



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

KAMILA DEYS RODRIGUES LACERDA

**PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA**

CAMPINA GRANDE – PB

2014

KAMILA DEYS RODRIGUES LACERDA

**PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof^o Dr. Carlos Antonio Pereira de Lima

CAMPINA GRANDE – PB

2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

L131p Lacerda, Kamila Deys Rodrigues.
Parâmetros que influenciam na geração de energia solar fotovoltaica [manuscrito] / Kamila Deys Rodrigues Lacerda. - 2014.
44 p. : il. color.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.
"Orientação: Prof. Dr. Carlos Antônio Pereira de Lima, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Radiação. 2. Energia solar. 3. Efeito Fotovoltaico. I.
Título.

21. ed. CDD 621.47

KAMILA DEYS RODRIGUES LACERDA

**PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA GERAÇÃO DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Aprovado em: 02/12/2014

BANCA EXAMINADORA



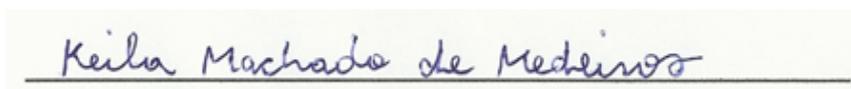
Prof. Dr. Carlos Antonio Pereira de Lima

(Orientador – DESA/ UEPB)



Prof.ª Dr.ª. Geralda Gilvania Cavalcante de Lima

(Examinadora – DESA/ UEPB)



Prof.ª Dr.ª. Keila Machado de Medeiros

(Examinadora – DESA/ UEPB)

CAMPINA GRANDE – PB

2014

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria e João. Pela coragem, confiança, segurança, ensinamentos, vontade e força, que me ajudaram a ser quem eu sou e estar onde estou.

As minhas irmãs, Brigda e Daliane. Pelo companheirismo, amizade, risos, estresses e a certeza de que temos uma as outras.

As minhas primas, Vanessa, Vivia e Viviane, minha tia, Joana, minhas avós, Terezinha e Salviana. Pelos conselhos, conversas e apoios.

Aos meus avôs, Francisco e José. Por terem sido exemplo de humildade, paciência e caráter.

Aos meus irmãos, Whelton e Rodrigo. Por tornarem meus dias melhores, pela paciência, companheirismo, por serem exemplo de vontade, humildade e força, por sempre poder contar com eles e por ter a certeza de uma amizade duradoura e forte, amo vocês.

Por meus amigos e amigas, Leila, Bruno, Guri, Joana, Fabi, Thiago, Vivian, Valéria e Isadora. Por terem alegrado meus dias.

Aos meus colegas de curso, Daywison, Henrique, Salomão, Matheus, Lyanne, Tardelli e Paulo. Pelos risos compartilhados.

Aos meus professores, em especial a Carlos. Por serem exemplo de responsabilidade e amor ao trabalho.

Obrigada!!

RESUMO

A utilização de fontes de energia alternativas vem crescendo nos últimos anos, tanto pela questão econômica, como pela necessidade da utilização de recursos naturais que diminuam os impactos negativos no meio ambiente. A energia solar fotovoltaica é um exemplo desse crescimento. Após a crise de petróleo deflagrada na década de 70, aumentou o número de estudos e pesquisas por materiais mais eficientes e com maior qualidade tem animado cada vez mais o mercado consumidor. Este trabalho tem como objetivo analisar os parâmetros que influenciam na geração de energia (radiação e temperatura) através de um sistema fotovoltaico isolado instalado nas dependências do Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) localizados no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Com os valores médios mensais de irradiância solar e temperatura e o embasamento bibliográfico necessário, foi possível a análise das mudanças de corrente e tensão do sistema. As variações de radiação e temperatura influenciam diretamente no comportamento da célula e conseqüentemente do sistema; com o aumento da radiação há um aumento linear da corrente gerada e diminuição não significativa da tensão, porém com o aumento da temperatura, a quantidade de tensão decresce e o aumento de corrente é não é significativo.

PALAVRAS-CHAVE: Radiação, temperatura, energia fotovoltaica.

ABSTRACT

The use of alternative sources of energy is rising in the last years, because of the economic costs and the need of using natural resources that reduce the negative impacts to the environment. The Photovoltaics is an example of this rising. After the petroleum crisis during the 70's, increased the number of studies and researches for more efficient and better quality materials, encouraging the consumers to adopt it. This paper aims to analyze the parameters (radiation and temperature) that have influence over the power generation, using a photovoltaic system installed in the facilities of LAPECA (Laboratory of Research in Environmental Sciences), DESA (Department of Sanitary and Environmental Engineering), located at the CCT (Centre of Science and Technology) of UEPB (State University of Paraíba. Based on the average monthly values of solar irradiation and temperature, it was possible to analyze the current and voltage changes. The radiation and temperature variation had direct influence over the solar cell behavior and, therefore, over the system; increasing the radiation takes to a linear growth in the generated current and a not relevant voltage decrease, however, increasing the temperature the voltage decreases and the current increases not significantly.

KEYWORDS: Radiation, Temperature, Photovoltaics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fração da energia solar que incide na superfície terrestre.....	15
Figura 2 – Distribuição da produção mundial de células fotovoltaicas em 2012.....	17
Figura 3 – Estrutura de uma célula solar fotovoltaica.....	21
Figura 4 – Princípio de funcionamento das células solares.....	22
Figura 5 – Configuração básica do SFV isolado.....	23
Figura 6 – Configuração básica do SFV híbrido.....	24
Figura 7 – Configuração básica do SFV conectado à rede.....	25
Figura 8 – Vista da célula, módulo e painel fotovoltaico.....	26
Figura 9 – Conexão de células em paralelo.....	27
Figura 10 – Conexão de células em série.....	27
Figura 11 – Custo inicial do SFV.....	29
Figura 12 – Custo total do SFV (considerando a vida útil).....	29
Figura 13 – Controlador em série.....	31
Figura 14 – Controlador em paralelo.....	31
Figura 15 – Curva I-V de uma célula solar fotovoltaica.....	32
Figura 16 – Efeitos da variação da irradiância solar na curva I-V de um painel fotovoltaico de silício cristalino.....	33
Figura 17 – Efeito causado pela variação de temperatura das células sobre a curva característica I-V, sob irradiância de 1000 W/m ²	34
Figura 18 – Sistema isolado de energia solar fotovoltaica.....	37
Figura 19 – Relação entre a corrente tensão e irradiância.....	38

Figura 20 – Relação entre corrente, tensão e temperatura.....39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABENS	Associação Brasileira de Energia Solar
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CB-SOLAR	Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica
CC	Corrente Contínua
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
CEPEL	Centro de Pesquisa em Energia Elétrica
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LAPECA	Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais
LpT	Programa Luz para Todos
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
SFV	Sistema Fotovoltaico
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
3.1 ENERGIA SOLAR	13
3.2 RADIAÇÃO SOLAR.....	14
3.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	15
3.2.1 <i>Breve Histórico</i>	16
3.2.2 <i>Conversão Fotovoltaica</i>	19
3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	22
3.3.2 <i>Sistema Fotovoltaico Isolado</i>	22
3.3.3 <i>Sistema Fotovoltaico Híbrido</i>	23
3.3.4 <i>Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede</i>	24
3.3.1 <i>Componentes Básicos do Sistema</i>	26
3.3.1.1 <i>Módulos Fotovoltaicos</i>	26
3.3.1.2 <i>Bateria</i>	28
3.3.1.3 <i>Controlador de Carga</i>	30
3.3.1.4 <i>Inversor de Corrente</i>	32
3.4 CURVA CARACTERÍSTICA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	33
3.4.1 <i>Influência da Radiação Solar</i>	33
3.4.2 <i>Influência da Temperatura</i>	34
4. METODOLOGIA.....	35
4.1 EQUIPAMENTOS E SUAS CARACTERÍSTICAS	36
4.2 MONTAGEM DO SISTEMA.....	37
4.3 OBTENÇÃO DOS DADOS	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
7. REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

Não há dúvidas que a atual dependência do petróleo e outras fontes de energias não renováveis é um dos principais problemas da sociedade atual. Além de ser uma fonte de energia que prejudica a saúde do ser humano e polui o meio ambiente, as energias não renováveis são limitadas e seu preço só tende a subir com o decorrer do tempo.

Nesse contexto, deve-se pensar em fontes alternativas para geração de energia que possibilitem a menor dependência das energias ditas como não limpas. Nosso país tem o privilégio de ser abundante e ter o potencial necessário para a utilização desse tipo de energia.

Esse aumento nos preços do petróleo e de outras fontes, já citados anteriormente, poderia ser investido em outras áreas para estudos, pesquisa e melhoramento de eficiência.

A energia solar fotovoltaica é uma opção de fonte alternativa com grande potencial no nosso país, é uma energia renovável, limpa economicamente competitiva, a tecnologia existente já é suficientemente madura e não exige grandes manutenções.

Através do efeito fotovoltaico as células do sistema convertem diretamente radiação solar em energia elétrica. Considerando que o sol estará emitindo radiação por, aproximadamente, mais 5 bilhões de anos e que a qualidade dessa radiação não terá mudanças bruscas, vê-se que o aprofundamento do estudo sobre a energia solar fotovoltaica seria uma ótima alternativa para as mudanças que necessitamos (CEPEL-CRESESB, 2014).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar parâmetros que influenciam na geração de energia solar fotovoltaica, através de um sistema isolado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir um sistema fotovoltaico isolado;
- Descrever os componentes presentes no sistema fotovoltaico;
- Levantamento dos parâmetros que influenciam no desempenho dos módulos fotovoltaicos;
- Verificar por meio dos levantamentos efetuados a influência de tais parâmetros (radiação, temperatura) na geração de energia.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ENERGIA SOLAR

Segundo Tundisi (1991) energia solar é aquela irradiada pelo sol sobre a terra. Existem diversas possibilidades de aproveitamento da luz solar, seja de forma direta, seja de forma indireta.

