um sistema de captação e conversão de energia térmica em elétrica.

Complementando o exposto anteriormente, é necessário entender a diferença entre irradiância e irradiação solar, no que diz respeito à irradiância solar, esta se refere à potência de geração, quando for se referir à irradiação solar, está equivale à energia recebida por uma unidade de área. O quadro 03 apresenta algumas das principais unidades de medida para irradiância e irradiação solar e as suas devidas conversões.

**Quadro 3 – Unidades para radiação solar e os seus devidos fatores de conversão**

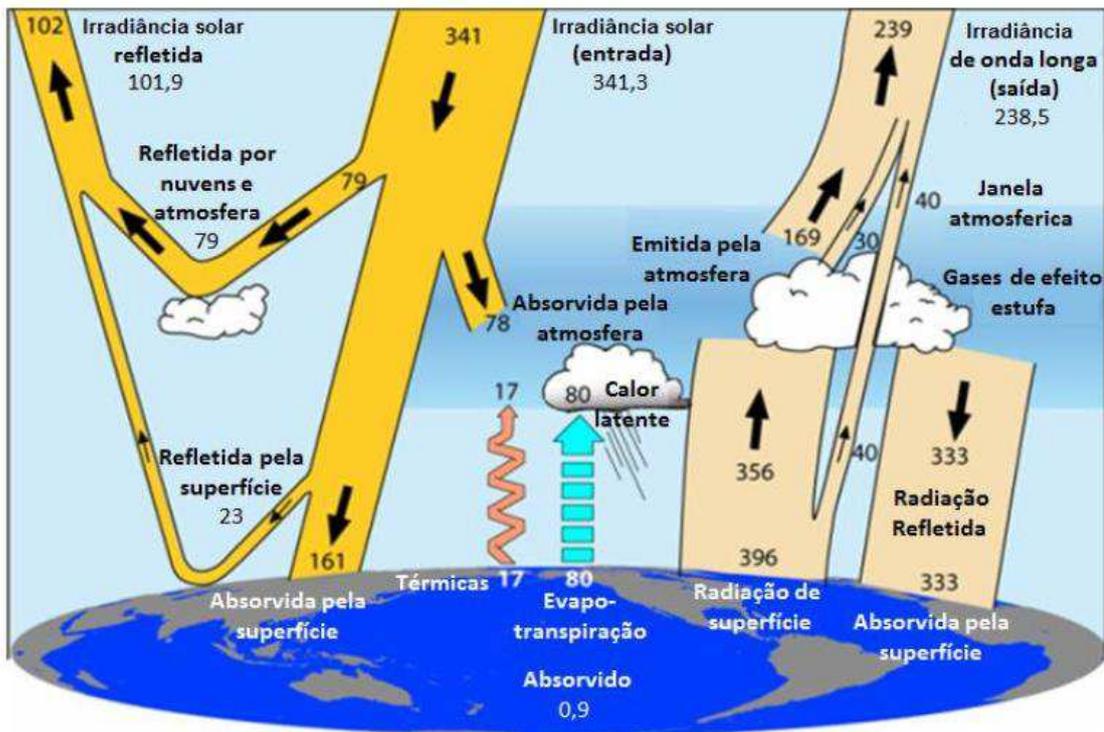
Para converter de:	Para:	Multiplique por:
cal/cm <sup>2</sup> .min	W/m <sup>2</sup>	697,8
W/m <sup>2</sup>	cal/cm <sup>2</sup> .min	0,0014331
W/m <sup>2</sup>	mcal/cm <sup>2</sup> .s	0,023885
MJ/m <sup>2</sup> .dia	kWh/m <sup>2</sup> .dia	0,27778
Langley/dia	kWh/m <sup>2</sup> .dia	0,01163
cal/cm <sup>2</sup>	J/cm <sup>2</sup>	4,1868
cal/cm <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	0,01163
J/cm <sup>2</sup>	cal/cm <sup>2</sup>	0,23885
J/cm <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	0,0027778
kWh/m <sup>2</sup>	cal/cm <sup>2</sup>	85,985
kWh/m <sup>2</sup>	J/cm <sup>2</sup>	360
Langley	cal/cm <sup>2</sup>	1

**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

Quanto ao conceito de constante solar, esta se constitui na densidade anual de fluxo energético medida em um plano perpendicular à direção de propagação dos raios solares no topo da atmosfera, seu valor atual é de 1367 W/m<sup>2</sup>. Com base nessa constante e conhecendo o raio da Terra (6371 km), pode-se estimar que o potencial de geração da Terra seja de aproximadamente 174 mil TW (Terawatts) (PINHO; GALDINO, 2014).

Por meio de observações periódicas do espaço foi possível avaliar de forma quantitativa o fluxo de energia na Terra. Trenberth et al (2009) elaborou um diagrama de fluxo de potência global (Fig. 05).

**Figura 5 – Fluxo de potência global ( $W/m^2$ )**

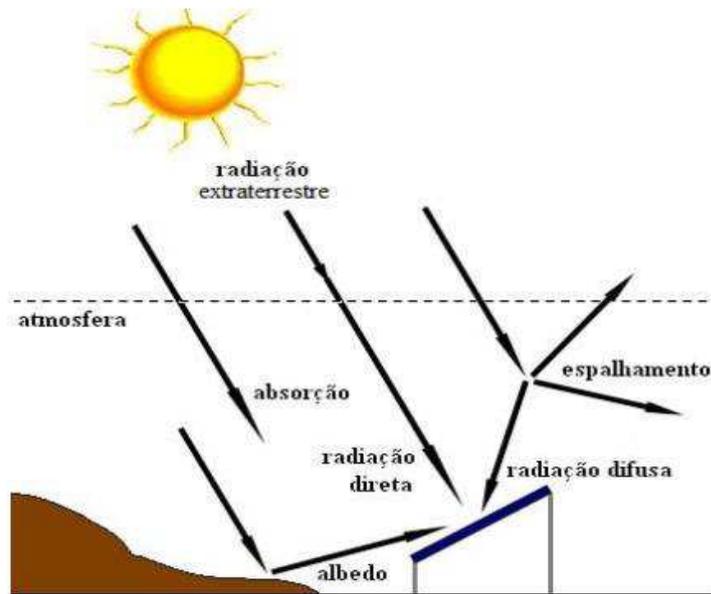


**Fonte:** Trenberth et al.(2009)

Segundo o autor, de 54% da irradiação que incide no topo da atmosfera, somente 47% é absorvida pela superfície terrestre, o restante é refletido, isso rende aproximadamente 94 mil TW (Terawatts). O consumo de energia mundial de acordo com Pinho e Galdino (2014, p.77), “[...] em 2011 foi de 143 TWh (Terrawatts-hora), ou seja, em duas horas a quantidade de energia recebida já seria suficiente para abastecer o consumo anual de energia do planeta”.

A radiação solar é constituída por três componentes principais. A primeira dela é a direta, que é caracterizada por prover diretamente do sol e por produzir sombras mais nítidas. A segunda é a difusa, proveniente de todas as direções e atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre. A terceira é denominada de albedo e se caracteriza pela reflexão da componente pelo ambiente de entorno (PINHO; GALDINO, 2014). Tais componentes estão expostos na fig. 06 a seguir:

**Figura 6 – Componentes da radiação solar**



Fonte: Pinho et al. (2008)

Para medir essa radiação recebida é necessário utilizar equipamentos como os piranômetros termoeletrônicos ou piranômetros fotovoltaicos. Os piranômetros termoeletrônicos são instrumentos de elevada precisão que medem a radiação no plano horizontal. Eles são compostos basicamente por duas semiesferas de vidro, um prato de metal preto, termo elemento e uma concha de metal branco, conforme é evidenciado na Fig. 07 em seguida.

**Figura 7 – Piranômetro Termoeletrico**



Fonte: AGRIEXP0. **Piranômetro.** Disponível em: [http://img.agriexpo.online/pt/images\\_ag/photo-mg/173396-11603359.jpg](http://img.agriexpo.online/pt/images_ag/photo-mg/173396-11603359.jpg) > Acesso em: 05 mar 2018

Os piranômetros fotovoltaicos são mais baratos e na maioria dos casos são constituídos por sensores de silício cristalino. É formado por uma célula solar que fornece corrente elétrica proporcional a irradiância solar recebida. É importante ressaltar que esse método não é tão preciso quanto o anterior. Esse equipamento é demonstrado na fig. 08 abaixo:

**Figura 8 – Piranômetro Fotovoltaico**



**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

No que diz respeito aos painéis solares, é necessário seguir algumas condições específicas. Os painéis solares devem estar sempre perpendiculares aos raios solares, no caso do hemisfério sul, é necessário que eles estejam voltados ao norte verdadeiro, de forma que a sua capacidade de geração se aproxime do máximo atingido pelo módulo solar. Cabe ressaltar que para sistemas fixos, os painéis não estarão sempre perpendiculares aos raios, por conta disso haverá perdas de produção, que podem ser estimadas através da seguinte equação:

$$\beta = 3,7 + 0,69\Phi \quad (1.1)$$

Onde:

$\beta \rightarrow$  Ângulo de inclinação do painel;

$\Phi \rightarrow$  Latitude local;

Outro fator importante é a análise climática. Pois, a geração de energia depende basicamente de fatores como a irradiação solar (Quanto maior a irradiação maior a produção) e da temperatura (Deve estar estabilizada e normalmente em

torno de 45 a 60°C). As nuvens, a chuva, a sujeira e o sombreamento são fatores secundários que influenciam negativamente na geração (PINHO; GALDINO, 2014).

Nesse sentido, a diferenciação do que seja uma célula fotovoltaica, um painel solar e um módulo fotovoltaico é fundamental para entender o como é desenvolvido um sistema de geração fotovoltaica. A célula fotovoltaica é uma unidade básica do sistema. O painel solar é um sistema formado por um conjunto de células fotovoltaicas, interligadas e encapsuladas em vidro e alumínio especiais. Um conjunto de painéis é conhecido como módulo fotovoltaico, eles podem ser associados em série ou paralelo para atingir os objetivos de voltagem ou corrente do sistema (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Atualmente no mercado, os principais tipos de módulos são: o silício monocristalino, o silício policristalino, as células de filme fino e os filmes orgânicos. As células monocristalinas fazem parte da primeira geração de células, são caracterizadas por sua alta pureza, conseqüentemente possuem alto custo. Essas células detêm eficiência em torno de 15 a 20%, além de serem indicadas para locais com baixa luminosidade (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

As células policristalinas também fazem parte da primeira geração, são mais baratas que as de monocristal, sofrem menos influência da temperatura, no entanto, a sua eficiência é mais baixa que a anterior. Os filmes finos são compostos basicamente por materiais inorgânicos como, por exemplo, cádmio, silício amorfo, cobre e índio. Sua eficiência varia de 6 a 11% (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Os filmes orgânicos são uma evolução dos filmes finos e podem ser criados junto a vários substratos. Atualmente são mais caros que qualquer célula de silício, contudo com o desenvolvimento da tecnologia tendem a ser mais baratos e eficientes que os demais tipos de células (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Aprimorar os sistemas fotovoltaicos geram inúmeros benefícios a quem está investindo no setor energético, pois repercute em melhorias na sociedade, além de beneficiar o meio ambiente. Um imóvel com placas solares torna-se mais valorizado no mercado, pois além de trazer economia para o proprietário, produz uma energia renovável e limpa que reduz os impactos ambientais, principalmente a emissão de gás carbônico (CO<sup>2</sup>). Aliados a todos esses fatores ainda existe a facilidade em se investir na tecnologia, por meio de financiamentos que possuem

juros bem abaixo do registrado no mercado convencional (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

### 3.1.3 Composição e características dos sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser OFF GRID ou ON GRID. O sistema autônomo ou isolado (OFF GRID) não depende da rede elétrica convencional para funcionar. Ele é composto basicamente por painéis solares, controladores de carga, baterias e inversores dc/ac.

