

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO

AUMERI LEONARDO CARVALHO BAMPI

**A UTILIZAÇÃO DA LUZ SOLAR COMO FONTE DE ENERGIA
ELÉTRICA ATRAVÉS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO
RELACIONADO COM A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

**SINOP-MT
2017**

AUMERI LEONARDO CARVALHO BAMPI

**A UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR COMO FONTE DE ENERGIA
ELÉTRICA RELACIONADO COM A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Elétrica - UNEMAT, Campus Universitário de Sinop - MT, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof. Orientador: Dr. Milton Luiz Neri Pereira

**SINOP-MT
2017**

ERRATA
(Caso necessitar)



GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



AUMERI LEONARDO CARVALHO BAMPI

A UTILIZAÇÃO DA LUZ SOLAR COMO FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA
ATRAVÉS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO RELACIONADO COM A GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA

Prof(a).Dr. André do Amaral Penteadó Bís caro
Professor(a) Avaliador(a)

Prof(a).Dra. Kelli Cristina Aparecida Munhoz Moreira
Professor(a) Avaliador(a)

Prof(a).Dr. Milton Luiz Neri Pereira
Professor(a) Orientador(a)

Prof(a). Dr. Milton Luiz Neri Pereira
Presidente da Banca

Aprovado em 25/ 01/2018

Ficha Catalográfica

BAMPI, Aumeri

A utilização da energia solar como fonte de energia elétrica relacionado com a geração distribuída / Aumeri Leonardo Carvalho Bampi. Sinop, MT, 2017.

Orientador: Dr. Milton Luiz Neri Pereira
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Elétrica - UNEMAT, Campus Universitário de Sinop - MT, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar saúde e muita força para superar todas as dificuldades.

A minha mãe e meu pai, por todo o amor me dado, além da educação, ensinamentos e apoio.

A minha namorada, por estar ao meu lado em todos os momentos difíceis desta caminhada.

Aos amigos antigos e os que conheci ao decorrer do curso, pelos conselhos e parceria.

A esta faculdade e todo seu corpo docente, além da direção e administração que me proporcionaram as condições necessárias para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao meu orientador Milton Luiz Neri Pereira, por todo o tempo que dedicou a me ajudar durante o processo de realização deste trabalho.

RESUMO

Este estudo busca avaliar de maneira teórica o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede na cidade de Sinop – MT, para que a energia elétrica gerada e não consumida no momento da geração seja injetada na rede de distribuição, gerando créditos. Além disso identificar os incentivos e os principais avanços obtidos, para um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica considerando as normativas e fomentos para o setor.

O sistema fotovoltaico conectado à rede possui inúmeras vantagens, entre elas a utilização da energia do sol para a redução no valor da fatura de energia elétrica e reduz as perdas elétricas com a transmissão, devido à geração estar próxima do consumo. O sistema dimensionado em estudo é projetado para compensar 560 kWh do consumo de uma residência com consumo médio mensal de 610 kWh. Além disso são detalhados os componentes básicos e critérios para um bom dimensionamento sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica. Esse estudo procurou seguir a normativa estabelecida pela Aneel principalmente em sua resolução N° 482/2012 e a N° 687/2015 e os resultados encontrados foram através de simulações levando em conta a particularidade de irradiação do local.

Portanto os estudos mostraram que a inserção fotovoltaica está mais próxima de se concretizar naturalmente através da geração distribuída, particularmente na autoprodução residencial e comercial, assim existe uma importância em que os investimentos no setor energético estivessem diversificados.

Palavras-chave: Energia solar, sistema fotovoltaico, geração distribuída, compensação.

ABSTRACT

This study aims to evaluate in a theoretical way the design of a photovoltaic system connected to the grid in the city of Sinop - MT, so that the electric energy generated and not consumed at the moment of generation is injected into the distribution network, generating credits. In addition to identifying the incentives and the main advances obtained, for a photovoltaic system connected to the electricity grid considering the regulations and fomentations for the sector.

The photovoltaic system connected to the grid has numerous advantages, among them the use of solar energy to reduce the value of the electric energy bill and reduce the electrical losses with the transmission, due to the generation being close to consumption. The proposed scaled system is designed to compensate for about 560 kWh of the consumption of a residence with average monthly consumption of 610 kWh. Thus are detailed the basic components and criteria for a good sizing photovoltaic system for electric power generation. This study sought to follow the normative established by Aneel mainly in its resolution N° 482/2012 and N° 687/2015 and the results found were through simulations taking into account the particularity of irradiation of the place.

Therefore, studies have shown that photovoltaic insertion is closer to being realized naturally through distributed generation, particularly in residential and commercial self-production, so there is an importance in which investments in the energy sector were diversified.

Keywords: Solar energy, photovoltaic system, distributed generation, compensation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico de consumo de kWh.....	34
Tabela 2 – Média mensal e anual das irradiações solares diárias(kWh/m ² por dia) de um ponto próximo da coordenada	36
Tabela 3 – Especificações técnicas do painel solar	37
Tabela 4 – Especificações técnicas do inversor.....	40
Tabela 5 – Consumo e geração anual	41
Tabela 6 – Unidades consumidoras com geração distribuída até 16/11/2017	44
Tabela 7 – Unidades consumidoras com geração distribuída por ano	44
Tabela 8 – Unidades consumidoras com geração distribuída de SF de 01/01/2017 até 16/11/2017.....	45
Tabela 9 – Unidades consumidoras com SF e geração distribuída por mês de 2017	45
Tabela 10 – Unidades consumidoras de geração distribuída por classe de consumo até 16/11/2017.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ondas de radiação eletromagnética.....	08
Figura 2 - Declinação Solar	10
Figura 3 - Efeito Fotovoltaico.....	11
Figura 4 - Linha do zênite e ângulo zenital.....	12
Figura 5 - A Massa de ar depende do ângulo zenital do Sol	13
Figura 6 - Características da radiação solar	14
Figura 7 - Tipos de radiação solar	15
Figura 8 - Piranômetro.....	15
Figura 9 - Pireliômetro	16
Figura 10 - Irradiação Solar do Brasil	18
Figura 11 - Materiais semicondutores em três diferentes situações.....	20
Figura 12 - Sistema Fotovoltaico conectado à rede.....	22
Figura 13 - Componentes de um módulo solar.....	23
Figura 14 – Local do SF	35
Figura 15 - Coordenadas do SF	36
Figura 12 – Painel Fotovoltaico	37
Figura 13 – Inversor Fotovoltaico	39

LISTA DE ABREVIATURAS

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES – Banco nacional de desenvolvimento econômico
CAGR – Taxa composta Anual de Crescimento
EPIA – European Photovoltaic Industry Association
CC – Corrente Contínua
CA – Corrente alternada
CGH – Central geradora Hidrelétrica

COGEN – Associação da Indústria de Cogeração de Energia
CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
EOL – Central geradora Eólica
EOL – Central geradora Eólica
FCO – Fundo constitucional de financiamento do centro-oeste
GD - Geração Distribuída
ICMS – Impostos sobre Circulação de mercadorias e Serviços
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade
PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
IP – Grau de proteção
kWp – Kilowatt pico
MWp – Megawatt pico
MW - Megawatt
PROGD – Programa de Desenvolvimento de
Geração distribuída
SF – Sistema fotovoltaico
UC – Unidade consumidora
UFV – Central geradora Fotovoltaica
UTE – Usina termoelétrica de energia
UTE – Usina termoelétrica de energia

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	2
LISTA DE ABREVIATURAS.....	3
1 INTRODUÇÃO	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	8
2.1.1 Movimentos da Terra.....	9
2.1.2 Captação e conversão.....	10
2.1.3 Massa de ar	11
2.1.4 Tipos de radiação solar.....	14
2.1.5 Energia solar	16
2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO	18
2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	21
2.4 COMPONENTES BÁSICOS	22
2.4.1 Módulo Fotovoltaico.....	22
2.4.1.2 Módulos fotovoltaicos e suas Características:.....	23
2.4.2 Inversores para conexão à rede elétrica.....	25
2.5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	26
2.5.1 Geração distribuída e as políticas de incentivos	26
2.5.2 Geração distribuída e energia fotovoltaica	29
3 METODOLOGIA	30
4 RESULTADOS.....	33
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS PARA O DIMENSIONAMENTO FV	33
4.1.2 Consumo médio mensal	33
4.1.3 Dados de insolação Wh/m ² /dia	34
4.1.4 Dimensionamento do n ° módulos.....	37
4.1.5 Dimensionamento do inversor	38
4.1.6 Consumo e geração de energia (kWh).....	40
4.2 AVANÇOS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FV	42
4.2.1 Tributação para o SF	42
4.2.2 Fomento para o SF	43
4.2.3 Unidades consumidoras com geração distribuída.....	44
5 ANÁLISE DE RESULTADOS.	46
5.1 Análise de créditos.....	46
5.2 Análise de avanços no setor	48
6 CONCLUSÃO E SUGESTÃO A TRABALHOS FUTUROS.....	50

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO51

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população e do consumo de energia elétrica, juntamente com os recursos finitos de combustíveis fósseis e à necessidade de diminuir a sua dependência, faz com que aumente a busca por um modelo de desenvolvimento sustentável e assim energias limpas e renováveis tem causado grande interesse como uma alternativa para geração de energia elétrica.

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol. (CRESESB, 2004)

Acompanhando o desenvolvimento internacional do setor fotovoltaico, o Brasil, embora ainda com pequena capacidade instalada, tem buscado superar as barreiras, através de um conjunto de elementos, para inserção da fonte na matriz brasileira. Os avanços alcançados nos últimos anos contemplaram ações oriundas de múltiplos agentes, em diversas esferas, destacando-se a regulatória, tributária, normativa, de pesquisa e desenvolvimento, e de fomento econômico. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA, 2014)

As fontes tradicionais de energia, por sua vez constituem a maior parte da geração de eletricidade, por exemplo, as grandes usinas hidrelétricas, termelétricas a carvão e petróleo e as usinas nucleares. Por outro lado, tem-se observado a crescente participação de fontes alternativas de eletricidades em inúmeros países, e, principalmente, os geradores de sistemas fotovoltaicos. Porém, ainda pouco utilizada se comparada com as outras matrizes tradicionais em muitos países, essas fontes de energia já são de grande importância nas políticas públicas e privadas. O valor para obter essa fonte alternativa de energia está caindo devido ao aumento da utilização e o preço da energia gerada por elas já se equipara as fontes tradicionais.

A geração distribuída de energia é exemplificada pelo uso de geradores descentralizados, ou seja, instalados próximo aos locais de consumo. O modelo distribuído opõe ao modo tradicional de geração de energia elétrica baseado em

grandes usinas construídas em locais distantes dos consumidores. (VILLALVA, 2014)

A utilização de microusinas ou miniusinas fotovoltaicas em residências e prédios comerciais brasileiros deve aumentar a oferta de energia elétrica para sustentar a demanda, justamente para o consumo industrial, pois os sistemas fotovoltaicos vão gerar eletricidade durante o dia, justamente no período em que o consumo é menor nas residências e as indústrias demandam de mais energia. (VILLALVA, 2014)

Com isso o desenvolvimento tecnológico, motivado pelas fontes de energia alternativa, traz benefícios econômicos. Por exemplo, a energia fotovoltaica na forma de micro e mini usinas conectadas a rede demandam pesquisas científicas e investimentos, originando empregos locais, fabricação de matérias e equipamentos para o setor, além de trazer uma geração sustentável de energia.

A matriz energética mundial é principalmente não renovável e depende do petróleo. As reservas petrolíferas são finitas e, além disso, seus derivados emitem gases poluentes ao meio ambiente. No Brasil, a matriz energética é baseada em dois sistemas principais: a força das águas e o petróleo. As hidrelétricas, que utilizam a força da água, causam impacto ambiental e social devido aos alagamentos nas áreas implantadas. Além disso, os locais do consumo de energia elétrica, centros e grandes consumidores estão distantes da geração, ou seja, as principais centrais geradoras de energia estão localizadas em pontos determinados do país. Diante disso, é necessária uma complexa rede nacional de transmissão e distribuição de energia elétrica para que a energia chegue ao consumidor.

