



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL

CAMPUS DO SERTÃO

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JACKSON ALVES DA SILVA JÚNIOR

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID
PARA UMA RESIDÊNCIA EM DELMIRO GOUVEIA - ALAGOAS**

DELMIRO GOUVEIA

2018

JACKSON ALVES DA SILVA JÚNIOR

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID
PARA UMA RESIDÊNCIA EM DELMIRO GOUVEIA - ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como requisito final para obtenção do Título de Engenheiro Civil, apresentado no dia 18 de Maio de 2018.

Orientador: Prof. Dsc. Cícero Rita da Silva

DELMIRO GOUVEIA

2018

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

Bibliotecária responsável: Larissa Carla dos Prazeres Leobino – CRB-4 2169

S586d Silva Júnior, Jackson Alves da

Dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico on grid para uma residência em Delmiro Gouveia – Alagoas / Jackson Alves da Silva Júnior. – 2018.

68 f. : il.

Orientação: Prof. Dr. Cícero Rita da Silva.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2018.

1. Energia elétrica. 2. Energia solar. I. Título.

CDU: 620.9

Folha de Aprovação

JACKSON ALVES DA SILVA JÚNIOR

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID
PARA UMA RESIDÊNCIA EM DELMIRO GOUVEIA – ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, da
Universidade Federal de Alagoas - UFAL,
como requisito final para obtenção do Título
de Engenheiro Civil, apresentado no dia 18
de Maio de 2018.



Profº: Dsc Cícero Rita da Silva, UFAL (Orientador)

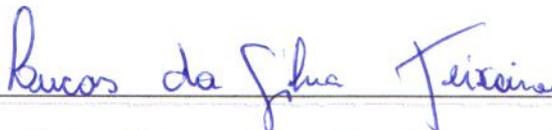
BANCA EXAMINADORA



Profº Dsc Cícero Rita da Silva (Examinador Interno)



Profº Dsc Thiago Bento dos Santos (Examinador Interno)



Engenheiro Civil Lucas da Silva Teixeira (Examinador Externo)

Folha de Aprovação

JACKSON ALVES DA SILVA JÚNIOR

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID PARA UMA RESIDÊNCIA EM DELMIRO GOUVEIA – ALAGOAS

Trabalho de Conclusão de Curso, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como requisito final para obtenção do Título de Engenheiro Civil, apresentado no dia 18 de Maio de 2018.

Profº: Dsc Cícero Rita da Silva, UFAL (Orientador)

BANCA EXAMINADORA

Profº Dsc Cícero Rita da Silva (Examinador Interno)

Profº Dsc Thiago Bento dos Santos (Examinador Interno)

Engenheiro Civil Lucas da Silva Teixeira (Examinador Externo)

Sou grato a Deus, que me ajudou bastante nessa trajetória e nunca me deixou fraquejar e ao meu santo guerreiro São Jorge que sempre esteve ao meu lado durante toda essa “batalha”.

Dedico este trabalho a minha mãe, mulher pela qual tenho maior orgulho e sempre esteve ao meu lado em todos os momentos e tenho como exemplo de vida.

Também quero homenagear a minha avó (in memorian), que com muito amor e carinho me criou durante boa parte da minha vida e que se faz presente em todos os dias da minha vida, infelizmente não pode estar presente nesse momento tão importante.

E ao meu pai (in memorian), que sempre me apoiou e me deu forças, e sei que de algum lugar, ele olha por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força que colocou em meu coração para não desistir até alcançar essa grande meta na minha vida, nunca desistindo de mim e sempre ao meu lado.

Ao meu Santo Guerreiro São Jorge, meu fiel protetor e que sempre me defende e protege nas batalhas ao longo da vida.

À minha mãe, Maria Helena, que sempre confiou em mim e esteve do meu lado me apoiando durante essa jornada. No qual tenho o maior orgulho e inspiração de uma mulher guerreira e que nunca se deixou baixar a cabeça pra nada.

A minha querida e amada vó (in memorian), Maria Vieira, que mesmo distante tenho plena convicção de que sempre olhou por mim, me apoiando nas minhas decisões e me protegendo de tudo de ruim que possa acontecer.

Ao meu pai (in memorian), Jackson Alves, que ainda fez parte dessa minha caminhada ao meu lado, sempre se preocupando comigo e me dando a maior força para alcançar meus objetivos.

A minha irmã, Heloisa Helena, que sempre me deu apoio para que alcançasse essa meta e nunca desistisse.

A minha amiga e companheira durante a maior parte dessa jornada, Bárbara Beatriz, menina de um coração lindo e puro, que esteve ao meu lado sempre me dando a maior força, me ensinando todos os dias da minha vida o sentido da palavra amor com seu jeito carinhoso e encantador.

Ao meu orientador, Cícero Rita, por acreditar no meu potencial e me auxiliar na realização desse sonho.

A todos os professores, o empenho, paciência e oportunidade de poder alcançar essa meta.

Aos amigos de toda minha vida pelo apoio, companheirismo e força para que isso se tornasse realidade.

E, aos amigos que conquistei durante a graduação, por todo apoio durante essa jornada tanto na vida pessoal como acadêmica, que por algumas vezes passamos noites sem dormir estudando, e que hoje torcem pelo meu sucesso.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”

(Martin Luther King Junior)

RESUMO

Atualmente no Brasil o consumo de Energia Elétrica tem aumentado com o aumento populacional e conseqüentemente o preço pago as concessionárias também aumentam. Procurando uma alternativa de geração de Energia Limpa, renovável e mais econômica, descobriu-se a Energia Solar Fotovoltaica On Grid (conectado a rede), na qual vem tomando conta do mercado Brasileiro após a aprovação da resolução normativa 482/2012 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e conseqüentemente as alterações com a resolução 687/2015, facilitando e ampliando os benefícios para os consumidores.

Será abordado nesse trabalho todo o estudo da literatura sobre a Energia Solar Fotovoltaica On Grid, dimensionamento de um Sistema Solar Fotovoltaico On Grid, viabilidades: técnica, ambiental e econômica. Além, da explicação do funcionamento do Sistema, junto com os principais equipamentos que fazem parte.

Para melhor entendimento do leitor, iremos mostrar todos os fatores consideráveis para o dimensionamento do Sistema Solar e todo o passo a passo para se calcular a capacidade necessária do Sistema Solar que gere Energia suficiente para suprir a necessidade de uma residência.

Palavras-chaves: Energia Elétrica, Energia Solar Fotovoltaica, Sistema Solar Fotovoltaico On Grid.

ABSTRACT

Currently in Brazil the consumption of Electric Energy has increased with the population increase, and consequently the price paid to the concessionaires also increase. Looking for a Clean, Renewable and more economical alternative energy generation, was discovered the On Grid Photovoltaic Energy (connected to the grid), in which it has been taking over the Brazilian market after the approval of ANEEL's (National Electric Energy Agency) normative resolution 482/2012 and consequently the amendments to resolution 687/2015, facilitating and extending the benefits to consumers.

It will be approached in this work the whole study of the literature on On Grid Photovoltaic Solar Energy, sizing of a On Grid Photovoltaic Solar System, feasibility: technical, environmental and economic. In addition, the explanation of the operation of the System, together with the main equipment that are part.

For a better understanding of the reader, we will show all the considerable factors for the sizing of the Solar System and the whole step by step to calculate the necessary capacity of the Solar System that generates enough energy to supply the need for a residence.

Keywords: Electric Power, Photovoltaic Solar Energy, Photovoltaic Solar System On Grid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Sistema Fotovoltaico on grid

Figura 2: Sistema Fotovoltaico off grid

Figura 3: Componentes da radiação solar ao nível do solo

Figura 4: Mapa de insolação diária, média anual

Figura 5: Gráfico de Radiação Solar Diária durante o ano

Figura 6: Mapa de radiação solar diária, média anual

Figura 7: Total diário da irradiação global horizontal, média anual

Figura 8: Total diário da irradiação global horizontal, médias mensais

Figura 9: Gráfico de horas de sol pico

Figura 10: Gráfico de horas de sol pico com variações climáticas

Figura 11: Célular Solar

Figura 12: Células Fotovoltaicas de Silício Monocristalino e Policristalino

Figura 13: Gráfico do valor do watt por ano

Figura 14: Painel Solar Fotovoltaico

Figura 15: Modelo de etiqueta do Inmetro afixada nos painéis

Figura 16: Curva I-V de um painel genérico

Figura 17: Ligação do painel em série-paralelo

Figura 18: Curva para painéis conectados em série

Figura 19: Curva para painéis conectados em paralelo

Figura 20: Curva característica de potencia do painel

Figura 21: Efeito do sombreamento sobre o painel

Figura 22: Sistema fotovoltaico conectado a rede

Figura 23: Modelo do Sistema

Figura 24: Preço médio do sistema

Figura 25: Geração media mensal de energia

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Legenda para as tabelas 2, 3 e 4

Tabela 2: Valores de potência para empreendimentos em operação

Tabela 3: Valores de potência para empreendimentos em construção

Tabela 4: Valores de potência para empreendimentos a serem construídos

Tabela 5: Índice de irradiação solar diário media anual

Tabela 6: Classe de eficiência de painel fotovoltaico

Tabela 7: Valores aproximados de inclinação para cada estado brasileiro

Tabela 8: Consumo dos últimos 12 meses

Tabela 9: Consumo dos últimos 12 meses e a média mensal

Tabela 10: Irradiação Solar diária, média mensal

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

ESFV – Energia Solar Fotovoltaica

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

I_{max} – Corrente em Máxima Potência

I_{sc} – Corrente em Curto Circuitos

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

V_{max} – Tensão em Máxima Potência

V_{oc} – Tensão em Circuito Aberto

WP – Watt pico

SUMARIO

1 - Introdução	14
2 - Objetivos	18
2.1 - Geral.....	18
2.2 - Específicos:	18
3 - Fundamentação Teórica.....	19
3.1 - Radiação Solar	19
3.2 - Potencial Solar.....	22
3.2.1 - Hora Solar Máxima	26
3.3 - Efeito Fotovoltaico.....	28
3.3.1 - Princípio de Funcionamento	28
3.4 - Células Fotovoltaicas.....	29
3.5 - Painel Fotovoltaico	31
3.5.1 - Associação de Painéis Fotovoltaicos	34
3.5.2 - Sombreamento	36
3.5.3 - Diodo de desvio (by-pass)	37
3.5.4 - Diodo de bloqueio	38
3.6 - Estrutura de suporte para instalação de painéis.....	39
3.7 - Sistema Fotovoltaico conectado a rede (on-grid)	41
4 - Metodologia	43
4.1 - Procedimentos	44
4.1.1 – Análise da Conta	44
4.1.2 – Consumo Diário.....	44
4.1.3 – Horas de Sol Pico.....	45
4.1.4 – Capacidade do Sistema	45
4.1.5 – Número de Placas.....	46
4.1.6 – Dimensionamento do Inversor.....	46
5 - Resultados.....	47
5.1 - Dados Coletados	47
5.2 – Modelo do Sistema.....	50
5.3 – Viabilidade Técnica	51
5.4 – Viabilidade Ambiental.....	51
5.5 – Viabilidade Econômica.....	52
6 – Considerações Finais.....	54

7 - Referências	55
ANEXOS.....	57
ANEXO I - RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012	58
ANEXO II - SEÇÃO 3.7 - ACESSO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA	61
ANEXO III - RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015	64

1 - Introdução

Diariamente são notados esforços para minimizar o desperdício do consumo da energia elétrica, ao mesmo tempo em que são feitos estudos em busca de uma melhor eficiência em relação às energias renováveis, que num futuro próximo vai se tornando uma alternativa viável para inserir na matriz energética para complementar a produção de energia.

A Energia Solar Fotovoltaica é gerada através da radiação solar, com os elétrons em camada de silício, produzindo uma recombinação elétrica para gerar tensão elétrica, esse fenômeno é chamado de efeito fotovoltaico.

Este efeito foi observado em 1839, pelo físico francês Edmond Becquerel através de um experimento, no qual foi colocado dois eletrodos em um eletrólito e percebeu-se que com a presença da luz solar a eletricidade do sistema aumentava.

Em 1922, Albert Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física de 1921, por suas contribuições a física teórica e, especialmente, pela descoberta do efeito fotoelétrico, tendo a percepção da Energia Solar como uma maneira real de produzir Energia limpa. (Instituto Superior Técnico, 2018)

Calvin Fuller, em 1954, inventou a primeira célula fotovoltaica que foi apresentada numa conferência de imprensa em Washington.