Normalmente são utilizados em regiões carentes de distribuição elétrica. Esse sistema pode ser utilizado de duas maneiras, a primeira corresponde à utilização de geração para armazenamento, ou seja, baterias são carregadas para a energia ser utilizada em outro momento.

A segunda é realizada sem armazenamento, onde a geração de energia está sendo utilizada diretamente, isso normalmente acontece em sistemas de bombeamento de água. (PINHO; GALDINO, 2014). A seguir tem-se a fig. 09, que representa um desenho esquemático demonstrando o funcionamento de um sistema off grid.

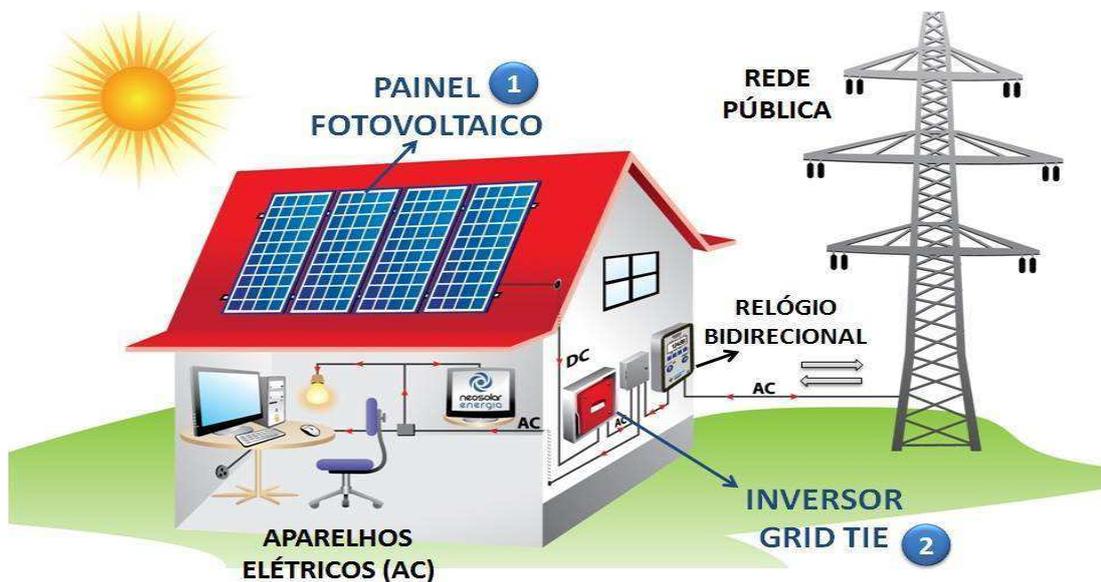
**Figura 9 – Sistema off grid**



**Fonte:** CONSULTREVI SOLAR. **Sistema fotovoltaico off-grid.** Disponível em: <<http://consultrevisolar.com.br/website/wp-content/uploads/2015/06/sistema-fotovoltaico-off-grid.png>> Acesso em: 05 mar 2018

No sistema on grid, existe um trabalho concomitante à rede elétrica de distribuição. Esse sistema, de forma reduzida é composto por painéis solares, inversores e medidores bidimensionais. O processo se inicia por meio do painel fotovoltaico que gera energia em corrente contínua, essa é alterada para corrente alternada por meio do inversor e após isso é injetada na rede de energia elétrica. (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

**Figura 10 – Sistema On grid**



**Fonte:** NEOSOLAR. **Sistema fotovoltaico on-grid.** Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/images/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica-grid-tie.jpg> > Acesso em: 06 mar 2018

A partir da determinação do tipo de sistema fotovoltaico é possível determinar como o mesmo é composto. Basicamente, um sistema on grid é composto por um bloco gerador (módulos fotovoltaicos) e um bloco condicionador (inversores e controladores de carga). No caso do sistema off grid, além dos citados anteriormente tem-se o bloco de armazenamento (baterias).

Os módulos fotovoltaicos (fig. 11) são compostos por células fotovoltaicas (unidades básicas de qualquer sistema fotovoltaico) conectadas em arranjo para produzir uma tensão por meio do efeito fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

**Figura 11 – Módulo Fotovoltaico**



**Fonte:** Pinho e Galdino (2014).

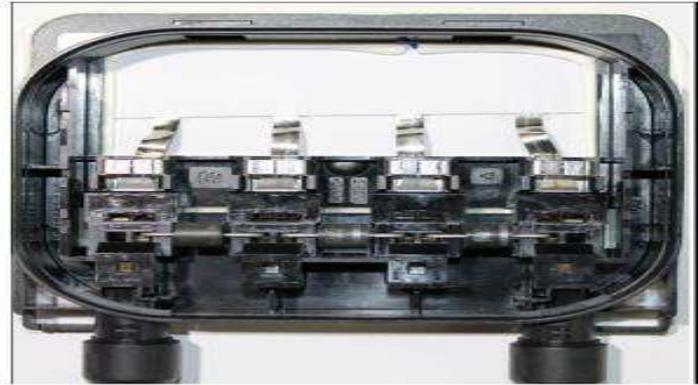
A vida útil de uma célula está em torno de 10 a 40 anos e a sua produção é de aproximadamente 0,5 v (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016). Normalmente são planos e retangulares, e seu encapsulamento deve ser bem feito para torna-los impermeáveis e mais resistentes a impactos. Um módulo produz cerca de 5 a 300 W.

O conjunto desses módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constitui a primeira parte do sistema, ou seja, são responsáveis pelo sistema de captação da irradiação solar e transformação da mesma em energia elétrica (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

Os módulos são identificados pela sua potência elétrica em Watts-pico. Outro fator característico é a tensão de circuito aberto que é observada quando o módulo está desconectado, nesse mesmo momento, com o painel desconectado é possível identificar a corrente de curto-circuito.

Contudo, essas características dependem exclusivamente das condições ambientes, ou seja, da temperatura e da irradiância solar. O aumento da irradiância gera um aumento de corrente no módulo, enquanto que o aumento da temperatura representa uma queda na tensão do mesmo (PINHO; GALDINO, 2014).

Complementar aos módulos fotovoltaicos tem-se as caixas de conexões (fig. 12) e os terminais.

**Figura 12– Caixa de conexões**

**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

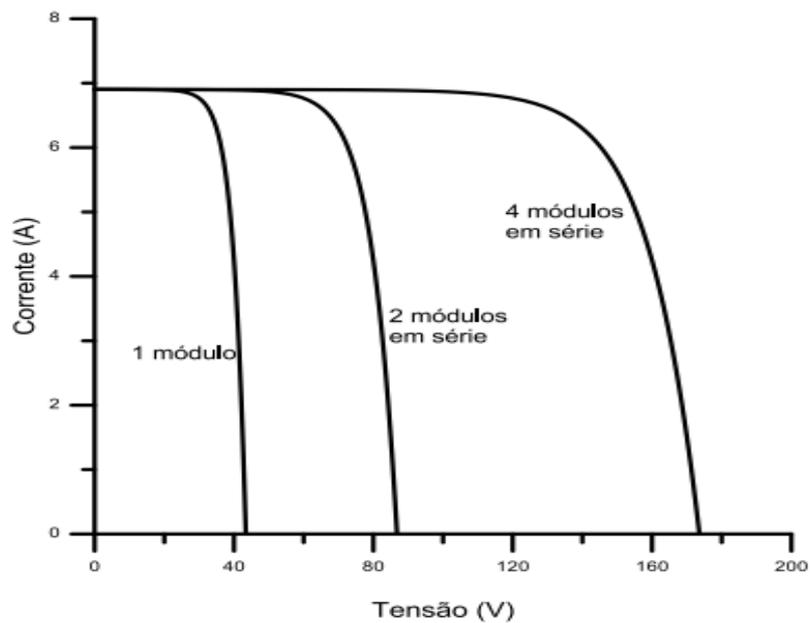
As caixas de conexões tem a função de abrigar e proteger os diodos de desvio (by-pass). Já os cabos terminais (fig. 13) são utilizados na ligação de um módulo a outro, eles devem ter isolamento adequado e serem capazes de suportar intemperes. Normalmente são constituídos por dois cabos, um com o polo negativo e outro com polo positivo (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

**Figura 13 – Terminais**

**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

Em relação à ligação dos módulos fotovoltaicos, eles podem ser ligados em série ou em paralelo. Numa ligação em série os terminais positivos de um módulo são conectados aos terminais negativos de outro módulo. O resultado disso é que as tensões geradas serão somadas enquanto que a corrente se manterá a mesmo, conforme ilustrado na figura 14. No entanto, é importante ressaltar que a corrente será equivalente a menor corrente possível do sistema.

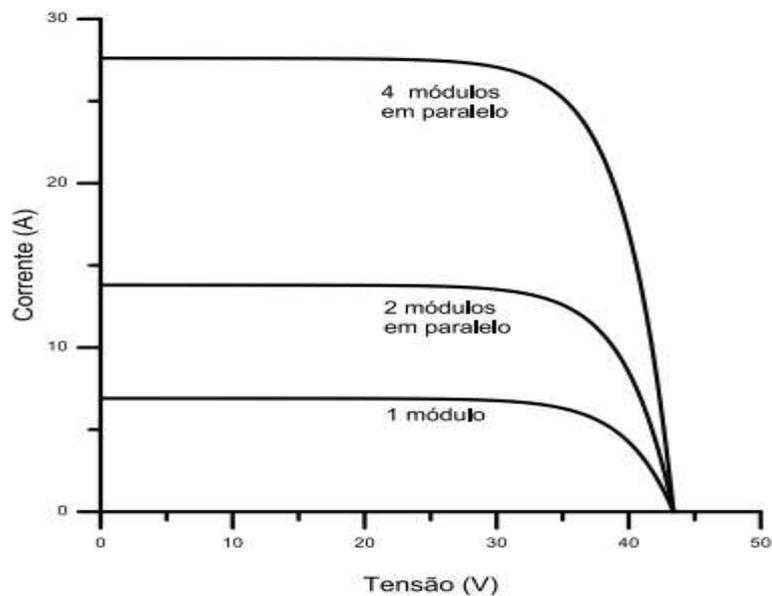
**Figura 14 – Tensão x Corrente em sistemas em série**



**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

Para sistemas ligados em paralelo os terminais positivos devem ser ligados entre si. Nessa situação a corrente é somada e a tensão será igual a menor obtida no sistema. A figura 15 ilustra esse processo.