A energia fotovoltaica pode ser vista como um meio alternativo aos sistemas tradicionais de energia, pois é um modo de geração de energia com menos impacto ao ambiente, com a possibilidade da produção de energia ser o próprio local de consumo. Assim, se faz importante os estudos sobre os sistemas fotovoltaicos.

Os sistemas fotovoltaicos causam menor impacto ambiental, e também possibilitam seu uso em pequena escala, podendo ser instalada em telhados e fachadas de prédios, residências ou próximas aos centros de consumo de forma distribuída, conseqüentemente diminuindo as perdas por transmissão e distribuição da geração centralizada. Dessa forma por serem conectados à rede pública de energia, não se faz necessária a utilização de banco de baterias, que são utilizados em sistemas isolados. Conseqüentemente, isto diminui o valor total da implantação,

removendo a necessidade da manutenção dos bancos de baterias. Estes sistemas não conectados necessitam de maior investimento devido a um superdimensionamento porque precisam garantir energia durante todos os meses, independente dos períodos com menor nível de radiação.

Do ponto de vista estratégico, o Brasil possui uma série de características naturais favoráveis, tais como, altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, produtos estes de alto valor agregado. Tais fatores potencializam a atração de investidores e o desenvolvimento de um mercado interno, permitindo que se vislumbre um papel importante na matriz elétrica para este tipo de tecnologia. (EPE, 2012).

Portanto a inserção da energia solar fotovoltaica no país vai impulsionar o desenvolvimento tecnológico e crescerão os incentivos a esse tipo de geração pois, assim, vai permitir ampliar a oferta de energia elétrica, e ao mesmo tempo, contribuir para a manutenção da característica renovável de nossa matriz energética. Chegou assim, à proposição do tema para esse trabalho: energia fotovoltaica relacionada com GD conectada à rede de energia elétrica. Dimensionar um sistema fotovoltaico de GD conectado à rede de acordo com as resoluções da ANEEL, ou seja, o que for produzido em energia elétrica e não for consumido no momento de geração seja injetada na rede de distribuição gerando créditos. Além disso identificar os incentivos, como a regulação no que se diz respeito à geração distribuída da energia solar no Brasil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

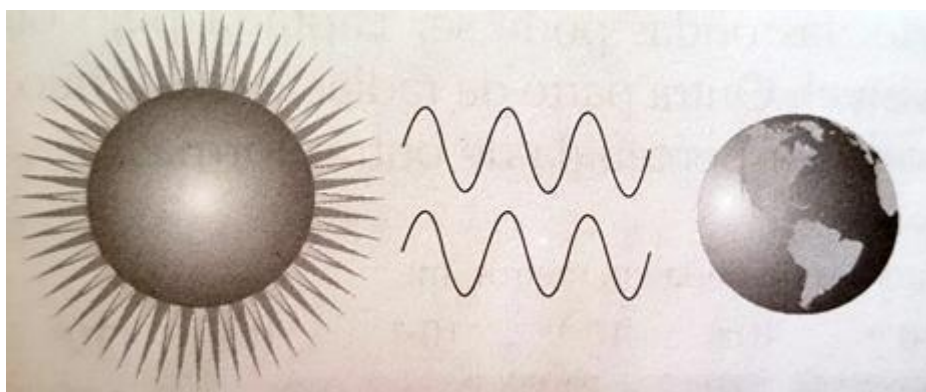
2.1 RADIAÇÃO SOLAR

A atmosfera terrestre é atingida anualmente por $1,5 \times 10$ TWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se em uma gigantesca fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia térmica, elétrica, etc. (COGEN, 2012)

A radiação que chega ao nosso planeta é em forma de radiação eletromagnética é transmitida pelo Sol através do espaço. Essa radiação por sua vez é constituída de ondas eletromagnéticas e possuem frequências e comprimentos de ondas distintos. (VILLALVA, 2014).

Como mostra na figura 1 a energia do Sol é transmitida na forma de ondas de radiação eletromagnética.

Figura 1 - Ondas de radiação eletromagnética



Fonte: (Villalva, 2014)

A energia que uma onda pode transmitir está relacionada com a sua frequência. Quanto maior a frequência, conseqüentemente será maior a energia transmitida.

A Equação 1 é conhecida como relação de Planck, que demonstra a associação entre a frequência e a energia de uma onda eletromagnética:

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

Sendo: E a energia da onda (expressa em Joules [J] ou elétrons-volt [eV], f, sua frequência (expressa em Hertz [Hz], e h, uma constante física de proporcionalidade, chamada de constante de Planck, que vale aproximadamente $6,636.10 \times 10^{-34}$ [J.s]

A luz viaja com uma velocidade constante no vácuo do espaço extraterrestre. A Equação 2 relaciona a frequência, o comprimento da onda e a velocidade da onda eletromagnética:

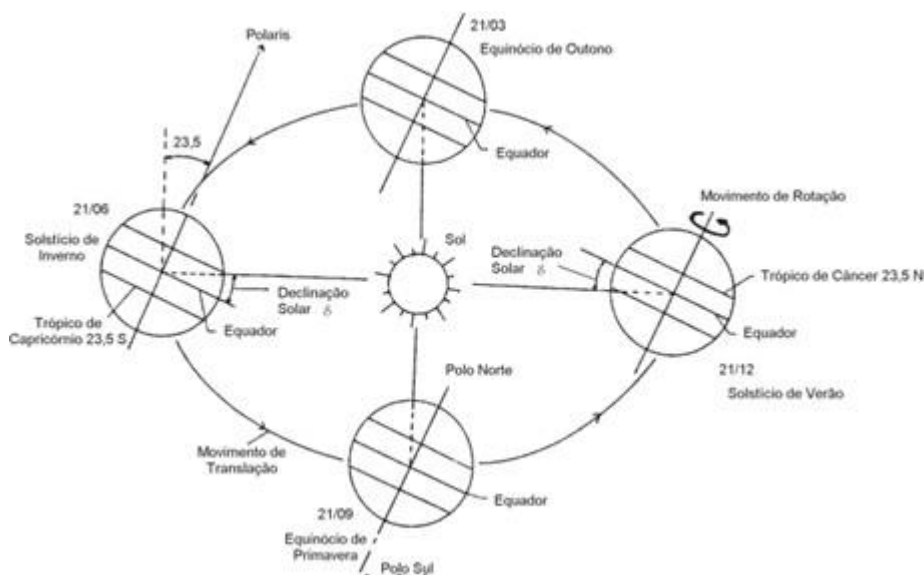
$$C = \lambda.f \quad (2)$$

Sendo: C a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente 300.000 km/s) λ o comprimento da onda (expressa em submúltiplos de metros) e f frequência da onda (em Hertz).

2.1.1 Movimentos da Terra

O nosso planeta, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajetória elíptica um plano que é inclinado de aproximadamente $23,5^\circ$ com relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos da posição do Sol para uma determinada data, como pode ser visto na figura 2: (CRESESB, 2004)

Figura 2 - Declinação Solar



Fonte: (CRESEB,2004)

A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Declinação Solar (δ). Este ângulo, que pode ser visto na Figura, varia, de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites: $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$. A soma da declinação com a latitude local determina a trajetória do movimento aparente do Sol para um determinado dia em uma dada localidade na Terra. (CRESEB, 2004)

2.1.2 Captação e conversão

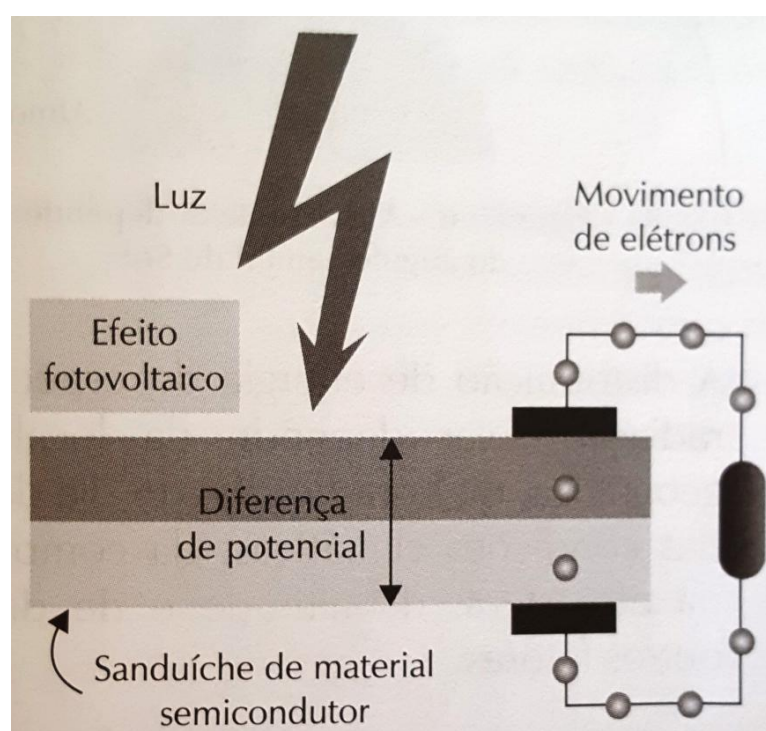
A captação do calor solar é a transformação da energia eletromagnética em energia térmica pelos corpos e matérias que recebem sua radiação. Quando as ondas eletromagnéticas incidem sobre um corpo que tem capacidade de absorver radiação, a energia eletromagnética é transformada em energia cinética e transmitida para as moléculas e átomos que compõem esse corpo. Esse processo corresponde à transmissão de calor ou energia térmica. Quanto maior o estado de agitação dos átomos e moléculas, maior a temperatura do corpo. Em outras palavras, a temperatura de um corpo depende da energia térmica que ele possui. Essa energia pode aumentar ou diminuir, dependendo da quantidade de energia recebida por ele. (VILLALVA, 2014)

Quando as ondas eletromagnéticas, incidem sobre determinadas matérias, podem causar modificações nas propriedades elétricas ou originar tensões e

correntes elétricas. Existem diversos efeitos elétricos da radiação eletromagnética, sendo um deles o efeito fotovoltaico.

O efeito fotovoltaico é o embasamento dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade, pois depende na transformação da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica através da formação de uma diferença de potencial, ou uma tensão elétrica, sobre uma célula formada por uma junção de materiais semicondutores. Se a célula for conectada a dois eletrodos, ocorrerá tensão elétrica sobre eles. Assim, se tiver um caminho elétrico entre os dois eletrodos, surgirá, conseqüentemente, uma corrente elétrica. Como mostra a figura 3:

Figura 3 - Efeito Fotovoltaico



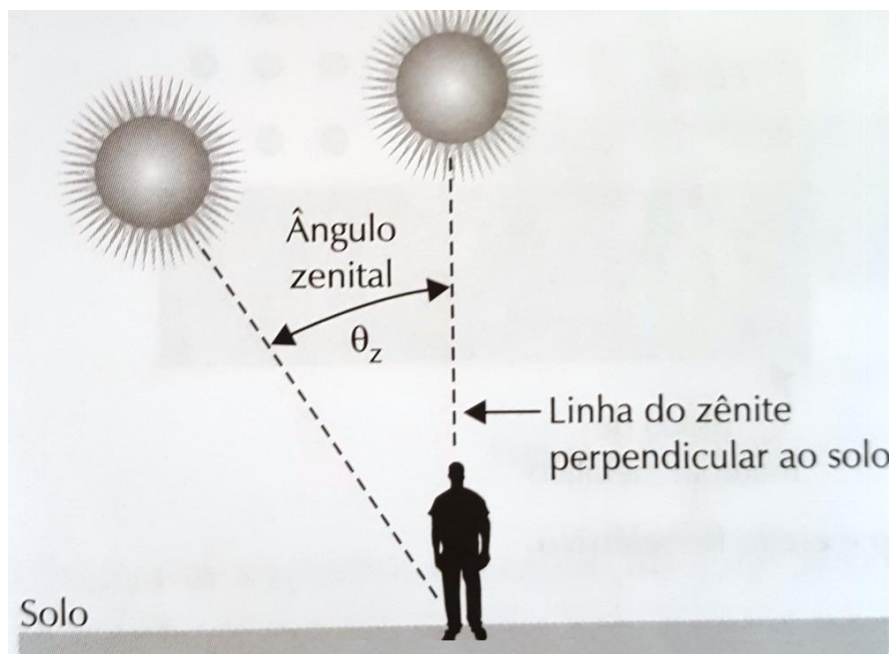
Fonte: (Villalva, 2014)

2.1.3 Massa de ar

A radiação solar, até chegar ao planeta sofre alterações quando atravessa a atmosfera terrestre. As propriedades da radiação solar que chega ao solo dependem da espessura da camada de ar e da composição da atmosfera, incluindo o ar e os elementos como, por exemplo, o vapor de água e a poeira. A espessura da camada de ar atravessada pelos raios solares depende do comprimento do trajeto até o solo.

