



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS**
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EMERSON CARDOSO LINO

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: VIABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA
LIMPA NO SEMIÁRIDO ALAGOANO**

Delmiro Gouveia – AL
2021

EMERSON CARDOSO LINO

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: VIABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA
LIMPA NO SEMIÁRIDO ALAGOANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Profº. Dr. Cícero Rita da Silva

Delmiro Gouveia – AL
2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

L758e Lino, Emerson Cardoso

Energia solar fotovoltaica: viabilidade na geração de energia limpa no semiárido alagoano / Emerson Cardoso Lino. – 2021.
57 f. : il.

Orientação: Cícero Rita da Silva.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2021.

1. Energia solar. 2. Energia elétrica. 3. Energias renováveis. 4. Sistema fotovoltaico. 5. Geração de energia elétrica. 6. Semiárido alagoano. I. Silva, Cícero Rita da. II. Título.

CDU: 621.383.51

Folha de Aprovação

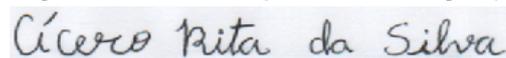
EMERSON CARDOSO LINO

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: VIABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA NO SEMIÁRIDO ALAGOANO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em_21_de _setembro_de _2021.

Dr. Cícero Rita da Silva, Universidade Federal de Alagoas

(titulação, Nome completo, instituição) (Orientador)



Banca Examinadora:

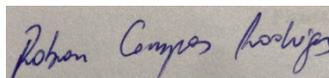
Mestre Rogério de Jesus Santos, Universidade Federal de Alagoas

(titulação, Nome completo, instituição) (Avaliador 2)



Engenheiro Robson Campos Rodrigues

(titulação, Nome completo, instituição) (Avaliador 3)



Dedico este trabalho aos meus pais Maria Claudia Cardoso Lino, Edivaldo Lino da Silva e minha esposa Livia Cantionilia Gama Lima, que sempre estiveram ao meu lado quando precisei, me apoiando em minhas decisões, dando força e incentivo para seguir a diante e conseguir conquistar todos os meus objetivos de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** que nos concedeu a vida, que com grandeza, nos tornou pessoas do bem e nos deu a oportunidade de fazer as melhores escolhas das nossas vidas.

A minha mãe Maria Claudia Cardoso Lino que me criou e me educou da melhor forma possível para que eu pudesse cursar e concluir o meu curso com sucesso.

Ao meu pai Edivaldo Lino da Silva que sempre me deu todo apoio necessário para realização das minhas conquistas.

Aos meus **amigos** e **familiares** que sempre me ajudaram e me apoiaram quando necessitei e que sempre estiveram disponíveis a ajudar quando necessário.

Ao professor e orientador **Dr. Cícero Rita da Silva** por todo apoio e incentivo a mim dado, cujo mesmo foi de suma importância para a concretização desta conquista.

A todos vocês, muito obrigado!

Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.

Antoine Lavoisier

RESUMO

Este trabalho tem como pretensão obter uma maneira simples e eficiente de estudar a geração e aproveitamento da energia solar fotovoltaica em regiões do semiárido alagoano, utilizando a tecnologia das placas solares monocristalinas e policristalinas. Portanto, o objetivo geral desta pesquisa consiste em Dimensionar e implantar sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica no sertão alagoano. Diante disso, os objetivos específicos são: Realizar um estudo teórico sobre energias renováveis e sustentáveis no semiárido; estudar sobre o desenvolvimento das energias limpas no sertão; Verificar e analisar a viabilidade de implantar sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica em Delmiro Gouveia. Sobre a metodologia de pesquisa, esta é de natureza aplicada, se classifica como sendo uma pesquisa experimental e utiliza as abordagens qualitativa e quantitativa. Inicialmente, para o desenvolvimento desta pesquisa foi feita uma seleção de materiais (artigos científicos, revistas digitais, livros, sites, etc.) para estudo teórico e melhor compreensão da temática. Dentre as referências utilizadas para fundamentar esta pesquisa pode-se citar Villava (2012), CRESESB (1999), Halliday (2008), ANEEL (2012), entre outros. Nos resultados percebeu-se que as placas apresentaram comportamento bastante eficaz como na questão da voltagem de potência máxima, corrente de potência máxima e intervalo de permissão de potência que na placa monocristalina em campo obteve respectivamente os valores de: 14,8V, 4,2A e 62,16W e na placa policristalina em campo: 12,6V, 4,0A e 50,4W. Esses resultados foram extremamente satisfatórios, pois, se aproximaram dos resultados em ambiente controlado de laboratório, onde as condições são perfeitas. Vale ainda destacar que a corrente quase não variou durante todo o ensaio, isso é propício para um sistema fotovoltaico alimentando cargas resistivas como: lâmpadas, tomadas, etc. Nesse contexto, tem-se que a ideia da energia fotovoltaica em Delmiro Gouveia – AL irá obter o maior rendimento possível, nesta região. Portanto, considera-se que este trabalho foi de suma relevância para aquisição de novos conhecimentos em relação à temática aqui abordada e principalmente para o enriquecimento do profissional em Engenharia Civil.

Palavras-chave: Energias Renováveis. Energia Solar. Sistemas Fotovoltaicos.

ABSTRACT

This work intends to obtain a simple and efficient way of studying the generation and use of photovoltaic solar energy in regions of the Alagoan semiarid region, using the technology of monocrystalline and polycrystalline solar panels. Therefore, the overall objective of this research is to design and implement photovoltaic systems for electric power generation in the backlands of Alagoas. In view of this, the specific objectives are: To carry out a theoretical study on renewable and sustainable energies in the semiarid; Studying the development of clean energies in the hinterland; Verify and analyze the feasibility of deploying photovoltaic systems for electricity generation in Delmiro Gouveia. About the research methodology, this is applied nature, it is classified as being an experimental research and uses the qualitative and quantitative approaches. Initially, for the development of this research was made a selection of materials (scientific articles, digital magazines, books, websites, etc.) for theoretical study and better understanding of the theme. Among the references used to support this research are Villava (2012), CRESESB (1999), Halliday (2008), ANEEL (2012), among others. In the results, it was noticed that the plates presented a very effective behavior as in the question of maximum power voltage, maximum power current and power allowance interval, which in the monocrystalline field plate obtained respectively the values of: 14.8V, 4.2A and 62.16W and in the field polycrystalline plate: 12.6V, 4.0A and 50.4W. These results were extremely satisfactory, as they approached the results in a controlled laboratory environment, where conditions are perfect. It is also worth noting that the current hardly varied during the entire test, which is conducive to a photovoltaic system feeding resistive loads such as: lamps, sockets, etc. In this context, it is assumed that the idea of photovoltaic energy in Delmiro Gouveia - AL will obtain the highest possible yield in this region. Therefore, it is considered that this work was of great relevance for the acquisition of new knowledge in relation to the subject matter addressed here, and especially for the enrichment of the professional in Civil Engineering.

Keywords: Renewable energy. Solar energy. Photovoltaic systems.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 HISTÓRICO ENERGÉTICO E FONTES RENOVÁVEIS.....	13
3 CONCEITOS BÁSICOS EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	17
3.1 Radiação	17
3.1.1 Massas de ar e tipos de radiação	18
3.2 Irradiância.....	20
3.3 Insolação	23
3.4 O efeito fotoelétrico e fotovoltaico.....	25
3.4.1 Fabricação das células	28
3.4.2 Silício monocristalino	29
3.4.3 Silício policristalino.....	31
3.5 Ângulo azimutal	32
4 MÓDULOS FOTOVOLTÁICOS.....	34
5 METODOLOGIA.....	42
6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM DEILMIRO GOLVEIA - AL	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Uma sociedade em desenvolvimento do ponto de vista sócio econômica apresenta demandas energéticas eficientes no que diz respeito ao uso de eletricidade, que é essencial para o seu pleno funcionamento. Assim, a busca de novos recursos tecnológicos é necessária para estudar e utilizar energias renováveis, além dos vários requisitos que essas inovações devem alcançar, como, por exemplo, as políticas ambientais e os custos benefícios que viabilizam um projeto sustentável.

Chama-se de energia renovável toda aquela cuja fonte principal de energia é proveniente de recursos naturais que são inesgotáveis, limpas e que, principalmente, não apresentam danos ao meio ambiente, como por exemplo, o Sol, o vento, as chuvas, as marés e a geotérmica que é originada a partir do calor da terra.

Além de prover esses benefícios, as fontes de energia renováveis, se implantadas apropriadamente, podem também contribuir para o desenvolvimento social e econômico, para a universalização do acesso à energia e para a redução de efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde (IPCC, 2011 *apud* UCZAI, *et al*, 1012, p. 23).

O estudo de energias renováveis tem sido de grande importância, pois as atuais políticas ambientais procuram direcionar a forma de energia que deve ser utilizada, já que em sua maioria são derivadas de alguma forma de matéria prima que futuramente venha a se extinguir. É pensando nisso que o estudo de uma nova forma de energia limpa e sustentável como a energia solar vem se tornando importante no cenário energético brasileiro.

A energia solar, dentre suas mais variadas formas de aproveitamento, destaca-se a energia solar fotovoltaica que atende as principais especificações vista na atualidade, além de uma energia elétrica limpa sem a emissão de gases poluentes, resíduos ou ruídos é uma fonte inesgotável proveniente do sol e atende perfeitamente ao requisito da sustentabilidade. Essa energia é uma das mais viáveis em nosso país, pois é de fácil implantação e seu custo vem diminuindo consideravelmente com as constantes evoluções na indústria de células e painéis fotovoltaicos.

No mundo inteiro, a energia solar fotovoltaica é uma fonte alternativa que tem despertado o interesse para estudos e aplicações em curto, médio e longo prazo. Os sistemas de geração e distribuição dessa forma de energia se apresentam muito adequados para instalação em qualquer lugar onde haja bastante incidência de luz.

Praticamente todo o território brasileiro poderá utilizar esse tipo de geração de eletricidade. Além de constituir usinas de geração que poderá competir com as tradicionais fontes de energia, os sistemas fotovoltaicos, por se adaptarem facilmente à arquitetura ou qualquer espaço vazio onde aconteça a passagem da luz, como paredes, telhados de prédios e residência que poderão de forma propícia ser instalados em área rurais e nos grandes centros urbanas.

O Brasil apresenta uma alta taxa de irradiação podendo se tornar um dos grandes produtores de energia solar fotovoltaica do mundo. A Alemanha é um dos maiores produtores de energia solar fotovoltaica, em sua área total, a região de maior incidência solar ainda é inferior à região brasileira que menos tem incidência solar, que é no sul do país.

A Alemanha e Itália respondem pela maior produção europeia; De modo a oferecer uma comparação, a Alemanha adicionou mais produção fotovoltaica em sua matriz elétrica do que o mundo todo no ano de 2010 (RENEWABLE, 2011 *apud* NASCIMENTO, 2015, p.51). Fora da Europa, Estados Unidos, China e Japão se destacam como maiores produtores mundiais (PERLOTTI, *et al*, 2012 *apud* NASCIMENTO, 2015, p. 51).

O Brasil, sobretudo a região Nordeste, apresenta os maiores valores de irradiação solar global, logo reconhecendo as suas vantagens, mas também os seus desafios, cabe ao Estado, em sua função de planejador, encontrar os meios de incentivar a tecnologia solar para que esta possa contribuir para o objetivo nacional de desenvolvimento econômico e de sustentabilidade da matriz energética (EPE, 2012 *apud* NASCIMENTO, 2015, p. 19).

Logo é razoável esperar que o Brasil se desenvolva nesse ramo energético. Essa informação vem fortalecer o crescimento da energia fotovoltaica no Brasil.

A implantação da energia fotovoltaica é de fácil manuseio, quando feita de forma adequada. De acordo com a Empresa Especialista em Energia Solar - Neosolar Energia (2013), um sistema fotovoltaico conectado à rede tem uma vida útil de 30 a 40 anos, sendo que a maioria dos painéis fotovoltaicos tem garantia de 25 anos o que reforça a ideia de custo benefício.

Para um projeto desse porte é necessário estudo de campo referente às taxas de insolação que serão retiradas de medições feitas em cada local, o que demonstraria como se deve proceder em cada caso, além do conhecimento de equipamentos primordiais necessários a implantação do sistema como uma placa solar. Uma placa ou painel solar é um conjunto de células fotovoltaicas conectadas em série que ao receber e absorver a luz produz uma diferença de potencial no

material semicondutor que por sua vez transforma a luz em eletricidade. Essa transformação foi chamada de efeito fotovoltaico relatado por Edmond Becquerel em 1839 (CRESESB, 1999).

Atualmente a energia solar fotovoltaica no Brasil está sendo utilizada em pequenos sistemas autônomos, pois existem locais de difícil acesso que inviabilizam as linhas de distribuição da rede elétrica, porém a tendência é que essas fontes de energia venham a complementar a rede elétrica através de um sistema misto.

