

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ALISSON RODRIGUES LOBO

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA MICROGERAÇÃO COMERCIAL

**LAGES
2019**

ALISSON RODRIGUES LOBO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA MICROGERAÇÃO
COMERCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Universitário
UNIFACVEST como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

Orientadora: Prof^a. Dra. Franciéli Lima de
Sá

Coorientador: Prof^o Adriano Furtado

LAGES

2019

Monografia apresentada ao Centro Universitário – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

NOME DO ALUNO

TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Titulação e nome do Orientador (a).

Titulação e nome do Coorientador (a).

Titulação e nome do Avaliador (a).

Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome do Coordenador (a).

Lages, ____ de julho de 2019.

Dedico a Deus pela sua infinita bondade e amor para comigo, a minha família que nunca mediu esforços para me apoiar nessa conquista. Dedico ao meu avô Divino Rodrigues da Silva (in memoriam), por ter auxiliado na construção de meu caráter.

Muito obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado à oportunidade de ingressar neste curso e mais ainda por ter me dado força física, mental e espiritual para conseguir concluir mais essa etapa em minha vida.

Aos meus pais Antonio e Elzeny, a meu irmão Andrey, minhas avós Sidony e Sebastiana, minha tia Maria (Lora), e a Sabrina, pelo amor incondicional e carinho a mim reservado, vocês se mostraram vitais para tal conquista.

A todos os professores da escola IEE Marechal Rondon, onde obtive minha formação primária e secundária. Aos professores do ensino técnico, e também a todos os professores que de forma direta ou indireta me capacitaram para tal conquista.

Em especial a Prof^a orientadora e coordenadora Dra. Franciéli Lima de Sá, que se fez presente durante os últimos anos muito obrigado por todo o conhecimento, tempo e orientações.

Agradeço ao Prof^o MSc Silvio Oliveira, ao Prof^o MSc Aldori dos Anjos por todos os ensinamentos, os conselhos e atenção durante esses cinco anos de graduação.

A todos os amigos novos e antigos que tive o privilégio de fazer até aqui, em especial ao Rafael Rodrigues, Wanderson Pedrete, Kesley Ribeiro, Paulo Grocheviski e a Flávia Arruda que sempre me apoiaram com suas palavras.

Aos amigos que fiz durante a graduação, Bruna Rosa, Carlos Weber, Cleidson Junior, Luis Weber, Macsuel Lima, Michael Xavier, Rayon dos Santos, Robson Tristão, Ricardo Mota e a Taís Giaretta, e a todos os demais que sempre estiveram presentes durante essa jornada, sem dúvida vocês se mostraram essenciais a cada fase concluída desse processo.

RESUMO

LOBO, Alisson Rodrigues. **Estudo da viabilidade econômica da microgeração comercial**. Trabalho de conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Unifacvest, Lages, 2019.

Em razão do surgimento de novas tecnologias e até mesmo do aumento na população mundial, muito tem se debatido sobre novas fontes de geração de energia elétrica para poder suprir a demanda solicitada pelo sistema, porém um fato muito importante é o modo que será empregado para tal geração de energia pois com o passar dos anos nota-se que o homem ao inovar na criação de novas tecnologias acabou causando danos irreversíveis ao meio ambiente, hoje é possível perceber a instabilidade cada vez maior no meio ambiente, grandes aumentos de temperaturas em certas regiões, em outras uma queda brusca nas temperaturas entre outros desastres ambientais que tem se tornado cada vez mais frequentes nos dias atuais. Durante muitos anos a matriz energética mundial tem utilizado várias fontes de energia não renováveis para a geração de energia elétrica entre essas fontes as principais são os combustíveis fósseis como o carvão, o gás natural e o petróleo, hoje a grande preocupação é conseguir aumentar a geração de energia elétrica para atender a demanda solicitada pelo sistema mas através de fontes de energias alternativas, renováveis e limpas, de modo a causar o menor dano possível ao meio ambiente, e conseqüentemente a população que nele reside. Por isso cada vez mais a forma de geração através de sistemas fotovoltaicos tem ganhado um importante espaço no mercado de geração de energia elétrica e o Brasil por sua vez possui uma grande vantagem se comparado com outros países que já utilizam a energia fotovoltaica, que é sua localização na zona intertropical, registrando assim altos índices de irradiação solar durante todo o ano. Dessa forma neste trabalho, foi estudada a inserção de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica pública e integrado em uma edificação comercial. Para tanto, foi dimensionado um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica pública situado na cidade de Ji-Paraná localizada no estado de Rondônia. A partir do dimensionamento foi estimado a geração de energia elétrica anual de tal comércio, também foi estimado os custos para