Assim, esse trajeto depende do ângulo de inclinação do Sol com relação à linha de zênite, ou ângulo zenital do sol, como mostra na figura 4: (VILLALVA, 2014)

Figura 4 - Linha do zênite e ângulo zenital.



Fonte: (Villalva, 2014)

Segundo Villalva (2014), o zênite e a Massa de ar podem ser definidos como:

O zênite é uma linha imaginária perpendicular ao solo. O ângulo zenital do sol é zero quando ele se encontra exatamente acima do observador. A espessura de massa de ar (AM) atravessada pelos raios solares na atmosfera depende do ângulo zenital do Sol.

A massa de ar é internacionalmente conhecida pela sigla AM (do inglês Air Mass) e calculada como:

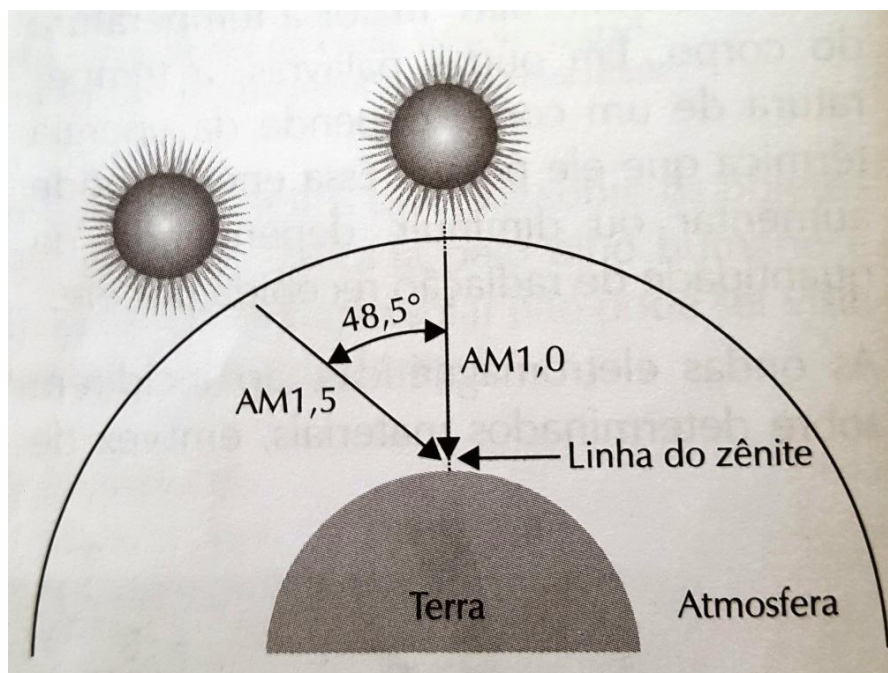
$$AM = 1/\cos \theta_z \quad (3)$$

Sendo: que θ_z é o ângulo zenital do Sol

Assim, o trajeto dos raios solares depende do ângulo zenital do Sol. Um ângulo maior correspondente a uma camada de ar mais espessa e,

conseqüentemente, há uma influência maior da atmosfera sobre a radiação solar. A figura 5 mostra como isso acontece:

Figura 5 - A Massa de ar depende do ângulo zenital do Sol

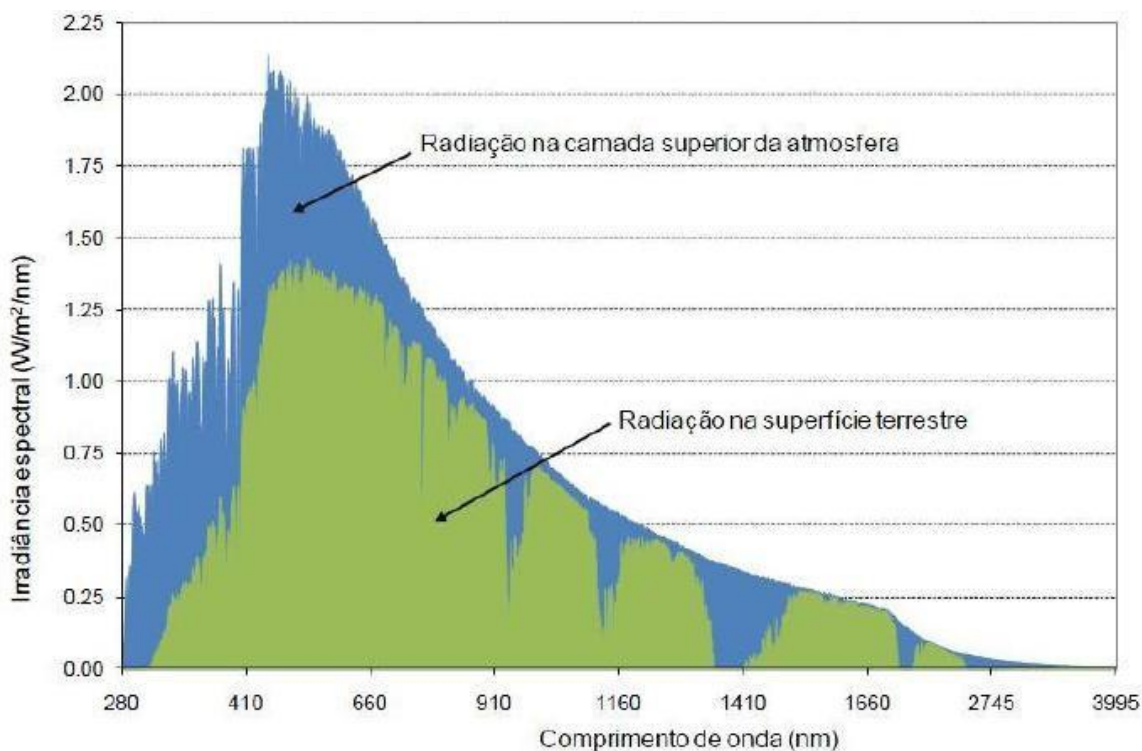


Fonte: (Villalva, 2014)

O perfil característico médio da radiação solar em um determinado local diverge em função de massa de ar e pode ser obtido experimentalmente.

Com o gráfico da figura 6 é possível observar a distribuição AM 1,5 (radiação na superfície terrestre), obtida para o ângulo zenital $\theta_z = 48,5$. No mesmo gráfico apresenta-se a distribuição AM 0 (radiação na camada superior da atmosfera), que corresponde à radiação solar no espaço extraterrestre, sem influência da atmosfera. (VILLALVA, 2014)

Figura 6 - Características da radiação solar



Fonte: (ABINEE, 2012)

Portanto, a distribuição de energia de radiação solar depende da coordenada geográfica, a hora do dia e o dia do ano. Tudo isso influencia e, além disso, as condições climáticas, a composição da atmosfera, da altitude e de diversos outros fatores. Como em cada região do planeta a radiação sofre efeitos distintos ao passar pela atmosfera, uma região pode ter mais radiação solar conseqüentemente, influenciando no sistema fotovoltaico que se deseja dimensionar.

2.1.4 Tipos de radiação solar

A radiação direta consiste em raios solares que chegam diretamente do sol em linha reta e, assim, incidem sobre o plano horizontal, com uma inclinação que depende do ângulo zenital do sol (VILLALVA, 2014).

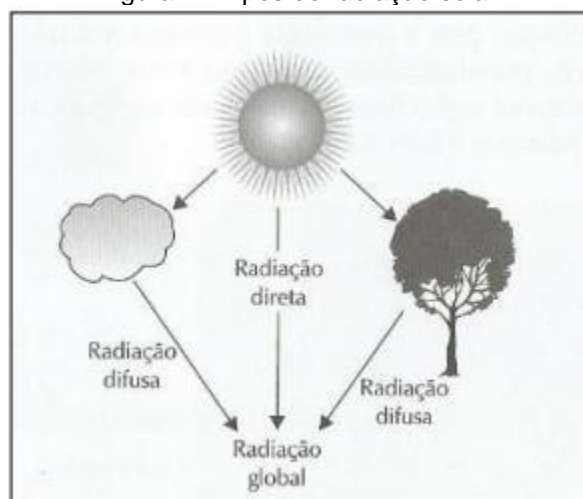
Já a radiação difusa consiste em raios solares que chegam indiretamente ao plano. É resultado da difração na atmosfera e da reflexão da luz na poeira, nas nuvens e em outros objetos (VILLALVA, 2014).

Até a radiação solar ao solo sofre a influência do ar atmosférico, das nuvens e da poluição antes e pode ser captada por células e módulos fotovoltaicos.

Então a radiação que atinge uma superfície do solo é composta por raios solares que chegam de todas as direções e são absorvidos, espalhados e refletidos pelas moléculas de ar, vapor, poeira e nuvens.

Através da figura 7 pode-se observar os tipos de radiação:

Figura 7 - Tipos de radiação solar



Fonte : (Villalva, 2014)

Através do instrumento piranômetro pode ser medida a radiação global. A figura 8 mostra o instrumento que, basicamente, consiste em uma redoma de vidro que recebe luz de todas as direções e a concentra em um sensor de radiação solar instalado em seu interior.

Figura 8 - Piranômetro



Fonte: (COGEN,2012)

Já à radiação direta pode ser medida através de um instrumento denominado pireliômetro, como mostrado na figura 9, composto por um sensor de radiação solar instalado dentro de um tubo com uma abertura de luz estreita, de forma que somente a luz direta, recebida do Sol em linha reta, possibilite alcançar o sensor.

Figura 9 - Pireliômetro



Fonte: (COGEN, 2012)

2.1.5 Energia solar

Uma grandeza utilizada para avaliar a radiação solar é a irradiância, usualmente chamada de irradiação, expressa na unidade de W/m^2 (Watt por metro quadrado). Refere-se a uma unidade de potência por área. Como se conhece, a potência é uma grandeza física que representa a energia transportada durante um certo intervalo de tempo ou taxa de variação da energia com o tempo. Quanto mais energia ela transporta em um intervalo de tempo significa que tem mais potência à radiação solar.(VILLALVA, 2014)

Dessa forma, Villalva (2014), destaca que:

A irradiância de $1000 W/m^2$ é adotada como padrão na indústria fotovoltaica para a especificação e avaliação de células e módulos fotovoltaicos. Assim como a massa de ar AM 1,5, a irradiância de $1000 W/m^2$ é mencionada em praticamente todos os catálogos de fabricantes de dispositivos fotovoltaicos. A medida da irradiância em W/m^2 é muito útil para avaliar a eficiência dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos. Com o valor padrão de $1000 w/m^2$ as

eficiências das células e módulos fotovoltaicos de diversos fabricantes podem ser especificadas e comparadas com base numa condição padrão de radiação solar.