Essa modalidade terá um salto extraordinário visto que, de acordo com aprovação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2013), “o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade”, tratando do micro geração e minigeração dessa modalidade energética. O modelo autônomo poderia atender a populações que não tem acesso à energia atualmente advinda das hidrelétricas, um exemplo desses seria o sertão alagoano que apresenta pessoas que ainda não são assistidas do uso de eletricidade.

A evolução tecnológica tem mostrado que a energia fotovoltaica tende a crescer muito mais, pois de acordo com a ANEEL (2012) - Art. 1º “estabelecer as condições gerais para o acesso de micro geração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica”. Essa foi a resolução normativa número 482 que torna possível o avanço das fontes renováveis integrada a rede de baixa tensão.

A partir dessa resolução cada cidadão ou empresa poderá ter em seu telhado uma usina fotovoltaica para a complementação do consumo próprio ou para exportar, criando a compensação de crédito de energia elétrica.

Com esse trabalho, pretende-se obter uma maneira simples e eficiente de estudar a geração e aproveitamento da energia solar fotovoltaica em regiões do semiárido alagoano, utilizando a tecnologia das placas solares monocristalinas e policristalinas. Assim, relacionar as variáveis climáticas da região com o uso adequado de energia solar fotovoltaica. Através de instrumentos de medidas simples, componentes eletrônicos e com auxílio das placas solares é possível acompanhar e controlar as variações de corrente e tensões e conseqüentemente as potências fornecidas pelas placas durante certo intervalo de tempo.

Portanto, o objetivo geral desta pesquisa consiste em Dimensionar e implantar sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica no sertão alagoano. Diante

disso, os objetivos específicos são: Realizar um estudo teórico sobre energias renováveis e sustentáveis no semiárido; estudar sobre o desenvolvimento das energias limpas no sertão; Verificar e analisar a viabilidade de implantar sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica em Delmiro Gouveia-AL.

2 HISTÓRICO ENERGÉTICO E FONTES RENOVÁVEIS

A energia fotovoltaica é proveniente das ondas eletromagnéticas solares, assim é importante conhecer os fenômenos físicos que são os princípios básicos do funcionamento de uma célula fotovoltaica.

O conhecimento do efeito fotovoltaico remonta ao século XIX, quando em 1839 Becquerel (GEPEA, 2012) demonstrou a possibilidade de conversão da radiação luminosa em energia elétrica mediante a incidência de luz em um eletrodo mergulhado em uma solução de eletrólito. Esse mesmo efeito é observado num sólido, o selênio, em 1877 por Adams e Day na Inglaterra (GEPEA, 2012). Em 1883 aparece a primeira célula solar produzida com selênio, com eficiência de conversão de aproximadamente 1%.

Na década de 30, os trabalhos de diversos pioneiros da física do estado sólido, como Lange, Grondahl e Schottkl (GEPEA, 2012), apresentaram importantes contribuições para obter uma clara compreensão do efeito fotovoltaico em junção do estado sólido. Em 1941 Ohl obtém a primeira fotocélula de silício monocristalino. (GEPEA, 2012). No ano de 1949, Billing e Plessnar (GEPEA, 2012) medem a eficiência de fotocélulas de silício cristalino, ao mesmo tempo em que a teoria da junção P-N de Shockely é divulgada. É, porém, apenas em 1954 que surge a fotocélula de silício (GEPEA, 2012) com as características semelhantes às encontradas hoje com eficiência de 6%.

O ano de 1958 marca o início, com grande sucesso, da utilização de fotocélulas nos programas espaciais (GEPEA, 2012), sendo este o principal uso das células solares até o final da década de 70. Grande impulso foi dado à utilização terrestre da geração fotovoltaica a partir da crise mundial de energia em 1973/1974 (GEPEA, 2012). A partir do fim da década de 70, o uso terrestre supera o uso espacial, sendo que esta diferença tem aumentado grandemente. Este uso crescente vem sendo acompanhado por inovações que permitem o aumento da eficiência de conversão de energia das fotocélulas e segundo, bem como uma significativa redução de seus custos.

O problema da eficiência de conversão e custo de material, e ainda o grande conhecimento adquirido pela teoria física das células têm impulsionado a pesquisa de células solares produzidas com materiais diferentes do silício monocristalino.

Atualmente são estudados e mesmo utilizados o silício policristalino e amorfo, o arseneto de gálio e o sulfeto de cádmio, dentre outros (GEPEA, 2012).

No entanto, o conhecimento da tecnologia que emprega o silício, em particular o monocristal e a abundância da matéria prima que lhe dá origem, tem sido as razões mais importantes que tornaram o silício o material predominante no processo de desenvolvimento tecnológico.

Ao pensar sobre a importância do Silício é importante citar Ferreira e Demanboro (2009):

O silício é o segundo elemento mais abundante na superfície do planeta (estima-se que mais de 25 % da crosta terrestre é composta de silício) e é 100 vezes menos tóxico que qualquer outro elemento utilizado. Painéis solares fotovoltaicos baseados na tecnologia tradicional do silício cristalino (denominados genericamente por c-Si) sofreram uma redução de custos apreciável desde suas primeiras aplicações no fornecimento de energia elétrica para satélites (FERREIRA; DEMANBORO, 2009, p. 1).

As energias renováveis são tratadas como fonte de energia alternativa ao modelo já implantado e destaca-se por seu menor impacto ambiental e disponibilidade, o homem necessita de recursos energéticos para viver e com as constantes evoluções tecnológicas esse recurso vem se mostrando cada vez mais necessário. Já que as energias não renováveis tendem a se extinguir e isso mostra a real viabilidade das energias renováveis.

Se olharmos um contexto histórico a energia sempre esteve presente na evolução humana, desde a descoberta do fogo até séculos mais tarde com os grandes moinhos de água que serviam para moer cereais. Os bens naturais são fontes de riquezas materiais que servem para atender as necessidades humanas, o homem com seu engenho tenta fazer o melhor proveito impulsionando a tecnologia.

A evolução tecnológica traz consigo novas fontes de energias e isso requer a exploração de formas energéticas, antes da revolução industrial as fontes de energias eram exploradas de forma rudimentar, com a primeira revolução industrial a forma de energia usada nas máquinas a vapor era o carvão mineral que poluía bastante o ambiente.

O carvão mineral é muito poluidor, pois apresenta substâncias chamadas de sulfetos (como a pirita) que podem reagir quimicamente com o ar ou água (por causa da presença de oxigênio), e forma substâncias como o ácido sulfúrico e sulfato ferroso que vão para o subsolo e para o lençol freático (água subterrânea), contaminando solos, rios e lagos. A queima do carvão

também libera substâncias que provocam poluição atmosférica, como fuligem, chuvas ácidas, e ainda contribuem para o efeito estufa (PAREJO, 2006, p. 1).

A segunda revolução industrial foi acompanhada dos princípios da termodinâmica e evolução dos transportes com o petróleo e gás natural, essas formas de energéticas são conhecidas como combustíveis fósseis não renováveis, que em sua queima liberam gases prejudiciais ao meio ambiente. Com as atuais políticas há uma preocupação com a questão ambiental e isso leva a busca de fontes renováveis.

De acordo com o Portal das Energias Renováveis “atenções voltam-se para as energias renováveis, que são obtidas de fontes naturais capazes de se regenerar, inesgotáveis que não estabelece um fim temporal para sua utilização”. As energias renováveis são inesgotáveis como, por exemplo, a energia proveniente do sol, vento, das marés e cursos de águas (PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS). A tecnologia atual volta-se para esses tipos de energia, temos empresas que estão trabalhando na área das células fotovoltaicas com o fim de aumentar a eficiência e baixar ainda mais os custos para a implantação dessa forma alternativa de energia.

A principal preocupação são as mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global que é o aumento da temperatura média nos oceanos e da camada de ar próximo à superfície, causadas pelo excesso principalmente de dióxido carbono através das atividades humanas e o efeito estufa que é uma camada de gases que cobre a terra composta principalmente por gás carbônico, metano, óxido nitroso e vapor de água. É um fenômeno natural e primordial para a manutenção da vida na terra e serve para que parte da radiação que chegue a terra seja refletida para o espaço, outra parte é absorvida pelos oceanos e pela superfície da terra.

Com a ação humana essa camada tem ficado cada vez mais espessa retendo calor e ocasionando o aquecimento global. Esses fenômenos foram mais bem observados durante as revoluções industriais época em que chegou a se pensar que evolução era sinônimo de poluição. Então as tecnologias renováveis ficaram em ênfase com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável.

A área das energias renováveis vem se mostrando necessária para atender as políticas ambientais e também para dispor de fontes inesgotáveis de energia. Segundo a revista Exame “O Brasil tem potencial para chegar a 2050 com uma matriz energética com 66,5% de participação de [fontes renováveis](#), como vento, sol e biomassa presença 47% maior do que a observada hoje”. Então é crescente a busca

por fontes inesgotáveis visto que há necessidade de inovações tecnológicas para que as fontes esgotáveis sejam substituídas por fontes inesgotáveis tornando o futuro energético sustentável.

A geração de energia fotovoltaica é comumente realizada por meio de painéis solares que precisam ser instalados sobre telhados ou regiões com certa elevação para receber uma maior incidência solar sobre suas faces. Esses equipamentos devem ser instalados de forma a aperfeiçoar a incidência de luz e assim, obter um bom rendimento das taxas de conversão.

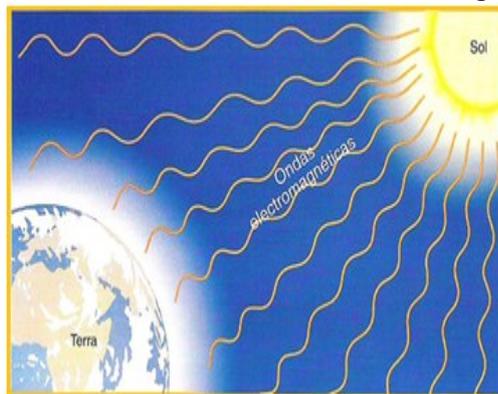
Por isso é importante observar a localização da instalação desses painéis de maneira que receba uma boa iluminação durante todo dia. Esse tipo de energia depende do clima o que pode ser que às vezes não seja previsível, o que acarretará variações na eletricidade, por esse motivo precisamos de estudos que comprovem a incidência solar para cada área. A partir desse estudo é importante avaliar um fator de segurança onde até nas piores condições climáticas tenhamos energia elétrica. Vale ressaltar também que o fato de não ocorrer incidência solar como, por exemplo, a noite não significará um impedimento do projeto, pois possibilita o uso de baterias capazes de armazenar energia para abastecer o usuário.

3 CONCEITOS BÁSICOS EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

3.1 Radiação

O sol é uma fonte inesgotável de energia, e essa energia chega ao nosso planeta na forma de radiação eletromagnética como mostrado de forma ilustrada na figura 1, possuindo uma frequência e comprimentos de ondas diferentes de acordo com (VILLAVA e GAZOLI, 2012).

Figura 1 - Transmissão de ondas eletromagnéticas



Fonte: <<http://termologiajaborandi.blogspot.com.br>>.

Ainda de acordo com (VILLAVA e GAZOLI, 2012) “A luz viaja com uma velocidade constante no vácuo do espaço extraterrestre. A fórmula matemática apresentada a seguir relaciona a frequência, o comprimento de onda e a velocidade da onda eletromagnética”. Ou seja, a velocidade da luz é igual ao produto do comprimento de onda e a frequência da onda como mostra a equação 1 (HALLIDAY4, 2008).

Equação 1 - Velocidade da luz no vácuo

$$C = \lambda \cdot f \quad (1)$$

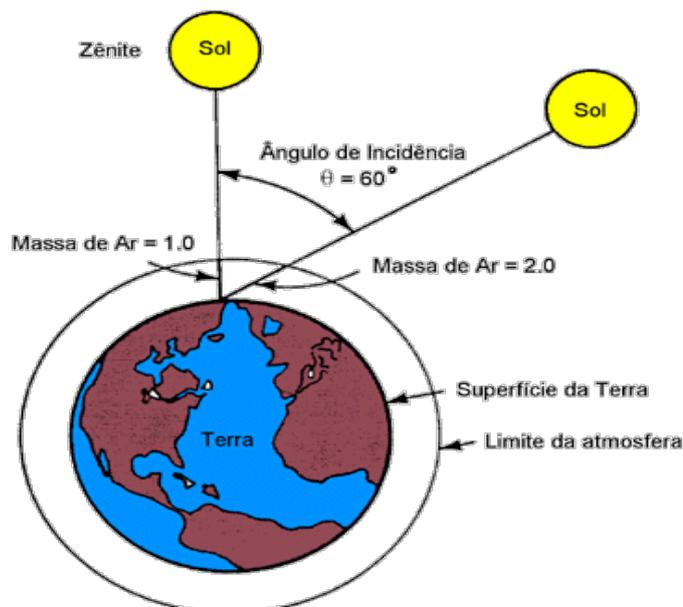
Esse conhecimento será de grande importância para entender a energia fotovoltaica, já que as ondas eletromagnéticas impulsionarão a energia nas placas solares.