a instalação do sistema fotovoltaico, sendo feito ainda uma análise da viabilidade econômica simplificada, onde será possível verificar o impacto gerado pela inserção do sistema solar fotovoltaico como fonte alternativa na geração de energia elétrica nessa edificação comercial e a partir do tempo em que o proprietário do imóvel terá o retorno do capital investido em tal tecnologia.

Palavra Chave: Economia e sustentabilidade; Micro geração fotovoltaica.

ABSTRACT

LOBO, Alisson Rodrigues. **Study of the economic feasibility of commercial microgeneration**. Course conclusion course - Electrical Engineering Course, University Center Unifacvest, Lages, 2019.

Due to the emergence of new technologies and even the increase in the world population, much has been debated about new sources of electricity generation to supply the demand demanded by the system, but a very important fact is the way that will be used for such power generation because over the years it has been noticed that man innovating in the creation of new technologies ended up causing irreversible damage to the environment, it is now possible to perceive the increasing instability in the environment, great increases of temperatures in certain regions , in others a sharp drop in temperatures among other environmental disasters that has become increasingly frequent these days. For many years, the world energy matrix has used several non-renewable sources of energy to generate electricity between these sources, the main ones being fossil fuels such as coal, natural gas and petroleum, today the main concern is to be able to increase the generation of electricity to meet the demand demanded by the system but through alternative, renewable and clean energy sources, in order to cause the least possible damage to the environment, and consequently the population that resides in it. Therefore, the generation of photovoltaic systems has gained an important place in the electricity generation market, and Brazil in turn has a great advantage compared to other countries that already use photovoltaic energy, which is their location in the intertropical zone, thus registering high rates of solar irradiation throughout the year. Thus, in this work, the study of the insertion of a photovoltaic system connected to the public electricity grid and integrated into a commercial building was studied. For that, a photovoltaic system connected to the public electricity grid was installed in the city of Ji-Paraná, located in the state of Rondônia. From the sizing, the annual electricity generation of such trade was estimated, the costs for the installation of the photovoltaic system were also estimated, and an analysis of the simplified economic feasibility was done, where it will be possible

to verify the impact generated by the insertion of the solar system photovoltaic as an alternative source in the generation of electric energy in this commercial building and from the time in which the owner of the property will have the return of the capital invested in such technology.

Keyword: economy and sustainability; photovoltaic micro generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeira aplicação de uma célula solar de silício.....	20
Figura 2- Estrutura principal de um sistema fotovoltaico conectado à rede	26
Figura 3- Componentes de um sistema fotovoltaico autônomo.....	27
Figura 4 – Exemplo de sistema híbrido.	28
Figura 5 - A radiação global é a soma das radiações direta e difusa	29
Figura 6 - Mapa de insolação do território brasileiro.	30
Figura 7 - Estruturas moleculares dos semicondutores P e N.....	32
Figura 8 - Efeito fotovoltaico na junção pn.3	33
Figura 9 - Efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico.....	34
Figura 10 – Processo de fabricação de células monocristalinas.....	36
Figura 11 – Processo de fabricação de células policristalinas.	37
Figura 12 - Painel solar fotovoltaico de filmes finos	39
Figura 13 Componentes de um módulo fotovoltaico	40
Figura 14- Conjunto de módulos em série	45
Figura 15- Conjunto de módulos em paralelo.....	46
Figura 16- Conjunto de módulos em série e paralelo.....	46
Figura 17- Exemplo de um inversor para conexão com à rede.....	48
Figura 18- Diagrama de conexão da microgeração através com à rede de BT da Eletrobras Distribuidora.....	50
Figura 19- String box EcoSolys	61
Figura 20- Proposta de instalação dos módulos fotovoltaicos.....	63
Figura 21- Proposta de instalação dos módulos fotovoltaicos.....	63