A energia proveniente do sol chega à terra de forma difusa, mas em grande quantidade. A “constante solar”, que é medida num plano perpendicular à direção da propagação dos raios solares no topo da atmosfera, é de 1.367 W/m² (irradiância solar), considerando que o raio terrestre é de 6.371 km, conclui-se que a potência disponibilizada, no topo da atmosfera, é de aproximadamente 174 mil TW (terawatts) (CEPEL-CRESESB, 2014).

A potência de energia direta que irradia do sol é menor do que a energia que atinge o solo, isso ocorre devido a absorção pela atmosfera, que pode variar com a altura do sol sobre o horizonte, com as condições atmosféricas e a latitude sobre o nível do mar (COMETTA, 1978).

Mesmo perdendo parte da energia para a atmosfera, a quantidade que incide no nosso solo é suficiente para suprir nossas demandas. Com isso, a energia solar pode ser utilizada para diversos fins, como o aquecimento de água e ambientes, e a geração de potência mecânica e elétrica.

Conforme dados da ANEEL (2014), entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido as características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

A crescente busca por esse tipo de energia iniciou-se após a crise do petróleo em 1973. A energia solar era utilizada basicamente para fins científicos, como o uso de painéis solares em estações espaciais e satélites, por exemplo. Esse tipo de energia tem vantagens especiais com relação aos

impactos gerados para o meio ambiente, porém os custos iniciais para os equipamentos são relativamente altos, mesmo havendo diminuição ao longo das últimas décadas.

3.2 RADIAÇÃO SOLAR

A luz é formada por um conjunto de radiações eletromagnéticas de frequência muito alta que estão agrupadas dentro de um intervalo ao qual chamamos de espectro luminoso. A radiação solar refere-se a radiação eletromagnética emitida pelo sol. Logo, o sol transfere energia para a terra através da luz. (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011).

Essa radiação se propaga a uma velocidade de 300.000 km/s, com um comprimento de onda na faixa espectral de 0,1 μ m a 5 μ m e densidade espectral de 0,5 μ m (CEPEL-CRESESB, 2004).

Segundo Pereira e Oliveira (2011), de toda energia emitida pelo sol (3,9 x 10²⁶ J/s) apenas 1,8 x 10¹⁷ J/s chega ao nosso planeta, isso ocorre devido a grande distância entre o sol e a terra (cerca de 150.000.000 km).

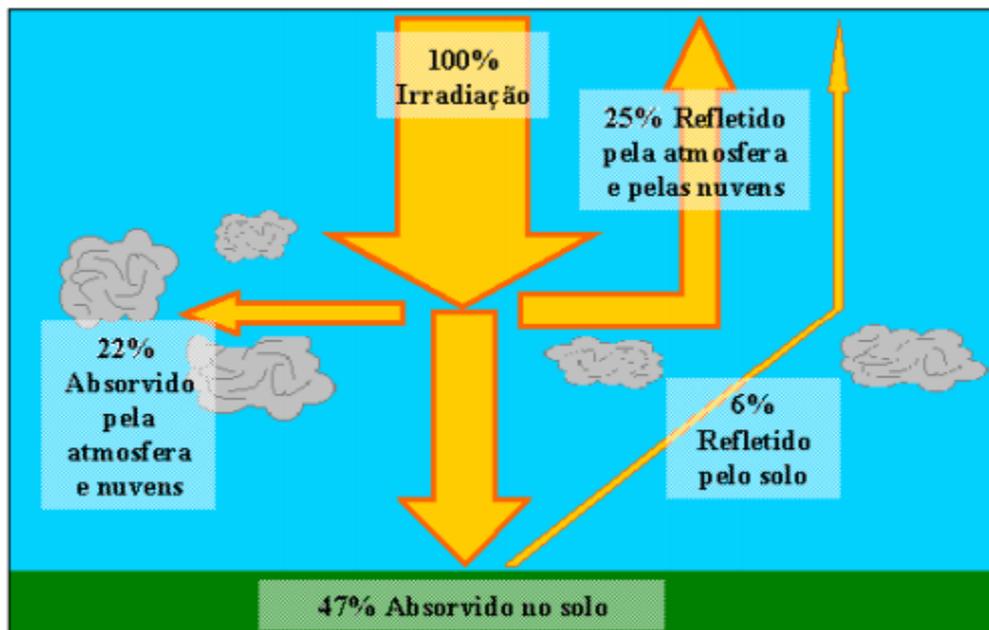
O espectro solar na superfície da terra é diferente do espectro fora da atmosfera, pois ao chegar à superfície a luz sofre os efeitos da absorção, reflexão e espalhamento de energia que a atmosfera terrestre exerce sobre a radiação solar (TEIXEIRA, 2008).

Esses efeitos são causados por fatores, segundo Pereira e Oliveira (2011), pelo vapor de água, ar; partículas em suspensão, sujeidade, entre outros.

Após chegar a superfície terrestre ou incidente sobre uma superfície para geração de energia, a radiação solar é constituída por uma componente direta e uma componente difusa. A direta provem diretamente do sol e produz sombras nítidas, a difusa é proveniente de todas as direções e atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre. Mesmo em dias completamente sem nuvens, pelo menos 20% da energia é difusa e caso o céu esteja completamente nublado, 100% da radiação é difusa. (CEPEL-

CRESESB, 2014). A Figura 1 ilustra o comportamento da radiação solar ao atingir a atmosfera terrestre.

Figura 1 – Fração da energia solar que incide na superfície terrestre.



Fonte: ROSA, 2003.

Existe uma terceira componente refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos, etc.). Essa reflexão é denominada de albedo (CEPEL-CRESESB, 2014). É calculado como a razão entre a quantidade de radiação refletida e quantidade de radiação recebida, sua variação dependerá do tipo de material existente na superfície e da inclinação do raios solares (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011).

Chama-se radiação total a soma dos três tipos de radiação:

A radiação solar é um termo que pode ser referenciado em fluxo de potência, denominada irradiância solar, ou em termos de energia por unidade de área, denominada irradiação solar.

3.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Segundo CEPEL-CRESESB (2004) a Energia Solar Fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito

Fotovoltaico). É o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz.

3.2.1 Breve Histórico

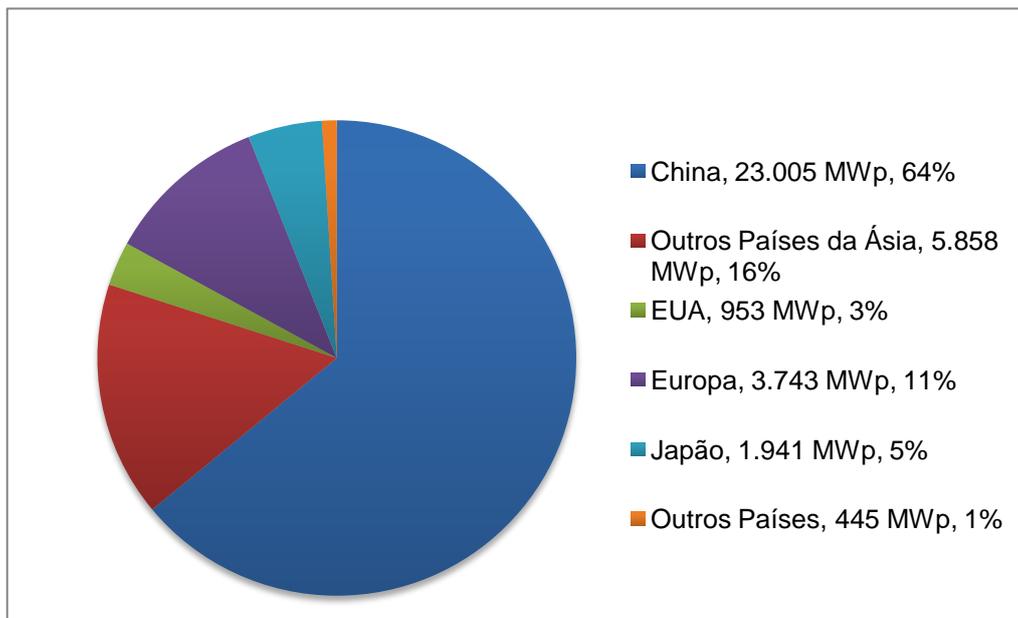
Em 1839, Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico. O primeiro aparato fotovoltaico foi concebido em 1876, mas a produção industrial foi iniciada apenas em 1956. No início, o desenvolvimento era no setor de telecomunicações, instalados em localidades remotas, depois veio a busca para impulsionar a chamada “corrida espacial” (CEPEL-CRESESB, 2014).

A crise do petróleo, posteriormente, aumentou o interesse das aplicações desse tipo de fonte de energia. O grande problema era seu custo, teve-se que reduzir em até 100 vezes com relação as células que eram utilizadas no espaço, só assim foi possível torná-las economicamente viáveis.

Os Estados Unidos foram pioneiros e líderes da produção na década de 90. Após o Protocolo de Kyoto e com o compromisso de reduzir as emissões de dióxido de carbono, outros países começaram a se destacar como é o caso do Japão e Alemanha.

No ano de 2012 a Ásia liderava o mercado com 85% da produção mundial, com destaque para a China, que nesse mesmo ano, foi responsável pela produção de 64% dos módulos fotovoltaicos produzidos no mundo. Na Figura 2 é possível visualizar a distribuição da produção de células fotovoltaicas no ano de 2012. Deve-se levar em consideração que devido a políticas favoráveis, preços baixos de módulos fotovoltaicos e programas de eletrificação rural de larga escala, fizeram com que vários países europeus e norte-americanos deslocassem suas fábricas para a Ásia (CEPEL-CRESESB, 2014).

Figura 2 – Distribuição da produção mundial de células fotovoltaicas em 2012.