3.1.1 Massa de ar e tipos de radiação

A radiação solar sofre interferências quando atravessam a atmosfera do nosso planeta e as camadas de ar existentes na nossa atmosfera, essa interferência vai depender das características da camada de ar e do que é composta a atmosfera, pois existem elementos suspensos como o vapor de água e poeira segundo (VILLAVA e GAZOLI, 2012).

A profundidade que os raios solares irão monopolizar depende do comprimento do trajeto até o solo, cujo mesmo será determinado pelo ângulo de inclinação do sol em relação à linha zênite também conhecido como ângulo zenital do sol, essa linha imaginária que é perpendicular ao solo terrestre, de forma que quando o sol esta acima do observador o ângulo zênite será igual a zero, então à medida que o sol faz seu movimento natural aumentará o ângulo zenital e assim influenciando o trajeto dos raios solares, uma vez que os raios terão que ultrapassar uma camada de ar maior, como será mostrado na figura 2 que retrata isso de forma ilustrada:

Figura 2 – Trajetória dos raios de Sol na atmosfera e definição do Coeficiente de "Massa de Ar" (AM).



Fonte: CRESESB (2001).

A massa de ar acima citada é chamada de *AM*, que são siglas que se referem a *Air Mass*, em inglês e é definida assim de maneira internacional, para calcular a

massa de ar temos a seguinte equação 2 que nos mostra que a massa de ar é inversamente proporcional ao cosseno do ângulo de incidência:

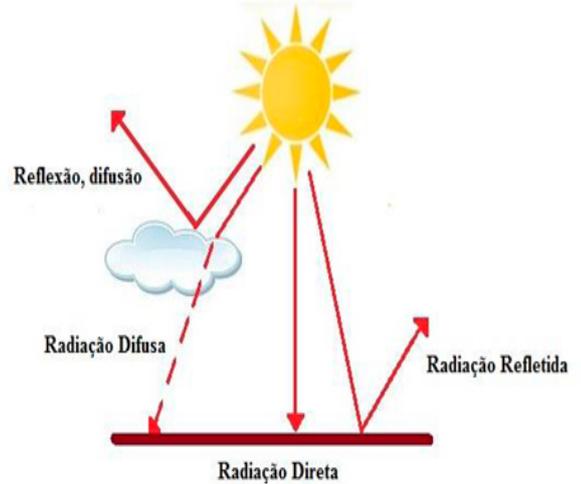
Equação 2 - massa de ar

$$AM = \frac{1}{\cos \theta} \quad (2)$$

O ângulo na equação acima é o ângulo zenital do sol, mostrando assim a influência que a radiação sofrerá de acordo com o ângulo zenital, pois ele estará diretamente relacionado com a camada de ar. A energia oriunda do sol depende de diversos fatores como à hora do dia, já que é nos horários de pico que ocorrerá maior incidência dos raios solares, da época do ano, condições do clima e muitos outros fatores. A radiação solar vai mudar para cada região do planeta, como já foi visto, pois as condições são diferentes para cada região, então os conhecimentos desses fatores que influenciarão na variação de radiação deverão ser conhecidos, as regiões situadas na zona tropical estarão sujeitas a massas de ar menores logo terão mais incidência de luz e calor.

Ainda temos que levar em conta os fatores naturais e não naturais que influenciarão de forma negativa a incidência solar, como nuvens e a poluição que podem fazer com que a luz sofra reflexão e absorção. Segundo (VILLAVA e GAZOLI, 2012). A radiação global é a soma das radiações direta e difusa, a direta é os raios solares que chegam diretamente oriundo do sol em linha reta e chega ao plano horizontal, e sua inclinação dependerá do ângulo zenital do sol. Já a radiação difusa é resultado da difração, ou seja, a luz solar que chega indiretamente ao plano, essa difração é ocasionada pela atmosfera, poeira, nuvens e os demais objetos. A imagem a seguir na figura 3 mostra esses dois tipos de incidência solar:

Figura 3 – Radiação direta e difusa formando a radiação global



Fonte: <<http://focusolar.com.br/potencial-solar-brasileiro/>>.

Existem instrumentos para a medição da radiação global chamado de piranômetro, e também os pireliômetro que consegue medir a radiação direta. Assim com auxílio desses instrumentos pode-se definir a radiação solar de um local específico para que seja previsível uma possível otimização para a instalação das placas solares.

3.2 Irradiância

Já foi dito anteriormente e mostrado os tipos de radiação, então se deve determinar uma grandeza para quantificar a radiação solar, essa grandeza recebeu o nome de irradiância que é razão entre a potência e área (W/m^2), sendo a potência diretamente proporcional à energia em um determinado intervalo de tempo. Existem no mercado equipamentos como mostrado na figura 4, para auxiliar a medição de radiação solar:

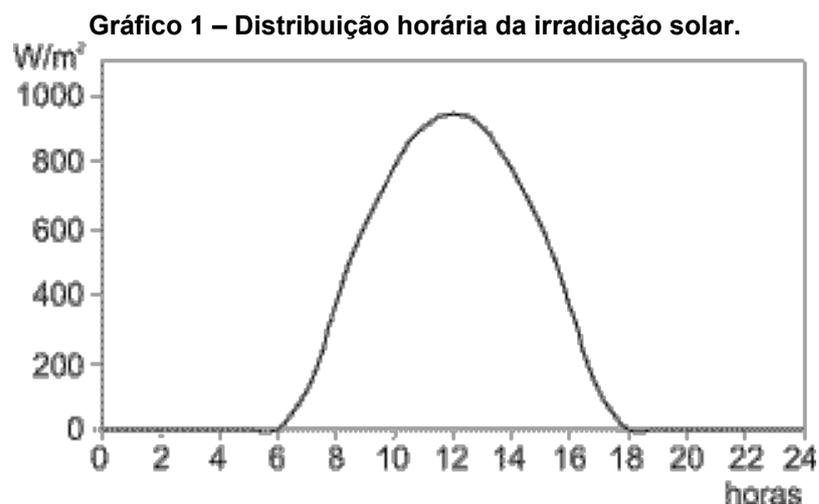
Figura 4 – Medidor de radiação solar portátil



Fonte: <<http://www.tecnovip.com/listagem.asp?d=73>>.

Segundo Villava e Gazoli (2012) “Na superfície terrestre a irradiância da luz solar é tipicamente em torno de 1000 W/m^2 . No espaço extraterrestre, na distância média entre o sol e a terra, a irradiância é cerca de 1353 W/m^2 ”. Hoje temos indústrias fotovoltaicas que tem como padrão a irradiância de 1000 W/m^2 para avaliar placas fotovoltaicas, sempre que observamos as especificações de fabricantes vemos que esse valor é tomado como referência.

Podemos ainda através de medidas em uma placa solar obtidos em um dia ver a distribuição de irradiância, ou seja, a energia em uma determinada área durante o dia, semanas ou até meses como mostrado no gráfico 1:

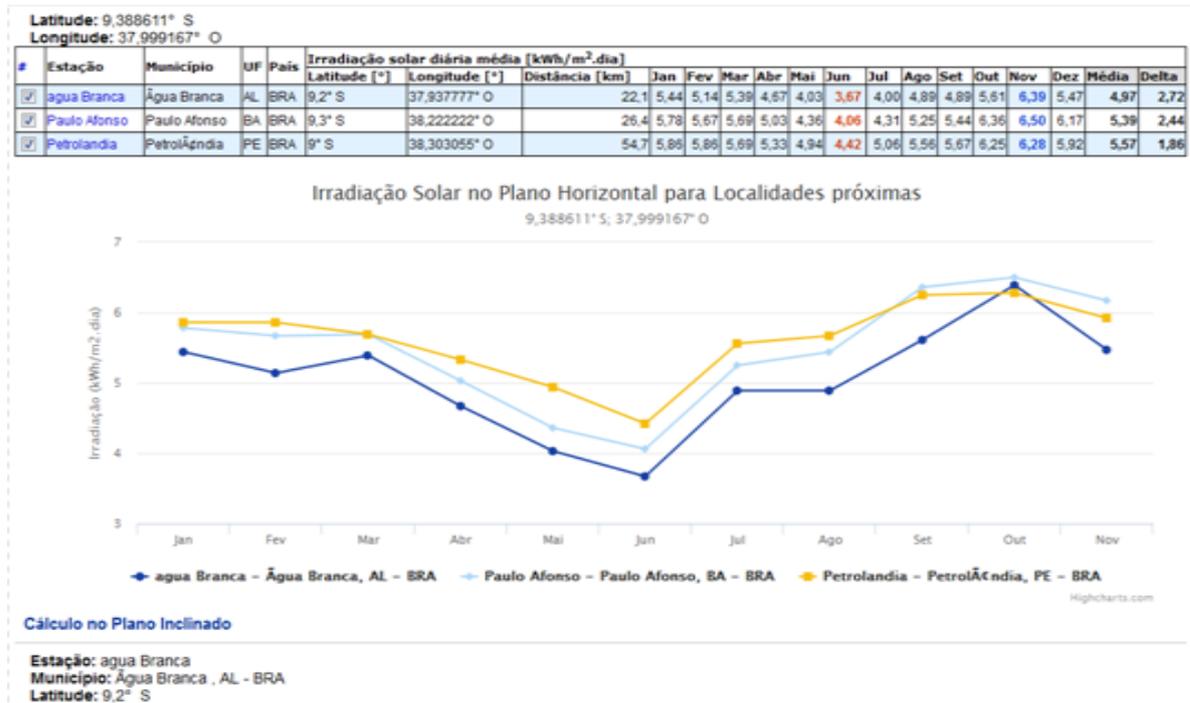


Fonte: <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo03.htm>>.

Diante da pesquisa aqui desenvolvida, faz-se necessário saber qual a irradiância de algumas regiões de proximidades de Delmiro Gouveia-AL, como Água

Branca - AL, Paulo Afonso - BA e Petrolândia – PE, cujos resultados encontrados podem ser observados no gráfico 2 abaixo que mostra as respectivas irradiância.

Gráfico 2 - Irradiância das cidades: Água Branca - AL, Paulo Afonso - BA e Petrolândia - PE



Fonte: Cresesb

Delimitando ainda mais os estudos, encontrou-se dados mais detalhados referentes à irradiância da cidade de Água Branca - AL, que fica ainda mais próxima do nosso local de estudos referentes a esta pesquisa, que é Delmiro Gouveia-AL. As informações obtidas podem ser vistas no gráfico 3 de irradiância:

Gráfico 3 – Irradiância da cidade de Água Branca-AL

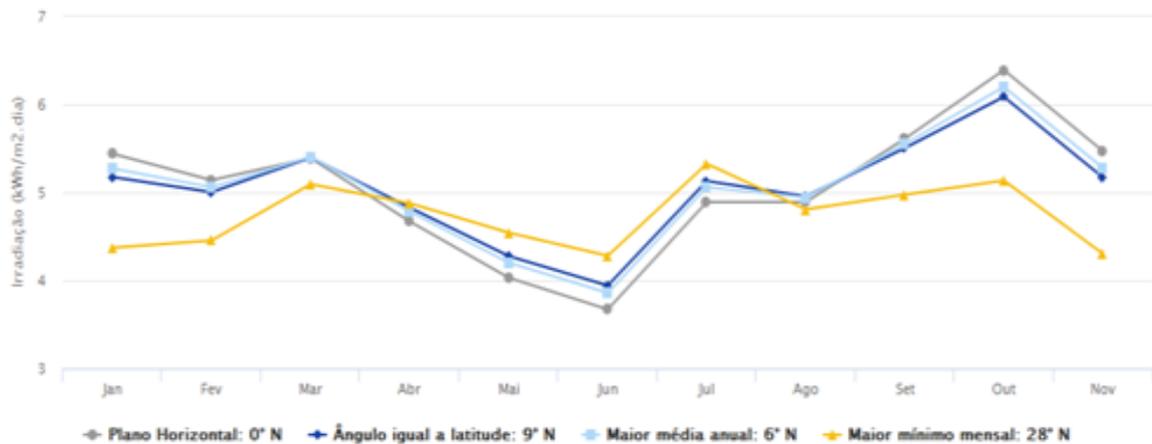
Cálculo no Plano Inclinado

Estação: agua Branca
 Município: Água Branca , AL - BRA
 Latitude: 9,2° S
 Longitude: 37,937777° O
 Distância do ponto de ref. (9,388611° S; 37,999167° O) :22,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,44	5,14	5,39	4,67	4,03	3,67	4,00	4,89	4,89	5,61	6,39	5,47	4,97	2,72
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	9° N	5,18	5,00	5,39	4,83	4,28	3,94	4,28	5,13	4,95	5,50	6,09	5,17	4,98	2,15
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	6° N	5,27	5,06	5,40	4,78	4,20	3,86	4,20	5,06	4,94	5,55	6,20	5,28	4,98	2,34
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	28° N	4,37	4,45	5,09	4,88	4,54	4,28	4,62	5,33	4,81	4,97	5,14	4,30	4,73	1,05

Irradiação Solar no Plano Inclinado -água Branca-Água Branca, AL-BRA

9,2° S; 37,937777° O



Tais informações são de grande importância para nossa pesquisa, pois mostram parâmetros a ser seguidos, tendo em vista que o conhecimento de alguns fatores ajudará a minimizar erros já que se trata de uma área tecnológica que dependerá de diversos fatores, dentre eles, o mais importante é a insolação onde serão instaladas as placas solares, a seguir veremos a mapa de insolação do Brasil, para que cada vez mais nos aproximamos de nossa região que é o sertão alagoano.