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Evolução global da instalação dos painéis fotovoltaicos.	22
Gráfico 2 - Novos investimentos globais em energia limpa.	23
Gráfico 3 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte (%).	24
Gráfico 4 - Participação de cada fonte na geração em 2017.	24
Gráfico 5- Curva característica I x V mostrando a corrente Isc e a tensão Voc	41
Gráfico 6- Curva típica de potência versus tensão	42
Gráfico 7- Rastreamento do ponto de máxima potência	42
Gráfico 8- Influência da radiação solar na operação do módulo fotovoltaico	43
Gráfico 9- Influência da temperatura na operação do módulo fotovoltaico	44
Gráfico 10- Desempenho do sistema fotovoltaico em 25 anos.	69
Gráfico 11- Lucro no primeiro ano de investimento.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Normas e regulamentos sobre módulos fotovoltaicos.....	47
Tabela 2- Irradiação solar mensal em Ji-Paraná.....	52
Tabela 3- Consumo de energia elétrica dos últimos doze meses.	54
Tabela 4- Escolha do ângulo de inclinação do módulo.	54
Tabela 5- Consumo médio.	55
Tabela 6- Perdas estimadas no sistema fotovoltaico.	55
Tabela 7- Dados de entrada do inversor Fronius Primo 5kW.....	58
Tabela 8- Dados de saída do inversor Fronius Primo 5kW.....	58
Tabela 9- Capacidade de condução de correntes para cabo flexível.....	60
Tabela 10- Orçamento dos materiais com a mão de obra inclusa.	62
Tabela 11- Dados para calcular a rentabilidade.....	65
Tabela 12- Desempenho do sistema fotovoltaico em 25 anos.....	67
Tabela 13- Lucro no primeiro ano de investimento	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	-	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	-	Balanço Energético Nacional
IEA	-	Agência Internacional de Energia
MME	-	Ministério de Minas e Energia
OIEE	-	Oferta Interna de Energia Elétrica
PVPS	-	Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica
SIN	-	Sistema Interligado Nacional
SFCR	-	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

LISTA DE SÍMBOLOS

%	-	Porcentagem
x	-	Multiplicação
°C	-	Grau célsius
kW	-	Quilowatt
kWh	-	Quilowatt-hora
kWh/m ²	-	Quilowatt-hora por metro quadrado
MW	-	Megawatt
GW	-	Gigawatt
TWh	-	Terawatt-hora
Wp	-	watt-pico
A	-	Ampère
P	-	Potência
V	-	Tensão
cm ²	-	Centímetro quadrado
AM	-	Massa de ar
US\$	-	Dólar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivos Gerais	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
1.2 Justificativa	16
1.3 Metodologia.....	17
1.4 Estrutura do trabalho.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Histórico da geração fotovoltaica	19
2.2 Cenário Mundial	21
2.2.1 Cenário Atual Brasileiro.....	23
3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	25
3.1.Classificação dos sistemas fotovoltaicos.....	25
3.1.1 Sistemas conectados à rede elétrica.....	25
3.1.2 Sistemas isolados	27
3.1.3 Sistemas híbridos.....	27
3.2 Radiação solar	28
3.3 Efeito Fotovoltaico.....	31
3.4 Células e Módulos Fotovoltaicos.....	34
3.4.1 Células fotovoltaicas comercialmente disponíveis	35
3.4.1.1 Células de silício monocristalino	35
3.4.1.2 Células de silício policristalino.....	36
3.4.1.3 Células de filmes finos.....	38
3.4.2 Módulo Fotovoltaico	39
3.4.2.1 Propriedades elétricas dos módulos fotovoltaicos.....	40
3.4.2.2 Influência da radiação solar.....	43
3.4.2.3 Influência da temperatura.....	44
3.4.3 Tipos de conexão dos módulos.....	45
3.4.3.1 Conexão em série	45
3.4.3.2 Conexão em paralelo	45