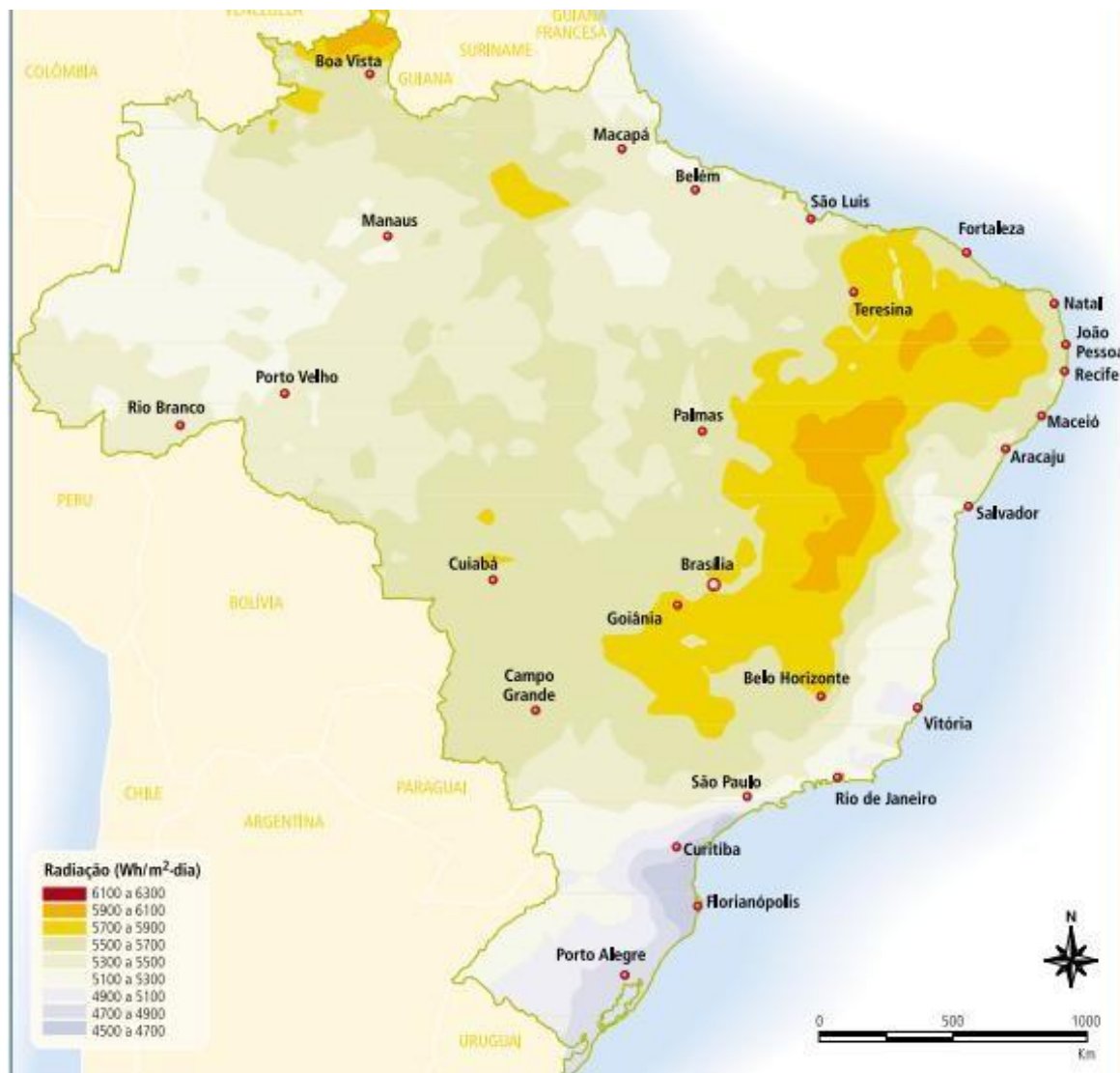
A irradiância é de suma importância pois medindo a irradiância com um sensor e armazenando os valores, é possível avaliar a quantidade de energia recebida do Sol por uma área fixa naquele dia, semana, mês ou ano. Assim no estudo da radiação solar e dos sistemas fotovoltaicos é muito normal quantificar a energia diária recebida do Sol.

Já a grandeza que é utilizada para expressar a energia solar que incide em uma determinada área de superfície plana ao longo de um determinado intervalo de tempo é a insolação e sua unidade é Wh/m^2 (Watt- hora por metro quadrado). Assim, a medida de insolação em Wh/m^2 é de extrema importância para dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos. (VILLALVA, 2014)

Existem tabelas e mapas de insolações que possibilitam o acesso aos valores diários expressos em $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$ (watt-hora por metro quadrado por dia). Estações solarimétricas com sensores de radiação solar são utilizadas para obter a insolação em várias coordenadas do planeta. Também banco de dados com informações de insolações de todo o planeta pode ser obtido através de medidas experimentais. Assim, dados são disponibilizados ao público através de tabelas, mapas solarimétricos e ferramentas computacionais. (VILLALVA, 2014)

Portanto para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico sem muita precisão é possível utilizar o mapa de insolação que mostra o valor da energia por metro quadrado que é recebida do sol nas regiões do Brasil. O mapa pode ser encontrado no atlas de energia solar fornecido pela ANEEL. Já para fazer com uma melhor precisão o dimensionamento é importante utilizar softwares para dimensionamento de sistemas solares. Com eles é possível ver os valores de insolação para determinada coordenada geográfica. A figura 10 mostra o mapa de insolação do Brasil.

Figura 10 - Irradiação Solar do Brasil



Fonte: (ANEEL, 2002)

2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

Os primeiros experimentos com dispositivos fotovoltaicos começaram no ano de 1839, com Becquerel, um físico e cientista Francês. Através da luz sobre um eletrodo metálico imerso em uma solução química ele constatou uma tensão. Posteriormente em 1877, dois cientistas ingleses chamados de Adams e Day, observaram no selênio um efeito parecido com de Becquerel. Já em 1918, o cientista polonês Czochralki desenvolveu um método para fabricar cristais de silício, muito utilizado pela indústria em semicondutores para células fotovoltaicas.

Diante disso, o avanço por outros cientistas levou a maior eficiência de células fotovoltaicas. Os sistemas fotovoltaicos tiveram um maior desenvolvimento nas décadas de 1970 e 1990. Primeiramente utilizado na indústria aeroespacial e depois em aplicações terrestres para geração de energia elétrica.

O efeito fotovoltaico pode ser exemplificado como um fenômeno físico que realiza a conversão direta da luz em energia elétrica. Isso ocorre quando a luz, ou a radiação eletromagnética do Sol incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas, na maioria dos casos o silício.

Dessa forma, Villalva (2014), destaca que:

A estrutura de uma célula fotovoltaica é composta por duas camadas de material semicondutor P e N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior.

A grade e a base metálica inferior são os terminais elétricos que fazem a coleta da corrente elétrica produzida pela ação da luz. A base inferior é uma película de alumínio ou de prata. A parte superior da célula, que recebe luz, precisa ser translúcida, portanto os contatos elétricos são construídos na forma de uma fina grade metálica impressa na célula

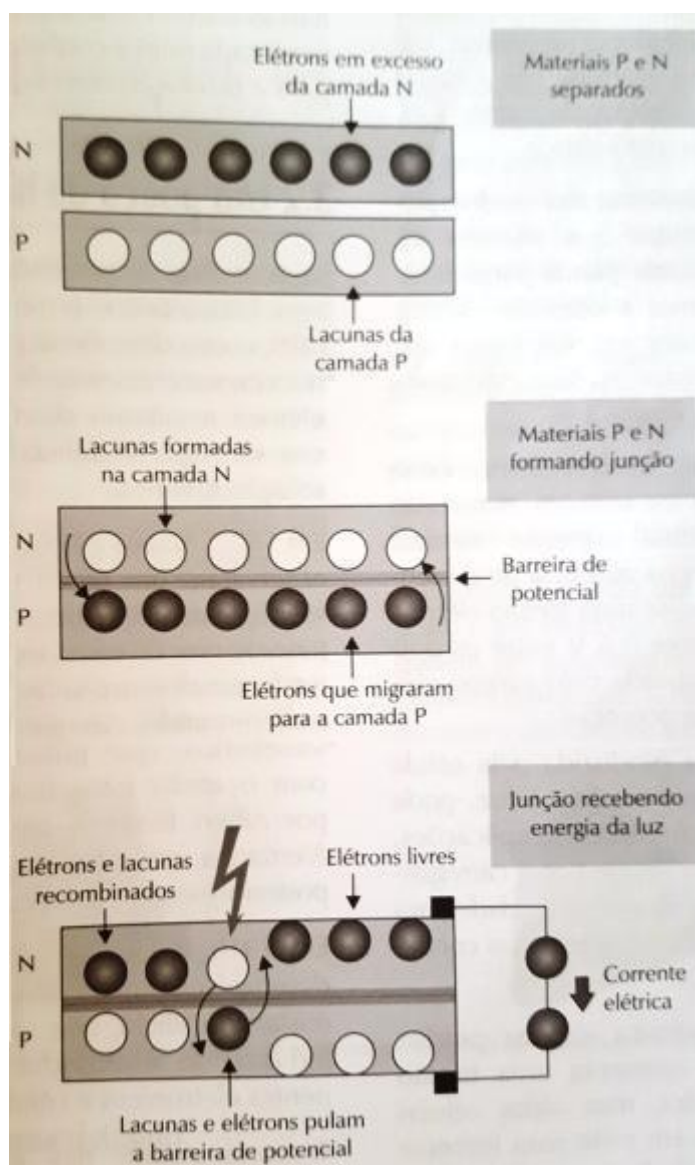
As camadas semicondutoras da célula podem ser fabricadas com vários materiais diferentes, sendo o mais utilizado o silício. Cerca de 95% de todas as células fotovoltaicas fabricadas no mundo são de silício, pois é um material muito abundante e barato.

Um semicondutor pode ser classificado como um material que não é condutor elétrico e nem isolante. Desse modo, suas propriedades podem ser modificadas pela adição de materiais dopantes ou até mesmo impurezas.

Uma célula fotovoltaica é composta por duas camadas de material semicondutor, uma do tipo P e outra N. O material N possui um excedente de elétrons e o material P a falta de elétrons. Dessa forma, devido à existência de uma diferença de elétrons nas camadas dos materiais, os elétrons da camada N acabam indo para a P devido possuir mais elétrons e criam um campo elétrico dentro de uma zona de depleção, que pode ser expressa também como barreira de potencial no interior da célula. (VILLALVA, 2014)

Através da figura 11 demonstra-se o que ocorre em três diferentes situações quando estão separados, unidos sem a presença de luz e quando as duas camadas P e N são unidas com energia da luz.

Figura 11 - Materiais semicondutores em três diferentes situações



Fonte: (VILLALVA, 2014)

A camada N do material da célula fotovoltaica é fina. Dessa forma faz a luz adentrar nesse material e descarregar sua energia sobre os elétrons, fazendo com que eles tenham energia para passar a barreira de potencial e ir da camada N para a P.

Através dos eletrodos metálicos são coletados os elétrons que ficam em movimento. Desse modo, se houver um circuito fechado ocorrerá uma corrente elétrica, pois os elétrons vão circular em direção aos eletrodos da camada N. Por sua vez, a corrente elétrica produzida pode ser utilizada em inúmeras aplicações, como sistemas conectados à rede elétrica.

Como uma célula fotovoltaica isolada produz pouca energia e tensão baixa, existe a possibilidade de utilizar em serie as células, assim, faz com que se eleve a quantidade de energia e tensão produzida.

2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Nos sistemas fotovoltaicos existem três classificações principais: isolados, híbridos ou conectados à rede. O uso de cada uma dessas opções depende da aplicação ou da disponibilidade de recursos energéticos existente em determinada localidade. Também existe o custo a ser levado em consideração. Cada um deles poderá ser de complexidade variável, dependendo da aplicação em questão e das restrições específicas de cada dimensionamento, como por exemplo, quando se considera a utilização de um sistema conectado à rede. Neste caso, o percentual de cada um, que pode ir de 0 a 100%, dependerá de vários fatores como: investimento inicial, custo de manutenção, dificuldade de obtenção da irradiação, área ocupada pelo Sistema Fotovoltaico. (CRESESB, 2004).

Sistemas conectados à rede são aqueles em que a potência gerada pelo arranjo fotovoltaico é entregue à rede elétrica. Para tanto é indispensável que se utilize um inversor que deve satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que não degrade a qualidade do sistema no qual se interliga o arranjo fotovoltaico. A figura 12 representa um sistema conectado à rede. (CRESESB, 2004).

Figura 12 - Sistema Fotovoltaico conectado à rede



Fonte : <http://www.sevenia.com.br/distributed-energy/>

Portanto, os Sistemas Conectados à Rede são aqueles que para o sistema de distribuição podem ser considerados como uma fonte extra de energia. Portanto são sistemas que não se utilizam do armazenamento de energia, pois são gerados créditos através da energia gerada não consumida. Sistemas fotovoltaicos deste tipo estão cada dia mais populares no Brasil. A energia gerada vai desde poucos kWp em instalações residenciais, até alguns MWp em grandes comércios ou indústrias caracterizando como geração distribuída. Esses sistemas residenciais dependeram das regulamentações da ANEEL.