No Brasil, foi inaugurado apenas em 2011 a primeira Usina Solar Fotovoltaica a gerar eletricidade comercial, a usina tem capacidade de geração de 1 megawatt. Até 2017 a maior usina solar construída no Brasil está localizada no município de Tubarão, estado de Santa Catarina composta por mais de 19 mil painéis e gerando em torno de 3 megawatts, sendo suficiente para abastecimento de mais de 2500 casas. (ANEEL, 2018)

O Brasil tem a maior taxa de irradiação solar do mundo.

Atualmente no Brasil, de acordo com os dados da ANEEL, tem-se uma potência instalada de apenas 1,19 gigawatt produzida através de sistemas solares fotovoltaicos, equivalente a 0,75% do total da matriz energética brasileira. Temos em construção o equivalente a 588 megawatts dispersos em 21 empreendimentos. E os

empreendimentos a iniciar a construção, equivalem a 880 megawatts de potência outorgada. (ANEEL, 2018)

Tabela 1: Legenda para as tabelas 2, 3 e 4

Legenda	
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGU	Central Geradora Undi-elétrica
EOL	Central Geradora Eólica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear

Fonte: ANEEL

Tabela 2: Valores de potência para empreendimentos em operação

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	673	639.291	641.527	0,4
CGU	1	50	50	0
EOL	521	12.798.639	12.775.843	8,04
PCH	427	5.064.469	5.039.283	3,17
UFV	1.878	1.195.164	1.195.164	0,75
UHE	220	101.883.450	95.794.468	60,29
UTE	3.007	43.192.569	41.444.907	26,09
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,25
Total	6.729	166.763.632	158.881.242	100

Fonte: ANEEL

Tabela 3: Valores de potência para empreendimentos em construção

Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
CGH	6	7.648	0,09
EOL	116	2.611.450	30,76
PCH	27	310.180	3,65
UFV	21	588.220	6,93
UHE	6	1.254.100	14,77
UTE	26	2.367.530	27,89
UTN	1	1.350.000	15,9
Total	203	8.489.128	100

Fonte: ANEEL

Tabela 4: Valores de potência para empreendimentos a serem construídos

Empreendimentos com Construção não iniciada			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
CGH	1	1.000	0,01
EOL	91	1.977.110	22,91
PCH	127	1.672.490	19,38
UFV	38	880.291	10,2
UHE	7	694.180	8,04
UTE	115	3.404.867	39,45
Total	379	8.629.938	100

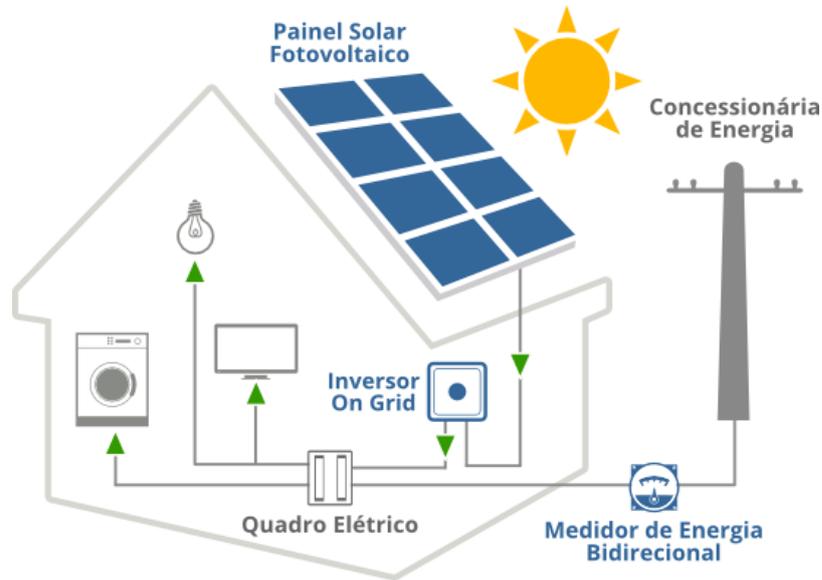
Fonte: ANEEL

Os sistemas solares fotovoltaicos conectados a rede, mais conhecidos por sistemas fotovoltaicos on grid, são mais econômicos e conseqüentemente mais eficientes por não precisar armazenar energia em baterias. Para o funcionamento desse sistema é necessário à regulamentação junto a concessionária de fornecimento de energia elétrica, pois caso o sistema gere mais do que o necessário e tenha sobra de energia, essa energia será fornecida para a rede de distribuição da concessionaria e posteriormente quando o consumidor precisar, será devolvida.

Devido aos aumentos nos valores da energia elétrica fornecida pelas concessionárias, a energia solar se torna uma alternativa interessante, viável e econômica para a população Brasileira. A cada ano o preço dos painéis solares tem sofrido queda, aumentando conseqüentemente a procura dos consumidores pela geração da energia fotovoltaica, procura essa que tem sofrido um aumento considerável de 2001 (quando houve crise no setor de geração de energia elétrica no Brasil que ocasionou o racionamento de energia elétrica) até os tempos atuais.

Na imagem abaixo está sendo observado o funcionamento de um sistema solar fotovoltaico on grid e seus principais componentes: Painel Solar, Inversor on grid e o medidor de energia bidirecional. O painel solar tem como objetivo a absorção da radiação solar e transformação em eletricidade, o inversor converte a corrente contínua em corrente alternada, sendo assim, fornecida aos equipamentos e o medidor de energia bidirecional para calcular a geração de créditos que serão computados como excedentes.

Figura 1: Sistema Fotovoltaico on grid



Fonte: Solar Energy

Será observado o sistema off grid, que conta com o acréscimo de um controlador de carga e baterias no sistema.

Figura 2: Sistema Fotovoltaico off grid

Esquema de funcionamento do sistema Fotovoltaico "Off Grid"



Fonte: Consultrevi Solar

2 - Objetivos

2.1 - Geral:

- Dimensionamento de um Sistema Solar Fotovoltaico On Grid

2.2 - Específicos:

- Analisar a conta de Energia elétrica
- Saber a média do consumo diário
- Pesquisar as Horas de Sol Pico
- Dimensionar a capacidade do Sistema
- Quantificar o número de painéis fotovoltaicos
- Calcular o Inversor

3 - Fundamentação Teórica

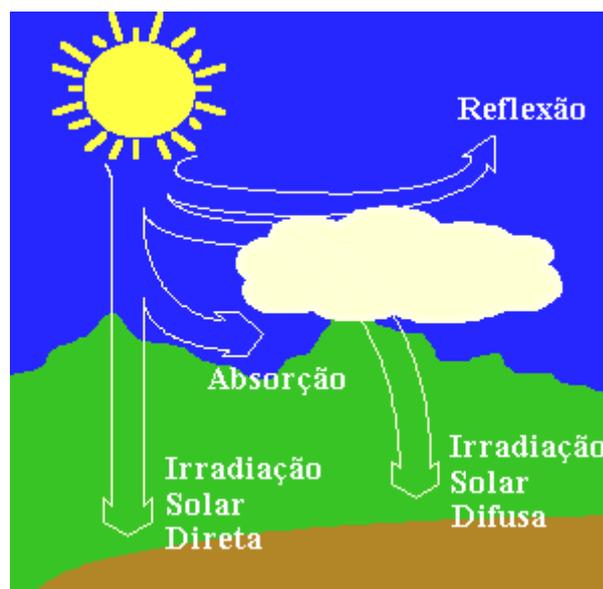
3.1 - Radiação Solar

O Sol emite uma energia através da radiação eletromagnética que recebe o nome de Radiação Solar. Essa radiação fornece para a atmosfera terrestre uma energia anualmente em torno de $1,5 \times 10^{18}$ kWh, no qual metade dessa energia é emitida como luz visível e o restante através de infravermelho e ultravioleta. (FADIGAS)

O sol é o responsável pela sobrevivência dos seres vivos na Terra, além de fornecer alimento para as plantas e aquecer o planeta, se torna uma fonte de energia renovável na busca por uma geração de energia elétrica através de um componente que nunca se acabe e que produza uma energia limpa e com toda a eficácia das demais fontes até então descobertas.

De toda essa radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração chega à superfície terrestre, consequência da reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera, conforme vemos na imagem abaixo.

Figura 3: Componentes da radiação solar ao nível do solo.



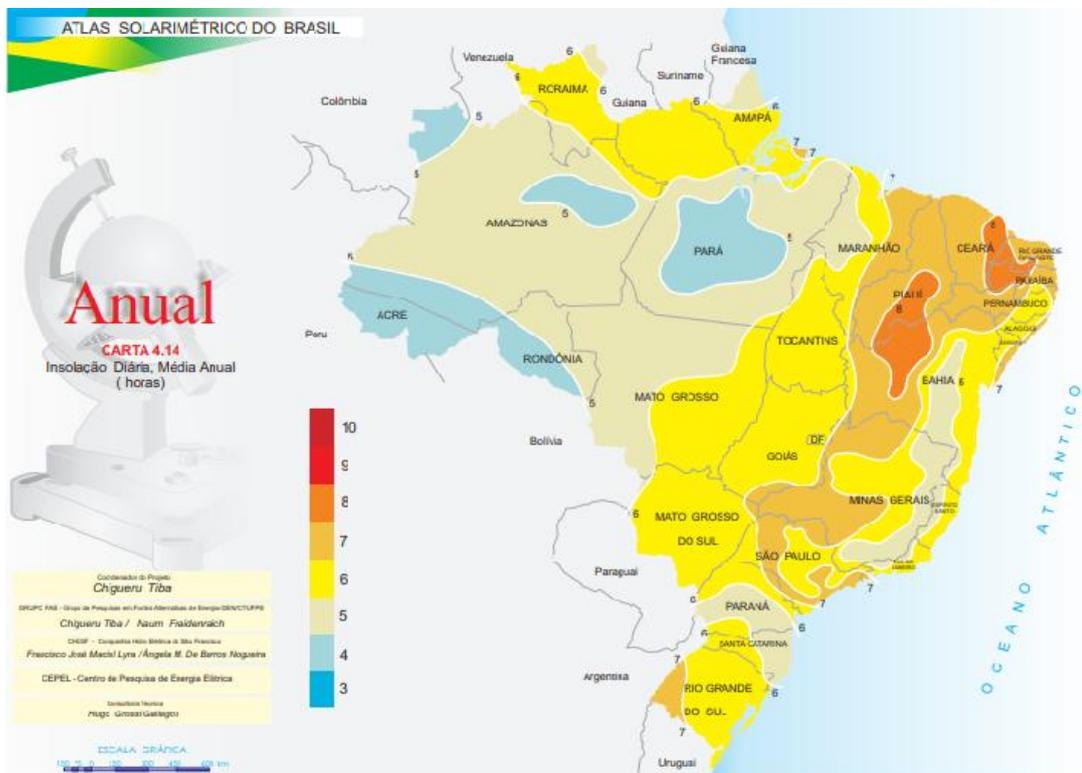
Fonte: CRESESB

Em relação à radiação solar incidente sobre o sistema Terra/Atmosfera, temos uma média percentual de cada fator:

- 51% absorvida pela superfície;
- 6% é perdida por difusão;
- 24% é perdida por reflexão;
- 19% é perdida por absorção das moléculas de oxigênio e ozônio da radiação ultravioleta;

No mapa a seguir, pode-se verificar a insolação diária, média anual do Brasil.

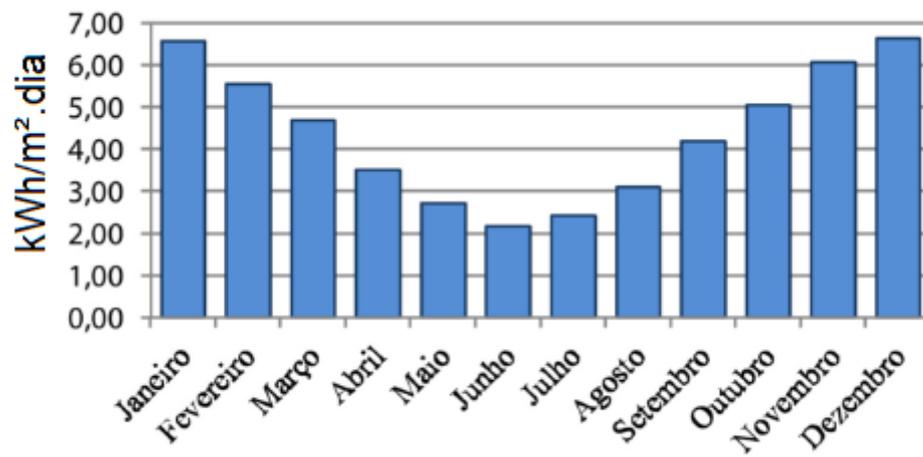
Figura 4: Mapa de insolação diária, média anual.