3.4.3.3 Conexão em série e paralelo.....	46
3.5 Normas para módulos fotovoltaicos	47
3.6 Inversores para a conexão à rede elétrica	47
3.6.1 Principais características para a escolha correta do inversor.....	48
3.7 Proteção do sistema conectado à rede	49
3.7.1 Dispositivos de proteção	49
3.7.2 Aterramento.....	51
3.8 Manutenção.....	51
4 ESTUDO DE CASO	52
4.1 Informações sobre o local	52
4.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos	54
4.3 Dimensionamento do inversor.....	57
4.4 Condutores.....	60
4.5 Dispositivos de proteção.....	60
4.6 Orçamento dos materiais e mão de obra	62
4.7 Análise da viabilidade econômica	64
5 CONCLUSÃO.....	70
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	71
APENDICE A- DIAGRAMA UNIFILAR DO ESTUDO DE CASO 1	77
ANEXO A – MANUAL DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	79
ANEXO B – MANUAL DO INVERSOR SOLAR	82
ANEXO C – MANUAL DA STRING BOX	85

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é um país com grande potencial de geração de energia elétrica limpa, provenientes de fontes renováveis como energia hidrelétrica, energia eólica, energia da biomassa, energia solar térmica, energia fotovoltaica entre outras.

Várias fontes primárias de geração de energia elétrica compõem a matriz energética mundial, dentre as quais destacam-se petróleo, gás natural, carvão mineral, urânio, energia hidráulica, energia solar, energia eólica, além da energia proveniente da biomassa. No entanto, apesar dessa diversidade, o consumo dos combustíveis fósseis, que são recursos esgotáveis, prevalece sobre os demais. Além disso, o mundo tem vivenciado um aumento da demanda energética, provocado principalmente pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento tecnológico e industrial (TORRE, 2012).

Nos últimos 30 anos, o consumo de energia elétrica no Brasil cresce a uma taxa de 5% ao ano, tornando-se necessário a prospecção de projetos de geração. Como o Brasil é um país de características continentais, rico em recursos naturais renováveis, é compreensível que a matriz elétrica brasileira tenha a predominância desses tipos de fonte, especialmente energia hidrelétrica, que responde por mais de 70% da oferta interna total. De modo, essa demanda de energia tem sido suprida por meio da exploração de diversas fontes, em especial as energias renováveis (FRANÇA, 2016).

O uso da energia fotovoltaica colabora para a diversificação da matriz elétrica, aumentando a segurança na disponibilidade de energia, ajuda também nas questões ambientais, como a diminuição da emissão de gases do efeito estufa, e sobre o aspecto socioeconômico a energia fotovoltaica contribui desde a geração de empregos locais até no aumento de investimentos (NASCIMENTO, 2017).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia – MME (2017) alguns países obtiveram um grande desenvolvimento na geração fotovoltaica, dentre eles estão China, Estados Unidos da América, Japão, Alemanha e Itália que em 2016 corresponderam por 74% de toda a geração de energia solar no mundo, a grande expansão desses países se deve principalmente pelo fato de possuir uma matriz elétrica predominantemente de combustíveis fósseis, o que em contrapartida

acarretou com que houvesse um maior incentivo dos órgãos governamentais ao incentivo para utilização de fontes renováveis, dentre elas a fotovoltaica.

Como no Brasil grande parte de sua matriz energética já é composta por fontes renováveis, a primeiro momento não houve uma grande preocupação dos órgãos governamentais para criação de incentivos para a expansão da energia fotovoltaica no país, por outro lado nota-se uma grande preocupação do consumidor referente aos valores cobrados nas faturas de energia, pois como o sistema interligado nacional (SIN) é composto em sua maioria de usinas hidrelétricas, em determinados períodos do ano em algumas bacias hidrográficas, tem se registrado níveis baixos nos reservatórios de água provocando assim a operação de usinas termelétricas para poder suprir a demanda de carga da matriz energética, com a inserção e operação de usinas termelétricas para suprir a demanda de carga no SIN acaba ocorrendo uma mudança na bandeira tarifaria, o que reflete diretamente com aumentos no orçamento do consumidor final.

De acordo com Nascimento (2017) o potencial de geração fotovoltaica no Brasil é cerca de 2,3 vezes maior que o consumo residencial do país, com índices de irradiação solar entre 1.500 – 2.500 kWh/m² superando os índices de países como a Alemanha 900 – 1.250 kWh/m², a Espanha 1.200 – 1.850 kWh/m² e a França 900 – 1.650 kWh/m².