**Figura 15 – Tensão x Corrente Sistema em Paralelo**



**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

Juntamente aos módulos fotovoltaicos têm-se os sistemas de montagem, que são constituídos basicamente por estruturas que dão suporte as placas. Essas estruturas devem ser capazes de além de suprir como apoio, dar maior sobrevida ao conjunto minimizando o superaquecimento dos módulos (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Na instalação desses sistemas de suporte, é necessário atenção quanto à localização do mesmo, pois cabe lembrar que para maior rendimento as placas devem estar voltadas ao hemisfério sul (no caso de sistemas instalados do hemisfério norte). Além desses cuidados, também é pertinente que sejam instalados próximo do inversor, com fácil acesso a manutenção evitando locais sombreados (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

O sombreamento é um fator que influencia drasticamente o rendimento do sistema fotovoltaico, principalmente quando o mesmo é constituído de módulos de silício cristalino. Isso ocorre por conta da limitação da corrente produzida pela célula que recebe menos radiação solar, exigindo que o sistema como um todo se limite a essa corrente mínima, limitando assim o potencial de produção daquele módulo. Outro problema originado a partir desta condição é o surgimento de pontos quentes na placa, danificando assim a mesma (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Diferentemente das placas de silício, os filmes finos e orgânicos não são atingidos de forma tão intensa pelo sombreamento, não apresentando uma queda considerável na sua produção. Para reduzir os efeitos do sombreamento, pode-se utilizar um dispositivo de dissipação de potência do conjunto. Esses dispositivos são os diodos de desvio ou simplesmente by-pass, localizam-se dentro da caixa de conexão (PINHO; GALDINO, 2014).

Ainda sobre os sistemas de suporte, existem dois tipos, o de montagem no solo e em racks de telhado. O primeiro é utilizado para que as placas sigam a inclinação da latitude local, nesse caso devem estar afastadas de sombras ao menos 3,0 metros. No caso dos racks, eles são os mais comuns e podem ser fixos ou ajustáveis, mas comumente eles seguem a angulação da latitude. Normalmente são feitos de alumínio e podem ser fixados tanto na edificação como em telhados (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Outro item importante para que o sistema fotovoltaico funcione é o inversor, demonstrado na fig. 16, a seguir:

**Figura 16 – Inversor**



**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

Ele é responsável por transformar a corrente contínua gerada pelo módulo fotovoltaico em corrente alternada, além de garantir a segurança do sistema e disponibilizar dados de geração. Para escolher o inversor adequado para um sistema específico, deve-se definir a potência necessária para converter e o tipo de onda que ele precisa acomodar. Em sistemas off grid normalmente os inversores precisam estar interligados às baterias para evitar falhas no sistema (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Para sistemas fotovoltaicos existem dois tipos de inversores quanto ao tipo de aplicação, o primeiro é o inversor solar off grid que é utilizado normalmente em sistemas homônimos. O segundo são os grid-tie que são utilizados em sistemas on grid, pois já são adaptados para atender as condições específicas das concessionárias. Já quanto ao tipo de onda, encontram-se inversores de onda senoidal e de onda quadrada, contudo o mais utilizado é o de ondas senoidais, que são adaptados à rede fornecedora (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Em sistemas off grid, é necessário obter um sistema de armazenamento de energia que é composto basicamente por baterias estacionárias associadas que irão guardar a energia coletada para ser utilizada em outro momento, evitando assim a necessidade de conexão com a rede. Nesse sistema normalmente as baterias são carregadas durante o dia e a energia armazenada é utilizada durante a noite

(BALFOUR; SHAW; NASH, 2016). A seguir é apresentado a fig. 17, na qual expõe o sistema de armazenamento.

**Figura 17 – Sistema de armazenamento, banco de baterias**



**Fonte:** BLUE SUN DO BRASIL. **Sistema fotovoltaico off-grid.** Disponível em: <<http://www.bluesundobrasil.com.br/imagens/informacoes/sistema-fotovoltaico-off-grid-02.jpg>> Acesso em: 06 mar 2018.

Existem três tipos principais de baterias que são utilizadas para armazenamento em sistemas fotovoltaicos. Cabe ressaltar que não são os únicos tipos. O primeiro é a bateria de chumbo ácido inundado (fig. 18), normalmente esse tipo de bateria possui uma longa vida útil, contudo, é necessário que sejam tomados alguns cuidados, mantendo a mesma em um local protegido e com ventilação, além de possuir um sistema de contenção. Elas são a tecnologia com o menor custo por Wh disponível no mercado. (PINHO; GALDINO, 2014).

**Figura 18 – Bateria estacionaria de chumbo ácido inundado**



**Fonte:** NEOSOLAR. **Bateria Estacionaria Freedom.** Disponível em: <[https://www.neosolar.com.br/loja/media/catalog/product/cache/1/thumbnail/80x100/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/b/a/bateria\\_freedom\\_df4001\\_estacionaria\\_foto\\_01\\_2.jpeg](https://www.neosolar.com.br/loja/media/catalog/product/cache/1/thumbnail/80x100/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/b/a/bateria_freedom_df4001_estacionaria_foto_01_2.jpeg)> Acesso em: 06 mar 2018

O segundo tipo são as baterias de chumbo ácido selada (fig. 19), são carregadas rapidamente e não necessitam de manutenção, além disso, é possível utilizá-las em um sistema combinado com a rede da concessionária. No entanto, a sua durabilidade é muito menor quando comparado as não seladas (PINHO; GALDINO, 2014).

**Figura 19 – Bateria de chumbo ácido selado**



**Fonte:** MADE-IN-CHINA. **Bateria Selada.** Disponível em :<<https://image.made-in-china.com/2f1j10pNPaASwnMDku/Sealed-Lead-Acid-UPS-Battery-L.jpg>> Acesso em: 08 mar 2018

O terceiro tipo são as baterias de Níquel-Cádmio / Ni-Cd (fig. 20), estas possuem estrutura física muito parecida com as de chumbo ácido. A solução aquosa é o hidróxido de potássio (KOH). São prejudiciais ao ser humano, e ao meio ambiente, logo necessitam de cuidados ao armazená-las e manuseá-las (PINHO; GALDINO, 2014).

Quando são comparadas tais baterias, é possível perceber que a Ni-Cd é capaz de suportar sobrecargas, tem bom desempenho a baixas temperaturas, possui vida útil mais longa e mantém a voltagem constante quando descarregada. Já as vantagens de utilizar as baterias de chumbo ácido consistem basicamente no seu baixo valor de mercado e facilidade de manuseio.

**Figura 20 – Bateria Estacionaria Níquel-Cádmio**



**Fonte:** ALIBABA. **Bateria Níquel-Cádmio.**  
Disponível em: <[https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1B7hbMXXXXXawaXXXq6xXFXXXX/Pocket-Type-Nickel-Cadmium-Battery-1-2v.jpg\\_50x50.jpg](https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1B7hbMXXXXXawaXXXq6xXFXXXX/Pocket-Type-Nickel-Cadmium-Battery-1-2v.jpg_50x50.jpg)> Acesso em: 08 mar 2018

Outro equipamento essencial para sistemas off grid são os controladores de carga, estes são responsáveis por estabilizar a corrente para que não haja picos de energia sobre as baterias, fazendo com que as mesmas não fiquem sobrecarregadas. Existem controladores que são capazes até mesmo de desligar o sistema para evitar danos ao mesmo (PINHO; GALDINO, 2014).

De acordo com Pinho e Galdino (2014, p.185) “[...] os controladores devem desconectar o gerador fotovoltaico quando a bateria atingir carga plena ou interromper o fornecimento quando o estado de carga atingir um nível mínimo”. Além disso, deve permitir o ajuste dos seus parâmetros e a escolha do método de controle para adaptá-los aos diferentes tipos de bateria. No Brasil, os controladores de carga são de até 60A de corrente para operação de bancos de baterias que possuem tensões de 12V, 24V, 36V e 48V (PINHO; GALDINO, 2014). A fig. 21 ilustra um modelo de controlador de carga.

O sobrecarregamento, o sobredescarregamento e os extremos de temperatura são os principais responsáveis por danos às baterias, pois encurtam consideravelmente a vida útil das mesmas. Por conta disso, é necessário que o sistema seja protegido por um controlador de carga (PINHO; GALDINO, 2014).

**Figura 21 – Controlador de carga**



**Fonte:** PORTAL-ENERGIA. **Controlador de Carga Sistema Solar.** Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/wp-content/uploads/thumbs/controlador-carga-solar1-696x355.jpg> >  
Acesso em: 11 mar 2018

Uma parte essencial do sistema é o cabeamento, na qual é necessário ter alguns cuidados no dimensionamento já que este deve ser adequado para minimizar as perdas. Cabe ressaltar que em um sistema fotovoltaico o cabeamento não pode ser utilizado em todo sistema, pois o mesmo é constituído de três partes que necessitam de cuidados diferentes. A primeira consiste na fiação dos módulos, a segunda é o cabo principal de corrente direta e a terceira é o cabo de conexão de corrente alternada (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Alguns cuidados são pertinentes para evitar problemas futuros. Os cabos solares devem possuir proteção contra raios ultravioletas e resistirem a 125°C, devem ser revestidos com malha metálica para evitar que roedores e outros animais danifique-os e não devem ser utilizados cabos de alumínio no sistema (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Os sistemas de proteção da rede são constituídos de disjuntores, interruptores e fusíveis. Os disjuntores podem ser de corrente contínua ou alternada e devem ser instalados próximo aos inversores, enquanto que no caso dos interruptores, eles têm a função de interromper manualmente o fluxo de corrente no sistema fotovoltaico.

Nesse tipo de sistema é necessário isolar o conjunto fotovoltaico, as baterias, os controladores e os pontos de carga e isso é realizado com o auxílio dos interruptores. Já os fusíveis proporcionam proteção contra sobrecorrente. Normalmente os fusíveis ficam entre o conjunto fotovoltaico e o controlador de

carga, evitando que uma sobrecorrente afete os equipamentos posteriores (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

#### 3.1.4 Células fotovoltaicas

Atualmente existem no mercado três gerações de células fotovoltaicas. A primeira geração é composta por silício cristalino, representam aproximadamente 87% do mercado, por ser uma tecnologia mais eficiente, consolidada e que gera mais confiança (CEPEL; CRESESB, 2014). A seguir a fig. 22 demonstra um exemplo de célula fotovoltaica.

**Figura 22 – Célula Fotovoltaica de Silício Cristalino**



**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

A segunda geração é constituída de filmes finos que podem utilizar diversos materiais semicondutores, além disso, consomem menos matéria prima que a primeira geração, contudo, sua eficiência é bem menor (CEPEL; CRESESB, 2014). A seguir a fig. 23 demonstra um exemplo de filme fino.

A terceira geração é constituída por células orgânicas ou poliméricas, também são conhecidas pela sigla OPV. É baseada na utilização de um semicondutor orgânico, responsável pela absorção de luz, basicamente, transporta cargas para a geração de energia. Por serem feitas com materiais orgânicos, são considerados mais limpos ecologicamente que as gerações anteriores, além disso, possuem bom potencial de geração e baixo custo (CEPEL; CRESESB, 2014). A seguir a fig. 24 apresenta um exemplo de filme orgânico.

**Figura 23 – Módulo Fotovoltaicas de Filme Fino**



**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

**Figura 24 – Filme Orgânico Fotovoltaica**



**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

No decorrer deste estudo, cada uma dessas gerações será abordada e detalhada de forma que seja possível diferenciá-las abordando seus aspectos positivos e negativos.