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil

O gráfico a seguir mostra a radiação solar diária média durante todo o ano que está medida em kWh/m²/dia. Percebe-se que nos meses de pico a radiação vale quase 3 vezes mais que nos meses de menor radiação.

Figura 5: Gráfico de Radiação Solar Diária durante o ano



Fonte: Portal o Setor Elétrico

3.2 - Potencial Solar

Quando se fala em instalação de um sistema solar fotovoltaico, o primeiro parâmetro que leva em conta é em relação ao potencial solar da região. No Brasil não se tem essa preocupação, pois incide diariamente entre 3,5 kWh/m² e 5,5 kWh/m², como vimos na tabela 5. (Enova, 2015)

Como foi visto, o Brasil tem a maior taxa de irradiação do mundo, a região menos ensolarada no Brasil tem um potencial solar maior que a região mais ensolarada da Alemanha, que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica.

A tabela a seguir, observa-se os valores de irradiação solar diária média em kWh/m².dia, levando em conta as capitais dos Estados Brasileiros. Esses índices servirão como parâmetro para se calcular a quantidade de painéis solares necessários para um empreendimento. Percebemos que o Estado do Paraná em sua Capital Curitiba tem a menor média no índice de irradiação solar diário com 3,66 kWh/m².dia e o Estado do Ceará levando em conta a Capital Fortaleza tem a maior média de irradiação solar diária com 5,55 kWh/m².dia. (Enova, 2015)

Tabela 5: Índice de irradiação solar diário, média anual

AC	4,5	ES	4,88	PB	5,43	RR	4,75
AL	5,17	GO	5	PE	5,43	RS	4,4
AM	4,92	MA	4,87	PI	5,49	SC	4,24
AP	5,05	MG	4,35	PR	3,66	SE	5,37
BA	4,95	MS	4,93	RJ	4,1	SP	3,96
CE	5,55	MT	5,03	RN	5,54	TO	4,98
DF	4,93	PA	5,05	RO	4,52		

Fonte: Enova

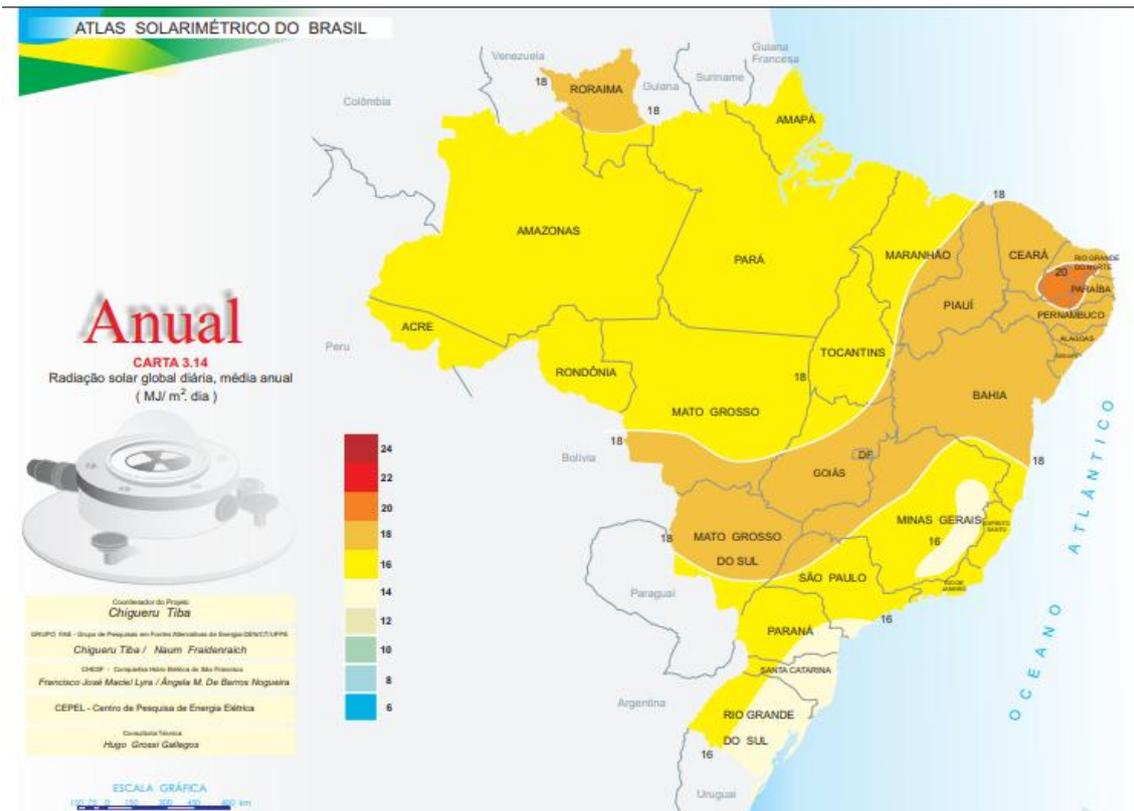
Os dados da tabela 5 foram fornecidos por um dos principais estudos sobre a radiação solar no território brasileiro, a CRESESB (Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito) que dentre vários trabalhos realizados mais a frente percebe ilustrações do “Atlas Solarimétrico do Brasil”, produzido pela CRESESB.

Para se alcançar esses dados, a instituição leva alguns anos para ter dados concretos, por conta das variações climáticas que é um dos principais empecilhos.

São utilizados alguns equipamentos específicos para calcular a radiação, como: heliógrafos, pireliômetros, piranômetros, actinógrafos dentre outros.

A seguir no mapa disponibilizado pelo Atlas Solarimétrico do Brasil, no qual é verificado a taxa de radiação solar global diária, média anual, radiação apresentada no plano horizontal e medida em MJ/m².dia.

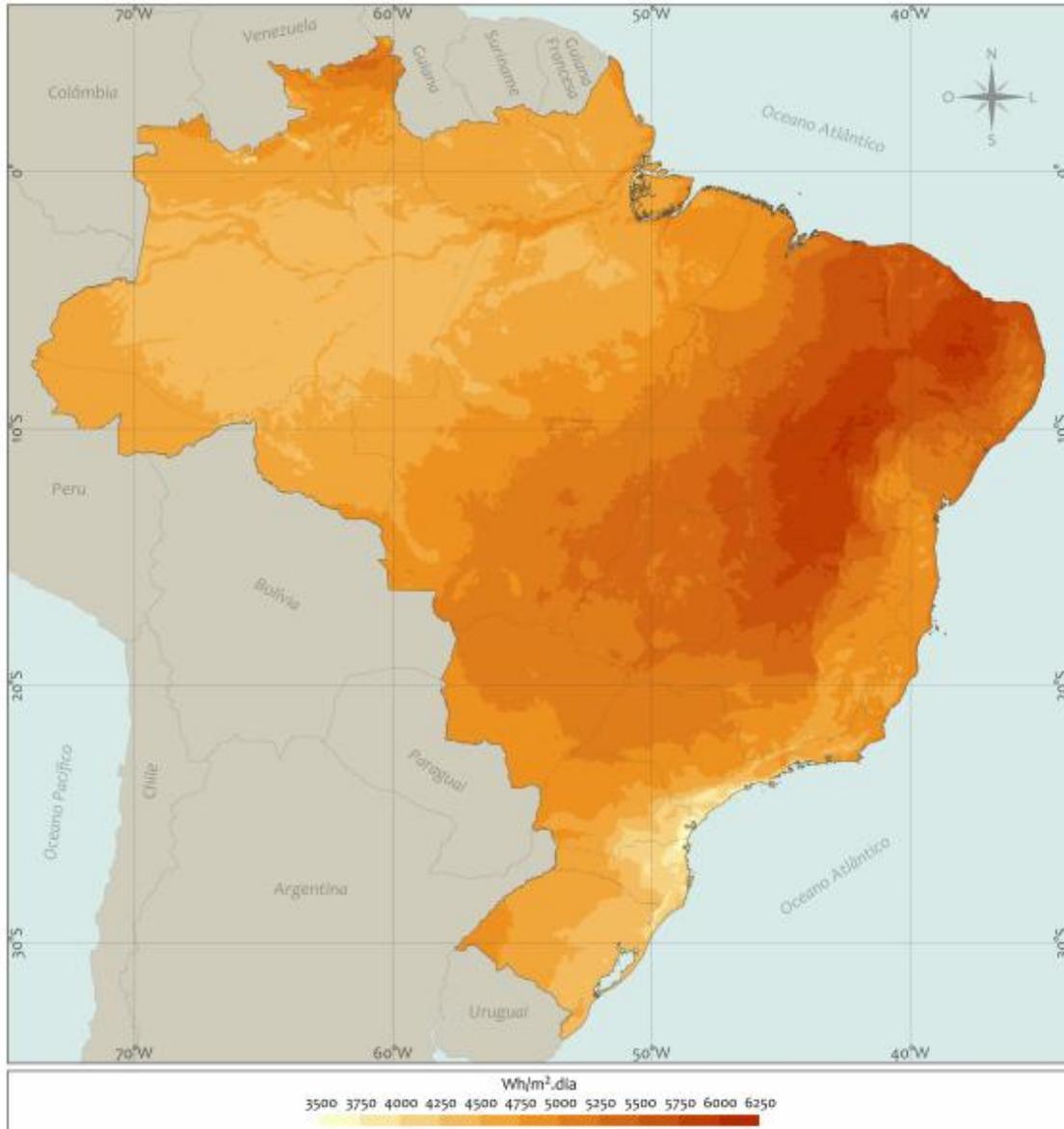
Figura 6: Mapa de radiação solar diária, média anual.



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil

O Atlas Brasileiro de Energia Solar disponibiliza um mapa com a média anual de irradiação diária, em Wh/m².dia, como está representado na figura 7, abaixo.

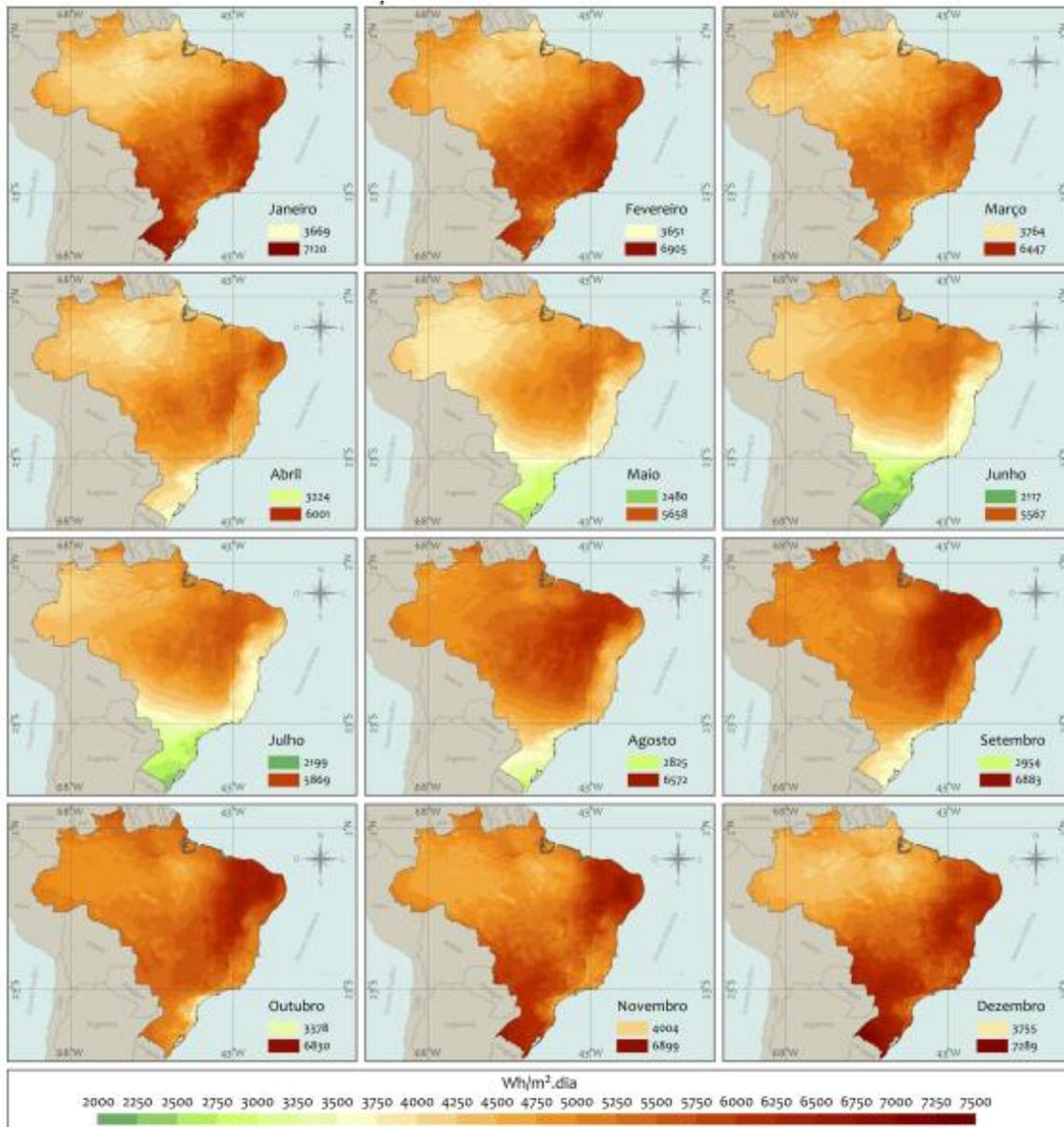
Figura 7: Total diário da irradiação global horizontal, média anual.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar

O Atlas Brasileiro disponibiliza também um mapa com as médias mensais, tendo a facilidade para entender os meses de baixa e alta irradiação global horizontal.