Porém esse cenário vem mudando no Brasil em relação a outros países nos últimos anos, principalmente após entrar em vigor as normativas 482/2012 e 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no qual da autonomia para que o consumidor gere sua própria energia consumida e ainda compense a energia excedente que foi injetada na rede da distribuidora (JESUS, 2018).

Dentro desse contexto, neste trabalho pretende-se realizar um estudo de caso afim de que o consumidor consiga reduzir ou até mesmo eliminar o consumo proveniente da rede elétrica pública, pagando assim em sua fatura apenas a taxa de disponibilidade da rede que será de 50kW, por ser um consumidor bifásico. Este trabalho também tem a intensão de calcular em quanto tempo o consumidor terá um reembolso de seu dinheiro investido e se tal investimento é de fato rentável financeiramente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é abordar mais sobre a energia solar fotovoltaica, tendo em vista conhecer sobre seu princípio de funcionamento, afim de ao final dimensionar um sistema fotovoltaico onde o consumidor consegue gerar sua própria energia sem haver a necessidade de se desconectar da rede de distribuição da concessionária no município de Ji-Paraná no estado de Rondônia, conseguindo assim um desconto em sua fatura de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Mostrar os principais tipos de sistemas fotovoltaicos;
- Apresentar as vantagens e desvantagens dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede;
- Mostrar os componentes que compõem um sistema fotovoltaico conectado à rede;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede;
- Calcular o tempo de reembolso do valor investido;
- Realizar um cálculo de rentabilidade do valor investido no sistema fotovoltaico comparando com outro tipo de investimento.

1.2 Justificativa

Com o passar dos anos muitas tecnologias tem se tornado realidade, tecnologias essas que necessitam de fontes de alimentação de energia elétrica, isso acabou ocasionando um aumento na demanda energética mundial, é importante salientar também que a expectativa de vida dos seres humanos aumentou nos últimos anos isso impacta diretamente no setor elétrico pois quanto maior o número populacional de pessoas maior também será a demanda energética necessária para atender as necessidades.

Devido esse aumento na demanda energética, os sistemas fotovoltaicos vem ganhando um importante espaço no mercado, pois eles conseguem gerar energia de um modo distribuído, ou seja a energia é gerada próximo ao consumidor evitando assim investimentos em extensas linhas de transmissão e distribuição, os sistemas fotovoltaicos possuem uma característica importante, pois eles conseguem gerar energia sem emitir ruídos, e nem gases que prejudicam o meio ambiente, para a instalação de uma usina solar fotovoltaica não é necessário alagamento de grandes área, pois ela pode ser instalada aproveitando a estrutura da edificação já existente.

Segundo pesquisas recentes os sistemas fotovoltaicos ajudam a valorizar o valor do imóvel, o principal motivo é porque ele ajuda consideravelmente na redução da conta de energia elétrica.

1.3 Metodologia

A proposta deste trabalho é realizar um estudo de caso para uma futura implementação de uma usina micro geradora caso se mostre viável financeiramente, ele será embasado nas normas atuais vigentes, onde os resultados obtidos serão gerados através de métodos quantitativos, com o auxílio de tabelas, gráficos, equações entre outros métodos matemáticos, e métodos qualitativos também será realizado primeiramente uma pesquisa bibliográfica, através de artigos, dissertações, livros, revistas, sites e teses.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi elaborado e dividido em forma de cinco capítulos para uma melhor compreensão do conteúdo, onde o capítulo 1 é a parte introdutória do trabalho, portanto neste capítulo foi apresentada os objetivos, as justificativa e metodologias adotadas.

No capítulo 2 foi realizado uma revisão bibliográfica, onde se aborda desde os primeiros experimentos com a tecnologia fotovoltaica até como ela está implantada no cenário nacional e mundial.

No capítulo 3 é levado em consideração o princípio de funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, e também abordados os componentes dos sistemas fotovoltaicos.

No capítulo 4, é realizado o dimensionamento do estudo de caso proposto, e também calculado se o investimento é rentável financeiramente.