Fonte: CEPAL-CRESESB, 2014.

O Brasil apresenta um enorme potencial para energia solar fotovoltaica com relação aos países europeus. Porém, o mesmo não pode ser dito ao compararmos nossa crescimento e incentivos fiscais para com os sistemas fotovoltaicos. O Quadro 1 apresenta os principais acontecimentos ocorridos no Brasil para o desenvolvimento desse tipo de energia.

Quadro 1 – Breve histórico da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.

Período	Acontecimentos Relevantes
Década de 50	Desenvolvimento dos primeiros módulos fotovoltaicos. Realizado o Primeiro Simpósio Brasileiro de Energia Solar.
Década de 70	Duas fábricas foram implantadas no Brasil no final desta década. Criação da Associação Brasileira de Energia Solar (ABENS).
Década de 80	Vários grupos direcionaram suas áreas de pesquisa para outras fontes de energia. As fábricas diminuíram sua produção ou fecharam.
Década de 90	O governo cria o Prodeem (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios).
Ano de 2002	Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) inicia estudos para regulamentação das especificações técnicas.
Ano de 2003	O Governo Federal institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso de Energia Elétrica - Programa Luz para Todos (LpT).
Ano de 2004	Criação do Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar), em Porto Alegre, RS.
Ano de 2009	Lei nº 12.111 que dispõe sobre os serviços de energia elétrica nos Sistemas Isolados.

Ano de 2012	Resolução Normativa nº 482/2012 para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição, associados a unidades consumidoras.
Ano de 2013	Primeiro Leilão de Energia (A-3). Destinados a compra de energia de geração eólica, solar e termelétrica a biogás ou gás natural em ciclo combinado.

Fonte: Adaptado de CEPEL-CRESESB, 2014.

3.2.2 Conversão Fotovoltaica

Segundo Zilles et al. (2012) o efeito fotovoltaico ocorre em certos materiais semicondutores com capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade.

As células fotovoltaicas são fabricadas com um material semicondutor, ou seja, material com características entre condutor e isolante (NASCIMENTO, 2004). Existem, hoje, muitos materiais semicondutores apropriados para a conversão fotovoltaica, o silício cristalino e o silício amorfo hidrogenado são os mais comumente usados, mas outros materiais como arseneto de gálio e filmes finos de CdS-Cu₂S, e CdS-InP estão sendo pesquisados (BRAGA, 2008).

A Tabela 1 apresenta alguns dos materiais responsáveis pela conversão fotovoltaica e suas respectivas eficiências.

Tabela 1 – Lista de alguns materiais semicondutores e suas respectivas eficiências.

Material	Eficiência
Silício Monocristalino	15% a 18%
Silício Policristalino	13% a 16%
Silício Amorfo	5% a 8%
Disseleneto de Cobre Índio	7,5% a 9,5%
Telureto de Cádmio	6% a 9%

Fonte: CEPEL-CRESESB, 2014.

Os materiais utilizados para fabricar dispositivos de conversão fotovoltaica são escolhidos levando em conta suas características de absorção com o espectro solar, além do custo de fabricação e os impactos ambientais causados na disposição do material (ZILES et al., 2012).

Os semicondutores se caracterizam pela presença de faixas de energia onde é permitida a presença de elétrons (faixa de valência) e de outra totalmente “vazia” (faixa de condução). Entre essas duas faixas encontra-se a faixa proibida ou hiato energético, é a largura dessa faixa que determina se o material é um semicondutor ou não (BRAGA, 2008).

A energia necessária para fazer os elétrons mudarem de banda é chamada energia de gap (E_G), que é usualmente dada em elétron-volt (eV) e depende do tipo de material utilizado (ZILES et al., 2012).

De acordo com CRESEB CEPEL (2004):

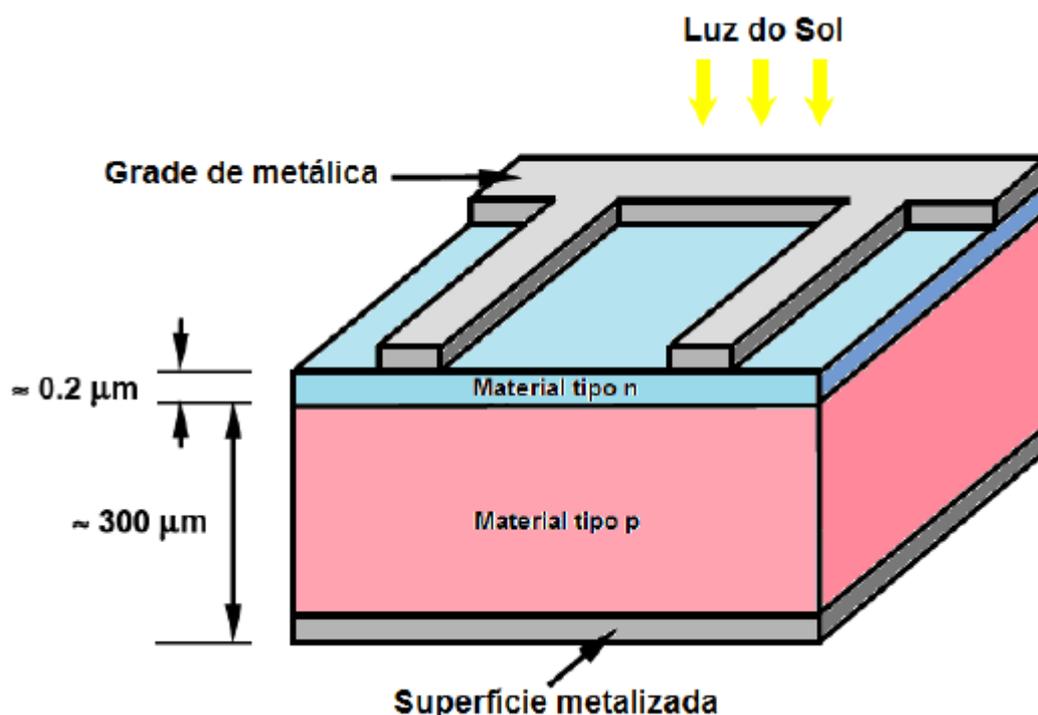
A separação entre as duas bandas de energia permitida dos semicondutores (“gap” de energia) é da ordem de 1eV, o que diferencia dos isolantes onde o gap é de vários eVs. Isso faz com que os semicondutores apresentem várias características interessantes. Uma delas é o aumento de sua condutividade com a temperatura, devido à excitação térmica de portadores da banda de valência para a banda de condução. Uma propriedade fundamental para as células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons, na faixa do visível, com energia superior ao gap do material, excitarem elétrons à banda de condução. Este efeito que pode ser observado em semicondutores puros não garante por si só o funcionamento de células fotovoltaicas. Para obtê-las é necessário

uma estrutura apropriada para que os elétrons possam ser coletados, gerando uma corrente útil.

Segundo Santos (2014) o silício é o material mais utilizado na fabricação das células fotovoltaicas, e não apresenta uma condutividade elétrica muito elevada, então é usado o processo de dopagem para aumentar a condutividade do material.

A dopagem consiste na introdução de elementos estranhos com o objetivo de alterar as propriedades elétricas do semiconductor e assim criar duas camadas na célula: a camada tipo P e a camada tipo N (FREITAS, 2008). A Figura 3 apresenta a estrutura de uma célula solar fotovoltaica.

Figura 3 – Estrutura de uma célula solar fotovoltaica.



Fonte: TEIXEIRA, 2008.

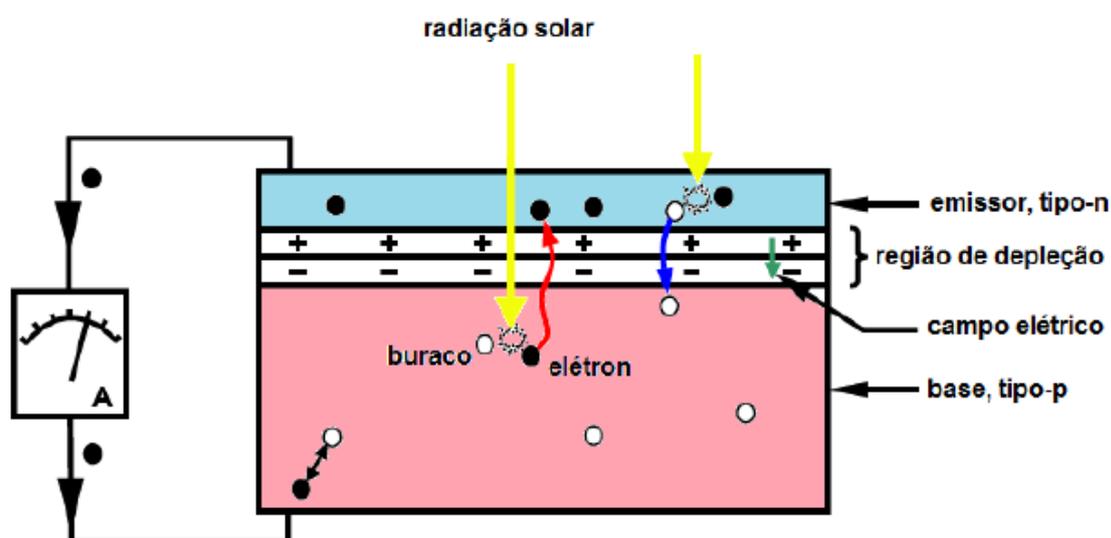
Sobre o processo de dopagem no silício, Braga (2008) diz que:

Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Se adicionarmos, a esta rede, átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, haverá um elétron em excesso, fracamente ligado ao átomo. Logo, com pouca energia, pode-se deslocá-lo para a faixa de condução. Diz-se que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante N ou impureza N. Se, por outro lado, forem introduzidos átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício na rede. Esta falta de elétron é denominada buraco ou lacuna e ocorre

que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Diz-se, portanto, que o boro é um dopante receptor (aceitador) de elétrons e denomina-se dopante P ou impureza P.