Figura 8: Total diário da irradiação global horizontal, médias mensais.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar

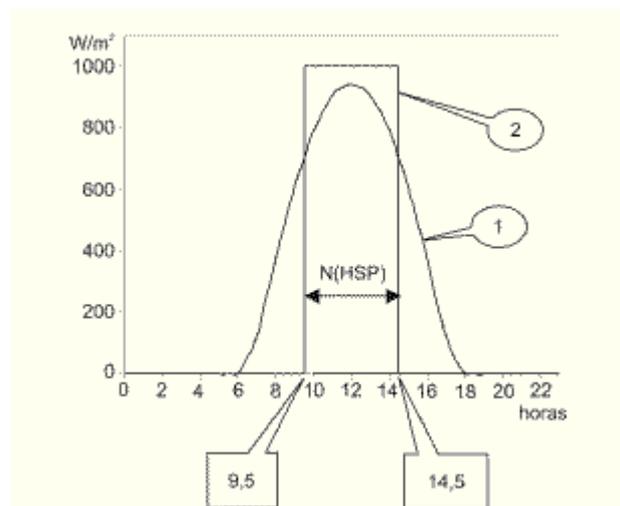
3.2.1 - Hora Solar Máxima

Durante todo o dia, percebe-se variações nas intensidades da radiação solar, e normalmente é identificado a sua maior intensidade no horário das 12 horas do dia.

Existem vários fatores que podem influenciar a intensidade da radiação solar, um deles são as nuvens que influenciam na irradiância direta. Será percebido no gráfico abaixo que, a radiação solar vai do seu valor mínimo igual a zero ao seu valor máximo que pode ser atingido num dia de radiação solar sem grandes interferências no horário de meio dia (12 horas do dia) igual a 1000 W/m^2 , e ao atingir esse valor máximo que chamamos de hora solar máxima ele começa a ter uma queda gradativa com o passar das horas até atingir o seu valor mínimo novamente, igual a zero. [Portal o Setor Elétrico, 2018]

O gráfico a seguir, mostra o valor da irradiação solar em Wh/m^2 por cada hora do dia. Percebe-se que, normalmente teremos 12 horas reais de insolação diária, a depender da região. E dentre essas horas reais de insolação, temos 5 horas de sol pico.

Figura 9: Gráfico de horas de sol pico



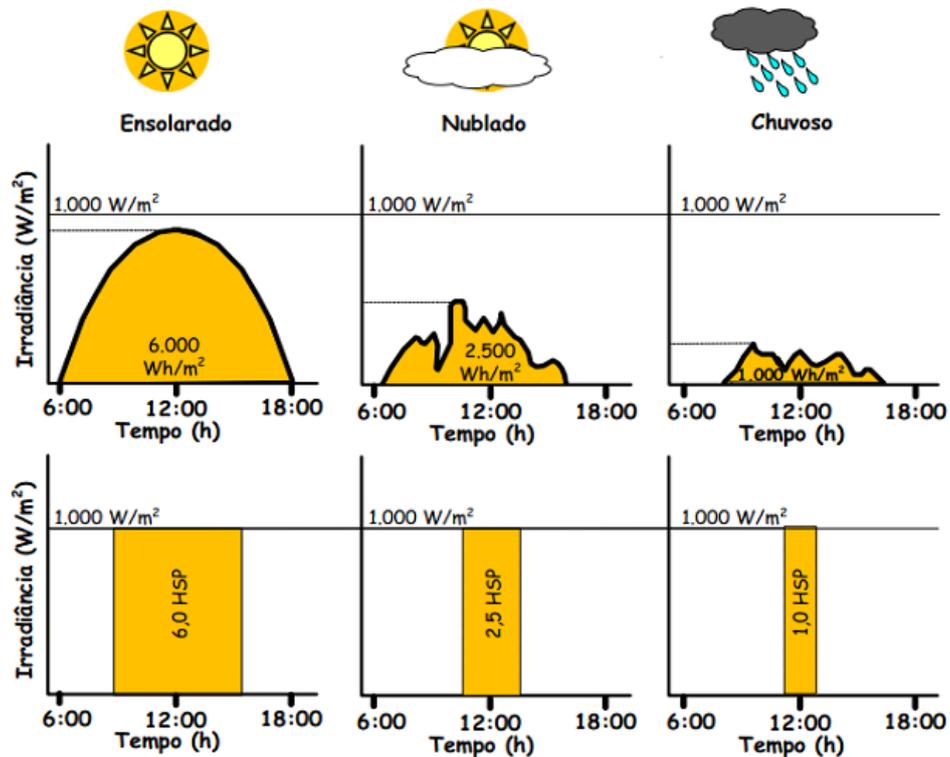
Fonte: Portal o Setor Elétrico

Importante ressaltar que, para o cálculo da quantidade de painéis necessários no sistema fotovoltaico, será usado esses valores de horas de sol pico, pois, é o momento em que o sistema fotovoltaico terá sua maior geração de energia.

CRESESB tem um banco de dados de radiação solar de todo o território brasileiro, basta apenas entrar com as coordenadas geográficas e será fornecida a taxa de irradiância da localidade, que será usado mais a frente na nossa metodologia.

Tem-se uma simulação das horas de sol pico em relação as variações climáticas, que será observado no gráfico abaixo.

Figura 10: Gráfico de horas de sol pico com variações climáticas



Fonte: Portal o Setor Eletrico

3.3 - Efeito Fotovoltaico

As células fotovoltaicas são as responsáveis por fazer acontecer o efeito fotovoltaico, uma vez que converte a luz solar em eletricidade.

Normalmente o material mais utilizado para as células é o silício cristalino. O silício é um material semicondutor.

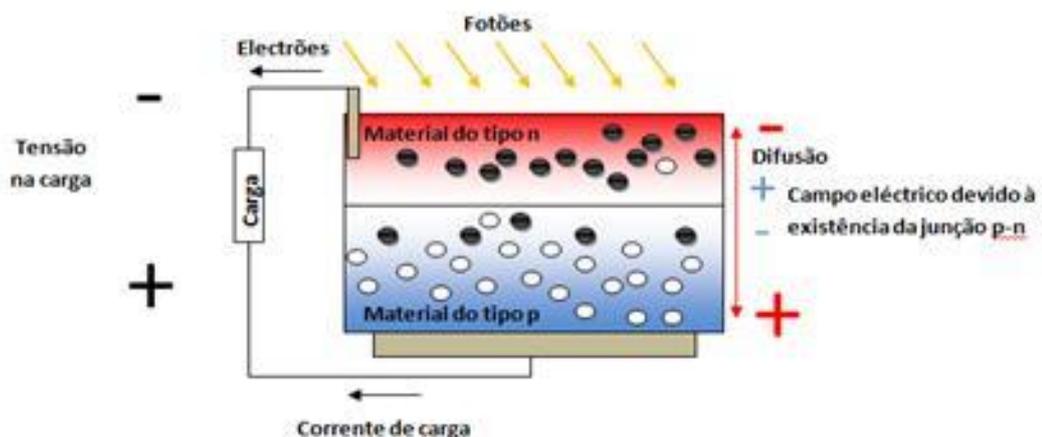
3.3.1 - Princípio de Funcionamento

Esse tipo de material possuem átomos realizando 4 ligações com seus vizinhos, mantendo assim os seus elétrons presos, com isso, uma das camadas desse material é tratada com fósforo e deixada com elétrons extras e a outra camada é tratada com boro e passa a ter uma carência de elétrons, deixando buracos vazios, sendo assim, temos duas metades, a primeira com uma carga negativa e a segunda com uma carga positiva e, juntas formam a função P/N.

Quando um fóton vindo da luz solar atinge o sistema, ele pode excitar um elétron a ponto que ele saia de sua posição original e passe a se mover livremente e o mesmo é válido para o buraco deixado na sua ausência.

Por conta da polarização os elétrons viajam somente para o lado negativo e os buracos para o lado positivo. Dessa forma, as partículas negativas seguem caminho para um fio e conseqüentemente retorna ao silício fechando o ciclo, passando por ele uma corrente, que é chamado de corrente elétrica.

Figura 11: Célula Solar



Fonte: Universidade do Porto (FEUP)

3.4 - Células Fotovoltaicas

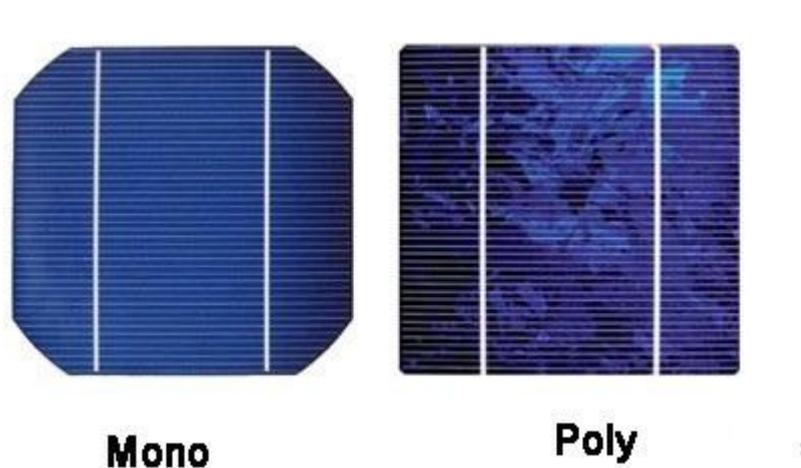
O elemento responsável pela transformação da radiação solar em energia elétrica são as células fotovoltaicas, através do efeito fotovoltaico.

O material mais utilizado normalmente nas células é o silício. Hoje o Brasil tem a maior reserva de silício do mundo e é o segundo maior produtor de silício do mundo, outro fator importante é em relação ao impacto ambiental, pois não geram nenhum tipo de resíduo com a geração da energia, das energias renováveis o sistema solar fotovoltaico é considerado o sistema mais consistente, previsível e gerador de uma produção de energia limpa.

A célula fotovoltaica é composta por uma lâmina de silício purificado. Um fator importante para levar em consideração é a eficiência das células fotovoltaicas, que gira em torno de 15% a 18%, dos materiais silício policristalino e silício monocristalino respectivamente. (Portal Solar, 2018)

Na imagem a seguir, será observado as células monocristalina que é feita de um único cristal de silício puro e as células policristalinas que são constituídas por múltiplos cristais.