3.3 Insolação

Quando uma pessoa é exposta durante muito tempo em um ambiente quente e/ou recebendo os raios solares diretamente com seu corpo, isso pode causar uma insolação, que segundo Funari e Tarifa (2008, p.106) definem como sendo, “o número de horas de brilho solar enquanto a radiação solar global representa a soma da radiação vinda diretamente do Sol, acrescida da radiação difundida pelas partículas e gases da atmosfera”.

Para obter-se dados referentes à insolação, geralmente, utiliza-se o modelo de Angström-Prescott, que pode nos dar uma estimativa da radiação solar, como observada na equação 3 abaixo:

Equação 3 – modelo de Angström

$$Q_g = Q_o \left(a + b \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (3)$$

Onde Q_g é a radiação solar ao nível do solo (ly/dia); Q_o é a radiação solar no topo da atmosfera (ly/dia) e n/N é a razão de insolação, sendo "a" e "b" são parâmetros da reta de regressão (FUNARI E TARIFA, 2008, p.106). Segundo Carvalho, *et al* (2011, p.839), a equação de Angström-Prescott “pode ser utilizada com base em dados diários, quinzenais, mensais, sazonais e anuais e seus coeficientes (a e b) devem ser ajustados localmente e para diferentes épocas do ano, a fim de melhor representarem a variação da radiação em função do brilho solar”.

O Brasil é um país bastante viável para utilização de painéis fotovoltaicos, ou seja, usar o Sol como sendo a principal fonte de energia nas regiões que apresentam maiores insolações diárias.

A maioria das regiões do país possui um potencial não explorado de geração de energia fotovoltaica. Existem ações isoladas em determinados Estados para suprir a necessidade da população necessitada de energia elétrica, mas não há ações concretas em empresas, que são grandes consumidoras de energia (JÚNIOR E DEMANBORO, 2009, p. 3).

A citação acima pode ser comprovada a partir dos dados apresentados na figura 5 abaixo, referentes à insolação em determinadas regiões do Brasil, mas especificamente no Nordeste.

Figura 5 – Mapa de insolação do território brasileiro.



Fonte: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>.

Vemos que a região nordeste recebe uma insolação satisfatória, e como nosso principal objetivo é trazer para o sertão alagoano, vemos a viabilidade de se complementar a matriz já existente e também levar às pessoas que ainda estão desassistidas da energia advinda das hidrelétricas, seja por difícil acesso ou até mesmo pelo custo das taxas e impostos.

3.4 O efeito fotoelétrico e fotovoltaico

O efeito relacionado à luz remonta a tempos em que a física clássica imperava de forma que a luz era tida como onda senoidal, porém a física moderna nasceu com a necessidade de explicar alguns comportamentos que até então somente com a física clássica não poderíamos entender. De acordo com (HALLIDAY, 2008) Albert Einstein propôs que energia poderia ser quantizada, e hoje damos o nome a essa quantidade elementar de luz de fóton, que será primordial para entendermos o efeito fotoelétrico e fotovoltaico. Segundo Einstein, um quantum de luz de frequência " f " tem uma energia dada pelo o que está sendo mostrado na equação 4:

Equação 4 - Energia do fóton

$$E = hf \quad (4)$$

Einstein quebrou dogmas da física clássica e mostrou que um *quantun* com uma dada frequência tem uma energia que é diretamente proporcional ao produto dessa frequência e a Constante de Planck. Ainda tratando da luz, Einstein propôs que sempre que a luz é emitida ou absorvida essa emissão ou absorção ocorre nos átomos, então observando esse comportamento foi pensado em aplicações tecnológicas usando os conceitos dos fótons.

O efeito fotoelétrico segundo a bibliografia fundamentos da física, já citada, diz que ao iluminamos uma superfície metálica com raio luminoso de comprimento de onda suficientemente pequeno Elétrons serão emitidos pelo metal, e através de experimentos foi demonstrado que o desprendimento de elétrons não estava relacionado à intensidade luminosa, seja a fonte ofuscante ou uma simples luz de vela.

De acordo com Halliday (2009), “a energia cinética máxima dos elétrons ejetados tem sempre o mesmo valor, contanto que a frequência da luz permaneça a mesma”. Einstein resumiu os resultados de experimentos na equação 5 que se refere a energia do fóton para o efeito fotoelétrico:

Equação 5 – Efeito fotoelétrico

$$hf = Kmáx + \phi \quad (5)$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s (cte de Plank)}$$

Como visto a equação acima descreve a energia do fóton (hf) que está igualada a energia cinética máxima ($Kmáx$) somada com uma função trabalho (ϕ), ou seja, quando a energia do fóton é transferida para a superfície, esta é convertida em energia cinética, que corresponde ao elétron com velocidade, juntamente com a função trabalho, que é a energia utilizada para extrair o elétron do átomo.

É importante salientar que, para que esse elétron se desprenda do metal com a radiação incidente será necessário que a energia do fóton seja maior que a função trabalho. Todo esse conceito de fóton e efeito fotoelétrico será muito importante para o entendimento do efeito fotovoltaico, pois existirá uma analogia desses efeitos, mais precisamente podemos dizer que o efeito fotovoltaico é análogo ao efeito fotoelétrico. O conhecimento desses fenômenos envolvendo a luz fez com que as aplicações tecnológicas na área de energias fossem vistas como uma forma de melhoria de abastecimento no setor de energias, mas precisamente a energia fotovoltaica que é a energia advinda dos raios solares e que se dispõe em painéis solares.

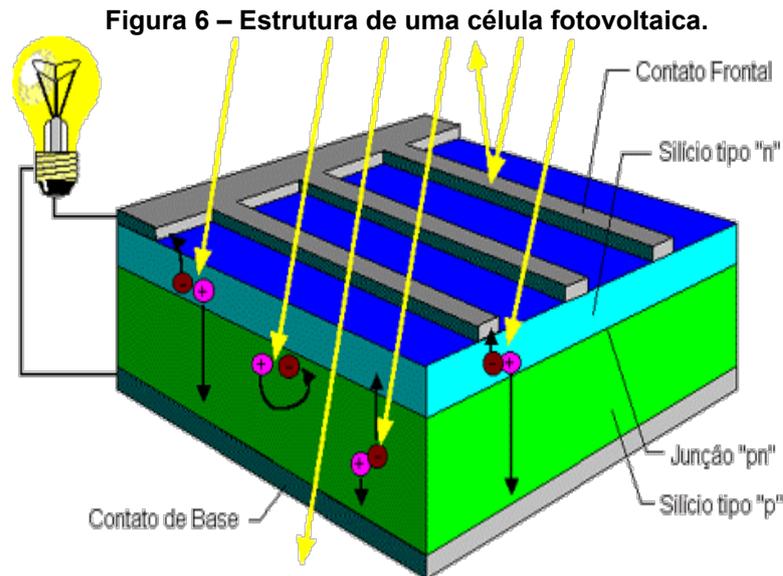
Painéis solares são, basicamente, dispositivos utilizados para converter a energia da luz do Sol em energia elétrica. O dispositivo também é conhecido como “Painel Solar Fotovoltaico”. A composição de um painel solar consiste em células fotovoltaicas, estas com a propriedade de ter sensibilidade de absorver a energia solar e gerar a eletricidade em duas camadas opostas (POZZEBON, 2013, p. 1).

Para entendermos o efeito fotovoltaico temos que descrever os componentes de uma célula solar, que tem materiais com propriedades intermediárias entre condutor e isolante e são muito importantes para eletrônica moderna, são sensíveis a variações de impurezas e temos como exemplo: Silício (Si), Germânio (Ge) e Arseneto de Gálio (GaAs) (MORA, 2010).

O efeito fotovoltaico é a base para os sistemas de energia solar fotovoltaica produzindo energia limpa, a radiação eletromagnética do sol é transformada em energia elétrica através de uma diferença de potencial de uma célula formada por materiais semicondutores, a estrutura da célula fotovoltaica é formada por uma camada *N* e outra *P*.

Segundo Miranda (2014), “quando se forma a junção P-N no material, ou seja, a justaposição do material do tipo P com o material do tipo N surge um campo elétrico permanente na região da junção”. Essas camadas são unidas e com a incidência dos raios solares, como analogamente ao efeito fotoelétrico, desprende elétrons livres no lado N (carregado negativamente) para o lado P (carregado positivamente) causando a inversão de polaridade onde o lado N ficará carregado positivamente e o lado N carregado negativamente e originam um campo elétrico criando uma barreira de potencial entre as duas placas. Quando separadas as capas são eletricamente neutras. Mas quando unidas, na região P-N, forma-se um campo elétrico devido aos elétrons livres do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P.

Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons colidem com os elétrons da estrutura de silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado pela junção P-N, os elétrons são direcionados e fluem da camada “P” para a camada “N” (NASCIMENTO, 2004, p.13). Veremos a seguir a estrutura de uma célula fotovoltaica representada na figura 6:



Fonte: <http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321>.

As células geram a corrente elétrica e a luz faz com que os elétrons continuem o fluxo, as células não possuem a capacidade de armazenar a energia gerada, porém com alguns artifícios que serão discutidos mais a frente, veremos que esta alternativa energética é extremamente viável, este fenômeno descrito acima recebeu o nome de efeito fotovoltaico.

3.4.1 Fabricação das células

O início do avanço da tecnologia fotovoltaica se deu entre a década de 70 e 90, sua principal utilização foi na indústria aeroespacial (PINHO E GALDINO, 2014). Hoje cresce exponencialmente (MARSAL, 2011) esse tipo de tecnologia para o uso terrestre, tanto em relação aos tipos de células até o material usado na produção, mostrando também uma grande motivação na engenharia de materiais buscando cada vez mais aumentar a eficiência da célula e baratear a produção. O silício é o material semiconductor mais usado na produção de células e também o número um em relação a sua comercialização.

O silício usado para a fabricação de células fotovoltaicas é facilmente extraído do quartzo mineral, sendo este abundante. De acordo com a ECOCERT (2014):

O quartzo ocupa uma fração significativa da crosta terrestre e ocorre praticamente no mundo todo e em quase todos os tipos de rocha. É um mineral formador de rocha. O quartzo é um importante constituinte de rochas ígneas com excesso de sílica, como o granito, riolito e pegmatito. É

extremamente resistente ao ataque químico e físico, fazendo com que se acumulem grãos de quartzo formando rochas sedimentares, arenito. Ocorrem também em rochas metamórficas, como o gnaisse e xistos, formando praticamente o único mineral dos quartzitos (ECOCERT, 2014, p. 1).

O processo começa com a retirada do mineral da natureza e após isso ele passa por um processo de purificação do silício que após isso passará por processos com o fim de produzir a célula fotovoltaica, as tecnologias de células mais comuns são a do silício monocristalino, policristalino. A seguir veremos algumas das suas características:

Figura 7 – Silício no estado puro.



Fonte: <http://gemasdobrasil.blogspot.com.br/2015/10/variedades-de-quartzo-encontradas-na.html>.

A figura acima Mostra o silício no estado puro e a partir do mineral retirado da natureza temos a purificação que nos dará, dependendo do processo a que foi sujeito, a célula solar monocristalina, policristalina. O silício no estado puro segue para o processo que retira as impurezas para termos uma maior eficiência nas células.

3.4.2 Silício monocristalino

A partir do silício ultra puro formamos o silício mono cristalino, esse processo requer altas temperaturas e é submetido a um processo de formação de cristal, esse processo é chamado de método de Czochralski, o método recebeu o nome do cientista polonês que criou o método de formação dos cristais de silício que hoje estão sendo usados em semicondutores nos componentes eletrônicos e células fotovoltaicas. Após o processo resulta no lingote de silício monocristalino que será mostrado na figura 8 a seguir:

Figura 8 – Lingote de silício monocristalino.



Fonte: <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>.

O lingote de silício tem uma estrutura homogeneia, cristalino único e possui melhor arranjo molecular, o lingote é fatiado em finas fatias de silício com grau de pureza elevado. Após esse processo o silício é submetido a impurezas em ambas as faces para formar as camadas P e N para então formar uma célula fotovoltaica. A célula ainda recebe uma película de metal em uma de suas faces e na outra face uma camada de material antirreflexo que receberá a luz solar, então terá a célula monocristalina como na figura 9 a seguir:

Figura 9 – Célula fotovoltaica monocristalino.



Fonte: <<http://energiasolarresidencial.org/placa-solar>>.

A célula monocristalino possui um aspecto azul escuro ou preto, vai depender do tratamento anti-reflexo a que foi sujeita. Segundo (VILLAVA e GAZOLI, 2012) “As células de silício monocristalino são as mais eficientes produzidas em larga escala e

disponíveis comercialmente. Alcançam eficiência de 15 a 18%, mas tem um custo de produção mais elevado que outros tipos de células”. A junção de diversas células forma um painel solar.