As células solares são formadas por uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P. Sozinhas, essas camadas são eletricamente neutras, porém quando entram em contato geram um campo elétrico devido os elétrons do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura silício tipo P (SOLARTERRA, 2014). A Figura 4 ilustra o princípio de funcionamento das células solares.

Figura 4 – Princípio de funcionamento das células solares.



Fonte: TEIXEIRA, 2008.

3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

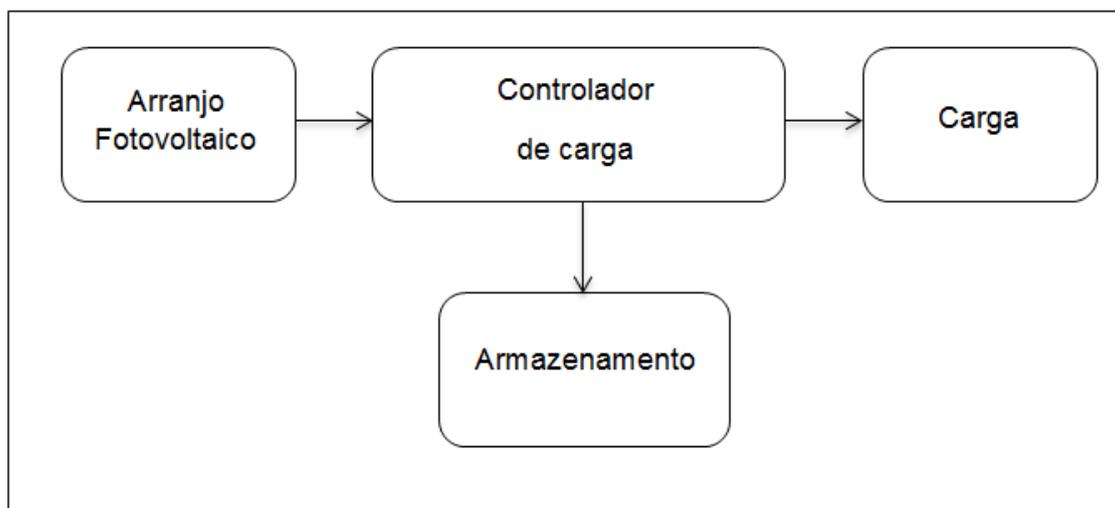
Os sistemas fotovoltaicos (SFV) podem ser classificados em três categorias principais: isolados, híbridos ou conectados à rede. A utilização de cada uma dessas opções dependerá da aplicação e/ou disponibilidade de recursos energéticos (CEPEL-CRESESB, 2004).

3.3.2 Sistema Fotovoltaico Isolado

Também chamados de sistemas autônomos, os SFV isolados são concebidos para alimentar um conjunto de cargas sem a presença da rede

elétrica (FREITAS, 2008). Na Figura 5 são apresentados os principais componentes do SFV isolado.

Figura 5 – Configuração básica do SFV isolado.



Fonte: CEPEL-CRESESB, 2004.

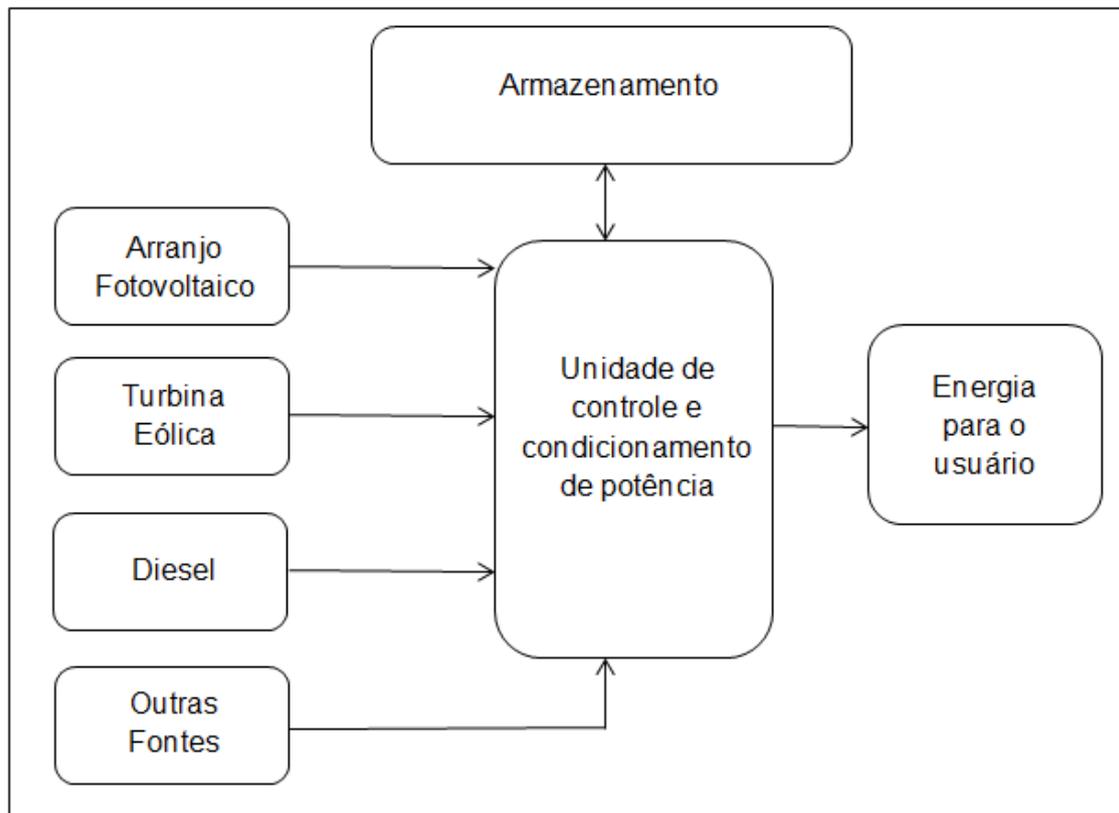
Estes sistemas costumam ser instalados em áreas de difícil acesso a rede elétrica, normalmente zonas rurais, neste caso a energia fotovoltaica é a única fonte de eletricidade por isso é necessário o uso de equipamentos para armazenamento. Podem ser de geração apenas para uma residência ou pode ser instalado em mini-redes para atender comunidades pequenas (AMERICA DO SOL, 2014).

Os sistemas isolados também podem ser sem armazenamento de energia, nesse caso, os receptores consomem de imediato a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos. É muito usual em bombeamento de água. Tem a vantagem de serem mais baratos, pois não são providos de unidades de armazenamento de energia (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011).

3.3.3 Sistema Fotovoltaico Híbrido

Consiste na combinação de um SFV com outras fontes de energia que assegurem a carga das baterias na ausência de sol. As fontes de energia auxiliares podem ser geradores eólicos, diesel, gás, gasolina e outros combustíveis (CUNHA, 2006). Na Figura 6 são apresentados os principais componentes do SFV híbrido.

Figura 6 - Configuração básica do SFV híbrido.



Fonte: CEPEL-CRESESB, 2004

Utilizando várias formas de geração de energia elétrica o tamanho do arranjo fotovoltaico pode ser reduzido, juntamente com a capacidade do banco de baterias, pois a outra forma de geração (ou outras) garante o fornecimento de energia durante a noite ou em períodos de pouca insolação (IMHOFF, 2007).

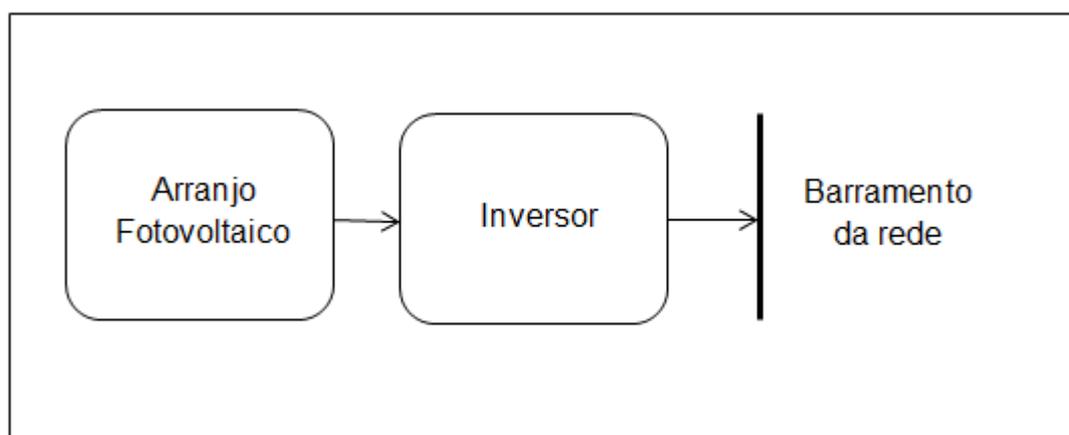
Os SFV híbridos tem uma configuração mais complexa, pois necessitam de um aprimoramento no controle para aperfeiçoar o uso de todas as fontes de energia e fazer com que o usuário receba a eficiência máxima na entrega.

3.3.4 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Os SFV conectados à rede permitem a venda de energia elétrica às companhias distribuidoras de energia. Toda a energia gerada é enviada

diretamente a rede, não sendo necessária a utilização de baterias, tornando-se assim um sistema mais simples e com menos manutenção (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011). Na Figura 7 são apresentados os principais componentes do SFV conectados à rede.

Figura 7 – Configuração básica do SFV conectado à rede.



Fonte: CEPEL-CRESESB, 2004.

Nesse tipo de sistema, o arranjo fotovoltaico é conectado ao inversor e este faz a interface com a rede elétrica. Estes inversores devem cumprir com as exigências de qualidade e segurança impostas pela rede de distribuição para que a rede não seja afetada, como sistema anti-ilhamento, por exemplo (CÂMARA, 2011).