Figura 12: Células Fotovoltaicas de Silício Monocristalino e Policristalino



Fonte: Sunflower

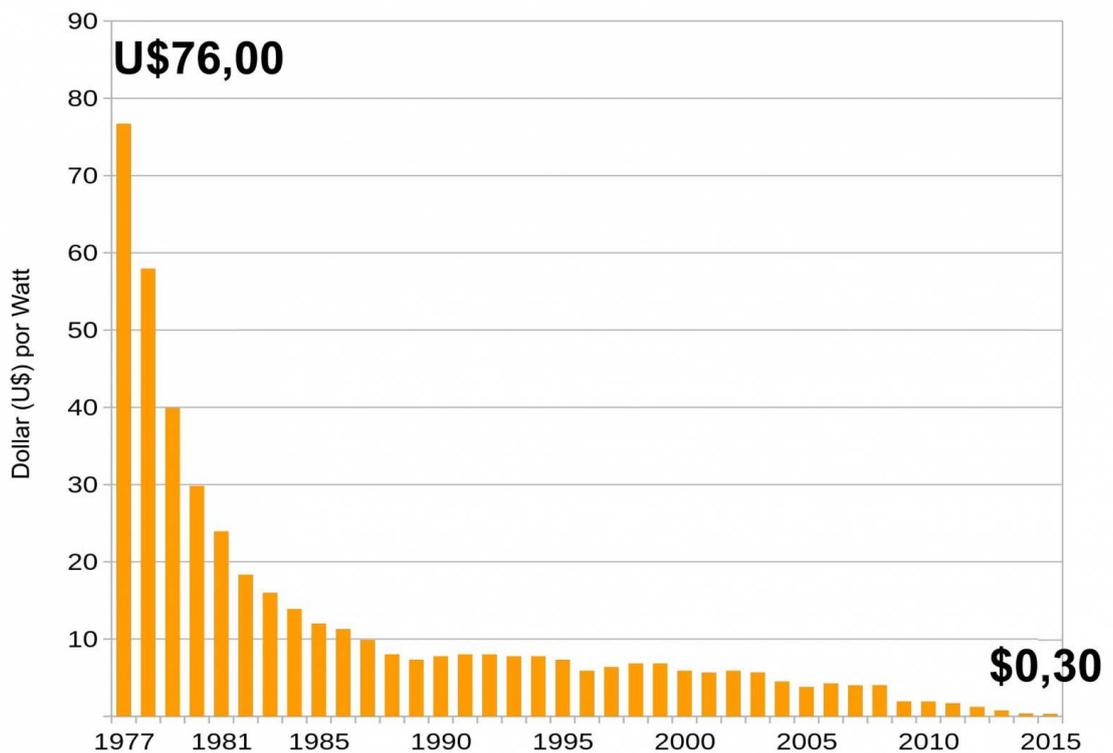
As células monocristalinas possuem um custo mais alto de fabricação e tipicamente sua eficiência é ligeiramente superior em relação as policristalinas, resultando em células menores e conseqüentemente módulos um pouco menores.

As células solares que são produzidas a partir da tecnologia policristalina, são ligeiramente menos eficientes, o que resulta em células e painéis ligeiramente maiores. Esta tecnologia, no entanto tem evoluído, e já é possível encontrar módulos policristalinos cuja eficiência chega a ser até maior que células monocristalinas de tamanho semelhante.

O silício é o segundo elemento mais abundante na Terra. Com isso, desde o início dessa nova fonte de energia renovável, impulsionando o aumento de produção e os avanços da tecnologia percebe-se uma diminuição nos custos com a energia fotovoltaica a cada ano.

No gráfico a seguir, observa-se os valores em dólares, chegando no ano de 2015 a U\$ 0,30/Watt. (Ámerica do Sol, 2017)

Figura 13: Gráfico do valor do watt por ano



Fonte: America do Sol

3.5 - Painél Fotovoltaico

O painel fotovoltaico é um conjunto de células fotovoltaicas, que geram energia elétrica através da luz solar de forma simples, sem gerar resíduos ou agredir o meio ambiente, sem necessidade de mecanismos móveis e manutenção. Dentre os equipamentos do sistema solar, o painel solar fotovoltaico é o principal componente para a geração de energia elétrica.

Normalmente um painel de 1m² pesa 10 kg, possuindo 36 células fotovoltaicas e produzindo em média 140 watts e 17 volts em corrente contínua. A espessura de um painel não ultrapassa 5 cm. (Thisi Energia, 2018)

Figura 14: Painel Solar Fotovoltaico

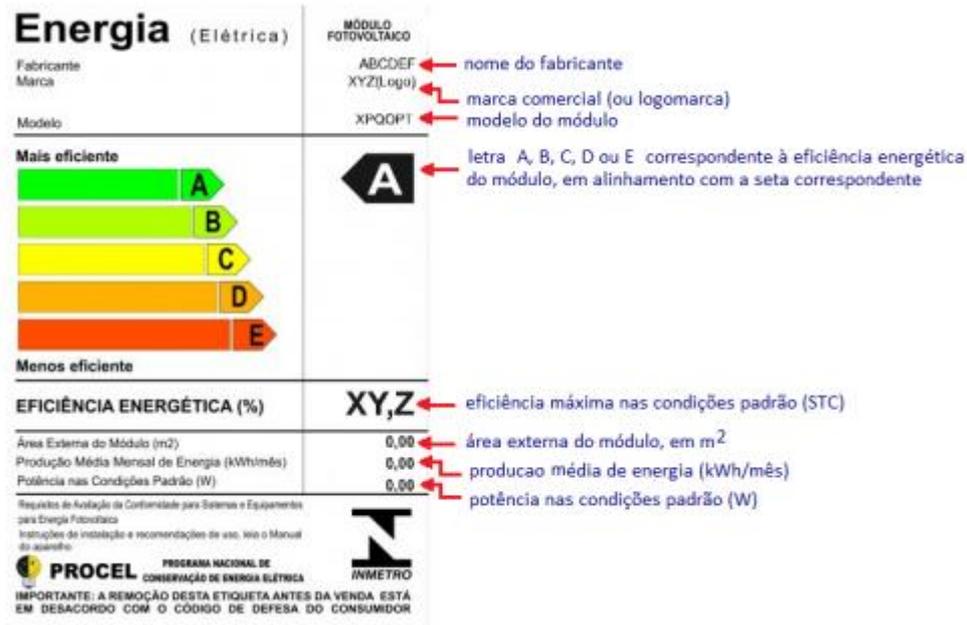


Fonte: Thisi Energia

Os painéis fotovoltaicos tem uma vida útil normalmente entre 25 e 35 anos, podendo até ultrapassar essa média.

Quanto mais próximo a linha do Equador, maior a radiação. Os painéis fotovoltaicos comercializados no Brasil devem ser ensaiados e apresentar o registro com a etiqueta do INMETRO.

Figura 15: Modelo de etiqueta do Inmetro afixada nos painéis



Fonte: INMETRO

A classificação dos painéis fotovoltaicos é feita pelo Inmetro de acordo com as faixas de eficiência dos painéis, como será observado na tabela abaixo.

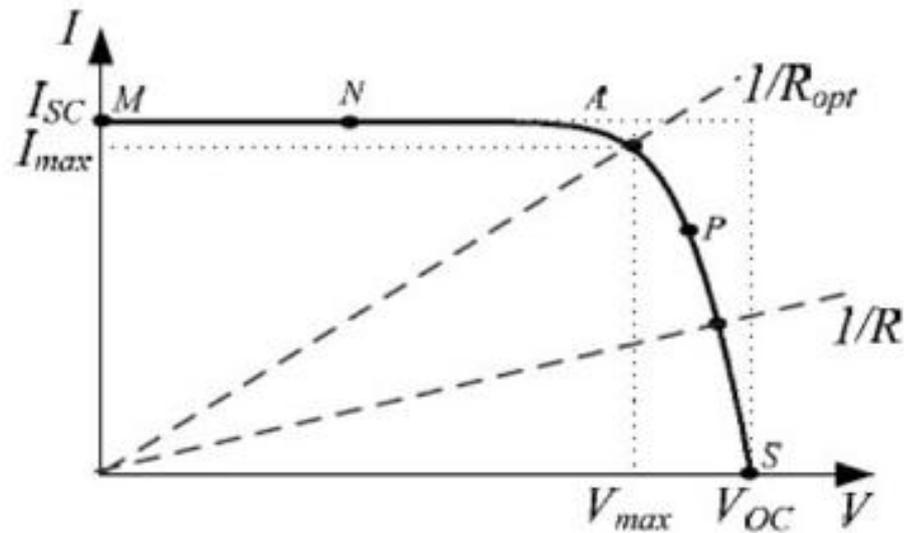
Tabela 6: Classe de eficiência de painel fotovoltaico

Classe	Faixa
A	Maior que 13,5%
B	Maior que 13% a 13,5%
C	Maior que 12% a 13%
D	Maior que 11% a 12%
E	Menor ou igual a 11%

Fonte: INMETRO

O funcionamento de um painel fotovoltaico ou célula fotovoltaica pode ser observado através da curva que relaciona a tensão com a corrente. Esta curva é conhecida como característica curva I-V e apresenta a mesma forma geral para qualquer painel fotovoltaico.

Figura 16: Curva I-V de um painel genérico



Fonte: Universidade do Porto (FEUP)

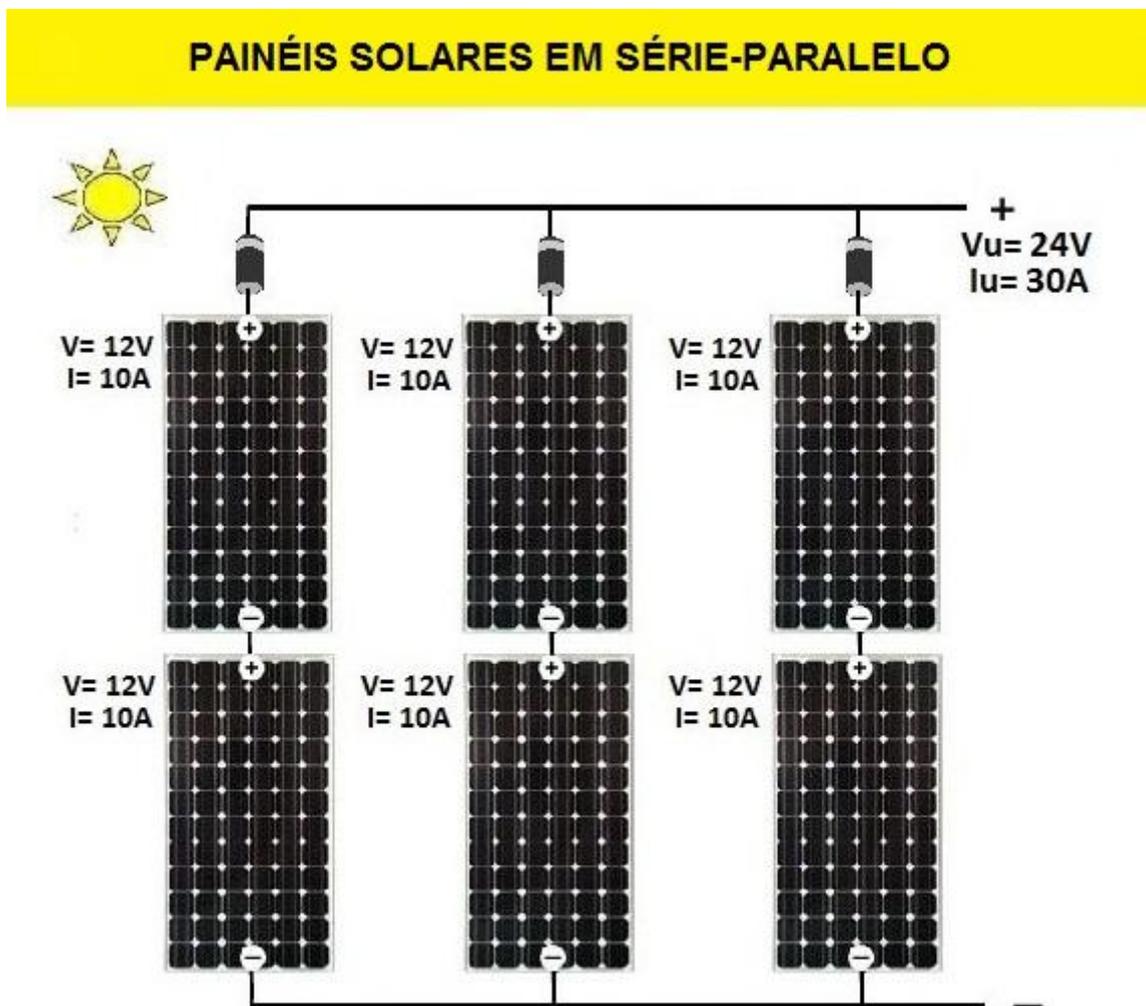
A característica I-V de um painel fotovoltaico é não linear como se pode observar na figura anterior. Na mesma figura pode-se ainda ver representada a característica de carga, considerando uma carga resistiva. Esta característica é uma reta com declive $1/R$, mostrando que a potência fornecida à carga depende apenas do valor da mesma. Se o funcionamento do painel for mantido dentro da região M-N da curva, ou seja, para R pequeno, o painel será considerado como uma fonte de corrente constante, cujo valor é igual à corrente de curto-circuito, corrente I_{SC} representada na figura. Por sua vez, para um funcionamento na região P-S (R elevado) o painel terá um comportamento semelhante a uma fonte de tensão constante, cujo valor é igual à tensão de circuito aberto, ou seja, V_{OC} . O ponto em que o painel transfere a potência máxima encontra-se algures entre as duas zonas referidas. Este ponto aparece representado na figura como o ponto de coordenadas (I_{max}) e (V_{max}). Este é o ponto de funcionamento óptimo logo, é desejável que a carga do painel o mantenha nesta zona de funcionamento. Uma vez que o funcionamento do painel é influenciado pelas condições ambientais, concretamente a temperatura e a incidência de radiação.