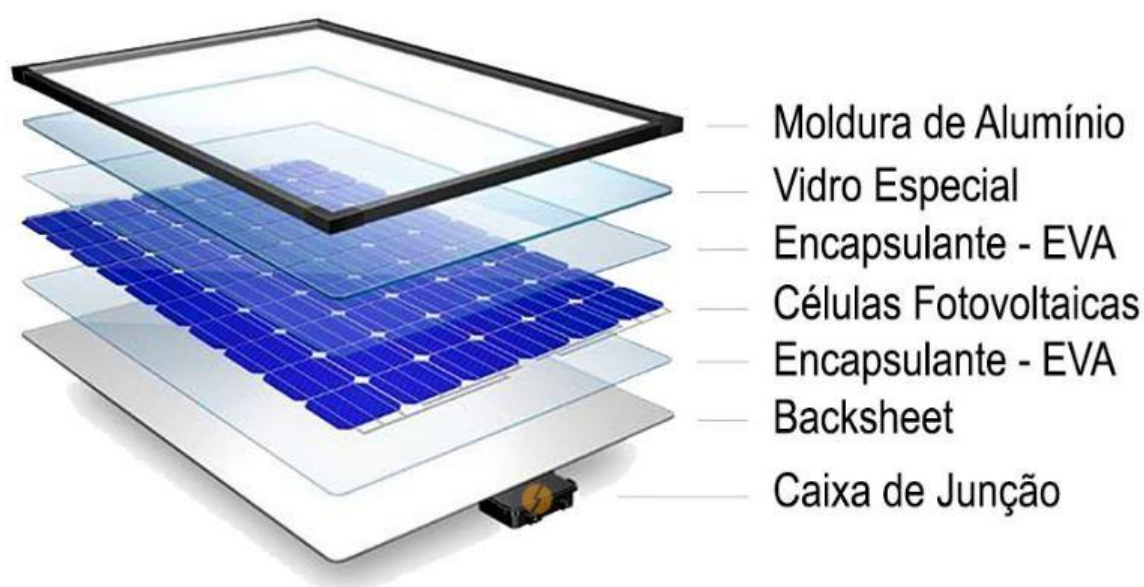
2.4 COMPONENTES BÁSICOS

2.4.1 Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é a unidade presente em todos os sistemas seja ele conectado ou não na rede. O módulo é feito a partir de células conectadas em arranjos. Conseqüentemente existe a produção de tensão e corrente suficientes para utilizar energia elétrica. Assim é importante o agrupamento em módulos já que uma célula fornece pouca energia elétrica. (CRESESB, 2014)

A figura 13 mostra os componentes de um módulo solar típico. As células e suas conexões elétricas são agrupadas dentro de laminas plásticas. O módulo é coberto por uma lâmina de vidro e também possui uma moldura de alumínio. Na parte de traz do módulo tem a caixa de conexões elétricas, que são conectados os cabos fornecidos junto com o módulo. Como os cabos são padronizados possibilita uma rápida conexão de módulos em série.

Figura 13 - Componentes de um módulo solar



Fonte: <http://www.portalsolar.com.br/>

5.4.1.2 Módulos fotovoltaicos e suas Características:

Folha de dados: Os fabricantes de módulos fotovoltaicos disponibilizam dados que nos possibilitam conhecer suas características elétricas, características mecânicas e informações importantes sobre os módulos.

Identificação e informações gerais: As informações gerais são relativas a estrutura e os materiais empregados na fabricação, quantidade de células existentes, dados sobre a resistência mecânica, as dimensões do módulo

(espessura, largura e altura), o peso do módulo, tipo de material que recobre o módulo e o tipo de conector disponível para as conexões elétricas. (Villalva, 2014)

Características elétricas em STC: relacionado com às características dos módulos fotovoltaicos, segundo Villalva (2014) :

A sigla STC (Standard Test Conditions) refere-se às condições padronizadas de teste do módulo. Todos os fabricantes de módulos fotovoltaicos realizam testes nas mesmas condições, que são padronizadas por organismos internacionais de certificação. Assim é possível comparar módulos de diversos fabricantes de acordo os mesmos critérios.

Deve levar em conta que condição padrão de teste (STC) considera irradiância solar de 1000 W/m^2 e a temperatura de 25°C da célula solar. Como é padrão de teste a condição é produzida em laboratório, dentro de uma câmara climática que possui uma temperatura e iluminação. (VILLALVA, 2014)

Tensão de circuito aberto (V_{oc}): A tensão de circuito aberto, representada por V_{oc} (OC= Open circuit) nos livros internacionais de sistemas fotovoltaicos, é o valor da tensão elétrica, medida em Volts [V], que o módulo fornece nos seus terminais quando estão desconectados.

A informação é de extrema importância para um dimensionamento de um SF, pois o projeto de um sistema deve respeitar as tensões máximas dos inversores, baterias, controladores de carga e outros componentes que são ligados aos módulos fotovoltaicos. (VILLALVA, 2014)

Corrente de curto-circuito (I_{sc}): A corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico, simbolizada como I_{sc} (SC = Short Circuit), medida em ampères (A), é a corrente elétrica que o módulo consegue fornecer quando seus terminais estão em curto-circuito

Evidentemente não existe nenhuma utilidade em fazer um curto-circuito no módulo fotovoltaico. A informação da corrente de curto-circuito é útil para auxiliar no dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos e na especificação dos equipamentos e acessórios ligados ao módulo, pois indica a máxima corrente que o módulo pode fornecer quando recebe 1000 W/m^2 de radiação solar.

Eficiência do módulo (η):

Existem muitos critérios para módulos fotovoltaicos serem lançados no mercado internacional ou nacional. No Brasil existe o INMETRO

Segundo Villalva (2014):

No Brasil os módulos fotovoltaicos são avaliados e certificados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) através de seus laboratórios credenciados”. Após os testes recebem um selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o qual atesta a classe de eficiência do módulo.

Alguns fabricantes mencionam em suas folhas de dados a eficiência do módulo. Mesmo quando essa informação não está explícita, é possível identificar a eficiência do módulo a partir das suas características

Alguns fabricantes tem em suas folhas de dados a eficiência do módulo. Mas alguns não estão explícitos, porém, é possível identificar a eficiência do módulo a partir das suas características então a eficiência de conversão η de um módulo fotovoltaico pode ser obtida com a equação:

Equação 1 – Eficiência do módulo

$$\eta_P = P_{MÁX} / AP \times 1000 \quad (4)$$

Sendo que:

$P_{MÁX}$ = potência máxima ou de pico do módulo (W)

AP = área do módulo (m^2) calculada a partir das dimensões fornecidas na folha de dados. Além disso, a equação apresenta o número 1000 correspondente à taxa de radiação solar padronizada de 1000 W/ m^2 em padrões de teste.

2.4.2 Inversores para conexão à rede elétrica

O inversor serve para converter a eletricidade de corrente contínua (CC) em corrente alternadas (CA). É um dispositivo eletrônico e é necessário nos sistemas fotovoltaicos, pois, a partir da corrente continua produzida pelo modulo fotovoltaico, existe a necessidade dos consumidores utilizarem a corrente alternada. A maioria dos aparelhos eletrodomésticos é construído para operarem em corrente alternada. (VILLALVA, 2014)

Nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede os inversores CC-CA funcionam como fontes de corrente, ou seja, eles fornecem corrente elétrica e não

tem capacidade de fornecer tensão para os consumidores. Outra particularidade do inversor é que só funciona apenas quando está conectado à rede elétrica. Na ausência ou falha no fornecimento de eletricidade da concessionária de energia o inversor para a conexão com a rede porque não foi projetado para operar sem a rede elétrica e não deve continuar conectado para segurança das pessoas que, no momento, manuseiam as instalação elétrica para manutenção. (VILLALVA, 2014)

O inversor para conexão à rede possui um sistema eletrônico de controle avançado que transforma em uma fonte de corrente. Esse sistema de controle tem como função fazer com que a corrente injetada pelo inversor na rede elétrica, tenha o formato senoidal e esteja sincronizada com a tensão senoidal da rede. (VILLALVA, 2014)

2.5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída pode ser exemplificada pelo consumo de energia ser localizado próximo aos locais de consumo através da instalação de geradores de pequeno ou médio porte, tanto com fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis. (ANEEL, 2016)

Desse modo, a implantação de pequenos geradores próximos ao consumo pode proporcionar inúmeros benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam geradores como o baseado no sistema fotovoltaico. Conseqüentemente, com isso existe a redução de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; um menor impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e, como em muitos países, diversificação da matriz energética. (ANEEL, 2016)

Outrossim, há algumas desvantagens associadas ao aumento da quantidade de pequenos geradores espalhados na rede de distribuição, tais como: o aumento da complexidade de operação da rede, a dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico, a eventual incidência de tributos e a necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger sua rede. (ANEEL, 2016)

2.5.1 Geração distribuída e as políticas de incentivos

Desde 17 de abril de 2012, a ANEEL criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, já adotado em muitos países. Assim, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica através de fontes renováveis e, inclusive, fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Com essa política facilitou-se bastante a inserção de um sistema fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica.

A resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 trouxe enorme avanços para energia solar, posteriormente atualizada pela resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, que estabelece as condições para poder ter acesso a microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Assim, geração distribuída é caracterizada pela Resolução da ANEEL (2012) :

Microgeração distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras

Minigeração distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

O sistema de compensação de energia elétrica ou internacionalmente conhecido como net metering, segundo a resolução, pode ser definido como um Sistema em que a energia ativa injetada pela unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo, à distribuidora local e, posteriormente, compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Portanto, o consumo a ser cobrado pela concessionária de energia, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre energia consumida e que foi injetada. Dessa maneira, a energia gerada que não tenha sido compensado na fatura corrente pode ser utilizada para abater o consumo nos próximos 60 meses. (ANEEL, 2016).

Assim, esse sistema possibilita que o proprietário de um sistema fotovoltaico exporte a energia para rede durante o dia quando não está em casa, e receba a energia de volta no período na noite, quando não há sol e a energia obrigatoriamente é consumida da rede pública de energia. Então, caso não existisse

esse sistema de compensação, se a energia produzida pelo sistema fotovoltaico fosse maior que o consumo, o excedente exportado para a rede elétrica seria perdida. Além disso, a energia que foi exportada para rede não compensado pela própria unidade consumidora pode ser utilizada em outras unidades consumidoras, que o titular, pessoa física, seja o mesmo da unidade de compensação, porem necessidade ser atendida pela mesma distribuidora.

Segundo a resolução normativa da ANEEL (2012) as condições para adesão:

Compete ao consumidor a iniciativa de instalação de micro ou minigeração distribuída – a ANEEL não estabelece o custo dos geradores e tampouco eventuais condições de financiamento. Portanto, o consumidor deve analisar a relação custo/benefício para instalação dos geradores, com base em diversas variáveis: tipo da fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa, etc), tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), valor da tarifa à qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica.

Por fim, é importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura poderá ser zerada (caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida), sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente.

Além disso, outro fator importante citado na resolução refere-se aos custos para medição de energia elétrica com a concessionária de energia.

No caso da microgeração distribuída a concessionária de energia é responsável por adquirir e instalar o sistema de medição, sem nenhum custo para o consumidor no caso de microgeração distribuída, assim como pela sua operação e manutenção, incluindo até os custo para eventual substituição. (ANEEL, 2015)

Já no caso de conexão de minigeração distribuída, o consumidor é responsável por ressarcir a distribuidora pelos custos de adequação do sistema de medição, nos termos da regulamentação específica. (ANEEL, 2015)

Dessa forma a resolução é fundamental para incentivar e promover o uso de energia solar fotovoltaica buscando simplificar o processo de registro e diminuindo os prazos para adequação do sistema distribuído com a rede pública.