### **3.2 Células de Silício Cristalino**

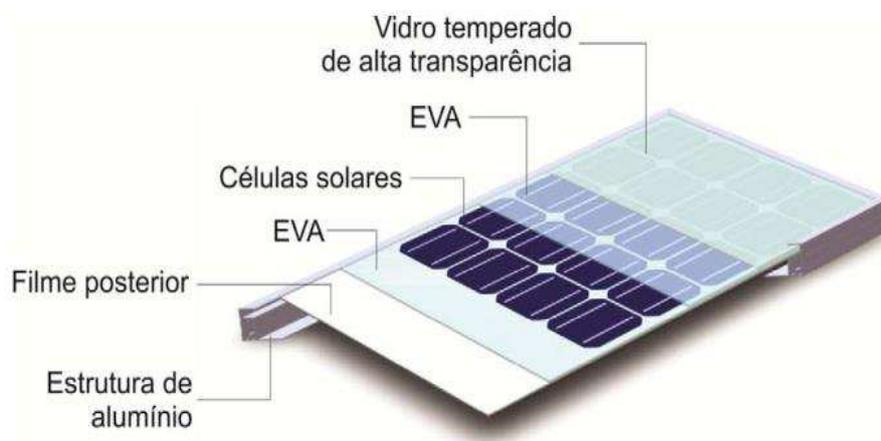
O silício constitui-se material mais importante no desenvolvimento da energia fotovoltaica. Este não é encontrado em sua forma pura, mas sim em ligação química formando o dióxido de silício. Tal composto passa por inúmeros processos químicos e físicos até que o silício puro é obtido, dessa forma, é destinado ao

processo de fabricação das placas monocristalinas ou policristalinas (PINHO; GALDINO, 2014).

Esse tipo de célula fotovoltaica ocupa aproximadamente 87,9% do mercado mundial. Uma vez que detém maior popularização melhor relação custo-benefício (PINHO; GALDINO, 2014).

Os dois principais tipos de células desse segmento são as células de silício monocristalino e a de silício policristalino. Após sua produção, as células são associadas eletricamente e encapsuladas conforme perceptível pela fig. 25 a seguir. Um módulo é constituído por um conjunto de 36 a 212 células associadas em serie ou paralelo. Essas células são soldadas em tiras e por fim são encapsuladas para evitar os intemperes (PINHO; GALDINO, 2014).

**Figura 25 – Esquema do encapsulamento de um módulo fotovoltaico**



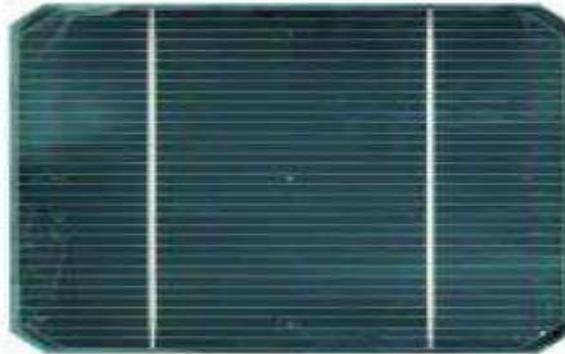
**Fonte:** Pinho e Galdino (2014)

As células de monocristalino são constituídas basicamente por um único cristal, esse tipo de célula é historicamente a mais utilizada e comercializada no mundo. De acordo com o Portal-Energia (2014, p.36) “a eficiência dessas placas é de 16 a 23%. Quanto à sua forma, as células podem ser quadradas ou circulares, contudo, as circulares são utilizadas somente em casos de limitação de espaço”.

A coloração dessas placas variam de um azul escuro (com antirreflexo) para cinza (sem antirreflexo). Cabe ressaltar que o antirreflexo tem a função de minimizar as perdas por conta da reflexão da radiação. Os principais fabricantes desse tipo de célula de acordo com o Portal-Energia (2014) são: Astro Power, BP

Solar, Helios, Sharp, SolarTec. A fig. 26 a seguir apresenta uma célula de silício monocristalino.

**Figura 26 – Célula de monocristalino**



**Fonte:** Portal-Energia (2014)

Para fabricar as células monocristalino, o processo utilizado é o de Czochralski ou processo de extração de cadinho. Baseia-se na imersão do núcleo do cristal em um banho de silício fundido, após um tempo, é iniciado o processo de retirada lenta, em que são produzidos cristais únicos redondos que serão moldados em outras formas no decorrer desse processo. Tendo em vista a grande espessura deste material, é necessário que sejam cortadas a fim de atingir uma espessura de 0,3 milímetros, que são conhecidas como pastilhas. Ao fim dessa etapa, é realizada a implantação da camada antirreflexo (PORTAL-ENERGIA, 2014).

No que diz respeito aos painéis de silício monocristalino, estes detêm como vantagens a sua alta eficiência, que resulta em menores ocupações de espaços. Além disso, apresentam desempenho regular em condições adversas de luminosidade e sua vida útil é de aproximadamente 25 anos. Entretanto, possuem como desvantagens o seu processo de fabricação com baixa rentabilidade e alta geração de resíduos, além de apresentar alto custo de fabricação e comercialização.

Quanto às células de policristalino, são mais baratas que as citadas anteriormente, em virtude do seu processo de fabricação mais simplista, contudo a sua eficiência de acordo com o Portal-Energia (2014) é limitada entre 11 e 13%. A sua coloração varia de um azul (com antirreflexo) e cinza prateado (sem antirreflexo). No que se refere à sua forma, esse tipo de célula limita-se a forma quadrada, tendo em vista o seu padrão estrutural de formação (PORTAL-ENERGIA, 2014). Os principais fabricantes desse tipo de célula de acordo com o Portal-Energia

(2014) são: BP Solar, Kyocera, Sharp, Q-Cells e PhotoWatts. Para exemplificar, um modelo de célula de silício policristalino é ilustrado por meio da fig. 27.

**Figura 27 – Célula de policristalino**



**Fonte:** Portal-Energia (2017)

No caso das células de policristalino, o processo mais utilizado é a fundição de lingotes. Esse processo consiste no aquecimento do silício bruto até uma temperatura de 1500 °C e logo depois o mesmo é arrefecido até uma temperatura de 800 °C. O resultado disso é a formação de blocos de silício (fig. 28) que serão serrados com espessura máxima de 0,3 milímetros. Após isso, são colocadas as camadas de antirreflexo (PORTAL-ENERGIA, 2014).

**Figura 28 – Blocos de silício**



**Fonte:** Portal-Energia (2017)

No que diz respeito aos painéis de silício policristalino, estes detêm como vantagens o seu baixo custo de produção e de geração de resíduos e vida útil de aproximadamente 25 anos. Entretanto, possuem como desvantagens sua baixa eficiência e a necessidade de mais módulos para suprir a necessidade de um local, ocupando com isso, maiores áreas.

### **3.3 Filmes Finos**

Os filmes finos constituem-se em uma fina camada de material fotovoltaico depositado sobre um substrato (normalmente vidro). Essa tecnologia representa cerca de 10% de toda a produção mundial de dispositivos fotovoltaicos (PINHO; GAUDINO, 2014). Essa fina camada corresponde a poucos micrômetros, pois, detêm alta capacidade de absorção ótica desses materiais. É de suma importância ressaltar a sua facilidade no processo de automatização para produção em larga escala, fato que barateia os custos de produção.

As células de filmes finos não são restringidas por um formato em específico como acontece nas células de silício cristalino, ou seja, elas podem ser usadas de maneira mais ampla, adaptando-se ao seu ambiente. Outro ponto que diferencia esse tipo de célula das de silício cristalino, é a sua ligação, no caso das células de filmes finos, a ligação é monolítica (interação interna), enquanto a outra é por célula a célula (interação externa) (PINHO; GALDINO, 2014).

Nesse segmento existem três tipos principais de células, a primeira é a de Telurieto de Cádmio (CdTe), a segunda Diselenieto de Cobre e Índio (CIS) e a terceira é o Silício Amorfo (PORTAL-ENERGIA, 2014). Essas células consistem normalmente numa longa e estreita fita de material semicondutor que passa a compor um módulo quando várias células estão ligadas em série e encapsuladas por um material composto (EVA).

Os filmes finos possuem um bom desempenho quando há baixos níveis de radiação solar ou no caso de radiação difusa, além de não sofrerem impactos com o aumento de temperatura. Outra vantagem desse tipo de célula é que possuem menor sensibilidade ao sombreamento, isso ocorre porque as suas células são longas o bastante para restringir a parte sombreada (PORTAL-ENERGIA, 2014).

As células de Telurieto de Cádmio não possuem uma forma específica, podendo ser constituída de células com o tamanho máximo de 1,20 x 0,60 m<sup>2</sup> (fig. 29). A eficiência desse tipo de placa é de 6 a 9%, além disso, o seu processo de fabricação apresenta substâncias contaminantes, o que leva a mesma não ser tão aceita no mercado (PORTAL-ENERGIA, 2014).

**Figura 29 – Célula de Telurieto de Cádmio**



**Fonte:** Portal-Energia (2014)

Quanto à sua espessura, normalmente é de aproximadamente 3 milímetros de substrato material (vidro não solidificado) com 0,008 milímetros de revestimento. A cor desse tipo de placa é de um verde escuro a preto e os principais fabricantes são: Antec; First Solar; Matsushita (PORTAL-ENERGIA, 2014).

As células solares de CdTe (Telurieto de Cádmio), normalmente são fabricadas sobre um substrato de vidro e com uma camada de óxido de estanho-índio e de CdS (Sulfeto de Cádmio). Esta é revestida por uma camada absorvente de CdTe. O processo de fabricação pode envolver três etapas, a saber: Impressão em tela, disposição galvânica ou pirólise pulverizada (PORTAL-ENERGIA, 2014).

Em módulos com maiores dimensões e maior eficiência, o processo recomendado é a disposição por vaporização, cujos materiais e o substrato são mantidos juntos, por meio de um processo a vácuo. A partir disso, as camadas de CdS e CdTe são depositadas em temperaturas próximas de 700 ° C, em que são ativadas e passam a trabalhar em conjunto, sendo a primeira responsável pela absorção do espectro azul da luz visível e a seguinte responsável por absorver o restante da radiação (PORTAL-ENERGIA, 2014).

No que diz respeito aos filmes de Telurieto de Cádmio, estes detêm como vantagens a possibilidade de produção em massa, a flexibilidade de locais de utilização (pode ser utilizada em fachadas) e por não sofrerem grandes reduções de eficiência por conta do aumento de temperatura. Entretanto, possui como desvantagens sua baixa eficiência (Quando comparada a primeira geração), processo de fabricação prejudicial ao meio ambiente e a escassez da principal matéria-prima (Telúrio).

As células de Diselenieto de cobre e índio são as mais eficientes tecnologias de filme fino, além de possuírem um grande potencial de barateamento quando produzida em massa (fig.30). Atualmente o maior desafio dessa tecnologia é a substituição do Cádmio contido em sua camada tampão. Outro material tóxico contido no seu processo de fabricação é o Selênio, contudo, por conta de sua baixa proporção na composição, passou a ser negligenciado (PORTAL-ENERGIA, 2014).