3.5.1 - Associação de Painéis Fotovoltaicos

Normalmente um painel fotovoltaico não será suficiente para geração da energia necessária em um empreendimento. Com isso, a associação em série é uma das opções, chamada de fileira. Os painéis terão suas tensões somadas na ligação em série.

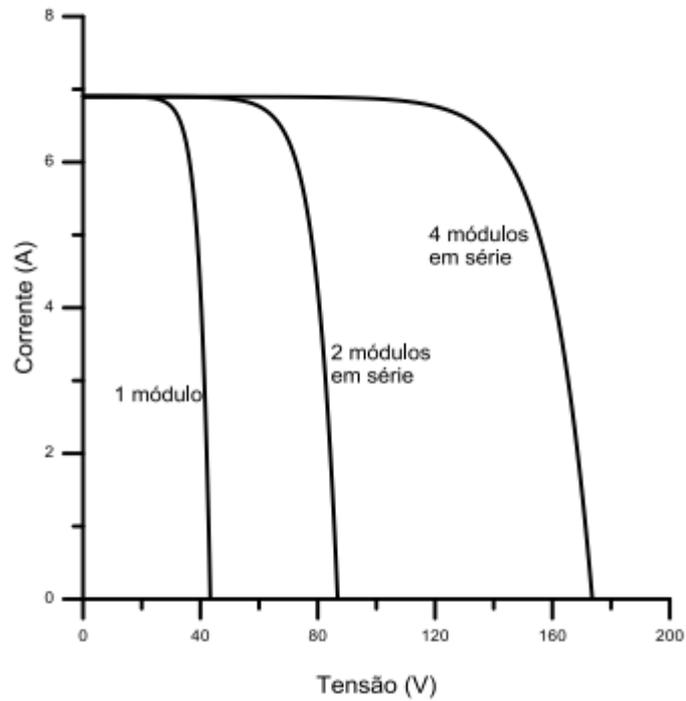
Na ligação em paralelo as correntes serão somadas. Sabendo disso, na maioria dos casos teremos associações em série e paralelo, pois assim eles alcançam a tensão nominal do sistema e a potência desejada no projeto.

Figura 17: Ligação do painel em série-paralelo



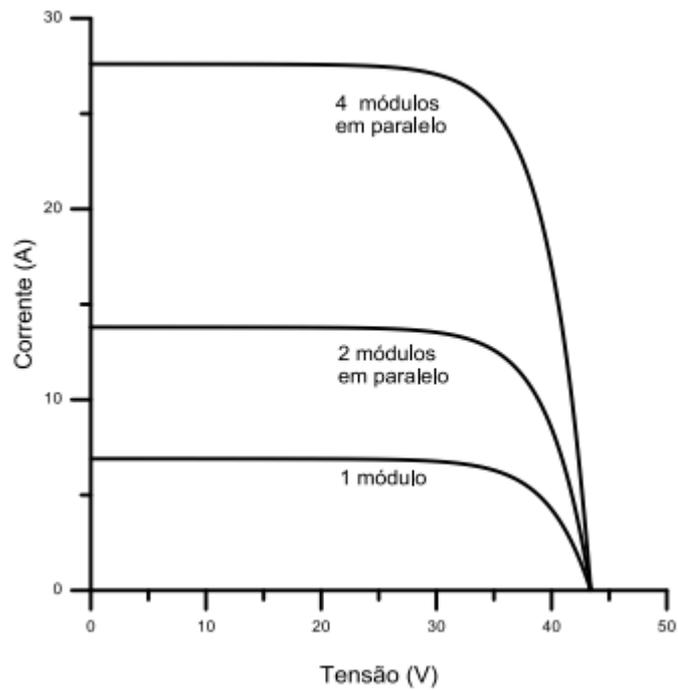
Fonte: Portal o Setor Elétrico

Figura 18: Curva para painéis conectados em série



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos

Figura 19: Curva para painéis conectados em paralelo



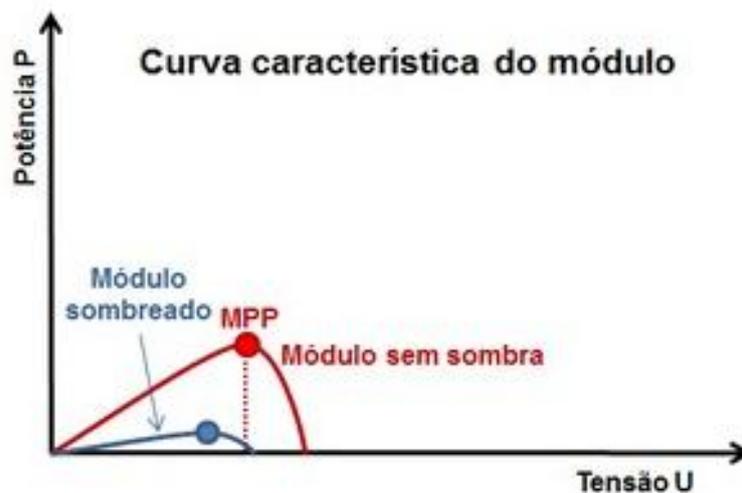
Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos

3.5.2 - Sombreamento

Os painéis são formados por células fotovoltaicas associadas em série, conseqüentemente quando uma célula recebe menos radiação solar do que as outras que estão associadas, o painel tem sua corrente limitada, esse fato se chama sombreamento.

Em determinadas condições de operação, uma célula pode aquecer tanto devido ao sombreamento que o material semiconductor do sistema fotovoltaico pode ser danificado, a potência elétrica gerada pelo painel não está sendo entregue e acontece que essa mesma potência será dissipada no painel, esse fenômeno é conhecido por ponto quente, podendo acontecer ruptura do vidro e fusão de polímeros e metais.

Figura 20: Curva característica de potencia do painel



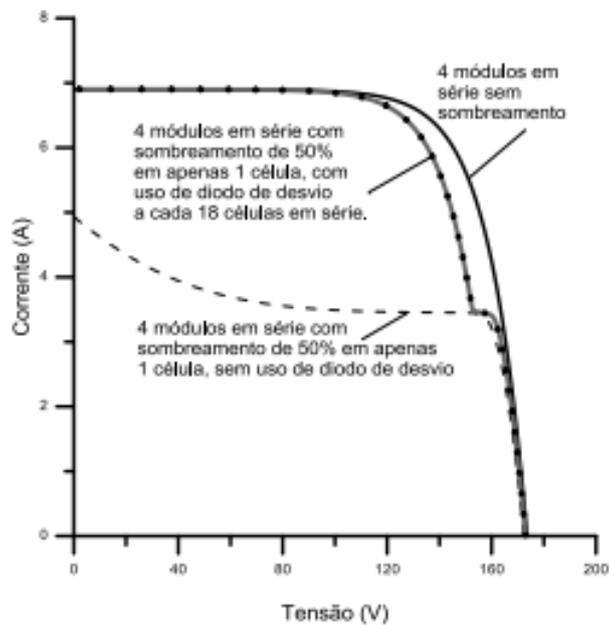
Fonte: Universidade do Porto (FEUP)

3.5.3 - Diodo de desvio (by-pass)

Como foi visto, o sombreamento pode causar danos tanto no painel, como na geração de energia para o sistema, para evitar que isso aconteça nos instalamos o diodo de desvio (by-pass), que faz com que a corrente caminhe por um caminho alternativo, sendo assim limitando a dissipação da potencia no sistema.

Com o diodo de desvio minimiza a perda durante o processo de sombreamento e também que as células sejam danificadas, consequentemente deixando o sistema inutilizável.

Figura 21: Efeito do sombreamento sobre o painel



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos

3.5.4 - Diodo de bloqueio

Outro equipamento de proteção são os diodos de bloqueio, tem como objetivo evitar que um painel sombreado transforme a fileira inteira em uma carga.

O diodo de bloqueio basicamente impede a passagem de corrente de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor. Caso o sistema seja off-grid, eles tem como função também o bloqueio de descargas noturnas das baterias.

Esse dispositivo deve suportar no mínimo a corrente de curto-circuito gerada pelo painel e uma tensão de no mínimo duas vezes a tensão de curto-circuito aberto do sistema.

3.6 - Estrutura de suporte para instalação de painéis

Não menos importante que o painel fotovoltaico e todo o sistema é a estrutura de suporte para instalação dos painéis. Uma escolha errada sobre o material a usar, o trabalho mal feito na fixação da estrutura acarreta em um mau funcionamento do sistema e podendo colocar todo o investimento a perder, devido a essas escolhas.

Alguns pontos precisam ser levados em consideração no momento da escolha e fixação da estrutura, como o material a ser usado, a inclinação correta que deverá ficar o painel para aproveitar o máximo da irradiação solar durante o ano, sempre pensando na maior geração de energia elétrica e a melhor orientação da estrutura, permitindo a captação de luz solar máxima durante o dia.

Para cada empreendimento, é uma nova problemática e sempre havendo solução para fixação dos painéis, levando em conta se for colocado no telhado e se o mesmo suporta toda a estrutura, fazendo um estudo prévio antes da fixação. Outro fator importante é a altura que vai ser instalado, por conta das cargas acidentais que nesse caso é o vento, conseqüentemente aumentando o esforço mecânico na estrutura.

A inclinação dos painéis solares dependerá da localidade onde serão instalados, na tabela abaixo vemos valores aproximados de inclinação para cada estado brasileiro, levando em consideração que o estudo foi feito nas capitais.

Tabela 7: Valores aproximados de inclinação para cada estado brasileiro

Estado	Inclinação aproximada
Acre (Rio Branco)	10°
Alagoas (Maceió)	10°
Amapá (Macapá)	5°
Amazonas (Manaus)	5°
Bahia (Salvador)	10°
Distrito Federal (Brasília)	15°
Ceará (Fortaleza)	5°
Espírito Santo (Vitória)	15°
Goiás (Goiânia)	15°
Maranhão (São Luís)	5°
Mato Grosso (Cuiabá)	15°
Mato Grosso do Sul (Campo Grande)	15°
Minas Gerais (Belo Horizonte)	15°
Pará (Belém)	5°
Paraíba (João Pessoa)	5°
Paraná (Curitiba)	20°
Pernambuco (Recife)	5°
Piauí (Teresina)	5°
Rio de Janeiro (Rio de Janeiro)	20°
Rio Grande do Sul (Porto Alegre)	27°
Rio Grande do Norte (Natal)	5°
Rondônia (Porto Velho)	5°
Roraima (Boa Vista)	5°
Santa Catarina (Florianópolis)	25°
São Paulo (São Paulo)	20°
Sergipe (Aracaju)	10°
Tocantins (Palmas)	10°



Fonte: Sunlab

A posição do sol depende da localização do observador. Para mostrar a atual posição do Sol, que exige a entrada do local. O azimute é contado a partir do norte para o oriente, de modo que uma estrela no norte tem um azimute de 0°, uma estrela no oriente tem um azimute de 90°. O Zenith está começando a ser contado a partir da horizontal para a perpendicular. Se o sol está diretamente acima do observador, o zênite tem um ângulo de 90°. O horizonte tem, portanto, um auge de 0°.

3.7 - Sistema Fotovoltaico conectado a rede (on-grid)

Existem dois tipos de sistema fotovoltaico, off-grid que trabalha sem ter ligação alguma com a rede pública e sempre armazenando energia normalmente em um banco de baterias, e o sistema on-grid, com o que iremos trabalhar, a geração de energia solar fotovoltaica do sistema está conectada a rede pública de eletricidade. Nesse sistema, não contamos com baterias e nem com controladores de carga, basicamente serão necessários apenas os painéis fotovoltaicos e o inversor, sem esquecer os acessórios: cabos, diodos, relógio bidirecional e o suporte. (Renove Engenharia, 2018)

Nos últimos anos, a energia solar fotovoltaica tem sido a tecnologia de geração de eletricidade que mais tem crescido.

O sistema fotovoltaico conectado a rede, tem como principal objetivo gerar energia elétrica para ser consumida no próprio local onde está instalada o sistema.