2.5.2 Geração distribuída e energia fotovoltaica

Os sistemas fotovoltaicos têm tido um enorme crescimento ao redor do mundo nos últimos anos. Segundo a European Photovoltaic Industry Association (EPIA), a capacidade instalada mundial atingiu a marca de 139 GWp em 2013, resultando em uma taxa composta anual de crescimento de 43% entre 2000 e 2013 (EPIA, 2014). A tecnologia era utilizada em maior escala em sistemas isolados, enquanto atualmente mais de 95% são sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Isso ocorreu devido a programas de incentivos à fonte, promovidos por países como Alemanha, Austrália, China, Espanha, EUA, entre outros. Os preços seguiram caminho inverso, caindo significativamente conforme a capacidade instalada aumentava. (EPE, 2014)

A previsão para 2020 é que sistemas residenciais e comerciais devem responder por aproximadamente 60% da geração fotovoltaica, enquanto as usinas fotovoltaicas representariam 30% do total, restando 10% em sistemas isolados. (EPE, 2014)

Comparando os países com grande uso da tecnologia fotovoltaica instalada de geração distribuída, o Brasil possui um enorme potencial devido uma incidência solar elevada e também por suas tarifas de energia elétrica estar em patamares elevados. Contudo, o sistema de compensação que é adotado no Brasil, não oferece a mesma atratividade proporcionada por outras formas de incentivo empregadas nos outros países, de forma que sua inserção reflita num prazo maior para a popularização da fonte.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi dimensionado um sistema fotovoltaico conectado à rede de energia no município de Sinop do Estado do Mato Grosso. Foram utilizadas as resoluções da ANEEL conforme as regulamentações que já foram listadas na fundamentação teórica, sendo condicionado às particularidades locais.

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico é relacionar a energia fornecida pelo Sol e a convertida em energia elétrica e a demanda de energia da carga. Porém, existe uma separação entre sistemas fotovoltaicos isolados da rede e sistemas Fotovoltaicos conectados à rede. Neste trabalho será detalhada as etapas do dimensionamento de um SF conectado à rede.

Primeiramente, para um dimensionamento de um sistema conectado à rede elétrica, será necessário determinar a quantidade de energia que se deseja produzir.

Essa escolha deve levar em conta diversos fatores, como por exemplo, pode ser determinada através da base do consumo médio mensal de eletricidade através da conta de luz. Assim, existe a possibilidade de produção parcial ou integral de demanda de energia elétrica do determinado consumidor.

Outra forma de dimensionar a energia produzida é conhecer o espaço disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos. Sabendo a quantidade de módulos que serão instalados, pode-se calcular quanto de energia diária ou mensal do SF.

Por fim, outro critério é da escolha relacionada com o valor a ser investido, conhecendo o limite que o consumidor pretende realizar no SF.

Dimensionamento do número de módulos:

Primeiramente escolhe o modelo de módulo que será utilizado, posteriormente deve-se dizer a quantidade de energia produzida pelo painel na localidade em que será instalado.

Com os sistemas conectados à rede, o método adequado é baseado na insolação diária, ou seja, no valor de quillowatt-hora por metro quadrado diário [Kwh/m²/dia] disponível na coordenada desejada. Assim, conhecendo a área do módulo e a sua eficiência, obtém-se a energia elétrica produzida diariamente.

Método da insolação diária:

Com esse método pode-se calcular a energia produzida pelo módulo fotovoltaico quando se tem informações sobre a energia do Sol presente diariamente

no local da instalação. A informação sobre energia solar diária ($\text{Wh/m}^2/\text{dia}$), ou seja, a insolação para uma coordenada geográfica, pode ser obtida através de um software como, por exemplo, Sundata onde se encontra um banco de dados com 350 pontos do Brasil.

Os dados de insolação disponíveis muitas vezes nos mapas solarimétricos são de uma média da insolação anual, ou seja, o valor fornecido é a soma de todos os dias do ano dividido pelo número de dias. Como, por exemplo, no mapa os valores estão $5000 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$ para determinadas regiões, isso representa que em média o Sol fornece diariamente a energia de 5000 Wh para cada metro quadrado de área do determinado local. Pois, nos meses de verão esse número será diferente da época do inverno.

A insolação média diária por metro quadrado no Brasil é de $5000 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$. Existem locais que podem chegar a $6000 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$ no nordeste, já no Sul o número cai para $4500 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$.

Levantamento das características do módulo: existe a necessidade das características, como por exemplo, suas dimensões, ou seja, seu tamanho (para o cálculo de área) e sua eficiência para o cálculo da energia produzida. Então a energia produzida pelo módulo fotovoltaico é dada pela equação 2.

$$E_p = E_s \times A_m \times \eta_m \quad (5)$$

Sendo:

E_p = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh]

E_s = Insolação diária [$\text{Wh/m}^2/\text{dia}$]

A_m = Área da superfície do módulo [m^2]

η_m = Eficiência do módulo

O cálculo leva em consideração que o módulo vai estar em um local que maximiza o aproveitamento da energia solar. Nos locais situados abaixo da linha do equador, o módulo deve ter sua face voltada para o norte geográfico.

Assim, obtido o valor da energia produzida por um módulo e sabendo a quantidade de energia que se pretende obter mensalmente, ou diariamente, como desejar o projetista, é possível determinar a quantidade de módulos necessários no sistema fotovoltaico como é dada na equação 6.

$$N_p = E_{\text{sistema}} / E_{\text{módulo}} \quad (6)$$

Sendo:

N_p = Número de módulos da instalação fotovoltaica

E_{sistema} = Energia produzida pelo sistema [Kwh] no intervalo de tempo considerado

$E_{\text{módulo}}$ = Energia produzida por um módulo [Kwh] no mesmo intervalo de tempo.

Dimensionamento dos inversores:

A escolha do inversor é de suma importância nos sistemas fotovoltaicos, e portanto, devem ser adotados os critérios:

A tensão de circuito aberto do conjunto de módulos não pode ultrapassar a tensão máxima permitida na entrada do inversor. Se caso ocorrer uma sobre-tensão o equipamento será danificado. Também o inversor deve ser especificado para uma potência igual ou superior a potência pico do conjunto dos módulos

Após todos os dados necessários levantados para determinado dimensionamento, será possível dizer o que foi produzido de energia elétrica e o que não foi consumido no momento da geração, consequentemente, injetada na rede de distribuição, gerando créditos. Também será possível a identificação de possíveis barreiras como a normativa e regulamentação no que diz respeito a geração distribuída de energia solar

Assim, uma medida de incentivo seria ofertar financiamento em condições atraentes para a instalação de unidades de mini ou micro geração.

Até o momento, apesar de os primeiros passos terem sido trilhados pela Resolução nº 482, ainda há um conjunto de iniciativas que precisam ser executadas por meio de políticas públicas bem coordenadas para que a geração distribuída ocupe um espaço relevante no Brasil.

Dessa forma, analisar as normativas técnicas da ANEEL, fomento e tributação de energia que atende o município de Sinop e também pesquisas relacionadas com a GD é de extrema importância para que sejam identificadas possíveis avanços para a implantação de um SF.

4 RESULTADOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS PARA O DIMENSIONAMENTO FV

Neste capítulo será dimensionado um sistema fotovoltaico conectado à rede de energia no município de Sinop do Estado do Mato Grosso. Vão ser utilizadas as resoluções da ANEEL conforme as regulamentações que já foram listadas na fundamentação teórica, sendo condicionado às particularidades de irradiação do município. Assim será detalhada as etapas do dimensionamento de um SF conectado à rede, ou seja, relacionar a energia fotovoltaica com GD conectada à rede de energia elétrica, ou seja, será apresentado o que for produzido em energia elétrica e não for consumido no momento de geração seja injetada na rede de distribuição gerando créditos.

4.1.2 Consumo médio mensal

Para um dimensionamento de um sistema conectado à rede elétrica, será necessário determinar o local conseqüentemente à quantidade de energia que se deseja produzir, pode ser determina com base no consumo médio mensal de eletricidade obtido a partir da conta de eletricidade do local que é uma residência no município de Sinop no estado do Mato Grosso.

Assim, existe a possibilidade de produção parcial ou integral de demanda de energia elétrica do determinado consumidor. Outra forma de dimensionar a energia produzida é conhecer o espaço disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos. Sabendo a quantidade de módulos que serão instalados, pode-se calcular quanto de energia diária ou mensal do SF. Nesse caso será levado em conta a demanda integral de energia elétrica menos a taxa fixa de 50 kWh para bifásica como já referenciado no trabalho. Como na tabela 1 do histórico de consumo podemos observar.

Tabela 1 – Histórico de consumo de kWh do local do SF.

MÊS	Consumo (KWh)
Janeiro	587
Fevereiro	538
Março	562
Abril	636
Maiο	632
Junho	590
Julho	655
Agosto	522
Setembro	617
Outubro	673
Novembro	627
Dezembro	673
TOTAL	7312
Média Aritmética	610
Média Aritmética com a taxa Bifásica (50kWh)	560

Fonte: ENERGISA (2017)

4.1.3 Dados de insolação Wh/m²/dia

Para o dimensionamento do número de módulos primeiramente escolhe o modelo de módulo que será utilizado. Neste caso o painel Solar fotovoltaico Canadian, nesse caso foi escolhido contendo 60 células, como o modelo de 55 Wp que são ideais para aplicações de Energia Solar Residencial conectados à rede. Depois deve-se dizer a quantidade de energia produzida pelo painel na localidade em que será instalado. Isso é possível através de um método de insolação diária. Esse método é utilizado no cálculo da energia produzida pelo módulo fotovoltaico, quando existe os dados sobre a energia do Sol acessível diariamente no local da instalação. Baseando-se no que já foi descrito nos tópicos anteriores, a energia solar diária é encontrada na forma da insolação e expressa em watt- hora por metro quadrado por dia. A informação sobre energia solar diária (Wh/m²/dia), ou seja, a insolação para uma coordenada geográfica, pode ser obtida através de um software como, por exemplo, SunData onde se encontra um banco de dados com 350 pontos do Brasil.

Os dados de insolação disponíveis muitas vezes nos mapas solarimétricos são de uma média da insolação anual, ou seja, o valor fornecido é a soma de todos os dias do ano dividido pelo número de dias.

Como, por exemplo, no mapa os valores estão $5000 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$ para determinada regiões, isso representa que em média o Sol fornece diariamente a energia de 5000 Wh para cada metro quadrado de área do determinado local. Pois, nos meses de verão esse número será diferente da época do inverno.

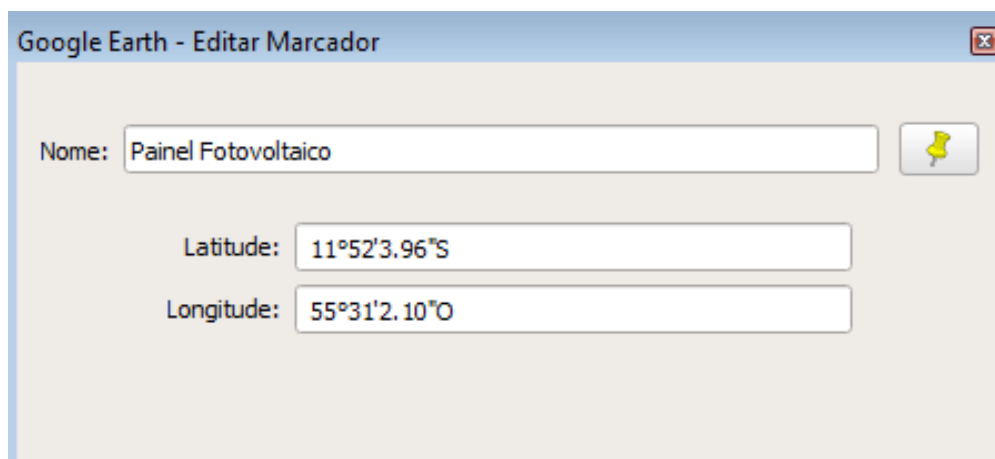
Nesse caso em particular será utilizado o software Google Earth para identificar as coordenadas Latitude e Longitude. Assim a figura 14 e figura 15 pode se observar o local do SF e as coordenadas do local respectivamente.

Figura 14 – Local do SF



Fonte: Google Earth

Figura 15 – Coordenadas do SF



Fonte: Google Earth

Assim posteriormente informar as coordenadas para o software SunData onde se encontra o banco de dados das coordenadas. O programa SunData é destinado ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em pontos do território nacional e é disponibilizado através da CRESESB que oferece essa ferramenta a engenheiros como apoio para dimensionamentos de SF. Na tabela 2 é dado a irradiação solar através do software utilizado.