Os SFV que possuem armazenadores de energia podem desperdiçar a capacidade de geração nos momentos em que os acumuladores estiverem completamente cheios. Isso não ocorre nos SFV conectados à rede pois esta pode ser encarada como um acumulador infinito de energia (ZILLES et al., 2012).

3.3.5 Componentes Básicos do Sistema

3.3.5.1 Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é o principal componente do SFV. Sua função é a conversão direta da energia solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

A quantidade de módulos e escolha do material do mesmo irá depender da área disponível e da combinação custo-benefício. CEPEL-CRESESB (2014) ressalta que a eficiência do módulo não deve ser utilizada como indicador de qualidade do mesmo, ela só deve nortear a escolha do módulo quando a área for um fator restritivo.

A célula fotovoltaica é a parte elementar de um módulo fotovoltaico. Essas células são associadas eletricamente em arranjos série ou paralelo a fim de formar um módulo. Os módulos são associados a fim de obter-se o nível de tensão e corrente desejados formando um painel fotovoltaico (IMHOFF, 2007).

Os materiais semicondutores mais comumente encontrados na constituição de células fotovoltaicas são: silício (Si) cristalino (c-Si), multicristalino (m-Si), amorfo (a-Si) e microcristalino (μ -Si); telúrio (Te); cádmio (Cd); cobre (Cu); índio (I); gálio (Ga); selênio (Se); entre outros (IMHOFF, 2007). Na figura 8 é possível observar a diferença entre a célula, o módulo e o painel FV.

Figura 8 – Vista da célula, módulo e painel fotovoltaico.

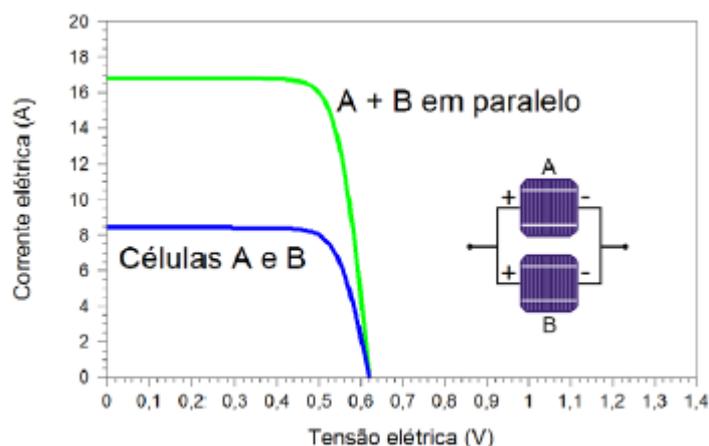


Fonte: JUNIOR, 2010.

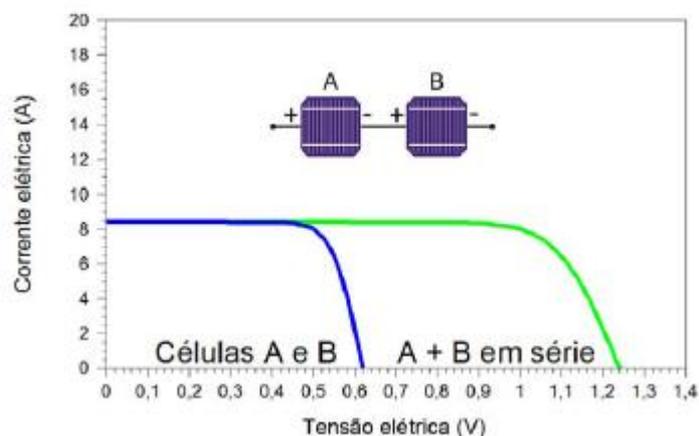
As células, módulos ou painéis fotovoltaicos podem ser associados em série ou em paralelo, de forma a se obter os níveis de corrente e tensão desejados.

Nos dispositivos associados em paralelo os terminais positivos são ligados a um mesmo ponto, enquanto os terminais negativos ligam-se a outro ponto, a tensão permanece a mesma, mas a corrente total é a soma das correntes individuais de cada dispositivo. Já os dispositivos associados em série o terminal positivo de um dispositivo é ligado ao terminal negativo, neste caso, a corrente será igual às correntes individuais, mas a tensão será o resultado da soma das tensões de cada módulo (BRAGA, 2008).

Nas Figuras 9 e 10 são apresentadas o comportamento da tensão e da corrente nas diferentes formas de ligação entre as células fotovoltaicas.

Figura 9 – Conexão de células em paralelo.

Fonte: CRESEB-CEPEL, 2014.

Figura 10 – Conexão de células em série.

Fonte: CRESEB-CEPEL, 2014.

3.3.5.2 Bateria

Também denominadas acumuladores de carga, a principal função da bateria é armazenar a energia transformada nas células fotovoltaicas. Essa energia é armazenada nos momentos de alta radiação solar para que durante os períodos noturnos ou quando a radiação solar não for satisfatória ainda ser possível a utilização da eletricidade.

Elas são capazes de transformar diretamente energia elétrica em energia potencial química e posteriormente converter, diretamente, a energia potencial química em elétrica (RIBEIRO, 2012).

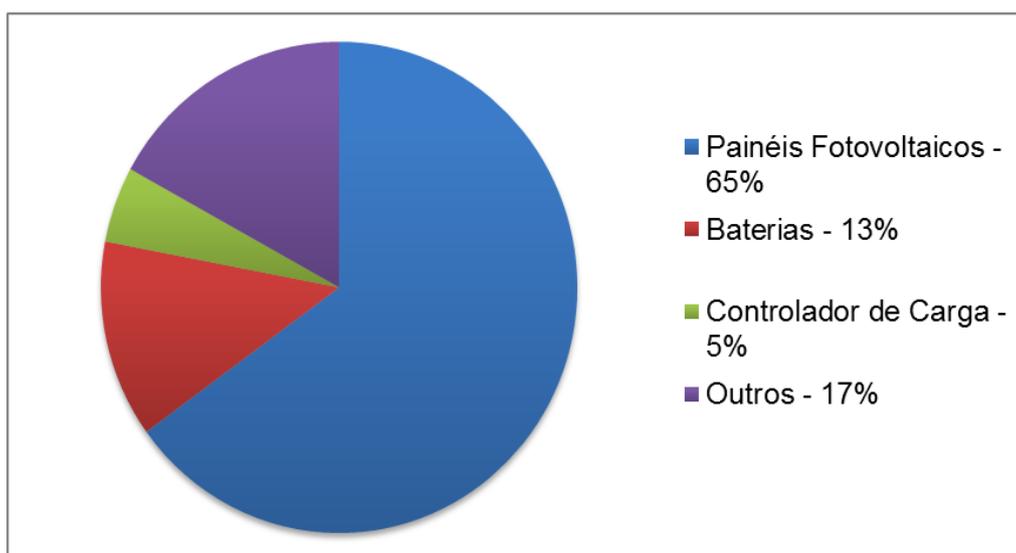
As baterias podem ser classificadas em duas categorias, primária e secundária. As primárias não podem ser recarregadas, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia elétrica, devem ser descartadas. As secundárias são recarregadas através da aplicação de uma corrente elétrica nos terminais (FREITAS, 2008).

Os SFV utilizam as baterias que podem ser recarregáveis, isto é, baterias secundárias. Entre as mais utilizadas estão a bateria de chumbo-ácido e a bateria de níquel-cádmio.

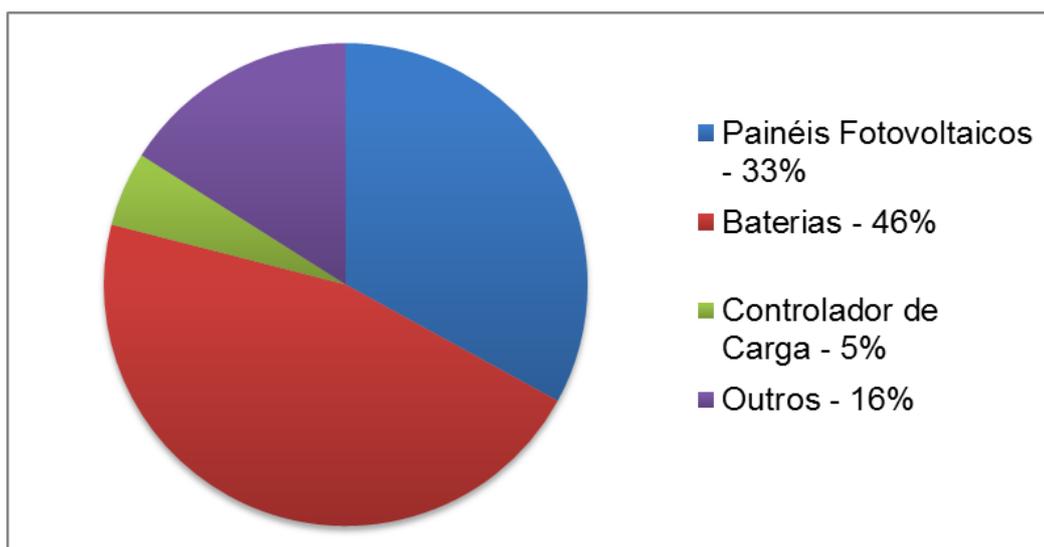
Nos SFV a geração de energia não ocorre de forma linear e assim as baterias estão sujeitas às mais diversas condições operacionais, como cargas e descargas irregulares, descargas com correntes de baixa intensidade e cargas escassas devido à ausência do sol (IMHOFF, 2007).

Sua escolha é uma tarefa essencial para determinação da relação custo-benefício do sistema. As Figuras 11 e 12 apresentam as relações do custo dos componentes do SFV no início e no total, considerando a vida útil das baterias.