**Figura 30 – Célula de Diselenieto de Cobre e Índio**



**Fonte:** Portal-Energia (2017)

Esse tipo de célula não é suscetível à degradação por indução como acontece em outros tipos de filmes finos, contudo a mesma possui uma certa fragilidade em ambientes quentes e úmidos, sendo necessário verificar constantemente as condições de selagem da mesma. Em relação à eficiência desse tipo de módulo, varia entre 7,5 a 9,5%. A sua forma é livre, pois o tamanho dos módulos deve ser de no máximo 1,20 x 0,60 m<sup>2</sup>. A espessura é de 3 milímetros de substrato com revestimento de 0,003 milímetros. A coloração desses módulos

normalmente é preta e os seus principais fabricantes são: Shell Solar e a Würth Solar (PORTAL-ENERGIA, 2014).

Em relação ao processo de fabricação do Diselenieto de Cobre e Índio, o substrato de vidro é inicialmente revestido em uma camada fina de molibdénio, utilizando o processo de disposição catódica. Já a camada absorvente CIS pode ser fabricada através da vaporização simultânea dos elementos de cobre, índio e selénio numa câmara de vácuo, a temperaturas de 500°C. Após isso são depositas as camadas individualmente e de forma consecutiva, onde a primeira camada consiste de uma camada transparente, seguida por uma camada de CdS (que faz a ligação entre a camada absorvente e a camada transparente) e por fim tem-se o substrato de vidro. O óxido de zinco contaminado com alumínio (ZnO:Al) é utilizado como camada transparente (Camada de penetração da radiação) e após a mesma é utilizado uma camada de CdS (Sulfato de Cádmio) que estabilizará a ligação entre as camadas (PORTAL-ENERGIA, 2014).

No que diz respeito aos filmes de Diselenieto de Cobre e Índio, estes detêm como vantagens a possibilidade de produção em massa, a flexibilidade de locais de utilização (pode ser utilizada em fachadas) e por não sofrerem grandes reduções de eficiência por conta do aumento de temperatura.

Além disso, apresentam a maior eficiência dentre os filmes finos. Entretanto, possui como desvantagens sua baixa eficiência (Quando comparada a primeira geração), processo de fabricação prejudicial ao meio ambiente, a escassez da principal matéria-prima (índio) e forte influência da umidade no processo de degradação do equipamento.

O terceiro tipo de filmes finos é o silício amorfo (fig. 31), são consideradas as menos eficientes. Nos primeiros 6 a 12 meses de produção sofrem o efeito Staebler-Wronki, que consiste em uma queda gradativa da eficiência de seus módulos. Para combater e minimizar essa queda de eficiência, o sistema é otimizado de modo que cada célula absorva uma devida cor do espectro solar. Esse tipo de filme também são mais finos que os citados anteriormente (PORTAL-ENERGIA, 2014).

**Figura 31 – Célula de Silício Amorfo**



**Fonte:** Portal-Energia (2017)

A sua eficiência normalmente, quando estabilizada fica em torno de 5 a 8%, e a sua forma é variável, tendo em vista que os seus módulos podem ser no tamanho standard (0,77 x 2,44 m<sup>2</sup>) ou especial (2,00 x 3,00 m<sup>2</sup>). Sua espessura varia de 1 a 3 milímetros para o substrato com revestimento, equivalente a 0,001 milímetros. A cor dos módulos varia de um castanho avermelhado a preto e os seus principais fabricantes são: Dunasolar, Kaneka, Sanyo e Uni-Solar (PORTAL-ENERGIA, 2014).

Quanto ao processo de fabricação do silício amorfo, por não possuir uma estrutura regular de cristal, mas uma rede irregular sofre ligações livres que absorvem hidrogênio até a sua saturação. O silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) é criado a partir de um reator plasmático, por meio de uma reação de vaporização química do Silano Gasoso ( $SiH_4$ ). Esse processo acontece com temperaturas da ordem de 200 a 250 ° C (PORTAL-ENERGIA, 2014).

Em virtude da reduzida extensão da difusão do material a-Si:H que está contaminado pelo processo de dopagem que envolve a mistura de gases contaminantes, os portadores de carga livre não conseguem sobreviver a contribuição para assim gerar a energia elétrica. Assim, é aplicada uma camada intrínseca (não contaminada, pois não passa pelo processo de dopagem) entre as partes contaminadas para aumentar a longevidade dos portadores de carga, sendo essa a camada responsável pela absorção e geração da carga (PORTAL-ENERGIA, 2014).

No que diz respeito aos filmes de Silício Amorfo, estes detêm como vantagens a possibilidade de produção em massa, a flexibilidade de locais de utilização (pode ser utilizada em fachadas) e por não sofrerem grandes reduções de eficiência por conta do aumento de temperatura. Entretanto, possui como desvantagens sua baixa eficiência (Quando comparada a primeira geração) e o efeito Staebler-Wronki.

### 3.4 Células Orgânicas

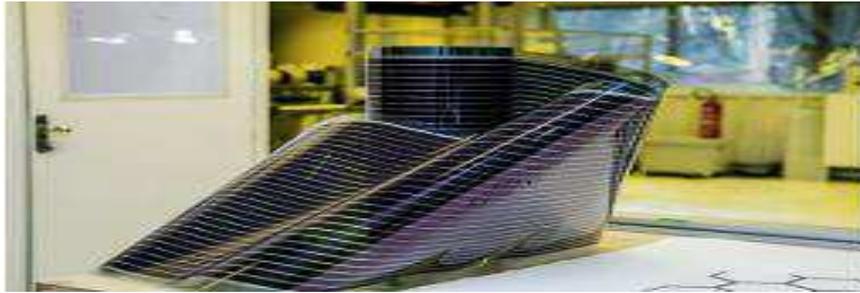
As células solares orgânicas são construídas a partir de filmes finos (tipicamente 100 nm) de semicondutores orgânicos, tais como polímeros. Existem dois tipos principais de células que são: OPV (*Organic Photovoltaic*) ou simplesmente células orgânicas e a DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) ou células fotovoltaicas sensibilizadas com corante.

Essa geração de células não depende da inclinação dos raios solares, pois são capazes de absorver perfeitamente a radiação difusa. Atualmente, são consideradas tecnologias emergentes com um grande potencial de crescimento, já que o consumo de matéria é menor e mais acessível, reduzindo assim os custos de sua produção.

A tecnologia OPV surgiu aproximadamente nos anos 2000, por meio de estudos relacionados à ciência dos polímeros orgânicos condutores de energia, que rendeu a Alan Jay Heeger, Alan MacDiarmid e Hideki Shirakawa o prêmio Nobel da Química no referido ano. Já as células sensibilizadas com corante, foram criadas por Michal Grätzel, na década de 80.

As células orgânicas são compostas normalmente por pequenas moléculas de pentaceno, polifenileno vinileno, ftalocianina de cobre e nanoestruturas de base de carbono. É basicamente constituído de plástico e dessa forma, o seu processo de fabricação é menos dispendioso, além de apresentar um alto rendimento, pois não é necessários atingir condições extremas (BENANTI; VENKATARAMAN, 2006). A seguir a fig. 32 expõe esse tipo de célula.

**Figura 32 – Filme Orgânico**



**Fonte:** Sunew (2017)

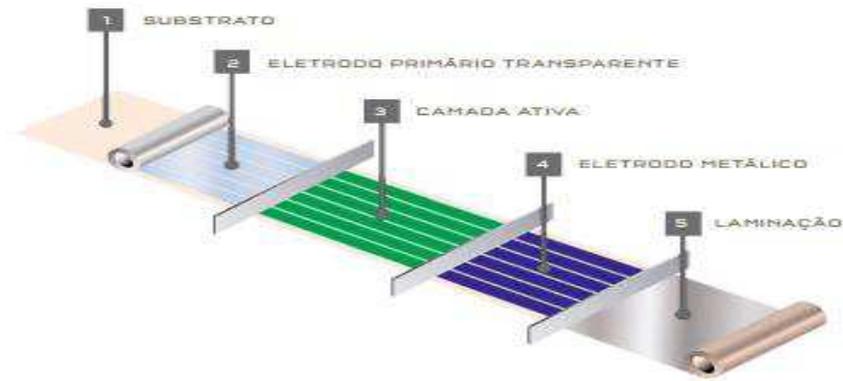
Esse módulo possui características muito atrativas, já que são flexíveis, semitransparentes e de fácil fabricação. Isso torna essa tecnologia uma opção mais viável tanto economicamente quanto ecologicamente. A sua estrutura é normalmente plana e subdividida em camadas, em que a central é a camada absorvente.

Os pontos negativos desse tipo de tecnologia são sua baixa eficiência e durabilidade, quando comparado com as células inorgânicas por exemplo. Isso abre precedentes para pesquisas que busquem sanar essas dificuldades. O grafeno, material derivado do grafite tem sido um dos principais materiais observados, por ser um ótimo condutor de eletricidade (MATTEI; REHMAN, 2014).

As células de OPV (*Organic Photovoltaic*) são constituídas de filmes finos, com uma estrutura física bem definida, na qual deve existir uma camada ativa ensanduichada entre dois eletrólitos diferentes, sendo que o primeiro deve ser transparente para permitir a entrada da luz, nesse caso normalmente é utilizado o óxido de estanho (TO). A outra camada pode ser feita de alumínio, cálcio ou prata. A estrutura do filme orgânico é demonstrada abaixo na fig. 33.

O meio ativo, que é derivado de material orgânico, de acordo com Pinho e Galdino (2014, p.138) “são depositados por meio de técnicas simples denominadas *spray*, *spin-off* ou *roll-to-roll*. Após esse processo as células podem ser processadas de forma que sua espessura atinja no máximo 2 micrômetros”.

**Figura 33 – Estrutura do Filme Orgânico**



**Fonte:** Sunew (2017)

No que diz respeito aos filmes orgânicos, estes detêm como vantagens a possibilidade de produção em massa, a flexibilidade de locais de utilização (pode ser utilizada em fachadas) e por não sofrerem grandes reduções de eficiência por conta do aumento de temperatura ou por conta da angulação dos raios solares. Além disso, por utilizar matéria-prima mais simples que as demais, o mesmo possui um processo de fabricação mais barato. Entretanto, possui como desvantagens sua baixa eficiência (Quando comparada a primeira geração) e o fato de ser uma tecnologia em desenvolvimento que ainda é muito cara para implantação em sistemas mais simples.

As células sensibilizadas com corante são compostas de materiais orgânicos e inorgânicos, com base principalmente no dióxido de titânio ( $TiO_2$ ) e em corantes metálicos como o rutênio e as porfirinas (complexo de zinco) (GOETZBERGER; LUTHER; WILLEKE, 2002). A principal intenção na aplicação desse tipo de tecnologia é a redução dos custos de produção e dos impactos ambientais, além de resolver os problemas de eficiência. A grande dificuldade desse tipo de célula encontra-se no acesso aos materiais base, como por exemplo, o rutênio que possui produção limitada.

Quanto às células sensibilizadas com corante, a sua estrutura básica, de acordo com Pinho e Galdino (2014, p.138) é “formada por um substrato de vidro, um filme condutor transparente (TCO), uma camada de dióxido de titânio poroso e embebido com rutênio, um eletrólito, TCO e um contato metálico de platina e vidro”.

Seu processo de fabricação envolve operações de baixo custo, contudo, por conta da baixa eficiência desse tipo de célula é necessário que novas pesquisas apresentem soluções a esse problema de modo que a produção em massa possa ser recomendada.