Figura 22: Sistema fotovoltaico conectado a rede



Fonte: Renove engenharia

Segundo a Rennove engenharia, ela esclarece e enumera o sistema da seguinte forma:

- 1 – *GERAÇÃO*: Os módulos solares são responsáveis pela geração fotovoltaica, convertendo a luz do sol em energia elétrica (CC – Corrente Contínua). Os painéis são conectados entre si e enviam toda energia gerada para o Inversor Solar.
- 2 – *CONVERSÃO*: Toda energia elétrica gerada pelos painéis solares estão em corrente contínua (CC) e para ser utilizada por qualquer equipamento elétrico, deve antes ser convertida em corrente alternada (CA). Este é o papel do Inversor Solar.
- 3 – *DISTRIBUIÇÃO*: Após a conversão feita pelo Inversor Solar, toda energia elétrica é enviada para o “quadro de luz” e distribuída para o uso. Uma vez convertida, a energia está pronta para uso por qualquer equipamento elétrico! Pode ser usada para chuveiros, ferro de passar, computadores, lâmpadas, TV, aparelhos de som, máquina de lavar, etc...
- 4 – *CRÉDITOS*: A energia que for gerada e não for utilizada, será injetada na rede da distribuidora através do “relógio bi-direcional”. Na ausência do sol, o sistema deixa de gerar energia elétrica, e então, é feito o uso da energia da distribuidora normalmente.
- 5 – *REDE ELÉTRICA*: Se a produção de energia for maior do que o consumo, a energia excedente se torna um “crédito” que poderão ser abatidos em uma conta de energia dos meses subsequentes ou de outra unidade consumidora do mesmo usuário, com validade de 60 meses. Os créditos de energia são regulamentados pela ANEEL possuindo regras específicas que variam de acordo com a sua localização e sua classe de consumo (residência, comercial ou industrial).

4 - Metodologia

O estudo de caso que será apresentado tem como objetivo dimensionar um sistema solar fotovoltaico de uma residência urbana na cidade de Delmiro Gouveia – Alagoas, conectada a rede elétrica pública.

Esse estudo foi elaborado de acordo com as normas da ANEEL e da ABNT se baseando no PRODIST, no módulo 3 – acesso ao sistema de distribuição.

O primeiro passo para começar a metodologia foi fazer um levantamento da literatura do tema, para se aperfeiçoar tendo um melhor desempenho durante todo esse trabalho.

Foi feita uma visita a residência para ter acesso as últimas 12 faturas do consumidor que iria ser usado nos procedimentos.

Durante o trabalho de pesquisa foi utilizado alguns softwares, que tinha por objetivo a obtenção das coordenadas geográficas da localidade que seria usado mais adiante e também um software que tinha por finalidade a produção de gráficos.

Por fim, foi feito uma pesquisa de preço para saber se tinha viabilidade econômica no investimento no Sistema Solar Fotovoltaico On Grid, e assim, saber o retorno do investimento.

4.1 - Procedimentos

4.1.1 – Análise da Conta

Calcular a média de consumo dos últimos 12 meses. Pega-se a fatura do consumidor na qual consta o consumo de janeiro a dezembro.

Tabela 8: Consumo dos últimos 12 meses

MÊS	CONSUMO (kWh)
JANEIRO	
FEVEREIRO	
MARÇO	
ABRIL	
MAIO	
JUNHO	
JULHO	
AGOSTO	
SETEMBRO	
OUTUBRO	
NOVEMBRO	
DEZEMBRO	

Fonte: O Autor

4.1.2 – Consumo Diário

Para determinar o valor médio de energia consumida por dia, dividimos o valor médio mensal encontrado por 30 dias.

$$Cd = \frac{CM}{QD} \quad (\text{Eq. 1})$$

Cd = Consumo diário (kWh)

CM = Consumo Mensal (kW)

QD = Quantidade de dias no mês

4.1.3 – Horas de Sol Pico

É necessário saber a quantidade de horas de sol disponível na localidade onde vai ser instalado o sistema.

Dados de insolação

- Localidade
- Latitude
- Longitude

Em posse dos dados de latitude e longitude da localidade na qual se deseja instalar o sistema solar fotovoltaico, será pesquisado o valor da Irradiação solar diária, a média mensal, que nesse caso são as horas de sol pico. A radiação solar estimada em Delmiro Gouveia é dada pela tabela 10.

No site do CRESESB através do banco de dados que irá ser fornecido a média de irradiação solar diária.

Através desta tabela, vai ser observado além desse valor médio da Irradiação solar, o melhor ângulo de inclinação do painel solar, para que tenha uma máxima captação de insolação e ter uma melhor geração de energia elétrica.

4.1.4 – Capacidade do Sistema

$$C_s = \frac{C_d}{H_s} \quad (\text{Eq. 2})$$

C_s = Capacidade do sistema (kWp)

C_d = Consumo diário (kWh/dia)

H_s = Horas de Sol Pico (h/dia)

4.1.5 – Número de Placas

Finalmente, será determinado o número de placas necessárias.

- Máxima Potência
- Material
- Dimensões
- Área

$$Np = \frac{Cs}{Pp} \quad (\text{Eq. 3})$$

Np = Número de placas

Cs = Capacidade do sistema (Wp)

Pp = Potência da Placa (W)

Será determinada a quantidade de painéis necessários para suportar o sistema e o modelo do painel com sua potência e todas as especificações.

4.1.6 – Dimensionamento do Inversor

Diante toda metodologia para a escolha da quantidade de painéis e sua potência, devemos agora escolher o inversor desejado para o sistema.

$$Pi = Pp \times Np \quad (\text{Eq. 4})$$

Pi = Potência do Inversor (W)

Pp = Potência da placa (W)

Np = Número de placas

Calcula-se a potência mínima que o inversor deverá ter e será escolhido diante o fabricante o inversor mais próximo a partir da potência.

5 - Resultados

5.1 - Dados Coletados

Diante a metodologia de estudo para especificação do sistema solar fotovoltaico, tem-se os seguintes resultados.

ANALISE DA CONTA

A média mensal de consumo da residência através da tabela 9 é de 207 KWh/mês.

Tabela 9: Consumo dos últimos 12 meses e a média mensal

MÊS	CONSUMO (kWh)
JANEIRO	267
FEVEREIRO	256
MARÇO	231
ABRIL	219
MAIO	196
JUNHO	131
JULHO	157
AGOSTO	179
SETEMBRO	185
OUTUBRO	201
NOVEMBRO	223
DEZEMBRO	239
MEDIA	207

Fonte: O autor

CONSUMO DIÁRIO

Sabendo o consumo médio mensal, calcula-se a média de consumo diário.

$$Cd = \frac{CM}{QD} = \frac{207}{30} = 6,9 \text{ kWh/dia}$$

Cd = Consumo diário (kWh)

CM = Consumo Mensal (kW)

QD = Quantidade de dias no mês

HORAS DE SOL PICO

A partir da tabela 10, que fornece as horas de sol pico (Irradiação solar diária, média mensal), através do CRESESB será observado o valor em kWh/m².dia a uma inclinação dos painéis de 9°N.

Dados de insolação

- Delmiro Gouveia – Alagoas
- Latitude: -9.3859509
- Longitude: -37.9988769

Tabela 10: Irradiação Solar diária, média mensal

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	6,35	6,20	6,05	5,42	4,53	4,09	4,25	4,91	5,72	6,04	6,52	6,44	5,54	2,44
Ângulo igual a latitude	9° N	6,01	6,02	6,06	5,62	4,83	4,41	4,56	5,15	5,80	5,92	6,21	6,05	5,55	1,80
Maior média anual	6° N	6,14	6,09	6,07	5,57	4,74	4,31	4,46	5,08	5,79	5,97	6,33	6,19	5,56	2,01
Maior mínimo mensal	29° N	4,94	5,25	5,69	5,70	5,17	4,84	4,95	5,34	5,62	5,30	5,17	4,88	5,24	,86

Fonte: CRESESB

Os painéis do sistema solar fotovoltaico serão instalados com ângulo de inclinação de 10°N. Para efeito de cálculo iremos utilizar a radiação solar diária media de 5,55 h/dia.

CAPACIDADE DO SISTEMA

Já se sabe o consumo diário e tem-se as horas de sol pico, com isso, vamos calcular a potência do sistema que vamos utilizar.

$$C_s = \frac{C_d}{H_s} = \frac{6,9}{5,5} = 1,24 \text{ kWp}$$

C_s = Capacidade do sistema (kWp)

C_d = Consumo diário (kWh/dia)

H_s = Horas de Sol Pico (h/dia)

Para atender a demanda de eletricidade da residência, o sistema gerador de energia solar fotovoltaica precisa ter uma potência de 1,24 kWp (potência instalada).

NUMERO DE PLACAS

Será determinado o número de placas necessárias.

- Máxima Potência: 260 Watts
- Material: Silício Policristalino
- Dimensões: (1956 x 992 x 40) mm
- Área: 1,94 m²

$$N_p = \frac{C_s}{P_p} = \frac{1240}{260} = 4,76$$

N_p = Número de placas

C_s = Capacidade do sistema (Wp)

P_p = Potência da Placa (W)

Para produzir 6,9 kWh/dia são necessários 5 painéis fotovoltaicos de 260 Watts. O sistema terá 5 painéis em série de 260W.

DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Diante toda metodologia para a escolha da quantidade de painéis e sua potência, deve-se agora escolher o inversor desejado para o sistema.

$$P_i = P_p \times N_p$$

$$P_i = 260 \times 5 = 1300 \text{ Watts}$$

P_i = Potência do Inversor (W)

P_p = Potência da placa (W)

N_p = Número de placas

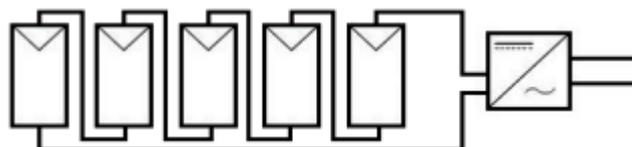
O sistema será composto por 5 painéis de 260 Watts que fornecerão uma potência de 1300 Watts. O inversor escolhido deverá ser capaz de suportar uma potência mínima de 1300 Watts.

O inversor escolhido para o sistema será de 1500 Watts.

5.2 – Modelo do Sistema

Segue abaixo um modelo do Sistema calculado, composto por 5 painéis de 260 Watts interligados em serie e um inversor de 1500 Watts para fazer a conversão de energia elétrica contínua em alternada.

Figura 23: Modelo do Sistema



Fonte: O Autor

5.3 – Viabilidade Técnica

De acordo com todos os fatores necessários encontrados para a implementação do projeto, foi observado às condições ideais de instalação do sistema para a residência, através das visitas técnicas e utilização de softwares que foi de suma importância.

Foi visualizado os seguintes pontos:

- Disposição Solar
- Pontos de Sombreamento
- Inclinação do Telhado
- Área útil do telhado

5.4 – Viabilidade Ambiental

Outro fator importante na implementação de um Sistema Solar Fotovoltaico, é em relação ao Meio Ambiente.

Buscando energia elétrica de uma fonte inesgotável e que não agride o Meio Ambiente.

Com o sistema utilizamos energia limpa e renovável, sem emitir gases poluentes, como: dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NOX) e dióxido de carbono (CO₂).

5.5 – Viabilidade Econômica

Um dos pontos no qual vai ser observado o maior impacto é a viabilidade financeira que o sistema proporciona ao consumidor.

Para chegar a essa conclusão do investimento, foi observado diversos fatores, como:

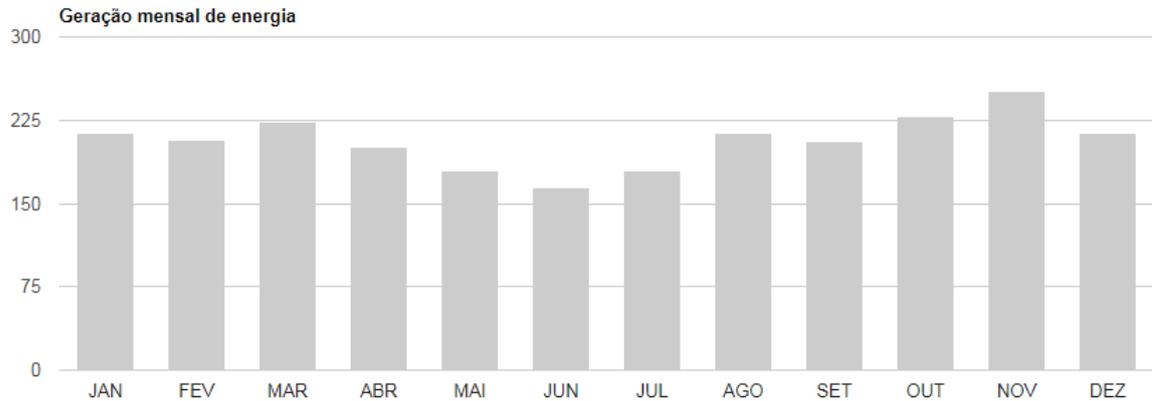
- Consumo mensal de Energia Elétrica
- Valor pago mensal a concessionária
- Valor final do Sistema Solar Fotovoltaico On Grid
- Valor de manutenção

Nas figuras abaixo, observa-se o investimento médio encontrado para implantação do Sistema, aproximadamente de quanto será a produção de energia anual do sistema, área utilizada e o valor médio da geração mensal de energia que o Sistema irá proporcionar.