Tabela 2 – Média mensal e anual das irradiações solares diárias (kWh/m² por dia) de um ponto próximo a coordenada.

MÊS	[Kwh/m²/dia]
Janeiro	4,72
Fevereiro	4,78
Março	4,72
Abril	4,36
Maio	4,64
Junho	4,67
Julho	5,25
Agosto	5,11
Setembro	4,83
Outubro	5,00
Novembro	4,72
Dezembro	4,75
TOTAL	57,6
Média Aritmética Mensal	4,80

Fonte: CRESESB (2017)

4.1.4 Dimensionamento do n ° módulos

Então a energia produzida pelo módulo fotovoltaico é dada pela equação 5:

$$\begin{aligned} E_p &= E_s \times A_m \times \eta_m \\ E_p &= 4800 \times (1,638 \times 0,982) \times 15,87\% \\ E_p &= 1158 \text{Wh} \end{aligned}$$

Para o dimensionamento do módulo, existe a necessidade das características, como por exemplo, suas dimensões, ou seja, seu tamanho (para o cálculo de área) e sua eficiência para o cálculo da energia produzida

Com os sistemas conectados à rede, o método adequado é baseado na insolação diária, ou seja, no valor de quillowatt-hora por metro quadrado diário [Kwh/m²/dia] disponível na coordenada desejada. Assim, conhecendo a área do módulo e a sua eficiência, obtém-se a energia elétrica produzida diariamente que nessa situação é de 1158Wh por dia, ao longo de um mês seria 34,740kWh.

Assim, obtido o valor da energia produzida por um módulo e sabendo a quantidade de energia que se pretende obter mensalmente que é 560kWh como está na tabela do consumo mensal de kWh. Com isso é possível determinar a quantidade de módulos necessários no sistema fotovoltaico através equação 6.

$$\begin{aligned} N_p &= E_{\text{sistema}} / E_{\text{módulo}} \\ N_p &= 560 \text{kWh} / 34,70 \text{kWh} \\ N_p &= 16,1 \text{ Módulos} \end{aligned}$$

Portanto para atender a demanda de energia desse local logo será necessários 17 módulos fotovoltaicos, pois foi considerado um valor inteiro e será do modelo Canadian 255W. Com a tabela 3 é especificado as condições técnicas do painel solar, e na figura 16 podemos observar como o módulo é dado.

CONDIÇÕES PADRÕES DE TESTE	INFORMAÇÕES
Máxima Potência (Pm):	255 Watts
Tolerância:	0 / 5 Watts
Volts de Máxima Potência (Vm)	30,2 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im):	8.43 Amps
Volts de Circuito Aberto (Voc):	37,4 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	9.0 Amps
Volts Máxima do Sistema:	1000 Volts
Eficiência do Painel	15,85%
Dimensões do painel	1638x982 mm

Fonte: NEOSOLAR (2017)

Figura 16 – Painel Fotovoltaico



Fonte : NEOSOLAR (2017)

4.1.5 Dimensionamento do inversor

Agora escolhe-se do inversor para o sistema fotovoltaico, portanto, devem ser adotado os critério de que a tensão de circuito aberto do conjunto de módulos não pode ultrapassar a tensão máxima permitida na entra do inversor. Se caso ocorrem uma sobre tensão o equipamento será danificado.

Também o inversor deve ser especificado para uma potência igual ou superior a potência pico do conjunto dos módulos.

Por exemplo no sistema em que está sendo dimensionado a demanda de energia será necessários 17 módulos, verificando as especificações técnicas do fabricante, pode ser observado que a tensão de circuito aberto dos módulos é 37,4 Volts. Com 17 módulos ligados em série tem-se $17 \times 37,4 = 635,8$ V. Considerando um fator de segurança de 10% devido a mudança de temperatura, a tensão máxima na saída será de $635,8 \times 1,1 = 700$ V

O conjunto de 17 módulos de 255W fornecerá uma potência máxima de $17 \times 255 = 4335$ W, ou seja, se faz necessário um inversor que atenda às necessidades da tensão máxima na saída e a potência máxima.

Inversor Fronius Primo 5.0 -1 atende todas as especificações citada acima, como mostra suas especificações técnicas bem como funcionam integrados a rede elétrica para o uso com a energia solar fotovoltaica. Na figura 17 podemos observar como o inversor é robusto. E também na tabela 4 suas especificações para utilizar no dimensionamento.

Figura 17 – Inversor Fotovoltaico



Fonte: NEOSOLAR (2017)

Tabela 4 – Especificações técnicas do inversor.

CONDIÇÕES PADRÕES DE TESTE	INFORMAÇÕES
Volts Máxima de entrada	1000
Potência nominal na saída	5000W
Volts saída	180 à 270
Frequência de saída	60Hz
Temperatura de operação	-40°C a + 55°C
IP	65

Fonte: NEOSOLAR (2017)

4.1.6 Consumo e geração de energia (kWh)

Com todos as informações levantadas para o dimensionamento, será

possível dizer o que foi produzido de energia elétrica e o que não foi consumido no momento da geração em determinado mês, conseqüentemente, injetada na rede de distribuição.

Para demonstrar a forma do sistema de compensação de energia elétrica utilizado no país, nesta parte serão apresentados os faturamentos do local da pesquisa. Nesta pesquisa, a unidade consumidora é bifásica (custo de disponibilidade igual ao valor em reais equivalente a 50 kWh), localizada na cidade de Sinop, com capacidade instalada com equipamentos de microgeração solar fotovoltaica com potência de 4590 W, e a produção média mensal seja de 560 kWh. Para o cálculo, foi utilizada a tarifa de 0,47 R\$/kWh da Energisa, sem a incidência de impostos federais e estaduais. Para o cálculo basta multiplicar o consumo do seu respectivo mês pela tarifa cobrada pela concessionária de energia.

Para calcular o tanto que injetou basta calcular a energia produzida com a taxa de irradiação do determinado mês considerando 30 dias ao mês e multiplicar pela quantidade de 17 módulos que foram determinados.

Por exemplo para janeiro com a irradiação de 4780W, obtém um valor de 580kWh. Assim para os outros meses basta utilizar essa mesma equação com a irradiação respetiva do seu mês. Para encontrar a fatura sem GD basta multiplicar a o valor cobrado por kWh hora da concessionaria pelo custo de disponibilidade da rede, neste caso bifásica que é 50kWh, como já referenciado.

Através da equação 5 obtém a energia produzida por cada mês.

$$\begin{aligned} E_p &= E_s \times A_m \times \eta_m \times 30 \times 17 \\ E_p &= 4780 \times 1,638 \times 0,982 \times 15,87\% \times 30 \times 17 \\ E_p &= 580\text{kWh} \end{aligned}$$

Com base nos níveis mensais de irradiação solar do município de Sinop, foi estimada para a unidade consumidora a geração de energia (injetada), conforme apresentado na tabela a 5:

Tabela 5 – Consumo e geração anual

Mês	Consumo (kWh)	Geração (kWh)	Credito Acumulado (kWh)	Fatura sem GD	Fatura com GD
Janeiro	587	580	0	R\$ 275,89	R\$ 23,5
Fevereiro	538	622	84	R\$ 252,86	R\$ 23,5
Março	562	614	136	R\$ 264,14	R\$ 23,5
Abril	636	567	117	R\$ 298,92	R\$ 23,5
Mai	632	604	117	R\$ 297,04	R\$ 23,5
Junho	590	608	135	R\$ 277,30	R\$ 23,5
Julho	655	683	163	R\$ 307,85	R\$ 23,5
Agosto	522	663	304	R\$ 245,34	R\$ 23,5
Setembro	617	628	315	R\$ 289,99	R\$ 23,5
Outubro	673	651	315	R\$ 316,31	R\$ 23,5
Novembro	627	614	315	R\$ 294,69	R\$ 23,5
Dezembro	673	618	310	R\$ 316,31	R\$ 23,5
Total	7312	7452			

Fonte: Próprio autor

4.2 AVANÇOS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FV

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, 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. Assim foram identificados as barreiras estudadas e avanços para o setor.

4.2.1 Tributação para o SF

A energia elétrica gerada por projetos residenciais, comerciais e industriais terá isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) no local escolhido para o dimensionamento que é o estado de Mato Grosso. O benefício foi aprovado pelo Conselho de Política Fazendária a isenção da energia elétrica é válida

para projetos de micro e minigeração distribuídas, mais conhecidos como autogeração de pequenas quantidades produzidas por residências, comércios e indústrias. Assim para o estado que o SF foi dimensionado existe uma lei em vigor sobre a tributação. A lei nº 730/2015 a seguir que regulamente essa isenção no estado do mato grosso.

Art. 1º Para efeitos desta lei e obtenção de isenção ficam adotadas as seguintes definições: I – Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utiliza fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa, biogás ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalação de unidades consumidoras; II – Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual que 1 MW e que utiliza fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa biogás ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalação de unidades consumidoras.

Art. 2º Fica isenta do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS toda energia ativa gerada por microgeração ou minigeração, que for fornecida à rede de distribuição da concessionária de energia elétrica por uma unidade consumidora.

Art. 3º Ficam isentos de ICMS todos os equipamentos e componentes, importados ou produzidos em solo nacional, necessários à instalação de um sistema de micro ou minigeração distribuída de energia elétrica.

(Conselho de Política Fazendária MT, 2015)

4.2.2 Fomento para o SF

Estamos em Sinop, Centro Oeste do Brasil e aqui Sol não falta como está descrito através de mapa no referencial teórico, mas ainda falta incentivo para o todo este Sol servir como fonte rentável e viável de energia, o governo começou a mover-se para criar condições para se possa ter energia solar na forma distribuída.

O ProGD, ou “Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica” foi lançado em 2015 com o intuito de fomentar a geração de energia pelo próprio consumidor, em especial a energia solar fotovoltaica no Brasil. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015)

O governo pretende investir até 100 bilhões até 2030 com interesse de fomentar a geração distribuída e nós devemos ver os reflexos desta ação de diferentes maneiras. Entre essas ações e incentivos do PROGD se destacam a criação e

expansão de linhas de crédito e formas de financiamento de projetos para a instalação de sistemas de geração distribuída nos segmentos residencial, comercial e industrial, com destaque para o sistema fotovoltaico. O incentivo ao estabelecimento de indústrias fabricantes de componentes e equipamentos usados em empreendimentos de geração a partir de fontes renováveis, englobando o desenvolvimento produtivo, tecnológico e a inovação, bem como o estabelecimento de empresas de comércio e de prestação de serviços na área de geração distribuída a partir de fontes renováveis. A promoção da atração de investimentos, nacionais e internacionais, e favorecer a transferência e nacionalização de tecnologias competitivas para energias renováveis. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015)

De certa forma, principal dificuldade para a utilização de painéis de geração solar fotovoltaica em unidades consumidoras, sobretudo residenciais e comerciais de pequeno porte, consiste no alto investimento inicial agregado à aquisição dos sistemas de geração. Existem alguns modelos de financiamentos para empresas que está localizada nos estado de Mato Grosso, tem uma das melhores linhas de financiamento para Sistema Fotovoltaico. Através do site da Associação Brasileira de energia distribuída existe informações das diversas linhas de financiamentos como por exemplo: a Linha de financiamento FCO (Fundo de Financiamento do Centro-Oeste) disponibiliza prazos entendidos e baixas taxas de juros, o que é um grande diferencial para se obter este financiamento. Além disso no segmento de sistemas fotovoltaicos, o BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) financia empreendimento de geração de energia. Por último, há a linha de financiamento governamental “Mais Alimentos”, do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. Voltada para pequenos agricultores, a linha inclui o financiamento de sistemas fotovoltaicos.

4.2.3 Unidades consumidoras com geração distribuída

Essas tabelas a seguir mostram as unidades consumidoras que estão aderidas no programa de geração distribuída, na tabela 6 tem-se a comparação de 4 tipos de geração, já na tabela 7 tabela a quantidade de UCs por ano. Na terceira tabela mostra a energia que está sendo injetada na rede e a quantidade de UCs que recebem créditos ao longo do ano de 2017. A tabela 10 mostra a quantidade total de sistemas fotovoltaicos conectados à rede do Brasil até a data indicada com uma potência instalada de 80.332,57 kW. Estes dados foram fornecidos pelo banco de dados de

registro de central geradora distribuída da ANEEL, assim foram ajustados para tabelas.