No que diz respeito às células sensibilizadas com corante, estas detêm como vantagens a possibilidade de produção em massa, a flexibilidade de locais de utilização (pode ser utilizada em fachadas) e variabilidade na coloração. Entretanto, possui como desvantagens sua baixa eficiência (Quando comparada a primeira geração) e a escassez de Rutênio.

## **4 METODOLOGIA**

Esta pesquisa é de cunho descritivo, com intuito de demonstrar qual a geração de módulo solar é o mais indicado para aplicação em um sistema fotovoltaico. Nesse sentido, os módulos serão analisados a partir de fatores econômicos, eficiência, adaptação a ambientes e análise estética para que seja possível identificar qual tecnologia se sobressai em relação às outras.

Para embasar essa pesquisa foi necessário realizar pesquisa bibliográfica sobre o tema, pesquisa de campo, onde foi estudada a aplicação de cada uma das gerações em uma casa modelo localizada no município de Santa Inês – MA. A seguir cada fase da pesquisa será detalhada.

### **4.1 Levantamento de dados**

O levantamento de dados foi realizado por meio de pesquisa bibliográfica. As principais fontes utilizadas foram os estudos de Pinho e Galdino (2014); Portal-Energia (2014); Balfour, Shaw e Nash (2016). A partir desses estudos foi possível coletar informações essenciais para a caracterização de cada uma das gerações de módulos solares.

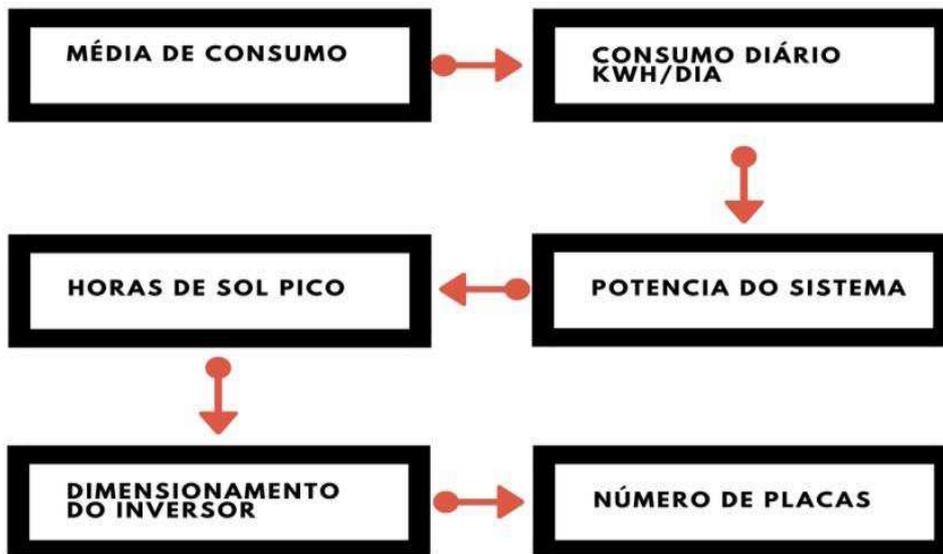
Cabe ressaltar que inicialmente buscou-se compreender sobre a evolução da energia fotovoltaica considerando os elementos históricos, com este tema se desenvolvendo no âmbito mundial, e especialmente, no Brasil. Os conceitos básicos e características gerais sobre esse tipo de energia, entre outros aspectos que permeiam a temática. Essa abordagem foi pertinente para que posteriormente fossem analisadas cada tipo de célula fotovoltaica.

### **4.2 Pesquisa de campo**

A partir dessa pesquisa foi possível obter informações essenciais para distinguir qual a melhor tecnologia de geração de energia, na medida em que foi analisado o dimensionamento e o custo que cada uma das três gerações de placas solares incide em um projeto de fotovoltaico situado na casa modelo no município de Santa Inês - MA.

A obtenção dessas informações ocorreu a partir da definição de quantas placas solares foram necessárias para suprir a necessidade de consumo da casa. Para tanto, foi utilizado o método global de dimensionamento aplicado por Pinho e Galdino (2014, p.329). Esse método não leva em consideração todos os parâmetros necessários para um projeto, contudo é bem preciso em sua aproximação, sendo o suficiente para determinar a quantidade de placas necessárias e assim estimar custos. A seguir será apresentado um fluxograma resumindo a metodologia do dimensionamento, posteriormente será detalhado o método em questão.

**Figura 34 – Fluxograma de dimensionamento**



**Fonte:** Elaborado pelo autor com base em dados da pesquisa.

#### 4.2.1 Média de consumo

O processo de média de consumo perpassa inicialmente por uma análise da conta de energia dos últimos 12 meses. Nesse processo é realizado o somatório do consumo e o mesmo é dividido pela quantidade de meses, como demonstrado pela equação 4.1:

$$MedM = \frac{\sum Consumo}{12} \quad (4.1)$$

Onde:

MedM → Média do consumo mensal;

Consumo → Consumo mensal;

#### 4.2.2 Consumo diário

O consumo diário é calculado a partir do valor obtido no consumo médio mensal, com isso, é obtido o valor que deve ser suprido pelos módulos solares. Ele é determinado por meio da divisão do consumo médio mensal pela quantidade de dias do mês como demonstrado a seguir pela equação 4.2

$$MedD = \frac{MedM}{Dm} \quad (4.2)$$

Onde:

MedD → Média do consumo diário;

MedM → Média do consumo mensal;

Dm → Dias do mês;

#### 4.2.3 Horas de Sol pico

Horas de Sol pico representa a quantidade de horas equivalentes á uma hora com radiação padrão de 1000 W/m<sup>2</sup>. Esse dado pode ser obtido por meio do uso do software *SunData*, da plataforma do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – Cresesb. Nesse software é necessário inserir a latitude e a longitude do local indicado para obtenção das médias mensais de irradiância. A partir disso, é possível coletar a média anual e dividir pelo valor da radiação padrão, obtendo assim quantidade de horas de sol pico anual, como ilustrado na equação 4.3.

$$HSP = \frac{IRP}{1000} \quad (4.3)$$

Onde:

HSP → Horas de sol pico;

IRP → Irradiância padrão (Media anual)

#### 4.2.4 Potência do sistema

Após obter a quantidade de horas de Sol pico, é possível determinar a potência que o sistema irá necessitar. Para tanto é necessário dividir o consumo médio diário pela quantidade de horas de sol pico encontrada anteriormente. A equação 4.4 demonstra esses dados.

$$PotSis = \frac{MedD}{HSP} \quad (4.4)$$

Onde:

PotSis → Potência do sistema;

MedD → Média do consumo diário;

HSP → Horas de sol pico;

#### 4.2.5 Dimensionamento do inversor

Para dimensionar a potência do inversor ou potência total do sistema é necessário considerar a eficiência do sistema, por conta disso, foi adotado que a eficiência do sistema será de 80%. A partir disso, é possível determinar que a potência total do sistema será equivalente a potência do sistema dividida pela eficiência do mesmo como demonstrado na equação 4.5 a seguir.

$$PotTot = \frac{PotSis}{Ef} \quad (4.5)$$

Onde:

PotTot → Potência total do sistema;

PotSis → Potência do sistema;

Ef → Eficiência do sistema.

#### 4.2.6 Determinação da quantidade de placas

Nesse tópico determina-se a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para o sistema. A partir desse momento o dimensionamento do sistema irá apresentar resultados diferentes para cada uma das gerações analisadas. Isso ocorre por conta das características que cada geração possui e pela potência dos módulos. A equação (4.6) a seguir demonstra o processo de cálculo.

$$N_{placas} = \frac{Pot_{Tot}}{Pot_{Pla}} \quad (4.6)$$

Onde:

$N_{placas}$  → Número de placas necessárias;

$Pot_{Tot}$  → Potência total do sistema;

$Pot_{Pla}$  → Potência da placa analisada;

#### 4.2.7 Determinação da área necessária

A área em questão é obtida por meio da multiplicação entre a quantidade de placas necessárias e a área que cada uma delas ocupa. A equação 4.7 demonstra esse processo.

$$\text{Área} = N_{placas} * Ar_{placas} \quad (4.7)$$

Onde:

Área → Área necessária para instalação do sistema;

$N_{placas}$  → Número de placas necessárias;

$Ar_{placas}$  → Área ocupada por uma placa;

#### 4.2.8 Determinação do custo das placas

O custo final para a aquisição das placas é definido através da multiplicação entre a quantidade de placas e o custo unitário delas. A equação 4.8 é responsável por demonstrar esse cálculo.

$$Cust = Nplacas * CustUnit \quad (4.8)$$

Onde:

Cust → Custo necessário para aquisição das placas;

Nplacas → Número de placas necessárias;

CustUnit → Custo unitário de cada placa;

### 4.3 Método da Análise Comparativa

A análise comparativa foi realizada através de uma compilação dos dados obtidos tanto pela pesquisa bibliográfica, quanto por meio dos resultados obtidos através da pesquisa de campo. Cabe ressaltar que para realizar tal dimensionamento foi definido um modelo de placa para cada uma das gerações, além disso, as placas em questão receberam nomes fictícios.

O módulo da primeira geração foi nomeado como Módulo A, a segunda geração foi nomeado como Módulo B e o da terceira geração como Módulo C. As suas características serão baseadas em placas já existentes no mercado para tornar a análise mais próxima da realidade.

O processo de análise foi baseado na caracterização de cada geração. Após apontar a definição dessas características foi realizada uma análise, em que foi concluída qual a geração de células fotovoltaica é mais indicada para o caso abordado. Os aspectos que foram analisados nessa comparação foram basicamente o fator econômico, estético, adaptação a ambientes, impacto ambiental, eficiência, tendências evolutivas, facilidade de aquisição e aplicabilidade em condições extremas.

## 5 ANÁLISE COMPARATIVA

Para realização da análise das três gerações inicialmente foi definido o ambiente de pesquisa, na qual a cidade de Santa Inês – MA foi escolhida, onde foi analisada uma residência localizada de acordo com a planta de localização apresentada na figura 35.

**Figura 35 - Localização do lote**



**Fonte:** Elaborado pelo autor com base em dados da pesquisa.

A área do lote da residência em questão é de 800 m<sup>2</sup>, e possui aproximadamente 400m<sup>2</sup> de área construída. Nessa casa existem quatro suítes, um escritório, uma sala, uma sala de jantar, uma cozinha, uma área de serviço e área de lazer. As células fotovoltaicas devem ser instaladas no telhado da área de lazer, que possui cerca de 155 m<sup>2</sup> disponíveis para a sua implantação. A figura 36 apresenta a planta de cobertura da área em questão, onde em vermelho está demonstrada a área que foi utilizada para o estudo em questão.