Figura 11 – Custo inicial do SFV.



Fonte: IMHOFF, 2007.

Figura 12 – Custo total do SFV (considerando a vida útil).

Fonte: IMHOFF, 2007.

3.3.5.3 Controlador de Carga

Braga (2008) diz que o controlador de carga tem a função de aumentar a vida útil da bateria ou série de baterias do sistema. Quando houver períodos longos sem insolação e de grande consumo ou períodos de grande insolação e pequeno consumo ele irá evitar que a bateria descarregue ou que carregue em excesso.

São compostos por um circuito de controle e outro de comutação. O primeiro monitora as grandezas do sistema, como tensão, corrente e temperatura na bateria, as informações são processadas e geram sinais de controle para comandar o circuito de comutação. Este é responsável pelo controle da tensão e/ou corrente de carga ou descarga das baterias (CUNHA, 2006).

Segundo CEPTEL-CRESESB (2004) os controladores de carga são componentes essenciais em SFV isolados, pois, caso venham a falhar, a bateria ou a carga poderão sofrer danos irreversíveis. Para serem projetados deve-se levar em consideração os diversos tipos de bateria, uma vez que um controlador projetado para baterias chumbo-ácido podem não ser adequados para as níquel-cádmio.

Os reguladores podem ser do tipo série ou paralelo (shunt). A diferença entre ambos está na forma como eles interrompem a circulação da corrente.

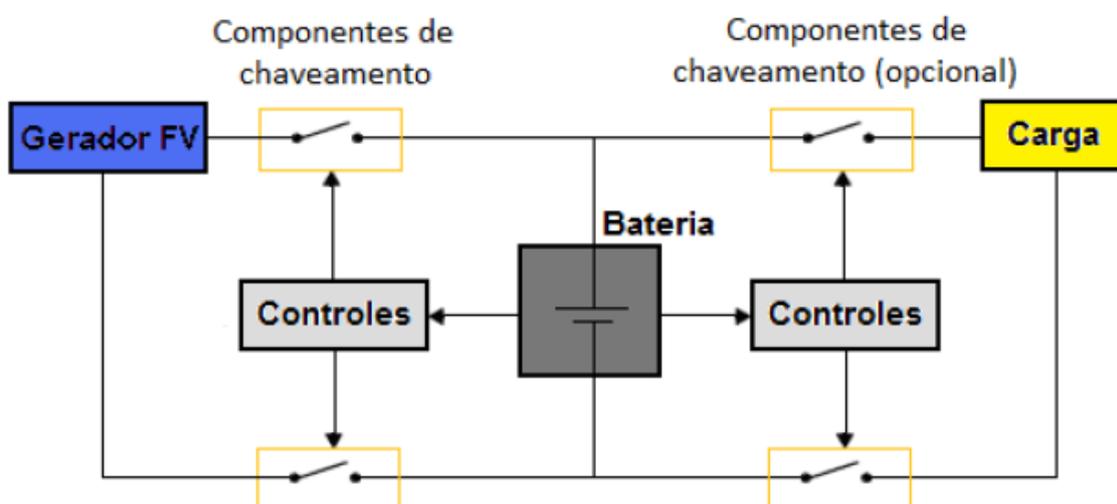
Com relação aos reguladores em série Pereira e Oliveira (2011) diz que:

O regulador em série tem essa designação pelo fato do interruptor de controle eletrônico ficar em série com o painel fotovoltaico. Quando é atingida a tensão do limite de carga máxima, o controlador interrompe a entrega de potência por parte dos módulos fotovoltaicos evitando desta forma a sobrecarga e voltando-se a ligar quando a tensão da bateria diminui. Este tipo de regulador inclui também outro interruptor entre a bateria e o consumo, que evita a descarga da mesma, cortando o abastecimento de energia quando se alcança a tensão de corte por descarga profunda.

O regulador shunt usa um dispositivo de estado sólido ou um relé eletrônico, que desliga ou reduz o fluxo de corrente para a bateria quando ela está completamente carregada. Parte da corrente é desviada através de um dispositivo em paralelo com a bateria e uma pequena quantidade de corrente continua carregando a mesma (CEPEL-CRESESB, 2004).

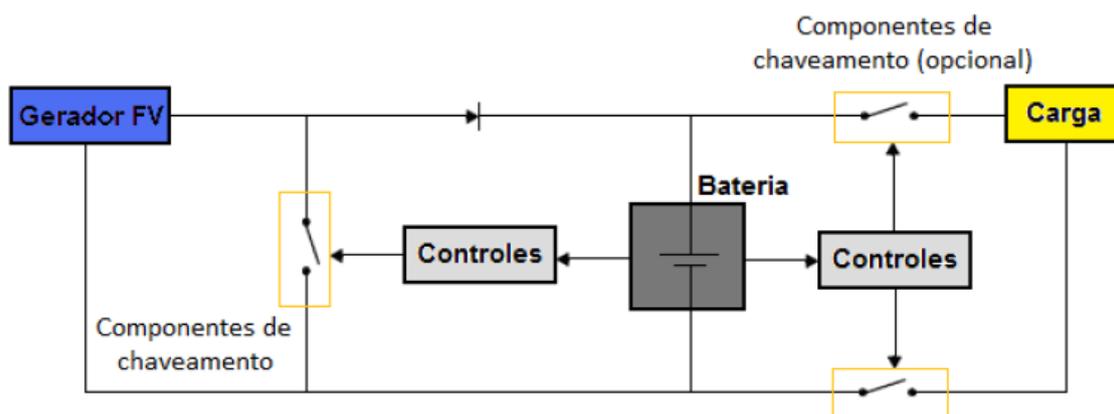
As representações dos controladores em série e paralelo estão representados nas figuras a seguir.

Figura 13 – Controlador em série.



Fonte: CEPEL-CRESESB, 2014.

Figura 14 – Controlador em paralelo.



Fonte: CEPEL-CRESESB, 2014.

3.3.5.4 Inversor de Corrente

Quando a energia solar é transformada em energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos a tensão produzida é do tipo contínua, porém, a maioria dos eletrodomésticos utilizam tensão do tipo alternada. O inversor é o equipamento responsável pela conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA).

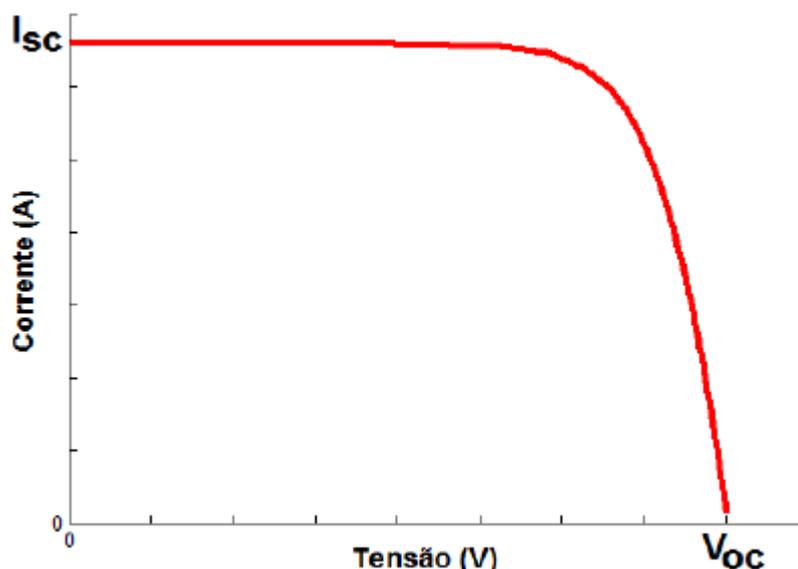
Tem um papel fundamental para o SFV conectado a rede, a pessoa responsável pelo dimensionamento deve ser capaz de selecionar o inversor mais adequado ao respectivo gerador fotovoltaico, levando em consideração características como níveis de tensão e corrente, eficiência de conversão, flexibilidade de instalação, durabilidade e segurança (ZILLES et al., 2012).

Segundo Cunha (2006) existem basicamente dois tipos de inversores atualmente: os que produzem onda senoidal modificada e os que produzem onda senoidal pura. O de onda senoidal modificada pode suprir de forma eficiente a maioria dos eletrodomésticos residenciais, são mais baratos, mas podem apresentar problemas com equipamentos de precisão. O inversor de onda senoidal pura é utilizado para fornecer energia com a qualidade da fornecida pela concessionária.

3.4 CURVA CARACTERÍSTICA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA

A curva característica de uma célula fotovoltaica é de extrema importância quando se pretende fazer o dimensionamento correto de um sistema de produção, é também chamada de curva I-V, ela relaciona a corrente e a tensão. A Figura 15 ilustra um exemplo de uma curva característica I-V.

Figura 15 – Curva I-V de uma célula solar fotovoltaica.



Fonte: TEIXEIRA, 2008.

Alguns parâmetros muito importantes são extraídos da curva I-V e são eles que caracterizam as células ou módulos fotovoltaicos: tensão de circuito aberto, corrente de curto circuito e fator de forma e eficiência.