3.4.3 Silício policristalino

O processo de produção do silício policristalino tem um custo menor que o monocristalino, pois o lingote tem uma estrutura menos complexa, sendo esse uma junção de pequenos cristais com os mais variados tamanhos. Essa diferença faz com que o silício policristalino se torne um pouco menos eficiente que o monocristalino, porém em termos de viabilidade deve-se fazer uma otimização de eficiência e custo para fazer uma escolha a qual será utilizado, a seguir na figura 10 veremos os aspectos do lingote do silício policristalino:

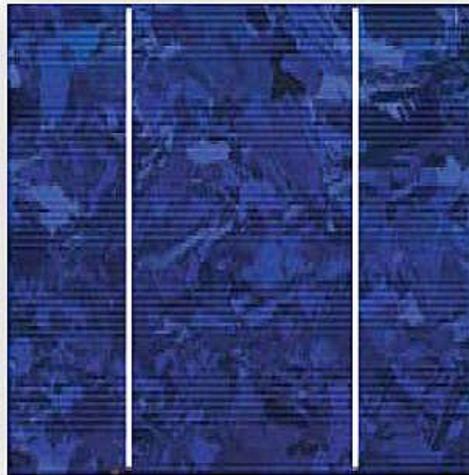
Figura 10 – Lingote de silício policristalino.



Fonte: < <http://static.naukas.com/media/2011/12/silicio-policristalino.jpg> >.

O lingote de silício policristalino será fatiado e após isso segue para se tornar uma célula fotovoltaica, visivelmente vemos que a estrutura desse lingote se diferencia do monocristalino, possui aparência heterogênea e geralmente serão de cor azulada, mas semelhante ao monocristalino sua cor pode sofrer variações dependendo do tratamento anti-reflexo que receberá a luz solar. A seguir na figura 11 veremos como será a célula solar a partir do silício policristalino:

Figura 11 – Célula de silício policristalino.



Fonte: <<http://www.electricidad-gratuita.com/energia%20fotovoltaica.html>>.

A célula solar policristalina possui características visuais como mostrada na imagem acima, elas são produzidas através de blocos de silício que são fundidos em moldes especiais e ao esfriar se solidifica. No entanto, durante esse processo, os átomos não se constituem em um único cristal, eles formam uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais (NASCIMENTO, 2004).

De acordo com Villava e Gazoli (2012), “as células de silício policristalino têm eficiências comerciais entre 13 a 15%, ligeiramente inferiores às das células monocristalinas, entretanto seu custo de fabricação é menor do que o das células monocristalinas”. Em uma situação de projeto com a otimização teremos a escolha do tipo de placa solar que será instalada.

3.5 Ângulo azimutal

O ângulo azimutal é determinado entre a projeção do vetor posição do sol sobre o plano do horizonte e o vetor norte verdadeiro, quando este é medido a partir da orientação positiva do norte verdadeiro, ele é considerado positivo, ou seja, no mesmo sentido dos ponteiros de um relógio (LATORRE, 1998). Juntamente com o ângulo zenital, o azimute permite determinar a posição do sol num instante em relação ao referencial local (LATORRE, 1998).

De acordo com Liou (1980) e Iqbal (1983), a equação 6 que representa o ângulo azimutal do sol é dada abaixo:

Equação 6 – ângulo azimutal do Sol

$$\cos b = \frac{(\text{sen } \delta - \cos Z_0 \cdot \text{sen } \phi)}{\cos \phi \text{ sen } Z_0} \quad (6)$$

$$\text{sen } b = \frac{\text{sen } h \cos \delta}{\text{sen } Z_0}$$

O ângulo azimutal solar tem como finalidade determinar a trajetória do Sol através da abóbada celeste em um dado local e data. Segundo Espínola Sobrinho, *et al* (2007, p.4) “O azimute solar (A) é o ângulo formado entre a projeção do raio vetor do astro no plano do horizonte local e a linha norte-sul. Este ângulo é contado a partir do Norte, tendo valores negativos ou positivos quando o Sol estiver a leste ou a oeste da linha norte-sul, respectivamente”.

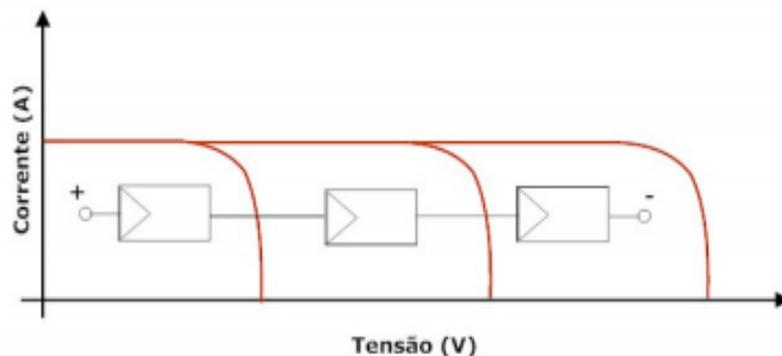
Portanto, estudar sobre o ângulo azimutal e saber calcular o azimute do Sol são de suma relevância para o desenvolvimento deste trabalho, pois a partir disso é possível determinar sua variação anual para o local estudado que, neste caso, trata-se da cidade de Delmiro Gouveia – AL.

4 MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS

Para que haja módulos fotovoltaicos é necessário que as células estejam ligadas em série ou em paralelo. De acordo com Carneiro (2010, p. 3) as células fotovoltaicas são ligadas em série quando “a potência máxima que é alcançada através da utilização de uma única célula fotovoltaica não excede, regra geral, a potência de 3W, o que é manifestamente insuficiente para a maioria das aplicações reais”.

Desse modo são formados os módulos fotovoltaicos. Nas imagens 12 e 13 pode-se observar (respectivamente) a ilustração de uma ligação de painéis em série e a representação esquemática referente à associação de várias células fotovoltaicas (de silício cristalino) visando o aumento da potência total do módulo fotovoltaico formado a partir desta forma ligação. Ver abaixo conforme a figura 12:

Figura 12 – Ligação de painéis solares em série

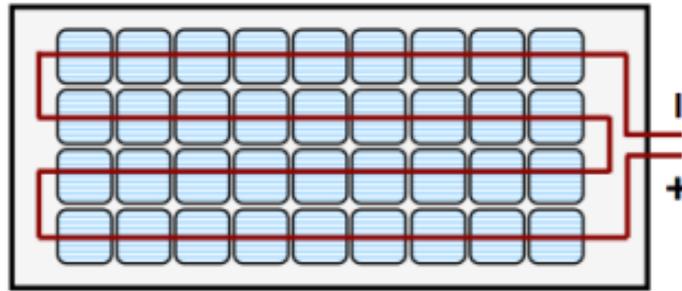


Fonte: Serrão (2010, p. 10).

Esse tipo de ligação pode ser utilizada em casos quando um painel fotovoltaico não esteja sendo suficiente para a geração de energia pretendida, nesse caso, pode-se acoplar outros painéis através da ligação em série. Feito isso, a tensão que sairá do sistema será diretamente proporcional à quantidade de painéis, entretanto, o valor da corrente continuará o mesmo.

Já na figura 13, é possível observar um esquema de associação de várias células fotovoltaicas, cuja ligação se dá em série.

Figura 13 – Esquema da associação de várias células fotovoltaicas (módulo em série)

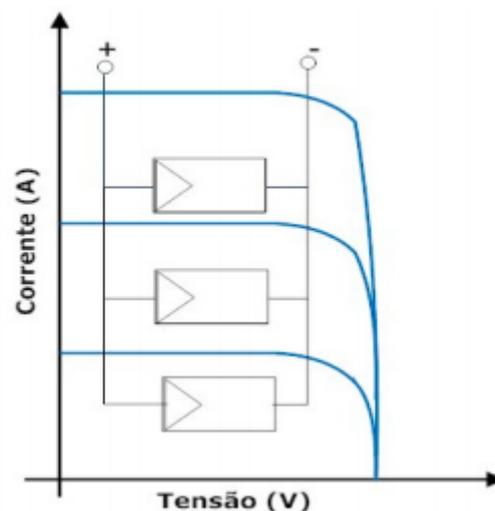


Fonte: Carneiro (2010, p. 3).

O esquema de módulos é utilizado com a finalidade de aumentar a potência, pois a potência de uma única célula fotovoltaica é, no máximo, 3W. Então, para que essa potência seja maior, faz-se necessário o agrupamento de diversas placas, por ligação em série, até alcançar a potência desejada.

Sobre a ligação em paralelo de células fotovoltaicas, Carneiro (2010, p.11) diz que: “A ligação em paralelo entre módulos individuais (utilizada tipicamente nos sistemas autônomos) é efetuada quando se pretende obter correntes mais elevadas e manter o nível de tensão estipulada do módulo”. Abaixo, tem-se as imagens 14 e 15 que representam esquematicamente a ligação de painéis em paralelo e os módulos fotovoltaicos formados a partir deste tipo de ligação.

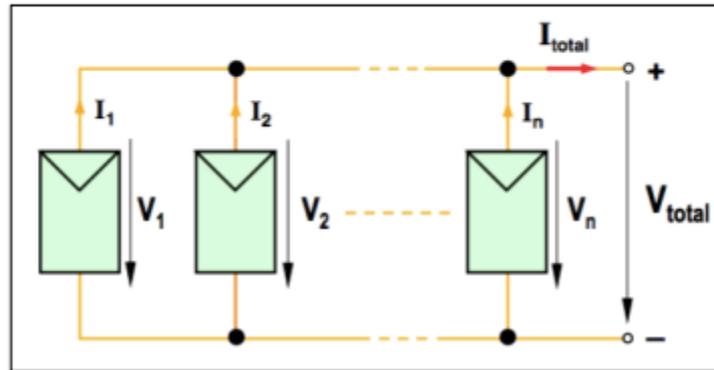
Figura 14 – Ligação de painéis solares em paralelo



Fonte: Serrão (2010, p. 10).

Portanto, ao colocar os painéis em paralelo o valor de saída da tensão não será alterado, entretanto, a corrente aumentará bastante e devido a isso será necessário fazer uma reavaliação das quedas de tensão no sistema.

Figura 15 – Esquema da associação de várias células fotovoltaicas (módulo em paralelo)

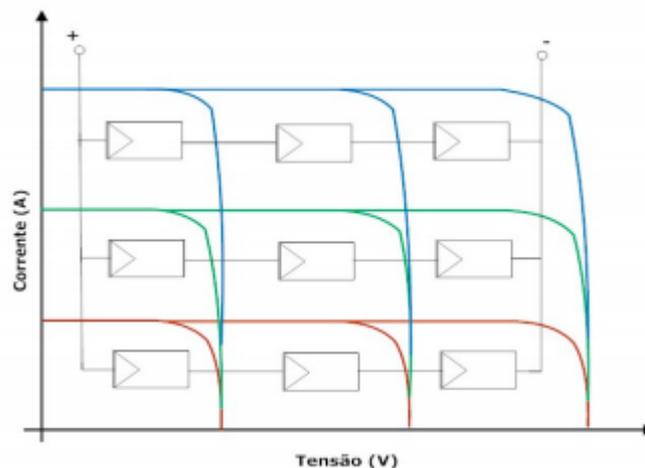


Fonte: Fonte: Carneiro (2010, p. 11).

Nesse esquema de associação de várias células fotovoltaicas, ligadas em paralelo, faz-se a soma das correntes para obter um novo valor, enquanto que o valor da tensão não varia, ao contrário do que acontece no esquema de ligação de painéis solares em série.

Outra opção de ligação de células fotovoltaicas é em série-paralelo, “essa configuração é bastante utilizada em projetos que exigem um determinado nível de tensão de saída, como nos sistemas de ligados à rede” (SERRÃO, 2010, p.11). Como pode ser observado na figura 16 abaixo:

Figura 16 – Ligação de painéis em série-paralelo



Fonte: Serrão (2010, p. 10).

Esse tipo de ligação, também denominada mista, é muito utilizada em sistemas que necessitam de um determinado nível de saída da tensão, por exemplo, àqueles ligados à rede. A desvantagem desse tipo de ligação é que, se em algum momento

uma corrente atravessar um painel no sentido contrário ao que ele foi esboçado, seu desempenho poderá ser comprometido.

Os módulos fotovoltaicos são definidos a partir da equação 7 seguinte:

Equação 7 – definição dos módulos fotovoltaicos

$$n = \frac{\text{Potência elétrica fornecida pela célula/ módulo}}{\text{Potência contida na radiação solar incidente}} \quad (7)$$

Na maioria das vezes, é estabelecida uma Temperatura Nominal de Funcionamento do módulo, sendo esta definida a partir das seguintes condições, de acordo com o autor supracitado:

- Intensidade da radiação solar incidente na superfície = 800 W/m²;
- Temperatura do ar = 20°C;
- Velocidade do vento = 1m/s.