Finalizando no capítulo 5 é apresentado a conclusão do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico da geração fotovoltaica

Em 1839 Alexandre Edmond Becquerel, que era físico e cientista francês, iniciou as primeiras experiências com dispositivos fotovoltaicos mesmo sem ter a intensão de gerar energia através da luz. Becquerel ao realizar experimentos com eletrodos acabou notando que os raios luminosos eram capazes de gerar energia elétrica (SUNERGIA, 2017).

De acordo com Vallêra e Brito (2006), no ano de 1877 dois inventores norte-americanos W.G. Adams e R. E. Day utilizaram as propriedades fotocondutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz. Tratava-se de um filme de selênio depositado num substrato de ferro e com um segundo filme de ouro, semitransparente que servia de contato frontal. Apesar da baixa eficiência de conversão, da ordem de 0,5%, nos finais do século XIX o engenheiro alemão Werner Siemens (fundador do império industrial com o seu nome) comercializou células de selênio como fotômetros para máquinas fotográficas.

Em 1887 o físico alemão Heinrich Rudolf Hertz através de seus estudos confirmou o que Becquerel havia descoberto, que através da luz era possível emitir elétrons, batizando então esse efeito com o nome de efeito fotoelétrico. Porém foi o físico alemão Albert Einstein autor da explicação mais comprovatória sobre essa teoria no meio da comunidade científica, e como reconhecimento ele foi ganhador do prêmio Nobel de Física em 1921. Einstein em meio a seus estudos proporcionou não apenas que outros cientistas comesçassem a estudar física quântica como também possibilitou novos estudos sobre o próprio efeito fotoelétrico, resultando logo após em Energia Solar Fotovoltaica (SUNERGIA, 2017).

No ano de 1918 o cientista polonês Czochralski, apresentou um procedimento para poder fabricar cristais de silício, que são usados em larga escala nos dias atuais nas indústrias de semicondutores para componentes eletrônicos e células fotovoltaicas. Cientistas continuaram a realizar pesquisas sobre esse assunto, o que ocasionou a criação de células fotovoltaicas porém elas tinha um baixo índice de eficiência, durante mais de um século cientistas realizaram pesquisas para melhor compreender e aprimorar essa tecnologia, mas foi entre as décadas de 1970 a 1990 que os dispositivos fotovoltaicos tiveram grande desenvolvimento (VILLALVA, 2015).

Calvin Fuller, em 1954 deu início a moderna era da energia solar, ele era um químico dos Bells Laboratories nos Estados Unidos da América e criou o processo de dopagem do silício. Fuller com o auxílio de seus colegas do físico Gerald Pearson e que era seu colega no Bells Labs, produziram a junção p-n, vendo que esse experimento possuía um comportamento fotovoltaico Pearson compartilhou tal feito com seu colega Daryl Chapin, que era engenheiro do Bells Laboratories. Nesta época Chapin realizava estudos a fim de descobrir outra alternativa para alimentar eletricamente redes telefônicas remotas. Com o empenho dos três colegas surge as primeiras células fotovoltaicas com eficiência energética aproximadamente 6% (IST, 2004).

Após alcançarem tais resultados, foi criado o primeiro sistema fotovoltaico em Washington. A figura 1 ilustra a primeira aplicação do sistema fotovoltaico que foi aplicado na Geórgia onde o objetivo era de suprir a demanda energética da telefonia local, ele foi inaugurado em Outubro de 1955 e retirado em março do ano seguinte (VALLÊRA; BRITO, 2006).

Figura 1 - Primeira aplicação de uma célula solar de silício.



Fonte: Adaptado de (IST, 2004).

No início o custo do sistema fotovoltaico ainda era considerado alto, e por isso ele começou a ser utilizado em situações específicas, como por exemplo na indústria aeroespacial. Na década de sessenta devido a guerra fria entre os norte-americanos e os soviéticos a busca por novas tecnologias impulsionou bastante os estudos na criação de novas células solares com maior eficiência, e já na década de setenta Joseph Lindmeyer funcionário da Communications Satellite Corporation, inventou uma célula fotovoltaica de silício com uma eficiência de 50% a mais do que as existentes na época. Lindmeyer se desligou da empresa na qual trabalhava e junto com Peter Varadi fundou a Solarex em 1973 com o objetivo de expandir a utilização das células solares para fins civis (IST, 2004).