Sobre esses parâmetros, CEPEL-CRESESB (2014) define-os como:

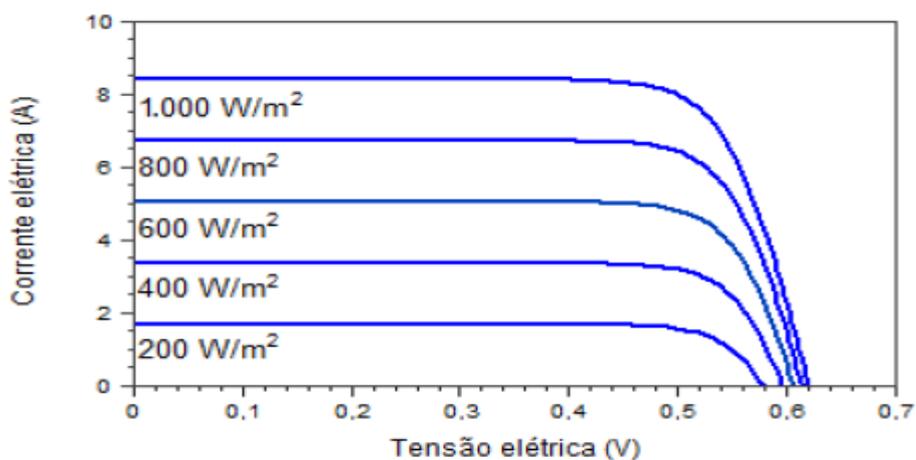
A tensão de circuito aberto (V_{oc}) é a tensão entre os terminais de uma célula fotovoltaica quando não há corrente elétrica circulando e é a máxima tensão que uma célula fotovoltaica pode produzir. A corrente de curto-circuito (I_{sc}) é a máxima corrente que se pode obter e é medida na célula fotovoltaica quando a tensão elétrica em seus terminais é igual a zero. O fator de forma (FF) é a razão entre a máxima potência da célula e o produto da corrente de curto-circuito com a tensão de circuito aberto. Eficiência é o parâmetro que define quão efetivo é o processo de conversão de energia solar em energia elétrica. Representa a relação entre a potência elétrica produzida pela célula fotovoltaica e a potência da energia solar incidente.

3.4.1 Influência da Irradiância

Fatores como a radiação solar e a temperatura ambiente acabam influenciando o desempenho de uma célula fotovoltaica, consequentemente influenciam a produção de energia elétrica do sistema.

O aumento da radiação incidente aumenta a corrente de curto-circuito de forma aproximadamente linear, já a tensão de circuito aberto pouco varia com a variação da radiação (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011). A Figura 16 mostra o comportamento da curva I-V com a variação da irradiância solar de uma célula fotovoltaica de silício cristalino na temperatura de 25°C.

Figura 16 – Efeitos da variação da irradiância solar na curva I-V de um painel fotovoltaico de silício cristalino.



Fonte: CEPEL-CRESEB, 2014.

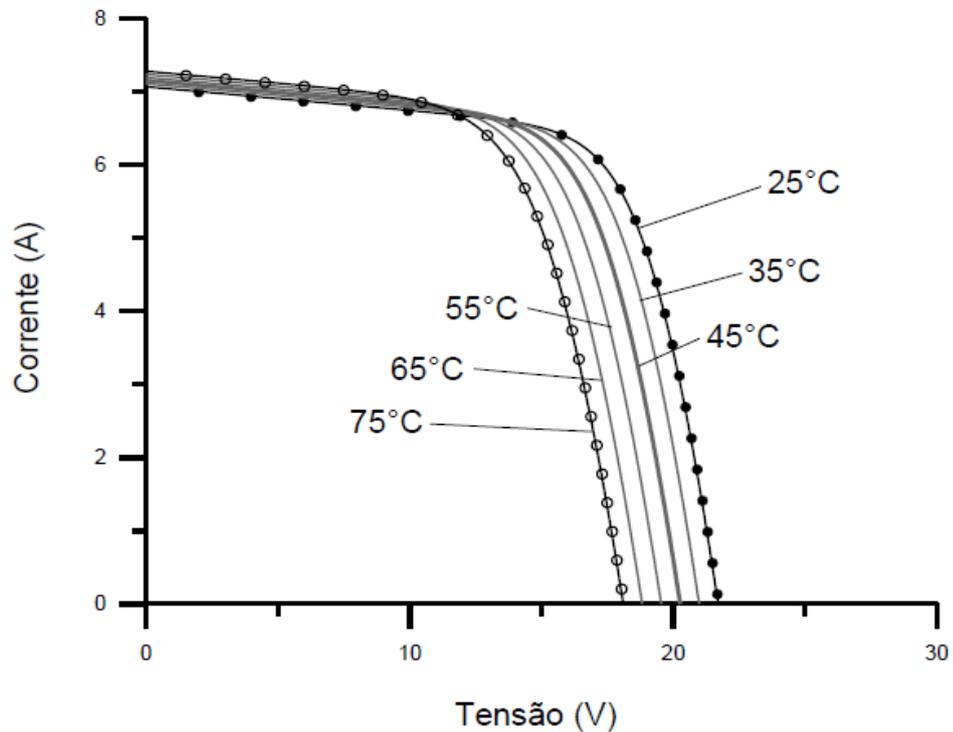
3.4.2 Influência da Temperatura

Uma parte da radiação que chega nas células fotovoltaicas não é convertida em eletricidade, e sim em calor, por isso a temperatura da célula é sempre maior que a temperatura do meio ambiente.

Quando ocorre uma elevação na temperatura, há um leve aumento na corrente de curto-circuito, porém terá reduções na tensão de circuito aberto, isso ocorre porque quando a temperatura do silício aumenta acontece uma redução do valor do gap de energia do material tornando mais fácil a geração

de pares elétron-buraco por fótons (TEIXEIRA, 2008). A Figura 17 ilustra a curva I-V para diversas temperaturas de célula de silício cristalino.

Figura 17 – Efeito causado pela variação de temperatura das células sobre a curva característica I-V, sob irradiância de 1000 W/m².



Fonte: CEPAL-CRESESB, 2014.

4. METODOLOGIA

4.1 EQUIPAMENTOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

Os maiores problemas para a utilização de sistemas fotovoltaicos são a sua onerosidade e incompatibilidade de eficiência dos equipamentos necessários, visto isso, inúmeras empresas especializadas investem na utilização de kits que fazem com que o sistema fique mais barato, sem esquecer da eficiência do conjunto. Fizemos uso do Kit Fotovoltaico GSG-135W-A que tem as seguintes características:

- Um painel fotovoltaico com potência de 135W, certificação do INMETRO, e moldura em alumínio com furação para fixação;
- Um controlador de carga 10A/12Vcc com tecnologia PWM, marca *Phocos*;
- Inversor de tensão com potência de 400W, que converte 12Vcc para 120Vca, marca *Hayonike*;
- Bateria estacionária.

Esse sistema é capaz de produzir diariamente 675W sob condições ideais de insolação (5 horas de sol pleno) ou 20kWh/mês de produção máxima de energia. Essa energia só deve ser utilizada para alimentar aparelhos domésticos ou equipamentos de baixo consumo que funcionam em 120Vac. O fabricante recomenda que aparelhos como Freezer, Geladeira, Chuveiro Elétrico, Ar Condicionado, Motores e Outros que consomem grande quantidade de energia elétrica não devem ser alimentados por esse sistema.

Seus usos mais comuns são:

- Eletrificação de casas distantes da rede elétrica;
- Iluminação de vias públicas e residenciais;
- Sistemas de emergência;
- Sinalização marítima, de estradas e ferrovias;
- Telecomunicações em geral.

A tabela 2 apresenta uma exemplificação da utilização de alguns aparelhos que podem ser usados nesse sistema.

Tabela 2 – Alguns eletrodomésticos que podem ser utilizados com o Kit Fotovoltaico GSG-135W-A.

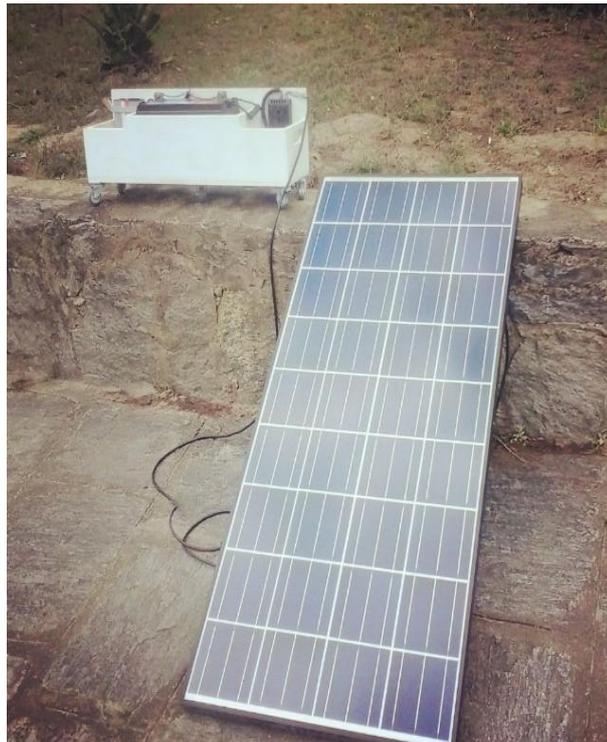
CONSUMO DIÁRIO				
Aparelho ou Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Utilização Diária (horas)	Consumo Diário (Wh/dia)
Lâmpada eletrônica	5	11	4	220
Rádio ou som	1	20	3	60
TV 19" LCD	1	35	4	140
Receptor satélite	1	25	4	100
CONSUMO DIÁRIO TOTAL:				520

Fonte: MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br>> Acesso em: 2014.

4.2 MONTAGEM DO SISTEMA

O sistema foi instalado, conforme visualizado na figura Figura 18, nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual da Paraíba, na cidade de Campina Grande – PB, a uma latitude de $-0,7^{\circ} 13' 50''$, longitude de $-35^{\circ} 52' 52''$ e altitude de 551 m. Sua inclinação foi de 15° na direção norte.

Figura 18 – Sistema isolado de energia solar fotovoltaica.



Fonte: Própria, 2014.

4.3 OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados foram obtidos através de um multímetro que nos deu valores de temperatura, corrente e tensão, a tensão e a corrente foram medidas na saída do painel fotovoltaico, no controlador de carga e na bateria, a medida da temperatura foi efetuada no módulo fotovoltaico. Por falta de equipamento os valores de radiação direta foram retiradas do banco de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Ao total foram realizadas 10 medições entre os meses de maio e julho de 2014, no período das 9:00 h às 16:00 h do dia (8 horas consecutivas).