As principais características dos módulos fotovoltaicos são referentes aos coeficientes térmicos e parâmetros elétricos, cujos mesmos podem ser observados a partir das tabelas 1 e 2 abaixo:

Tabela 1 - Ficha técnica das características térmicas dos módulos fotovoltaicos

Módulos fotovoltaicos m-Si (modelos que existem no mercado)		
Parâmetros térmicos	Unidade	Modelo 1 /2 Modelo 3/4
NOCT (Temp. nominal de funcionamento)	°C	45 ± 2
Coefficiente térmico para I _{CC}	°C / °K	+0,04
Coefficiente térmico para V _{ca}	°C / °K	-0,34
Temperatura máxima admissível	°C	-40 a +85
Módulo exposto à radiação solar	°C	-40 a +50

Fonte: Carneiro (2010, p. 7).

Tabela 2 - Ficha técnica dos parâmetros eléctricos de diversos módulos fotovoltaicos

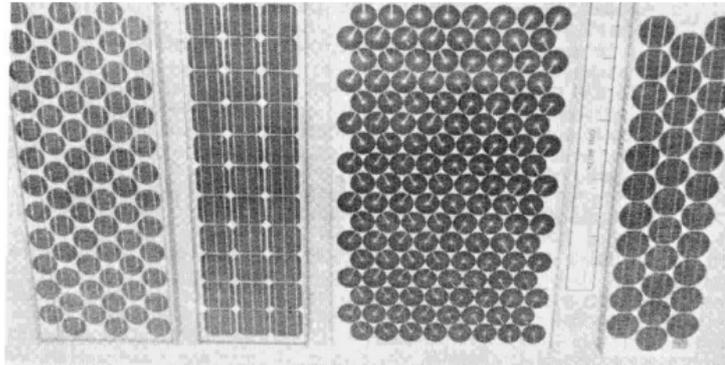
Módulos fotovoltaicos m-Si (modelos que existem no mercado)				
Parâmetros eléctricos	Símbolos	Unidade	Modelo 1 / Modelo 2	Modelo 3 / Modelo 4
Potência máxima	P_{max}	W	110	110
Potência mínima	P_{min}	W	100	90
Corrente máxima	I_{max}	A	6,3/ 3,15	5,9/ 2,95
Tensão máxima	V_{max}	V	17,3/ 35,0	17,0/ 34,0
Corrente de curto-circuito	I_{CC}	A	6,9/ 3,35	6,5/ 3,25
Tensão de circuito aberto	V_{ca}	V	21,7/ 43,5	21,0/ 42,0
Tensão máx. admissível	V_{adm}	V	1000	1000
Eficiência	η	%	12,7	11,5

Fonte: Carneiro (2010, p. 7).

De acordo com o Portal Energia, os módulos fotovoltaicos podem ser classificados em função do material celular: módulos monocristalinos, módulos policristalinos, módulos de película fina (amorfo, CdTe e módulos CIS); Em função do material de encapsulamento: módulos Teflon, módulos de Resina Fundida (a classificação “módulo EVA” não é geralmente usada); Em função da tecnologia de encapsulamento: laminagem (com Eva ou com Teflon); Em função da tecnologia do substrato: módulos película-película (flexíveis), módulos vidro-película (ou módulos de vidro-Tedlar), módulos metal-película, módulos de plástico acrílico, módulos vidro-vidro; Em função da estrutura da armação: módulos com armação, módulos sem armação (módulos laminados); Em função de funções específicas de construção: módulos de vidro de segurança endurecido, módulos de vidro de segurança laminado, módulos de vidro isolante, módulos de vidro isolante para coberturas de vidro, módulos de vidro laminado. Além destes, existem também os módulos: standard, módulo especial e módulo feito à medida.

Abaixo na figura 17 é possível ver alguns dos diversos tipos de módulos fotovoltaicos existentes no mercado:

Figura 17 – Diversos módulos disponíveis no mercado



Fonte: GEPEA (2012, p. 44).

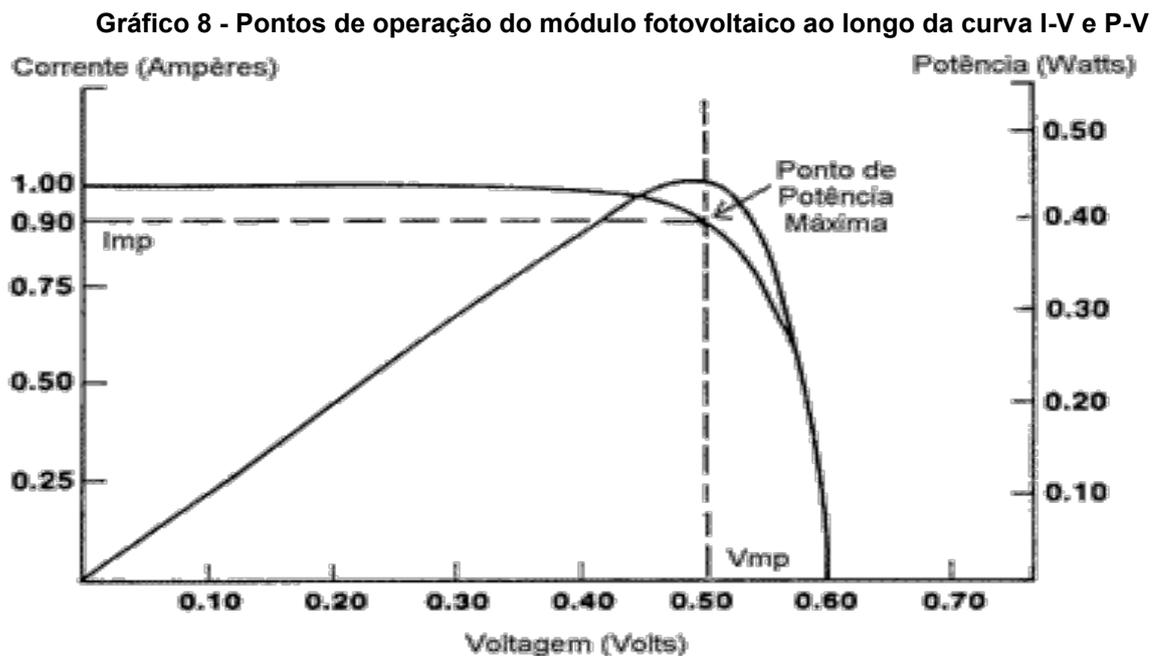
Segundo informações fornecidas pela Empresa Solar Terra, existem oito etapas que consistem no processo de fabricação dos módulos fotovoltaicos, sendo estas:

- Ensaio elétrico e classificação das células;
- Interconexão elétrica das células;
- Montagem do conjunto - colocação das células soldadas entre camadas de plástico encapsulante e lâminas de vidro e plástico;
- Laminação do módulo - o conjunto é processado numa máquina semi-automática a alto vácuo que, por um processo de aquecimento e pressão mecânica, conforma o laminado;
- Curagem - o laminado processa-se num forno com temperatura controlada no qual completa-se a polimerização do plástico encapsulante e alcança-se a adesão perfeita dos diferentes componentes. O conjunto, depois da curagem, constitui uma única peça;
- Emolduração - Coloca-se primeiramente um selante elástico em todo o perímetro do laminado e a seguir os perfis de alumínio que formam a moldura. Usam-se máquinas pneumáticas para conseguir a pressão adequada. As molduras de poliuretano são colocadas por meio de máquinas de injeção;
- Colocação de terminais, bornes, diodos e caixas de conexões;
- Ensaio final.

São muitas as opções de módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado, cabendo o cliente escolher aquele que mais lhe agrada, no entanto, é importante que no ato da compra o cliente esteja ciente da qualidade do produto que irá adquirir. Diante disso, as marcas oferecem um certo nível de confiança na altura da avaliação,

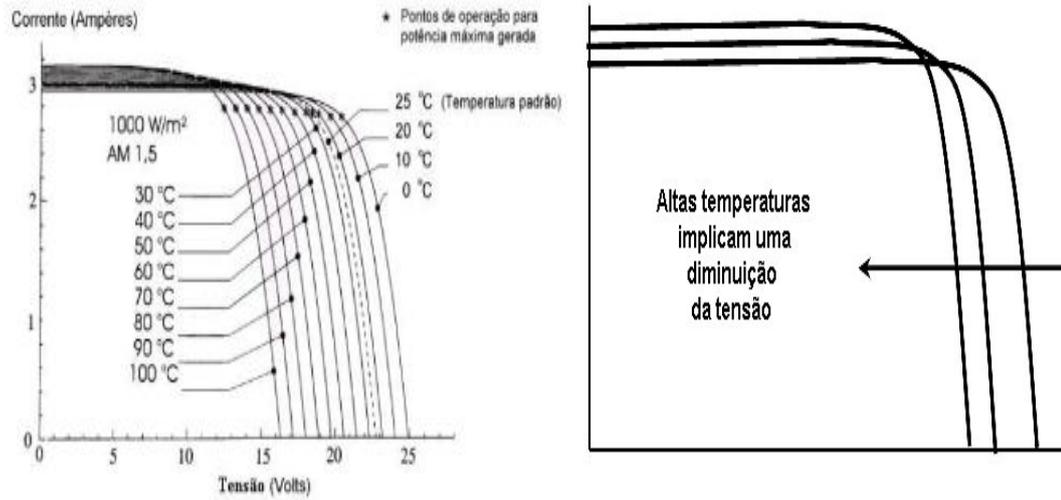
por meio de uma certificação. “A certificação atribuída por Institutos oficiais acreditados, que têm por base a realização de testes estipulados pelas normas IEC, constitui uma informação fidedigna. Um outro critério importante de avaliação consiste no período de garantia oferecido pelo fabricante” (PORTAL ENERGIA, 2004, p. 101).

Abaixo no gráfico 8 está exemplificados os pontos de operação do módulo fotovoltaico ao longo da curva I-V e P-V, como segue abaixo:



Fonte: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito.

Dando continuidade aos estudos desta pesquisa, mostramos os pontos de operação para potência máxima gerada, levando em consideração a influência da temperatura na potência em situações ótimas. Os dados podem ser observados no gráfico 9 abaixo:

Gráfico 9 – Influência da temperatura na potência

Fonte: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito.

5 METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza aplicada que “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais” (GERHARDT E SILVEIRA, 2009, p. 35). Quanto aos objetivos consiste em pesquisa explicativa que preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos (GIL, 2007).

Em relação aos procedimentos, esta se classifica como sendo uma pesquisa experimental, cuja mesma tem como finalidade determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 2007).

Ainda sobre a pesquisa experimental, Fonseca (2002) diz que:

A pesquisa experimental seleciona grupos de assuntos coincidentes, submete-os a tratamentos diferentes, verificando as variáveis estranhas e checando se as diferenças observadas nas respostas são estatisticamente significantes. [...] Os efeitos observados são relacionados com as variações nos estímulos, pois o propósito da pesquisa experimental é apreender as relações de causa e efeito ao eliminar explicações conflitantes das descobertas realizadas (FONSECA, 2002, p. 38).

Nesse contexto, tem-se que esta pesquisa utiliza as abordagens qualitativa e quantitativa, onde o autor supracitado esclarece que:

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente (FONSECA, 2002, p. 20).

Inicialmente, para o desenvolvimento desta pesquisa foi feita uma seleção de materiais (artigos científicos, revistas digitais, livros, sites, etc.) para estudo teórico e melhor compreensão da temática aqui abordada. Diante disso, alguns dos referenciais utilizados para fundamentar este trabalho foram: IPCC (2011); Uczai, *et al*, (1012); Perlotti, *et al* (2012); Nascimento (2015); EPE (2012); Neosolar Energia (2013);

Oliveira (2013); Halliday (2008); CRESESB (1999); ANEEL (2012; 2013); GEPEA, (2012); Villava e Gazoli (2012); Pinho e Galdino (2014); ECOCERT (2014); Latorre (1998); GEPEA (2012), entre outros.

No entanto, o foco desta pesquisa, como mencionado anteriormente, consiste em uma experiência prática que foi realizada laboratório de energia solar fotovoltaica da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) - Campus Sertão. Para o desenvolvimento de tal procedimento, primeiramente utilizou-se duas placas solares, uma monocristalina e outra policristalina, cujas mesmas foram postas no pátio da referida universidade para alguns testes.

O experimento foi desenvolvido durante 1 (um) ano, nesse período foram feitos 3 (três) experimentos para obtenção de informações referentes às tensões e correntes elétricas de cada uma das placas utilizadas, tanto da monocristalina como da policristalina. Tais medições eram realizadas no curto período de 20 em 20 minutos e todas foram anotadas para melhor análise dos dados coletados.

6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM DELMIRO GOLVEIA - AL

O Brasil se destaca por sua localização geográfica privilegiada, suas dimensões continentais, com intenso recurso solar, bacias hidrográficas com diversidade hidrológica, uma vasta faixa litorânea e, ainda, abundância vegetal. Estas condições naturais propiciam o aproveitamento das fontes renováveis de energia em quase todas as suas regiões (BIGGI, 2013, p. 22).