**Figura 36 - Planta do telhado**



**Fonte:** Elaborado pelo autor com base em dados da pesquisa.

No quadro 5 apresenta-se a irradiação mensal do município de Santa Inês referente ao ano 2017, disponibilizada pelo Cresesb. A irradiação média, calculada a partir desses valores é de 5070 w/m<sup>2</sup>\*dia. Utilizando a equação 4.3 as horas de Sol piko dá região é equivalente a 5,07 horas.

$$HSP = \frac{IRP}{1000} = \frac{5070}{1000} = 5,07 \text{ horas} \quad (4.3)$$

**Quadro 4 - Irradiação solar diária média no município de Santa Inês – MA**

<b>Mês</b>	<b>Irrad. Med. (KWh/m<sup>2</sup> * dia)</b>
Janeiro	4,64
Fevereiro	4,87
Março	4,92
Abril	4,88
Mai	4,74
Junho	4,89
Julho	4,98
Agosto	5,51
Setembro	5,78
Outubro	5,49
Novembro	5,14
Dezembro	4,95
<b>Média (KWh/m<sup>2</sup> * dia):</b>	<b>5,07</b>

**Fonte:** Elaborado pelo autor com base em dados da pesquisa.

Os consumos mensais podem ser observados no quadro A1 (ANEXOS), com base nesse quadro foi possível obter o consumo médio mensal de 527,58 KW/h. Aplicando a equação 4.2, foi obtido que o consumo médio diário é igual a 17,59 KW/h.

$$MedD = \frac{MedM}{Dm} = \frac{527,58}{30} = 17,59 \text{ KW/h} \quad (4.2)$$

Em seguida, determina-se a potência do sistema pela equação 4.4:

$$PotSis = \frac{MedD}{HSP} = \frac{17,59}{5,07} = 3,47 \text{ KW/h} \quad (4.4)$$

E a potência total do sistema, 4,32 KW/h, foi obtida pela equação 4.5:

$$PotTot = \frac{PotSis}{Ef} = \frac{3,47}{0,8} = 4,32 \text{ KW/h} \quad (4.5)$$

Visando apresentar as características dos módulos fotovoltaicos comparados nessa pesquisa, foi definido as propriedades de cada módulo de acordo com o quadro 06 a seguir.

**Quadro 5 – Propriedades dos módulos fotovoltaicos**

<b>Propriedades dos Módulos Fotovoltaicos utilizados na Pesquisa</b>						
<b>Módulo</b>	<b>Comp. (m)</b>	<b>Larg. (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pot. (W)</b>	<b>Efic. (%)</b>	<b>Custo Méd. (R\$)</b>
Módulo A	1,65	0,99	1,63	275	16,7	R\$ 609,00
Módulo B	1,20	0,60	0,72	85	11,8	R\$ 380,00
Módulo C	1,00	1,00	1,00	50	8,0	R\$ 700,00

Fonte: Autor

Essas informações apresentam as características de cada uma das gerações, e vão permitir definir qual modelo é o mais indicado para as condições do local indicado.

## 5.1 Primeira Geração

No que diz respeito à análise da primeira geração, foi obtido os seguintes resultados:

Quanto à parte estética, seus módulos apresentam condições limitadas, não sendo esteticamente atrativos, pois sua coloração se restringe apenas a variações das cores azul e preta. Além disso, são estruturas normalmente rígidas, com formatos pré-definidos e com a necessidade da utilização de racks no processo de instalação.

Esse fato limita a sua interação com o ambiente que o cerca, ou seja, a adaptação desse tipo de placas aos mais variados ambientes é complexa, por necessitar de grandes áreas e por não ser esteticamente tão atrativa. Normalmente, são utilizadas nos telhados ou em áreas sem utilidade.

Em relação à residência analisada, esses módulos não apresentam problemas, já que a área destinada à implantação desse sistema é no telhado, com pouca importância estética.

Quanto ao fator ambiental, essa geração resulta em uma energia limpa. Contudo, para se obter o silício é necessário passar por um processo de desmonte de maciços, caso não seja bem planejado pode vir a gerar grandes impactos na região. Outro fator preocupante envolve o processo de mineração do silício, pois necessita de grandes quantidades de Água para realizar a limpeza da matéria-prima. No entanto, caso esse processo seja realizado de forma bem organizada, esses impactos podem ser reduzidos, tornando essa geração uma boa opção quanto à geração de energia limpa.

No que se refere a sua eficiência e suas tendências evolutivas, atualmente, esse tipo de célula é a que possui maior eficiência, tendo em vista que a maioria das placas disponível no mercado possuem uma eficiência entre 15 e 18%, contudo, a tendência dessa tecnologia é que se aproxime de algo em torno 23%.

Além disso, essa tecnologia está em um processo de estagnação, ou seja, a maioria das pesquisas são voltadas para a utilização de outros materiais, limitando bastante o seu processo de evolução.

Sobre a sua aplicabilidade em condições extremas, esse tipo de módulo solar não é indicado para condições extremas, sejam elas de altas ou baixas

temperaturas e baixa irradiação solar. No primeiro caso, em altas temperaturas, o módulo solar sofre desgastes e danos que afetam diretamente a sua eficiência. Um dos principais problemas gerados é o surgimento de trincas e de pontos quentes.

No caso de baixas temperaturas e baixa irradiação solar, tem-se novamente a queda da eficiência, pois reduz a capacidade de produção. Outro fator que também influencia nesse quesito é o sombreamento, uma vez que limita a geração das células, mesmo ocorrendo de forma parcial.

Quanto ao aspecto econômico, com base na potência total do sistema, potência da placa solar e a equação 4.6, foi possível identificar que para as condições analisadas serão necessários 16 módulos A.

$$N_{placas} = \frac{Pot_{Tot}}{Pot_{Pla}} = \frac{4320}{275} = 16 \text{ módulos} \quad (4.6)$$

Esses módulos ocupam uma área total de 26,08 m<sup>2</sup>, esse valor foi obtido com o auxílio da equação 4.7. Pode-se concluir que o espaço destinado para as placas será suficiente para suprir com a necessidade, tendo em vista que a área disponível é de 155 m<sup>2</sup>.

$$\text{Área} = N_{placas} * Ar_{placas} = 16 * 1,63 = 26,08 \text{ m}^2 \quad (4.7)$$

Determinado a quantidade de módulos necessários, conclui-se que o investimento com módulos da primeira geração será de aproximadamente R\$ 9.712,00. Como demonstrado pela equação 4.8.

$$Cust = N_{placas} * Cust_{Unit} = 16 * 607,00 = 9.712,00 \text{ reais} \quad (4.8)$$

No que se refere à acessibilidade desse tipo de módulo, nota-se que dentre todos os tipos eles são os mais acessíveis, haja vista que é a tecnologia mais consolidada no mercado.

## 5.2 Segunda Geração

No que se refere aos resultados obtidos nas células da segunda geração observa-se que quanto à parte estética, seus módulos apresentam condições atrativas por conta sua diversidade de cores e variação de formas, sua coloração varia, podendo ser preto, azul, verde e vermelho, de acordo com o material utilizado na placa. Além disso, são estruturas semirrígidas e seus formatos podem variar conforme a necessidade do local, sendo usadas em fachadas, telhados, lajes ou áreas improdutivas. Quando instaladas em telhados, lajes ou no chão é necessário que haja uma estrutura de suporte.

Em relação ao caso analisado, o mesmo não apresenta maiores problemas, já que no caso em questão a área destinada à implantação desse sistema é o telhado da residência.

Quanto ao fator ambiental, o processo de fabricação desses módulos envolve substâncias tóxicas ao meio ambiente, como por exemplo, o Cádmiio. É necessário que o processo de fabricação seja realizado de forma controlada para reduzir os impactos causados pelo mesmo.

É importante ressaltar que atualmente existem pesquisas que buscam substituir esses materiais tóxicos para que os possíveis danos ambientais possam ser reduzidos.

Sobre a eficiência, deve se destacar que atualmente essa geração possui uma baixa eficiência se comparada com a primeira geração. A maioria das placas disponíveis no mercado possuem uma eficiência entre 9 e 13%. A vantagem dessa geração e a possibilidade de produção em massa, fato que reduz os custos de produção da mesma.

Quanto a sua tendência evolutiva, essa tecnologia está em um processo de busca por materiais que possam substituir os materiais poluentes e/ou escassos. Outra vertente de desenvolvimento busca tornar essa tecnologia mais acessível, fazendo com que seu processo de fabricação se torne mais barato.

No que se diz a respeito da sua aplicabilidade em condições extremas, esse tipo de módulo solar é indicado para condições extremas, por sofrer menos com as altas ou baixas temperaturas. Esses módulos são mais resistentes mecanicamente que os da geração anterior.

Contudo, vale mencionar que em ambientes quentes e úmidos, esse tipo de módulo não é indicado, pois o mesmo sofre bastante com a degradação, reduzindo bastante a sua vida útil.

Quanto ao aspecto econômico, a partir da potência total do sistema, potência da placa solar e utilizando a equação 4.6, foi possível identificar que para as condições analisadas serão necessários 51 módulos B.

$$N_{placas} = \frac{Pot_{Tot}}{Pot_{Pla}} = \frac{4320}{85} = 51 \text{ módulos} \quad (4.6)$$

Esses módulos ocupam uma área total de 36,72 m<sup>2</sup>, esse valor foi obtido com o auxílio da equação 4.7. Pode-se concluir que o espaço destinado para as placas será suficiente para suprir com a necessidade, tendo em vista que a área disponível é de 155 m<sup>2</sup>.

$$\text{Área} = N_{placas} * A_{rplacas} = 51 * 0,72 = 36,72 \text{ m}^2 \quad (4.7)$$

Determinado a quantidade de módulos necessários, conclui-se que o investimento com módulos da primeira geração será de aproximadamente R\$ 19.388,00. Como demonstrado pela equação 4.8.

$$Cust = N_{placas} * Cust_{Unit} = 51 * 380,00 = 19.380,00 \text{ reais} \quad (4.8)$$

Quanto à acessibilidade desse tipo de módulo, esses são acessíveis, contudo, são encontrados em menor quantidade que a primeira geração de células fotovoltaicas.

### 5.3 Terceira Geração

Quanto aos resultados da terceira geração, identifica-se que no aspecto estético seus módulos apresentam condições atrativas por conta sua diversidade de cores e variação de formas, adaptando-se a qualquer necessidade. Podem ser usados em fachadas, objetos de ornamentação, telhados, lajes ou áreas

improdutivas. Quando instaladas em telhados, lajes ou no chão é necessário que haja uma estrutura de suporte.

Quanto ao fator ambiental, o material utilizado no processo de fabricação é totalmente limpo, podendo até mesmo ser usado alguns tipos de polímeros reciclados. É uma tecnologia que busca implantar uma visão totalmente ambiental ao mercado.

Quanto a sua eficiência atualmente essa geração possui uma baixa eficiência se comparada com a primeira geração. A maioria das placas disponíveis no mercado atualmente possuem uma eficiência entre 7 e 11%. Contudo, a sua vantagem está na possibilidade de produção em massa, que reduz os custos de produção da mesma. Além disso, é importante ressaltar que nessa geração são utilizados polímeros, o que facilita o acesso à matéria-prima.

Quanto à sua tendência evolutiva, atualmente essa tecnologia está em um processo de expansão, principalmente por ser uma tecnologia razoavelmente nova. Os principais objetivos são desenvolver essa tecnologia para aumentar a sua eficiência, além de barateá-la, para que possa ser mais acessível.

Sobre a aplicabilidade em condições extremas, esse tipo de módulo solar é indicado para condições extremas, pois não sofre tanto com a queda de eficiência por conta de mudanças na temperatura. Isso ocorre, pois, esses módulos além de mais resistentes mecanicamente, geram energia a partir da radiação solar recebida, não dependendo diretamente do ângulo de incidência que a mesma possui.

Devido possuir essas características, esta geração tem a melhor capacidade de adaptação a ambientes insalubres que as gerações citadas anteriormente.