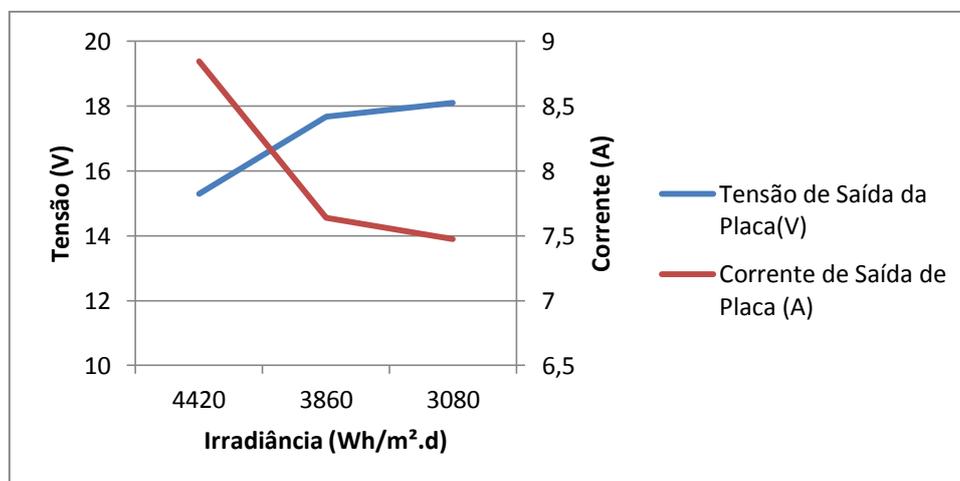
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RELAÇÃO ENTRE CORRENTE, TENSÃO E IRRADIÂNCIA

Os valores médios mensais de irradiância global horizontal diária (kWh/(m².dia)) para localidades próximas ao município de Campina Grande – PB são de 4.420 Wh/m².dia, 3.860 Wh/m².dia e 3.080 Wh/m².dia para os meses de maio, junho e julho, respectivamente. Essas informações foram retiradas da base de arquivos climáticos EPW-ANTAC, do INMET.

Com as médias mensais de irradiância e as médias mensais de tensão e corrente de saída da placa é possível a análise da relação entre corrente, tensão e irradiância do sistema fotovoltaico. A Figura 19 apresenta a relação entre corrente, tensão e irradiância.

Figura 19 – Relação entre a corrente tensão e irradiância.



Fonte: PRÓPRIA, 2014.

No comportamento da corrente correspondente a Figura 19 observou-se que seu crescimento é diretamente proporcional a incidência de radiação no módulo fotovoltaico. Já a tensão, que não sofre grandes variações com a variação da irradiância, neste caso teve uma queda significativa, isso ocorreu provavelmente devido à transformação de parte da energia incidente em calor e conseqüentemente resultando no aumento da temperatura da célula fotovoltaica. Portanto, estudos que relacionam radiação com tensão de saída e a última não sofre grandes variações que possam ser consideradas

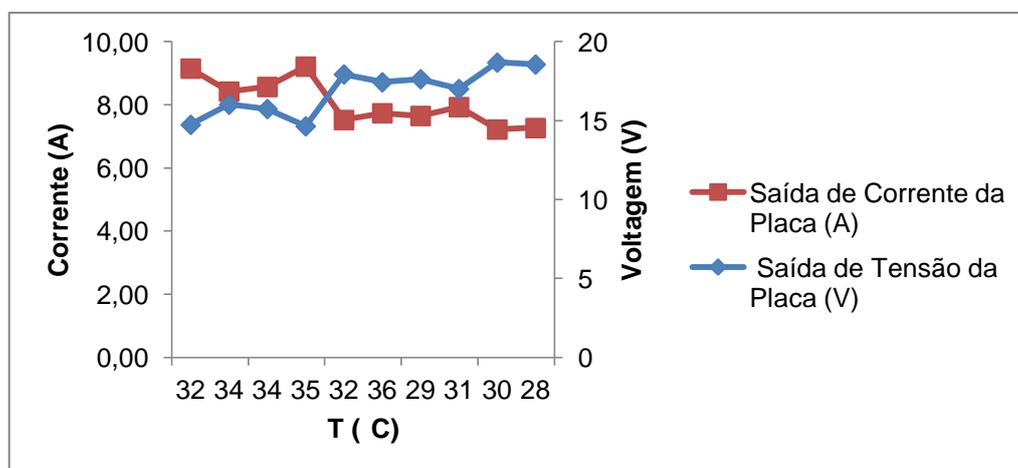
significativas dentro do processo, levam em consideração temperatura constante na célula em estudo.

5.2 RELAÇÃO ENTRE CORRENTE, TENSÃO E TEMPERATURA

Com a variação da temperatura ambiente, ocorreu também a variação de temperatura nas células que compõem os módulos. A Figura 20 apresenta a relação da tensão com a temperatura, nela há uma queda de tensão e um significativo crescimento da corrente com o aumento da temperatura da célula. A corrente sofre uma elevação muito pequena que não compensa a perda causada pela diminuição da tensão (CEPEL-CRESESB, 2014).

Nos resultados percebe-se esta mesma característica, as médias diárias medidas de variação da temperatura foram entre 28,38 e 35,88 °C, realizadas no ponto de saída placa em estudo.

Figura 20 - Relação entre corrente, tensão e temperatura.



As variações de voltagem e corrente foram pequenas devido o intervalo da variação de temperatura não ser tão expressivo, porém é perceptível os efeitos da temperatura nas mesmas. Além disso determinadas placas tem suas respectivas características particulares, dependendo do tipo de material e/ou fabricante, apresentando mudanças significativas nos coeficientes de temperatura.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ascensão de fontes de energias sustentáveis deve-se ao fato dos problemas enfrentados pela forma inadequada e incontrolada dos recursos naturais. Esse aumento na procura dessas formas de energia também está relacionado com um crescimento na preocupação do desenvolvimento das gerações futuras.

Em meio a este contexto, o presente trabalho abordou os fatores que influenciam diretamente na conversão da energia solar em energia elétrica pelo efeito fotovoltaico. Os sistemas fotovoltaicos, de início, foram construídos para serem utilizados em locais onde ficaria inviável o fornecimento de energia elétrica pelo modo convencional. Com o decorrer do tempo e as crescentes discussões para a utilização de formas de energia menos agressivas para o meio ambiente, viu-se que esse tipo de sistema apresentava as características que se buscavam.

A radiação proveniente do sol e a temperatura são os principais parâmetros que influenciam na geração desse tipo de energia. A primeira, quanto maior a quantidade de incidência sobre a placa, maior a quantidade de fótons para a conversão da energia, logo, maior a quantidade de corrente elétrica gerada, já o comportamento que o aumento da temperatura traz é de diminuição da tensão o que torna a potência final gerada menor que a desejada.

Ambos parâmetros trazem os mesmos efeitos em todos os tipos de materiais utilizados para conversão de energia solar em elétrica, o que irá interferir na maior ou menor quantidade de energia é a eficiência do sistema utilizado.

Ainda sendo considerada uma fonte de energia cara, tanto com relação ao sistema convencional como em relação a outras alternativas, é de extrema importância que ocorra um aumento em pesquisas e inovações tecnológicas para a busca do crescimento da eficiência das células fotovoltaicas. Outra questão importante é a popularização do conhecimento das vantagens que a

energia solar traz, pois uma comunidade que não conhece os benefícios normalmente gerará pouca demanda.

REFERÊNCIAS

- AMÉRICA DO SOL. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**. Disponível em: <
http://www.americadosol.org/energia_fotovoltaica/sistemas-fotovoltaicos/ >
Acesso em: 10 nov 2014.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Big – Banco de Informação de Geração**. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >
Acessado em: 21 nov 2014.
- BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**.
Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- CAMARA, C. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**.
Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2011.
- CEPEL-CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**,
Edição Especial, PRC-PRODEEM, Rio de Janeiro - Agosto – 2004.
- CEPEL-CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**,
Edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro - Março – 2014.
- COMETTA, E. **Energia Solar: Utilização e Empregos Práticos**. Hemus, São Paulo, 1978.
- CUNHA, J. L. P. A. **Eletrificação de Edificações Rurais Isoladas Utilizando Energia Solar Fotovoltaica**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2006.
- FREITAS, S. S. A. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**.
Dissertação de mestrado. Escola Politécnica de Bragança, 2008.
- IMHOFF, J. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos Para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.
- JUNIOR, J.U. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2010.
- MINHA CASA SOLAR. Disponível em:
<<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br> > Acesso em: 10 nov 2014.
- NASCIMENTO, C. A. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**.
Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2004.

- PEREIRA, F. A. S e OLIVEIRA, M. A. S. **Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica**. Publindústria, Agosto de 2011.
- RIBEIRO, C. H. M. **Implantação de Um Sistema de Geração Fotovoltaica**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2012.
- ROSA, D. J.M. **Caracterização da Radiação Solar: O caso da Cidade Universitária/USP e da Ilha do Cardoso/Cananéia**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- SANTOS, W. B. **Estímulos e Incentivos a Produção De Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, 2014.
- SOLARTERRA. **Energia Solar Fotovoltaica – Guia Prático**. Disponível em: <<https://permacoletivo.files.wordpress.com/2008/05/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf>> Acesso em 12 nov 2014.
- TUNDISI, H. S. F. **Usos de Energia – Sistemas, fontes e alternativas: do fogo aos gradientes de temperatura oceânicas**. Atual editora, São Paulo, 1991.
- TEIXEIRA, T. B. **Influência Da Temperatura em Aglomerados Auto-Reconfiguráveis de Células Solares Fotovoltaicas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.
- ZILLES, R. MACÊDO, W. N. GALHARDO, M. A. B. OLIVEIRA, S. H. F. de. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Oficina de textos, São Paulo, 2012.