Tabela 6 – Unidades consumidoras com geração distribuída até 16/11/2017

Tipo	Quantidade	Quantidade de UCS que recebem credito	Potência instalada (kW)
CGH	20	238	15.190,70
EOL	53	96	10.285,60
UFV	16.990	19143	139.905,85
UTE	70	196	23.182,26
TOTAL	17.133	19.673	188.564,41

Fonte: Elaboração próprio autor

Tabela 7 – Unidades consumidoras com geração distribuída por ano

Tipo	Quantidade	Quantidade de UCS que recebem credito	Potência instalada (kW)
2012	13	16	447,93
2013	53	66	1.396,41
2014	283	307	2.389,21
2015	1.421	1.629	9.358,50
2016	6.012	6.742	46.028,84

Fonte: Elaboração próprio autor

Tabela 8 – Unidades consumidoras com geração distribuída de SF de 01/01/2017 até 16/11/2017

Tipo	Quantidade	Quantidade de UCS que recebem credito	Potência instalada (kW)
UFV	9.397	10.615	81.669,48

Fonte: Elaboração próprio autor

Tabela 9 – Unidades consumidoras com SF e geração distribuída por Mês de 2017

Tipo	Quantidade	Quantidade de UCS que recebem credito	Potência instalada (kW)
Janeiro	632	238	4.377,81
Fevereiro	656	713	4.513,29

Março	848	891	5.757,41
Abril	637	699	5.732,66
Mai	907	959	9.812,23
Junho	962	1.089	7.921,10
Julho	1.035	1.226	11.626,52
Agosto	1.289	1.518	11.456,19
Setembro	1.198	1.373	11.309,63
Outubro	998	1.186	11.058,30
Novembro	921	1.035	7,682.05

Fonte: Elaboração próprio autor

Tabela 10 – Unidades consumidoras de geração distribuída por classe de consumo até 16/11/2017

Tipo	Quantidade	Quantidade de UCS que recebem credito	Potência instalada (kW)
Comercial	2.695	3.571	72.341,08
Iluminação pública	7	7	60,90
Industrial	393	463	32.439,26
Poder Publico	159	205	6.442,80
Residencial	13.533	14.875	60.269,53
Rural	506	755	17.348,66
Serviço Publico	34	34	1.071,10

Fonte: Elaboração próprio autor

5 ANÁLISE DE RESULTADOS.

5.1 Análise de créditos

Primeiramente na tabela 5 pode ser analisado que, no mês de janeiro o consumo da UC (587 kWh) foi maior do que a energia ativa injetada na rede (580kWh) resultando disso um debito de (7 kWh). A diferença entre o consumo e a geração (7 kWh) seria, portanto, o valor a faturar naquele mês. Nesse caso, somente o custo de disponibilidade da rede de (50 kWh). No mês de janeiro, portanto, o faturamento será apenas pelo custo de disponibilidade. Como esse custo é o valor em reais equivalente a 50 kWh, para uma tarifa de 0,47 R\$/kWh, o custo de disponibilidade será de R\$ 23,50.

Já, no mês de fevereiro o consumo da unidade consumidora (538 kWh) foi menor do que a energia ativa injetada na rede (622 kWh), resultando disso um crédito (84 kWh) a ser utilizado em faturamento posterior, então somente terá o custo de disponibilidade da rede. Além disso no mês de Março também houve um crédito de (52 kWh), com o mês de fevereiro fica um acumulado de 136 (kWh) que pode ser faturado nos próximos meses.

Percebe-se que o faturamento de Abril, a energia injetada foi de 567 kWh e o consumo foi maior (636 kWh). A diferença entre o consumo e a geração (69 kWh) seria, portanto, o valor a faturar naquele mês. Todavia, há 136 kWh de créditos gerados nos meses anteriores e, desse forma, eles podem ser utilizados para abater o valor a faturar. Nesse caso, no entanto, basta que sejam utilizados 19 kWh (dos 136 kWh de crédito) para que a quantidade de kWh a faturar seja igual à quantidade mínima que deve ser faturada (50 kWh – custo de disponibilidade). Portanto, sobrariam ainda 117 kWh de créditos que a UC utilizará no mês em que necessitar.

No mês de Maio o consumo da UC (632 kWh) foi maior do que a energia ativa injetada na rede (604kWh) resultando disso um debito de (28 kWh). A diferença entre o consumo e a geração (28 kWh) seria, portanto, o valor a faturar naquele mês. Porém, somente o custo de disponibilidade da rede de (50 kWh). Assim nesse mês o faturamento será apenas pelo custo de disponibilidade.

Nos meses em que o consumo inferior à energia injetada na rede (junho, julho, agosto e setembro, no exemplo), gerou créditos (315kWh) que conseqüentemente utilizara nos próximos meses.

No mês de Outubro e Novembro o consumo da UC (673 kWh), (627kWh) respectivamente foi maior do que a energia ativa injetada na rede (651kWh) e (614kWh) resultando disso um debito. A diferença entre o consumo e a geração seria, portanto, o valor a faturar naquele mês. Porém, somente o custo de disponibilidade da rede de (50 kWh) devido a diferença da geração e consumo ser menor que o custo de disponibilidade.

Em dezembro, a energia injetada foi de 618 kWh e o consumo foi maior (673 kWh). A diferença entre o consumo e a geração (55 kWh) seria, portanto, o valor a faturar naquele mês. Todavia, há 315 kWh de créditos gerados nos meses anteriores e, dessa forma, eles podem ser utilizados para abater o valor a faturar.

Basta que sejam utilizados 5 kWh (dos 315 kWh de crédito) para que a quantidade de kWh a faturar seja igual à quantidade mínima que deve ser faturada

(50 kWh – custo de disponibilidade). Portanto, sobrariam ainda 310 kWh de créditos que a UC utilizará nos próximos 60 meses em que necessitar.

5.2 Análise de avanços no setor

Com o impulso à geração de energia distribuída a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) já registra conexões de geração distribuída até dia 16 novembro de 2017, totalizando potência instalada de 188.564,41 kW.

Entre as energias para geração distribuída mais utilizadas, a fonte solar fotovoltaica é a mais relevante, com 16.990 conexões do total de 17.133. Em comparação de potência instalada, a energia gerada pelo sol também saí na frente com 139.905,85 kW.

Na comparação por anos através da tabela 7 é notório que após o PROGD em 2015 aconteceu um aumento de unidade consumidoras conectadas a rede, em 2013 foi conectado um número de 283 já em 2015 1.421 unidades. Isso se deu devido ao incentivo para geração distribuída

No caso em questão que foi dimensionado um SF para uma residência, e como demonstrado na tabela 10, a grande maioria das conexões de geração distribuída permanece nas residências. Segundo a Aneel, 13.533 das conexões de geração distribuída atendem essa classe de consumo. Em segundo lugar está o comercio é responsável por 2.695 adesões e com um potência instalada em kW de 72.341,08 maior que nas residências que é 32.439,26.

Em 2015 foi lançado o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD). Com investimentos a previsão é que até 2030, diversas unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas assim como já vem gerando, entre residência, comércios, indústrias e no setor agrícola, dessa forma gerando energia limpa e renovável. Portanto os fomentos à geração distribuída se fundamentam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao consumidor de energia elétrica, como foi demonstrado no caso de créditos de energia. Além disso, o baixo impacto ambiental, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

Portanto as regras da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 é de suma importância para o consumidor pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição.

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes, e não pode ser revertido em dinheiro. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÃO A TRABALHOS FUTUROS

Como pôde ser visto neste trabalho um sistema fotovoltaico conectado na rede para operar necessita de um conjunto de componentes citados acima. Além disso é possível ver que com incentivos o crescimento dessa tecnologia é efetiva como mostrado nas tabelas. Com os investimentos e fomentos a previsão é que diversas unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, entre residência, comércios, indústrias e no setor agrícola, dessa forma gerando energia limpa e renovável, assim como já vem gerando como demonstrado nas tabelas. Portanto os fomentos à geração distribuída se fundamentam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao consumidor de energia elétrica, como foi demonstrado no caso de créditos de energia. Além disso, o baixo impacto ambiental, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

No trabalho apresentado aqui o enfoque dado ao estudo foi a energia produzida e a consumida de uma residência do município de Sinop, assim podendo mostrar em forma de tabela os créditos que a resolução da Aneel propõe para o consumidor, ou seja, o que for produzido em energia elétrica e não foi consumido.

Esse estudo procurou seguir o estabelecido pela Aneel principalmente em sua resolução N° 482/2012 e os resultados encontrados foram através de simulações levando em conta a particularidade de irradiação do local.

Portanto a inserção da energia solar fotovoltaica no país vai impulsionar o desenvolvimento tecnológico e crescerão os incentivos a esse tipo de geração pois, assim, vai permitir ampliar a oferta de energia elétrica, e ao mesmo tempo, contribuir para a manutenção da característica renovável de nossa matriz energética. Dessa forma esse trabalho busca incentivar aos que admiram essa área de geração de energia alternativa e se interessam em também estudar a mesma.

O trabalho aqui descrito relacionou no estudo apenas consumidor da classe de consumo residências, podendo trabalhos futuros relacionar a geração distribuída com consumidores industriais.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- ANEEL. (2002). **ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL**. Brasília: ANEEL.
- ANEEL. (2012). **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril**. Brasil.
- ANEEL. (2015). **Resolução normativa Nº 687, de 24 de Novembro**. Brasil.
- ANEEL, A. N. (2016). **Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Brasília DF: ANEEL.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída 2017**. Disponível: <http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao//asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidadereduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em: 16 nov. 2017.
- Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. (2012). **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica.
- BURGER, M. (s.d.). *Portal Solar*. Acesso em 2 de Janeiro de 2017, disponível em <http://www.portalsolar.com.br>: <<http://www.portalsolar.com.br/passos-a-passos-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>
- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. (2004). **Manual de Engenharia FV**. Rio De Janeiro: CRESESB.
- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. (2014). **Manual de Engenharia FV**. Rio de Janeiro: CRESESB
- ENERGISA, Concessionária. **Tipos de tarifas**. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Acesso em: 01 nov. 2017.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2012). **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: EPE.
- Empresa de Pesquisa Energética. (Outubro de 2014). **Nota técnica. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**.
- Energia, A. d. (2012). **Inserção da Energia Solar no Brasil**. São Paulo.
- EPIA. (2014). *Sustainability Of Photovoltaic Systems*.
- GOOGLE, Earth. **Google Earth Maps** . Versão 2017. Mato Grosso. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

GUIMARÃES, Ana Paula ; GALDINO, Marco . **SunData** : Potencial Solar. 2016. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

NEOSOLAR, Fronius. Paine Solar Fotovoltaico Canadian (255Wp) . Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-canadian-csi-cs6p-255p-255wp.html>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

NEOSOLAR, Fronius. Inversor Fronius Primo 5.0-1. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-primo-5-0-1-5000w.html>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

MATO GROSSO. **Projeto de lei nº 730/2015 n. 730**, de 19 de nov. de 2015. Isenção do ICMS geração distribuída. Estabelece condições gerais para isenção do ICMS sobre operações de microgeração e minigeração de energia elétrica, bem como sobre os equipamentos necessários à implantação dos respectivos sistemas no âmbito do Estado de Mato Grosso. Conselho de Política Fazendária. Mato Grosso, p. 1-4

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, MME. **PROGD** . Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030>. Acesso em: 01 out. 2017.

PEREIRA, R. (21 de 07 de 2016). *portalsolar.com.br*. Acesso em 15 de Dezembro de 2016, disponível em Portalsolar: <<http://www.portalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida.html>>

Sevenia Soluções Inteligentes em Energia. (2015). *http://www.sevenia.com.br*. Acesso em 5 de Janeiro de 2017, disponível em Sevenia: <<http://www.sevenia.com.br/distributed-energy/>>

VILLALVA, M. G. (2014). **Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Saraiva