Ao analisar o aspecto econômico, mediante a potência total do sistema e da potência da placa solar e utilizando a equação 4.6 nota-se que para as condições analisadas serão necessários 87 módulos C.

$$N_{placas} = \frac{Pot_{Tot}}{Pot_{Plā}} = \frac{4320}{50} = 87 \text{ módulos (4.6)}$$

Esses módulos ocupam uma área total de 87,00 m<sup>2</sup>, esse valor foi obtido com o auxílio da equação 4.7. Pode-se concluir que o espaço destinado para as

placas será suficiente para suprir com a necessidade, tendo em vista que a área disponível é de 155 m<sup>2</sup>.

$$\text{Área} = N_{\text{placas}} * A_{\text{rplacas}} = 87 * 1,00 = 87,00 \text{ m}^2 \quad (4.7)$$

Determinado a quantidade de módulos necessários, conclui-se que o investimento com módulos da primeira geração será de aproximadamente R\$ 60.900,00. Como demonstrado pela equação 4.8.

$$\text{Cust} = N_{\text{placas}} * \text{CustUnit} = 87 * 700,00 = 60.900,00 \text{ reais} \quad (4.8)$$

Quanto à acessibilidade a esse tipo de módulo, constitui-se em difícil acesso, pois ainda estão em processo de desenvolvimento. Contudo é interessante ressaltar que, no futuro estarão ocupando um espaço no mercado.

#### 5.4 Resultado

As gerações de células fotovoltaicas foram analisadas a partir dos aspectos: estética e adaptação, ambiental, eficiência e tendências evolutivas, aplicabilidade em condições extremas, econômico e acessibilidade comercial. De acordo com a perspectiva teórica apresentada no texto conclui-se que a primeira geração se sobressai quando o aspecto analisado é a eficiência das células e o fator econômico. A segunda geração consegue se diferenciar das outras quando analisado o quesito adaptação ao ambiente. Já a terceira geração mostrou melhor quanto ao fator ambiental e aplicabilidade em ambientes com condições extremas.

No que diz respeito às condições específicas como as apresentadas para o caso de uma residência em Santa Inês – MA, a primeira geração de células fotovoltaicas é a mais atrativa, principalmente considerando o seu custo de implantação, pois representa um valor bem abaixo do obtido para as outras gerações. Além disso, os fatores que as outras gerações se sobressaem em relação à primeira, não são relevantes para o caso analisado.

Contudo, é necessário ressaltar que a terceira geração é uma tecnologia em desenvolvimento, que possui potencial para se igualar e superar as outras

gerações. Principalmente no fator econômico, pois a mesma utiliza como matéria-prima polímeros com capacidade fotovoltaica, que são bem mais acessíveis que a matéria-prima das outras gerações. O quadro 6 apresenta o resumo das informações mencionadas anteriormente.

**Quadro 6 - Resumo dos resultados**

<b>Aspectos</b>	<b>1ª Geração</b>	<b>2ª Geração</b>	<b>3ª Geração</b>
<b>Estética</b>	Pequena Variação - Coloração e formatos pré-definidos	Média Variação - Coloração varia de acordo com o material escolhido, formatos diversos	Alta Variação - Coloração variável, formatos diversos
<b>Adaptação a ambientes</b>	Estruturas Rígidas - Limita-se a grandes espaços, como telhados e lajes expostas	Estrutura Semirrígida - Pode ser utilizado em fachadas, telhados e lajes	Estrutura Flexível - Adapta-se a qualquer necessidade, desde objetos de ornamento à telhados e lajes
<b>Análise Ambiental</b>	Pequenos Impactos no meio ambiente, é necessário que o processo de fabricação seja controlado	Grandes Impactos ao ambiente - Utiliza compostos que são tóxicos em seu processo de fabricação	Impactos ambientais reduzidos - No processo de fabricação não é utilizado materiais tóxicos
<b>Eficiência</b>	15 - 18 %	9 - 13 %	7 - 11 %
<b>Condições Extremas</b>	Não se adapta a condições extremas, existe uma queda considerável na eficiência	Adapta-se parcialmente as condições adversas, como temperaturas extremas	Adapta-se perfeitamente as condições adversas, tanto de temperatura como de incidência solar
<b>Acessibilidade</b>	Fácil acesso - Encontrado facilmente nos locais de revenda	Médio acesso - Encontrado em alguns pontos de revenda	Baixo acesso - Tecnologia em processo de desenvolvimento, não é encontrado no comercio em geral
<b>Quantidade de placas para a situação simulada</b>	16 módulos	51 módulos	87 módulos
<b>Área de Ocupação correspondente</b>	26,08 m <sup>2</sup>	36,72 m <sup>2</sup>	87 m <sup>2</sup>
<b>Custo das Placas</b>	R\$ 9.712,00	R\$ 19.380,00	R\$ 60.900,00

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da pesquisa.

Para o caso da residência analisada será implantada a primeira geração. Isso acontece por conta principalmente do aspecto financeiro, já que, para o caso analisado a influência dos outros aspectos é mínima. Cabe ressaltar que tanto as condições climáticas, como as de adaptação ao ambiente também favorecem a escolha por essa geração.

## 6 CONCLUSÃO

No decorrer desta pesquisa, foi possível evidenciar a importância dos processos de geração de energia, para a sociedade. Nesse sentido, apresentar opções viáveis e que geram menores impactos ao ambiente são fundamentais para o desenvolvimento da mesma. Complementar a isso, conclui-se que a geração da energia solar fotovoltaica é uma opção viável a ser aprimorada.

O desenvolvimento das mais diversas formas de captar e aproveitar a energia solar foram responsáveis pelo processo de popularização. Desse modo, identificar cada uma das gerações de células fotovoltaicas e quais condições as mesmas são melhor aproveitadas é essencial para a elaboração de projetos mais efetivos e com maior rentabilidade.

Dentre as três gerações de células fotovoltaicas, a primeira ainda se sobressai por conta do seu valor comercial baixo e da sua acessibilidade. Contudo, é necessário ressaltar que as outras tecnologias ainda estão em evolução e possivelmente no futuro ambas conseguirão se equiparar a essa geração. Os custos de produção da terceira geração, tendem a ser reduzidos, e a sua eficiência tende a ser melhorada, com o intuito de futuramente ser considerada utensílio essencial nos projetos de casas populares.

Dessa forma, a tecnologia solar, tenderá a tornasse mais acessível à população, pois serão barateados os custos de todo o seu processo. Além disso, é importante ressaltar que a geração fotovoltaica possibilita benefícios nas áreas ambiental e social, reduzindo, por exemplo, a quantidade de gás carbônico ( $CO_2$ ) emitido, o que repercute em melhoria para a sociedade como um todo.

De acordo com os dados da pesquisa, atualmente é mais viável utilizar a primeira geração de células fotovoltaicas, contudo, observa-se que as outras gerações estão se desenvolvendo e que a tendência é que consigam se equiparar a ela.

Para análises futuras, destaca-se a necessidade de mais pesquisas referentes ao processo de desenvolvimento das células orgânicas, na tentativa de ampliar os conhecimentos sobre o mesmo e de ressaltar que esta geração será a principal fonte geradora de energia fotovoltaica.

Além disso, torna-se pertinente a realização de pesquisas sobre micro e mini geração de modo a apontar a opção mais viável para a instalação desse sistema em empresas de pequeno e médio porte. Essas perspectivas de pesquisas são relevantes visto que repercutem no desenvolvimento tecnológico, logo no desenvolvimento social do Brasil.

## REFERÊNCIAS

- ABINEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.** 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH N. B. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos.** – 1º ed. – Rio de Janeiro – LTC, 2016.
- BENANTI, T. L.; VENKATARAMAN, D. **Organic solar cells:** Na overview focusing on active layer morphology. *Photosynthesis Research*, v.87, p.73-81, 2006.
- CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.
- FONTES, Ruy. **Painel Solar Fotovoltaico:** Sua criação e história. 2017. Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/painel-solar-sua-criação-e-historia/>>. Acesso em: 04 mar. 2018.
- GOETZBERGER, A.; LUTHER, J.; WILLEKE, G. **Solar cells:** past, present, future. *Solar energy materials & Solar Cells*, v.74, p. 1-11, 2002.
- GUIMARÃES, Gabriel. **Usinas Solares:** Conheça as 7 maiores do Mundo. 2017. Disponível em: <<http://www.solarvoltenergia.com.br/maiores-usinas-solares-do-mundo/>>. Acesso em: 04 mar. 2018.
- IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.** Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f.
- INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA. **Breve Historia da Energia Solar.** Disponível em: <<http://web.ist.utl.pt/solar2.html>>. Acesso em: 05 mar. 2018
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Snapshot of global photovoltaic markets.** Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2016.
- MATTEI, T. A.; REHMAN, A. A. **Technological Developments and Future Perspectives on Graphene-Based Metamaterials:** A Primer for Neurosurgeons. *Congress of Neurological Surgeons*, v.74 n.5, p.499-516, 2014.
- MEYER, R.; NETO, S. de M. **História da energia solar:** como tudo começou. 2017. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-da-energia-solar-como-tudo-comecou.html>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim mensal de monitoramento do setor elétrico – dezembro de 2016**. Brasília: MME, 2017.

NASCIMENTO, C. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

NASCIMENTO, Rodrigo L. **Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas**. Brasília-DF – Consultoria Legislativa – 2016, 46p.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. D.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, Brasil: INPE, 2006.

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

PINHO, J.; BARBOSA, C. F. O.; PEREIRA, E. J.S.; SOUZA, H. M. S.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A.B.; MACÊDO, W. N. **Sistemas híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia**. 1. Ed. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2008.

\_\_\_\_\_; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PORTAL-ENERGIA. Energia Renováveis. **Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, projeto e instalações**. [S.l.: s.n.], 2014. 368 p.

QUANTUM ENGENHARIA. **A história da produção de energia**. 2016. Disponível em: <<http://quantumengenharia.net.br/historia-da-produção-de-energia-sustentabilidade/>> Acesso em: 04 mar. 2018.

SEVERINO, M.; OLIVEIRA, M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. **Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados**, Palmas, p. 265-322, 2010.

TRENBERTH, K. E.; FASULLO, J. T., KIEHL, J. **Earth's global energy budget. Bulletin of the American Meteorological Society**. 2009. Disponível em:<[http://www.cgd.ucar.edu/cas/Trenberth/trenberth.papers/TFK\\_bams09.pdf](http://www.cgd.ucar.edu/cas/Trenberth/trenberth.papers/TFK_bams09.pdf)>. Acesso em: 06 mar. 2018.

**ANEXOS**

### APÊNDICE A – Consumo mensal de energia

<b>Consumo Anual de Energia</b>		
<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo(KW/h)</b>	<b>Valor (R\$)</b>
mai/17	575	R\$ 463,99
jun/17	640	R\$ 515,78
jul/17	550	R\$ 466,00
ago/17	381	R\$ 292,47
set/17	516	R\$ 476,46
out/17	593	R\$ 550,57
nov/17	586	R\$ 576,14
dez/17	620	R\$ 579,22
jan/18	350	R\$ 284,69
fev/18	499	R\$ 381,89
mar/18	531	R\$ 455,40
abr/18	490	R\$ 385,86

<b>Med. de Cons. Mensal (KW/h):</b>	527,58
<b>Med. de Cons. Diário (KW/h):</b>	17,59