Nesse contexto, levando em consideração o pensamento do autor supracitado, tem-se que a “energia solar é uma ótima opção na busca por alternativas que não agridam o meio ambiente, pois é uma fonte não poluente e inesgotável” (BIGGI, 2013, p. 23). Para converter a energia proveniente do Sol em energia elétrica é necessária a utilização de placas fotovoltaicas, assim tem-se a energia solar fotovoltaica, cuja mesma é obtida por meio de materiais semicondutores. Segundo Zanirato, *et al* (2011) esta é uma das formas mais propícias de energia alternativa.

Diante da realidade contemporânea, em relação ao cenário energético, pode-se destacar o Sertão Alagoano onde existem pessoas que ainda não são assistidas do uso de eletricidade provenientes das hidrelétricas, assim, a energia solar seria a solução já que esses modelos autônomos podem atender desde casas de pequeno, médio e grande porte até estabelecimentos comerciais que se encontra em lugares isolados.

Com vistas nisso, sentiu-se a necessidade de realizar uma pesquisa mais aprofundada acerca da viabilidade da implantação de sistemas de energia solar fotovoltaica no Sertão alagoano. Para tanto, foram realizados estudos na cidade de Delmiro Gouveia-AL, mais especificamente na Universidade Federal de Alagoas campus do sertão Delmiro Gouveia, com o objetivo de verificar a eficácia do sistema solar fotovoltaico, como podemos observar na imagem referente a figura 18 abaixo.

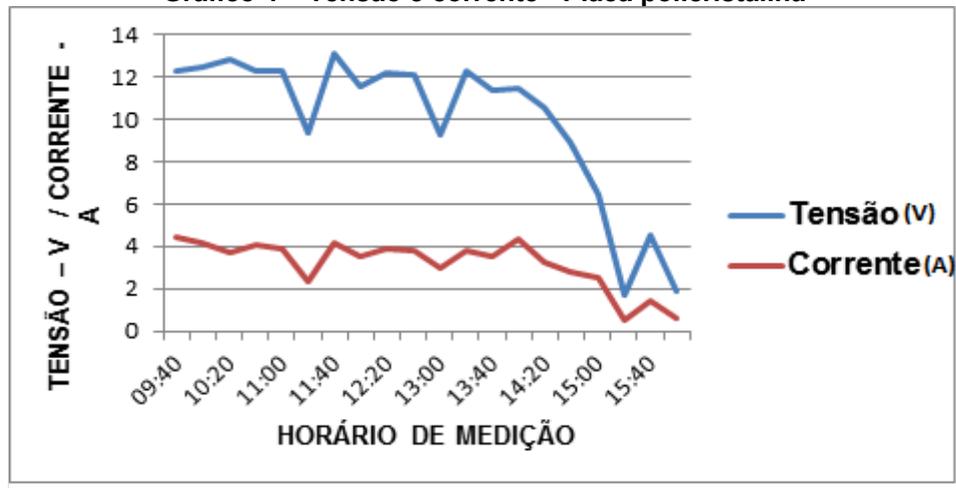
Figura 18 – Sistema Solar Fotovoltaico na UFAL – Campus do Sertão Delmiro Gouveia



Fonte: Elaborado pelo autor.

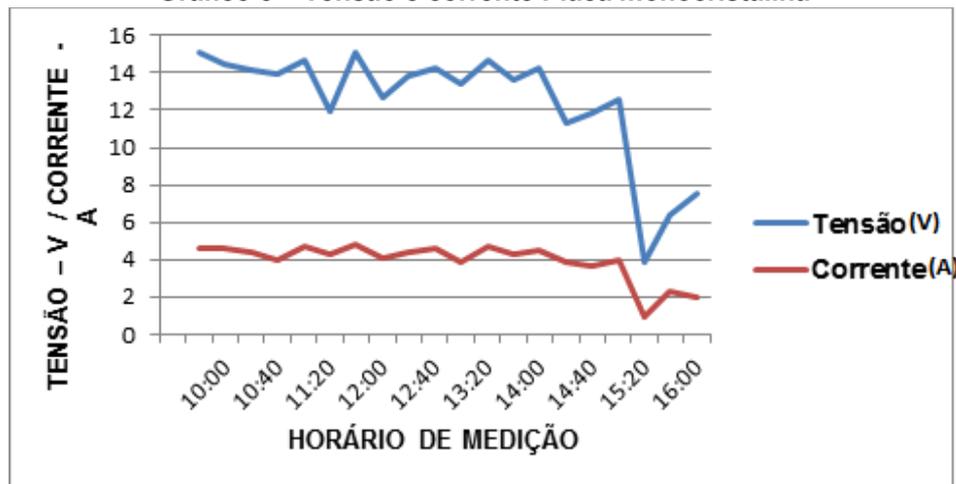
Nos gráficos 4 e 5 é possível perceber algumas medidas da tensão e corrente realizadas nas placas policristalinas e monocristalinas, respectivamente:

Gráfico 4 – Tensão e corrente - Placa policristalina



Fonte: Elaborado pelo autor.

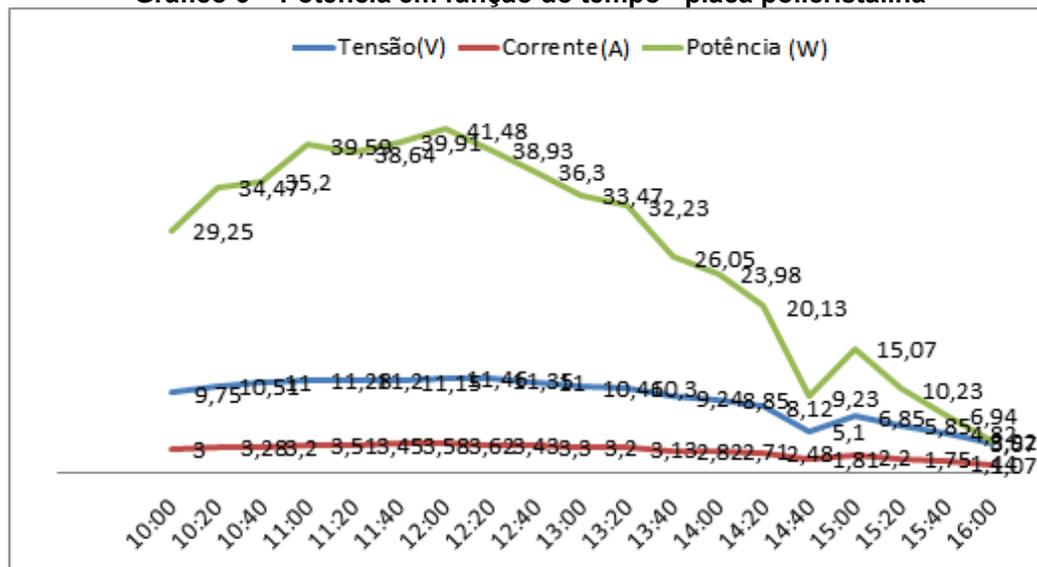
Gráfico 5 – Tensão e corrente Placa monocristalina



Fonte: Elaborado pelo autor.

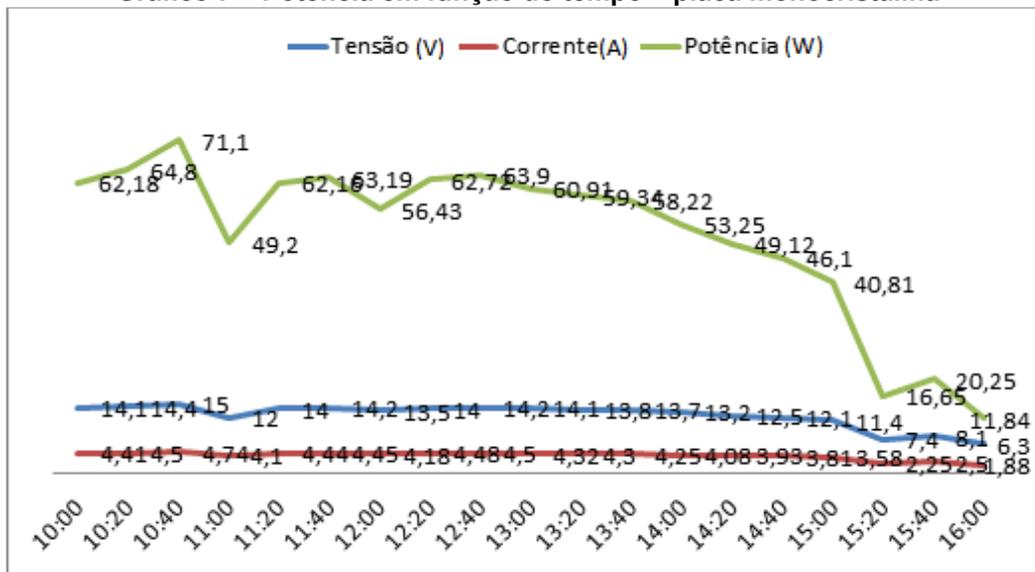
Os gráficos 4 e 5 contêm informações referentes aos horários em que foram realizadas as medições da tensão (V) e corrente (A) de ambas as placas. Como se pode perceber, a corrente quase não variou durante todo o ensaio, isso é propício para um sistema fotovoltaico alimentando cargas resistivas como: lâmpadas, tomadas, etc. Conforme foi realizado com o experimento. Além disso, também foram feitas medições para obtenção de dados da potência em função do tempo, tanto para as placas policristalinas e monocristalinas, como observado nos gráficos 6 e 7 abaixo:

Gráfico 6 – Potência em função do tempo - placa policristalina



Fonte: Elaborado pelo autor.

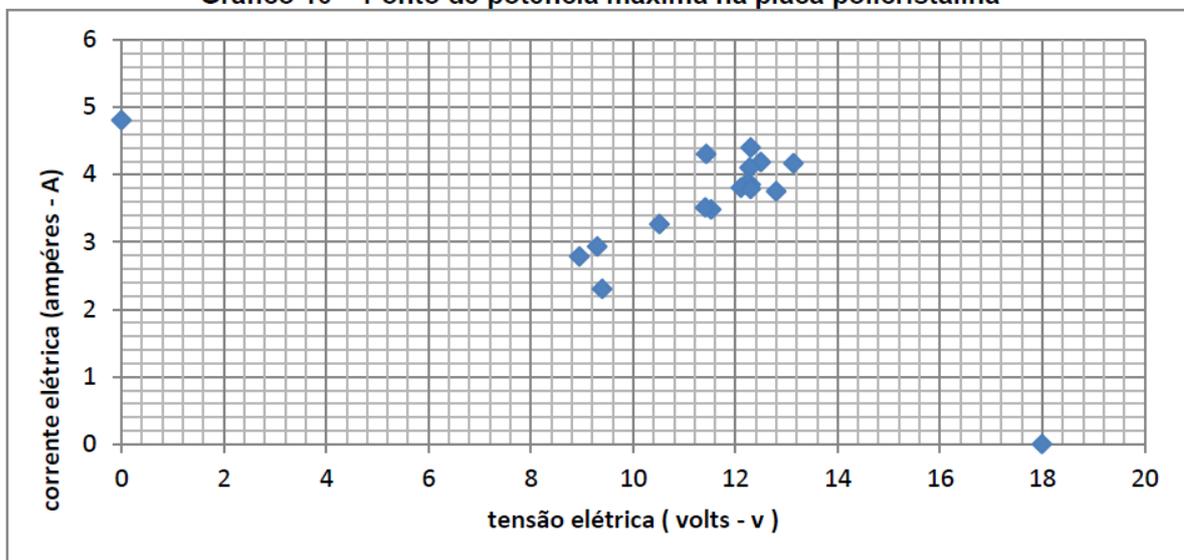
Gráfico 7 – Potência em função do tempo – placa monocristalina



Fonte: Elaborado pelo autor.