Figura 24: Preço médio do sistema

Para atender a sua demanda de eletricidade, o seu sistema gerador de energia solar fotovoltaica precisa ter uma potência de:	<input type="text" value="1,24"/>	kWp. (ou potência instalada)
O preço médio de um gerador fotovoltaico deste tamanho varia no mercado de:	<input type="text" value="R\$ 10.818,54"/>	até <input type="text" value="R\$ 12.982,25"/>
Quantidade de placas fotovoltaicas:	<input type="text" value="5"/>	de 260 Watts
Produção anual de energia:	<input type="text" value="2484"/>	kWh/ano aproximadamente
Área mínima ocupada pelo sistema:	<input type="text" value="9,7"/>	metros quadrados aprox.
Peso médio por metro quadrado:	<input type="text" value="15"/>	kilograma / metro quadrado
Geração mensal de energia (em Kwh)	<input type="text" value="207"/>	kWh/mês aproximadamente

Fonte: Portal Solar

Figura 25: Geração média mensal de energia

Fonte: Portal Solar

Levando em conta o tempo mínimo de vida útil dos painéis que são de 25 anos, veremos na equação abaixo o valor médio pago pelo consumidor a concessionária durante esse período:

$$PC = CM \times VW \times M \times A \quad (\text{Eq. 5})$$

$$PC = 207 \times 0,75 \times 12 \times 25 = \text{R\$ } 46.575,00$$

PC = Valor do consumidor pago a concessionária (R\$)

CM = Consumo Mensal (kWh)

VW = Valor do kWh cobrado pela concessionária (R\$)

M = Quantidade de meses no ano

A = Quantidade de anos

Considerando todos os fatores citados, junto com os dados coletados, observou-se que no máximo o consumidor terá uma investimento de R\$ 12.982,25, com isso, foi previsto que o retorno financeiro (payback) será obtido no período de 7 anos.

6 – Considerações Finais

Todo o trabalho foi baseado em uma instalação de um Sistema Solar Fotovoltaico On Grid (conectado a rede), com o devido aumento do consumo mensal de energia da população, aumentando também o preço a pagar para a concessionária e conseqüentemente emitindo mais gases poluentes ao Meio Ambiente, buscou-se uma alternativa que suprisse toda essa problemática.

A fonte de energia solar, o sol, é uma fonte limpa e inesgotável, na qual não agride o meio ambiente quando se obtém energia elétrica através dos raios solares. O material utilizado para a construção das células, o silício, é o elemento mais abundante do mundo e com a segunda maior reserva no Brasil.

Foi visto todo o funcionamento do sistema, desde a captação dos raios solares ocorrendo o efeito fotovoltaico, até chegar energia elétrica nos equipamentos e estando prontos para uso.

Percebeu a simplicidade do sistema, sem qualquer obstáculo, sem qualquer ruído durante a geração de energia elétrica. Um fator importante que sempre será levado em conta, a inclinação dos painéis, sempre procurando o melhor ângulo de inclinação para se obter a melhor captação dos raios solares durante todo o ano, sabendo que tem uma grande influencia no rendimento total do sistema.

Através de toda a pesquisa e observando o resultado final com seus devidos resultados, percebeu-se que a instalação de um Sistema Solar Fotovoltaico On Grid é uma boa solução para diminuir tanto o gasto com energia elétrica, como a emissão de gases poluentes. Tendo nesse caso, o consumidor um retorno financeiro estimado no período de 7 anos.

7 - Referências

- [1] ALMEIDA, Eliane; ROSA, Anna Clara; DIAS, Fernanda Cristina Lima Sales; BRAZ, Kathlen Thais Mariotto; LANA, Luana Teixeira Costa; SANTO, Olivia Castro do Espirito; SACRAMENTO, Thays Cristina Bajur. **Energia Solar Fotovoltaica**.
- [2] América do Sol. Disponível em <<http://americadosol.org/>>. Acesso em 17 de Abril de 2018.
- [3] ANEEL. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em 02 de Abril de 2018.
- [4] CRESESB. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em 03 de Abril de 2018.
- [5] **Energia Fotovoltaica - manual sobre tecnologias, projectos e instalação**. 1ª Edição. 2004.
- [6] Enova Energia. Disponível em <<http://www.enovaenergia.com.br/>>. Acesso em 25 de Abril de 2018.
- [7] FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**.
- [8] INMETRO. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/>>. Acesso em 20 de Abril de 2018.
- [9] Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa. Disponível em <<https://tecnico.ulisboa.pt/pt/>>. Acesso em 05 de Abril de 2018.
- [10] JUNIOR, José Carlos Ferreira; DEMANBORO, Antônio Carlos. **Energia Fotovoltaica como Fonte de Sustentabilidade**. Recife: ELECS, 2009.
- [11] PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, Andre Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco J. Lopes de Lima; RUTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Maximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª Edição. São Jose dos Campos: INPE, 2017.
- [12] PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.
- [13] Portal o Setor Elétrico. Disponível em <<https://www.osetoreletrico.com.br/>>. Acesso em 18 de Abril de 2018.
- [14] Portal Solar. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/>>. Acesso em 08 de Abril 2018.

- [15] Renнове Engenharia. Disponível em <<https://www.rennoveengenharia.com.br/>>. Acesso em 10 de Abril 2018.
- [16] Solar Energy. Disponível em <<https://www.solarenergy.org/>>. Acesso em 16 de Abril de 2018.
- [17] Sunflower. Disponível em <http://www.sunflower-solar.com/index_pt.php>. Acesso em 14 de Abril de 2018.
- [18] Sunlab. Disponível em <<http://www.sunlab.com.br/>>. Acesso em 11 de Abril de 2018.
- [19] Thisi Energia. Disponível em <<http://thisienergias.com/>>. Acesso em 12 de Abril de 2018.
- [20] TIBA, Chigueru. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. 1ª Edição. Recife: UFPE, 2000.
- [21] Universidade do Porto (FEUP). Disponível em <https://sigarra.up.pt/feup/pt/web_page.Inicial>. Acesso em 09 de Abril de 2018.

ANEXOS

ANEXO I - RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012

ANEXO I - RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012

Módulos do PRODIST

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no art. 4º, inciso XX, Anexo I, do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, na Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, na Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, no Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, o que consta no Processo nº 48500.004924/2010-51 e considerando:

as contribuições recebidas na Consulta Pública nº 15/2010, realizada por intercâmbio documental no período de 10 de setembro a 9 de novembro de 2010 e

as contribuições recebidas na Audiência Pública nº 42/2011, realizadas no período de 11 de agosto a 14 de outubro de 2011, resolve:

CAPÍTULO I

DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 1º Estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. .

Art. 2º Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa.

ANEXO II - SEÇÃO 3.7 - ACESSO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

ANEXO II - SEÇÃO 3.7 - ACESSO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

1 OBJETIVO

1.1 Descrever os procedimentos para acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição.

2 ETAPAS PARA VIABILIZAÇÃO DO ACESSO

2.1 Para a central geradora classificada como micro ou minigeração distribuída, são obrigatórias apenas as etapas de solicitação de acesso e parecer de acesso.

2.2 Consulta de acesso

2.2.1 É facultativa, aplicando-se os procedimentos descritos no item 3 da seção

2.3 Informação de acesso

2.3.1 Caso seja realizada a consulta de acesso, a informação de acesso é obrigatória, aplicando-se os procedimentos descritos no item 4 da seção

2.4 Solicitação de acesso

2.4.1 A solicitação de acesso é o requerimento formulado pelo acessante que, uma vez entregue à acessada, implica a prioridade de atendimento, de acordo com a ordem cronológica de protocolo.

2.4.2 Compete a distribuidora a responsabilidade pela coleta das informações das unidades geradoras junto aos micro e minigeradores distribuídos e envio dos dados à ANEEL para fins de Registro, nos termos da regulamentação específica.

- 2.4.3 Para micro e minigeração distribuída, fica dispensada a apresentação do Certificado de Registro, ou documento equivalente, na etapa de solicitação de acesso.
- 2.4.4 A solicitação de acesso deve conter:
- a) o projeto das instalações de conexão, incluindo memorial descritivo, localização, arranjo físico, diagramas, conforme a seção 3.3 deste módulo; e
 - b) documentos e informações solicitados previamente pela distribuidora.
- 2.4.5 A solicitação de acesso perde o efeito se o acessante não regularizar eventuais pendências nas informações encaminhadas à acessada no prazo de 60 (sessenta) dias.
- 2.4.6 A distribuidora deve disponibilizar em sua página na internet a relação das informações que o acessante deve apresentar na solicitação de acesso, incluindo os dados requeridos pela ANEEL para o registro das centrais geradoras e aqueles de que trata o item 2.5.2.

ANEXO III - RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015

ANEXO III - RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015**RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015.**

Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

O Diretor-Geral da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, com base no art. 4º, incisos IV e XVI, Anexo I, do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, no que consta do Processo nº 48500.004924/2010-51 e considerando as contribuições recebidas na Audiência Pública nº 026/2015, realizada entre 7 de maio de 2015 e 22 de junho de 2015, que foram objeto de análise desta Agência e permitiram o aperfeiçoamento deste ato regulamentar, resolve:

Art. 1º Alterar o art. 2º da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, que passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art.

2º

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e 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;

II - 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;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é

cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;

IV - melhoria: instalação, substituição ou reforma de equipamentos em instalações de distribuição existentes, ou a adequação destas instalações, visando manter a prestação de serviço adequado de energia elétrica;

V - reforço: instalação, substituição ou reforma de equipamentos em instalações de distribuição existentes, ou a adequação destas instalações, para aumento de capacidade de distribuição, de confiabilidade do sistema de distribuição, de vida útil ou para conexão de usuários;

VI – empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento;

VII – geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;

VIII – autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada.”

Art. 2º Alterar o art. 4º da Resolução Normativa nº 482, de 2012, que passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 4º - Fica dispensada a assinatura de contratos de uso e conexão na qualidade de central geradora para os participantes do sistema de compensação de energia elétrica, nos termos do Capítulo III, sendo suficiente a emissão pela Distribuidora do Relacionamento Operacional para a microgeração e a celebração do Acordo Operativo para a minigeração, nos termos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

§1º A potência instalada da microgeração e da minigeração distribuída fica limitada à potência disponibilizada para a unidade consumidora onde a central geradora será conectada, nos termos do inciso LX, art. 2º da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.

§2º Caso o consumidor deseje instalar central geradora com potência superior ao limite estabelecido no §1º, deve solicitar o aumento da potência disponibilizada, nos termos do art. 27 da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, sendo dispensado o aumento da carga instalada.

§ 3º É vedada a divisão de central geradora em unidades de menor porte para se enquadrar nos limites de potência para microgeração ou minigeração distribuída, devendo a distribuidora identificar esses casos, solicitar a readequação da instalação e, caso não atendido, negar a adesão ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

§4º Para a determinação do limite da potência instalada da central geradora localizada em empreendimento de múltiplas unidades consumidoras, deve-se considerar a potência disponibilizada pela distribuidora para o atendimento do empreendimento.

§5º Para a solicitação de fornecimento inicial de unidade consumidora que inclua microgeração ou minigeração distribuída, a distribuidora deve observar os prazos estabelecidos na Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST para emitir a informação ou o parecer de acesso, bem como os prazos de execução de obras previstos na Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.

§6º Para os casos de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada, a solicitação de acesso deve ser acompanhada da cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes.”

Art. 3º Alterar o parágrafo único no art. 5º da Resolução Normativa nº 482, de 2012, que passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 5º

.....

§1º Os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração distribuída não devem fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor, sendo integralmente arcados pela distribuidora, exceto para o caso de geração compartilhada.

§2º Os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de minigeração distribuída devem fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor.”

Art. 4º Alterar o § 1º do art. 6º da Resolução Normativa nº 482, de 2012, que passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 6º Podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores responsáveis por unidade consumidora:

- I – com microgeração ou minigeração distribuída;
- II – integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras;
- III – caracterizada como geração compartilhada;
- IV – caracterizada como autoconsumo remoto.

§1º Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses.

.....”