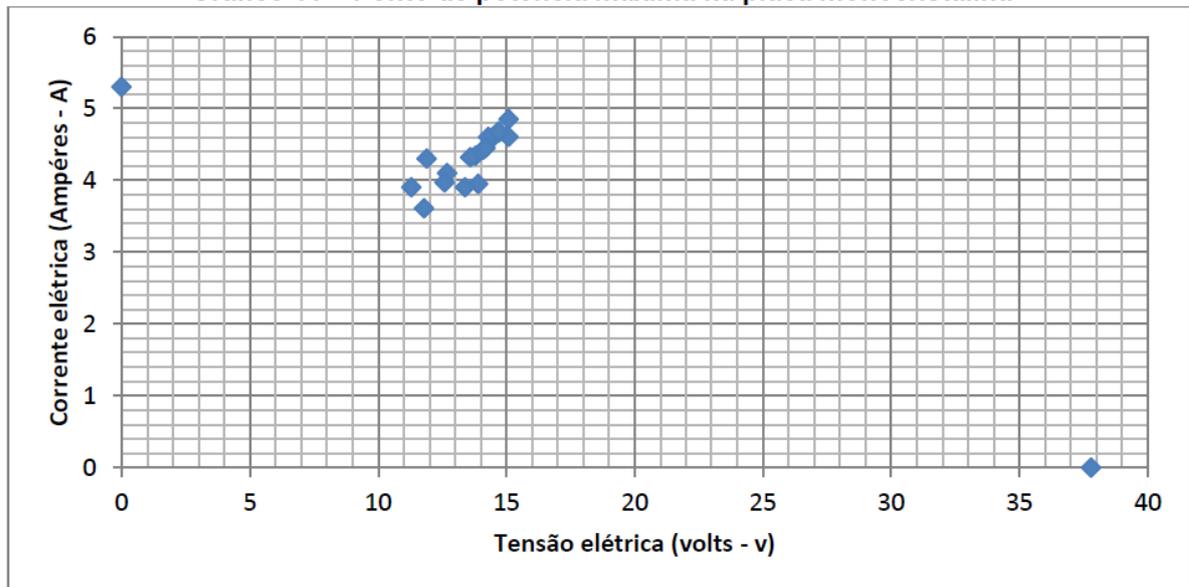
Para finalizar as medições desta pesquisa, foram calculados os pontos de potência máxima das placas policristalina e monocristalina, de acordo com os seguintes gráficos 10 e 11, respectivamente:

Gráfico 10 – Ponto de potência máxima na placa policristalina



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 11 – Ponto de potência máxima na placa monocristalina



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gráficos acima mostram o comportamento da tensão e corrente medidos com intervalos de vinte minutos, e com eles podemos observar a concentração de pontos em um lugar específico que tende a se aproximar do ponto de máxima potência, foi medida uma corrente de curto circuito e uma tensão máxima ou voltagem de circuito aberto que se aproximará a uma curva semelhante à mostrada no gráfico 8, ainda é importante salientar que alguns pontos foram descartados, já que, eram irrelevantes e estavam fora da curva, sendo assim as placas tem o comportamento adequado já que em vários horários do dia os pontos coletados se aproximaram da potência máxima. É bom ter ciência de que essa potência máxima poderá ser encontrada em condições perfeitas e controladas em laboratório, ou situações ótimas, já que a ideia da energia fotovoltaica é obter o maior rendimento possível, vemos que as placas se comportaram muito bem levando em consideração esse acúmulo de pontos em um lugar determinado.

Após a instalação do sistema solar fotovoltaico, foram realizadas medições da tensão e da corrente nas placas policristalinas e monocristalinas, como mostra as seguintes tabelas 3 e 4, respectivamente:

Tabela 3 - Dados obtidos em campo (módulo monocristalino)

Dados de campo	Dados da célula mono de campo
Intervalo de permissões de potência	62,16 W
Voltagem de circuito aberto	37,8 V
Corrente de curto circuito	5,3 A
Dimensão do modulo em metros	(1,574 m) por (0, 825 m)
Área	1,3 m ²
Intervalo de permissões de potência	+5%
Voltagem de potencia máxima	14,8 V
Corrente de potência máxima	4,2 A
Voltagem máxima de operação	1000 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 - Dados obtidos em campo (módulo policristalino)

Dados de campo	Dados da placa mono de campo
Intervalo de permissões de potência	50,4 W
Voltagem de circuito aberto	18,1 V
Corrente de curto circuito	4,8 A
Dimensão do modulo em metros	(1,574 m) por (0, 825 m)
Área	1,3 m ²
Intervalo de permissões de potência	+3%
Voltagem de potencia máxima	12,6 V
Corrente de potência máxima	4,0 A
Voltagem máxima de operação	600 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

Acima vemos os dados fornecidos a partir do estudo de campo. É importante salientar que os dados dos fabricantes de acordo com as tabelas 5 e 6 que posteriormente serão apresentadas, foram obtidos de forma ideal já que em laboratório pode-se controlar os fatores primordiais para a produção de energia fotovoltaica, isso explica os valores obtidos de forma prática que se diferenciam do valor ideal obtido em laboratório. Porém o que podemos observar é que os valores

obtidos nos experimentos foram muito satisfatórios, pois atingiram valores de voltagem de potência máxima, corrente de potência máxima e intervalo de permissão de potência suficientes à produção de energia fotovoltaica nos dando uma ideia de como a produção desse modelo energético se comporta na prática.

Sobre as características dos módulos fotovoltaicos, estas são medidas pelos seus próprios fabricantes, cujas mesmas são disponibilizadas por meio de fichas técnicas específicas. Geralmente, tais características são raras em situações reais, pois “mesmo que um módulo fotovoltaico opere num cenário que eventualmente se caracterize por uma temperatura do ar igual a 25°C, a temperatura do módulo será superior” (CARNEIRO, 2010, p.5).

Em nosso experimento foram utilizadas duas placas solares, monocristalina e policristalina, das marcas Topsola® e SOLAREX, respectivamente. Ambas em condições de uso e operação, os módulos monocristalino e policristalino possuem as seguintes características segundo os dados mostrados nas tabelas 5 e 6 dos fabricantes:

Tabela 5 - Características do módulo monocristalino utilizado no experimento

Dados do fabricante	Dados da célula mono do fabricante
Intervalo de permissões de potência	150 W
Voltagem de circuito aberto	43,5 V
Corrente de curto circuito	4,6 A
Dimensão do modulo em metros	(1,574 m) por (0, 825 m)
Área	1,3 m ²
Intervalo de permissões de potência	+5%
Voltagem de potencia máxima	35,25 V
Corrente de potência máxima	4,26 A
Voltagem máxima de operação	1000 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Características do módulo policristalino utilizado no experimento

Dados do fabricante	Dados da placa poli do fabricante
Intervalo de permissões de potência	55,1 W
Voltagem de circuito aberto	20,8 V
Corrente de curto circuito	3,65 A
Dimensão do modulo em metros	(1,574 m) por (0, 825 m)
Área	1,3 m ²
Intervalo de permissões de potência	+3%
Voltagem de potencia máxima	16,8 V
Corrente de potência máxima	3,28 A
Voltagem máxima de operação	600 V

Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale salientar, que foram estimados os valores de corrente e tensão máximas para calcular a potência máxima a partir dos gráficos 10 e 11, mostrados anteriormente, ainda, há de se comparar os valores obtidos nos respectivos gráficos com os valores das tabelas 5 e 6 fornecidas pelo fabricante. Vemos que, os valores se aproximaram de forma significativa com os valores representados.

Segundo o Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo (GEPEA), os principais fatores que influenciam nas características elétricas dos módulos fotovoltaicos são: a intensidade da radiação solar e a temperatura de operação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da viabilidade do uso da energia solar fotovoltaica para a região de Delmiro Gouveia e adjacências se mostrou pertinente. Os módulos mostraram diferentes valores de corrente e tensão, no entanto a corrente se mostrou aproximadamente constante durante todo o experimento, que é importante para alimentar cargas resistivas. Os pontos de máxima potência medidos nos experimentos coincidem com os pontos de potência máxima obtidos no laboratório.

Diante de tudo o que foi discutido e analisado neste trabalho de pesquisa pode-se concluir que os objetivos, aqui traçados inicialmente, foram concretizados de forma positiva, pois foi realizado um estudo mais detalhado acerca das energias renováveis e seus benefícios para o meio ambiente. Além disso, tratou-se também de fontes alternativas de energia, cuja energia solar foi vista como sendo uma fonte de energia limpa, renovável e inesgotável e que traz grandes contribuições para a geração de energia elétrica, em locais mais propícios às radiações solares.

Neste caso, o foco foi abordar a energia solar fotovoltaica como opção de fonte geradora de energia elétrica para a cidade de Delmiro Gouveia – AL, no qual foram desenvolvidos alguns estudos onde constatou-se que tal região é, de fato, bastante propícia para a utilização do sistema solar com utilização de placas fotovoltaicas.

Então, ao realizar os testes e medições nas placas fotovoltaicas, para observar sua eficácia, percebeu-se que as placas apresentaram comportamento bastante eficaz e viável em diversos horários do dia, pois os pontos coletados se aproximaram da potência máxima. Nesse contexto, tem-se que a ideia da energia fotovoltaica em Delmiro Gouveia – AL irá obter o maior rendimento possível, nesta região.

Podemos concluir com nossa pesquisa que obtemos resultados significativos, já que nosso objetivo era fazer uma análise qualitativa e quantitativa de sistemas fotovoltaicos e nosso objetivo foi alcançado. Os experimentos foram divididos em um ano totalizando três experimentos que nos mostrou que nos meses em que houve grande taxa de insolação os módulos fotovoltaicos policristalino e monocristalino nos deram resultados muito próximos das especificações do fabricante, que claro, obtém suas medidas de tensão e corrente idealizados, pois os dados são definidos em laboratório. Foi possível ainda avaliar as variáveis climáticas, pois o mês com maior radiação solar nos deu maiores valores de tensão, corrente e conseqüentemente potência.

Os experimentos foram feitos com módulos policristalino e monocristalino de silício que possuem eficiência de aproximadamente 12% e 15% respectivamente segundo (CRESERB, 1999). Por isso foi visto que os módulos apresentam diferentes medidas de corrente e tensão, no entanto ambos mostraram um comportamento constante o que sem dúvida é importante para a geração de energia fotovoltaica.

Eram esperados resultados significativos, pois as pesquisas foram feitas no sertão alagoano, mais precisamente na cidade de Delmiro Gouveia onde a região possui características climáticas muito favoráveis possuindo elevados níveis de radiação solar o ano todo, e mesmo nos meses em que o clima é nublado e chuvoso como observado em uma das medidas obtidas, ainda assim é possível obter energia fotovoltaica mostrando a viabilidade desta fonte de energia renovável. Esta pesquisa será de grande importância para que essa tecnologia venha a complementar as fontes de energia renovável através de mais pesquisas e investimentos na área.

Considera-se então, de um modo geral, que este trabalho foi de suma relevância para aquisição de novos conhecimentos em relação à temática aqui abordada e principalmente para o meu enriquecimento profissional, pois me deu subsídios que servirão de base teórica e prática para quando estiver atuando como Engenheiro Civil e me deparar com situações que envolvem energia solar fotovoltaica. Além disso, este trabalho poderá servir de fundamentação teórica para o desenvolvimento de estudos futuros neste âmbito de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia Solar**. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf).

CARNEIRO, J. **Electromagnetismo B módulos fotovoltaicos - características e associações**. Universidade do Minho – Guimarães, 2010.

CARVALHO, D. F.; SILVA, D. G.; SOUZA, A. P.; GOMES, D. P.; ROCHA, H.S. **Coeficientes da equação de Angström-PreScott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.15 no.8 Campina Grande Aug. 2011.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Radiação Solar**. 11 de Junho de 2008. Disponível em: http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=301.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321.

ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MOURA, M. S. B.; PAZ, K. K. R.; SOUSA, G. M. M. **Determinação dos ângulos das relações Terra-Sol para fins de orientação de pomares e poda de árvores em Mossoró-RN**. Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Aracaju – SE, 2007.

FONSECA, J. J. S. Apostila. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

FUNARI, F. L.; TARIFA, J. R. **Insolação, radiação solar global e radiação líquida no Brasil**. 2008. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/17-e518b5bd71c575ff6dd35112f2513d85.pdf>.

GEPEA - Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. 2012. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física Vol. 3 – Eletromagnetismo**. 8ª Ed. Editora LTC, 2009.

LATORRE, M. L. **Utilização de um método de correção atmosférica para o processamento de dados hiperespectrais do sensor aviris em regiões tropicais.** INPE - São José dos Campos, 1999.

NASCIMENTO, A. S. **Energia solar fotovoltaica: estudo e viabilidade no nordeste brasileiro.** Universidade Federal da Paraíba – João pessoa, 2015.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG, 2004.

OFICINA DA NET. **O que são os painéis solares?.** Disponível em: <http://www.oficinadanet.com.br/artigo/ciencia/o-que-sao-os-paineis-solares>.

PAREJO, L. C. **Carvão mineral: a fonte energética mais utilizada depois do petróleo.** Site Uol Educação. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/carvao-mineral-a-fonte-energetica-mais-utilizada-depois-do-petroleo.htm>.

PELA NATUREZA. **Energias renováveis.** Disponível em: <http://pelanatureza.pt/energia/ecoinfo/energias-renovaveis>.

PINTO, C.; CATARINO, J.; CORREIA, M.; LEITE, P.; COSTA, S. **Energia solar.** Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP. Projeto FEUP 2014/2015.

PORTAL ENERGIA. **Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projecto e instalação.** 2004. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>.

SOLAR TERRA. Energia solar fotovoltaica – guia prático. Solarterra – Soluções em Energia Alternativa. Disponível em: <https://mbecovilas.files.wordpress.com/2011/06/energia-solar-fotovoltaica.pdf>.

SERRÃO, M. A. S. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em Pouso da Cajaíba-Paraty.** Rio de Janeiro, Agosto de 2010.

TERMOLOGIA. **Transmissão do calor.** 21 de abril de 2013. Disponível em: http://termologiajaborandi.blogspot.com.br/2013_04_01_archive.html.

UCZAI, P. **Energias Renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade.** Câmara dos Deputados, Edições Câmara. Brasília, 2012.

VILLAVA, M. G; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** São Paulo: Editora Érica Ltda, 2012.

YOUNG, H. D. Física IV: **Ótica e Física Moderna.** 12ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009. PPs. 180-183.