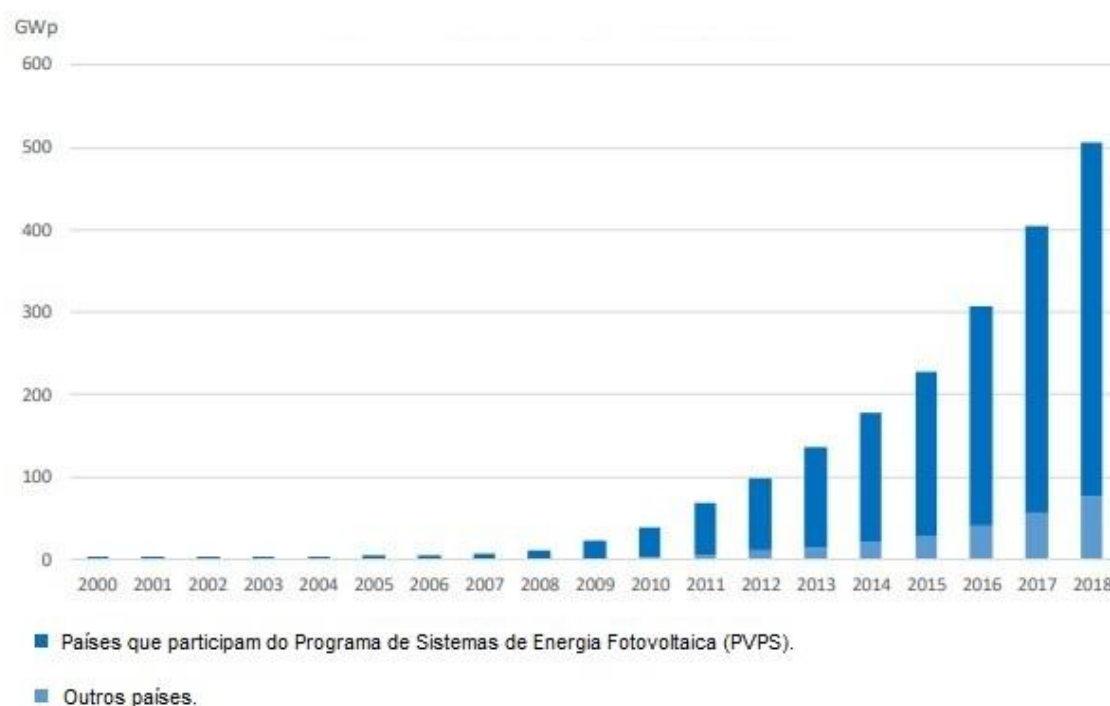
A crise do petróleo de 1973 renovou e ampliou o interesse em aplicações terrestres para a energia solar fotovoltaica. Porém, para tornar economicamente viável essa forma de conversão de energia, seria necessário, naquele momento, reduzir em até 100 vezes o custo de produção das células fotovoltaicas em relação ao custo daquelas células usadas em aplicação espaciais. Nos Estados Unidos, algumas empresas de petróleo resolveram diversificar seus investimentos, incluindo a produção de energia a partir da radiação solar em suas áreas de negócios (PINHO; GALDINO, 2014).

Desde então o mercado de energia elétrica busca incansavelmente melhorias e inovações para geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas e limpas, e isso tem impulsionado novas pesquisas para o desenvolvimento de células fotovoltaicas mais eficientes e baratas (VILLALVA, 2015).

2.2 Cenário Mundial

A capacidade total instalada no final de 2018 crescia e já atingia a marca de 500 GW conforme ilustra o Gráfico 1. A nível mundial a China continua liderando com uma capacidade acumulada de 176,1 GW, seguida pela União Europeia (115,0 GW), EUA (62,2 GW), Japão (56,0 GW) e Índia (32 9 GW). Na União Europeia, a Alemanha lidera com 45,4 GW, seguida pela Itália (20,1 GW) e pelo Reino Unido (13,0 GW). A Austrália atingiu 11,3 GW. Todos os outros países estão abaixo da marca de 10 GW.

Gráfico 1 - Evolução global da instalação dos painéis fotovoltaicos.

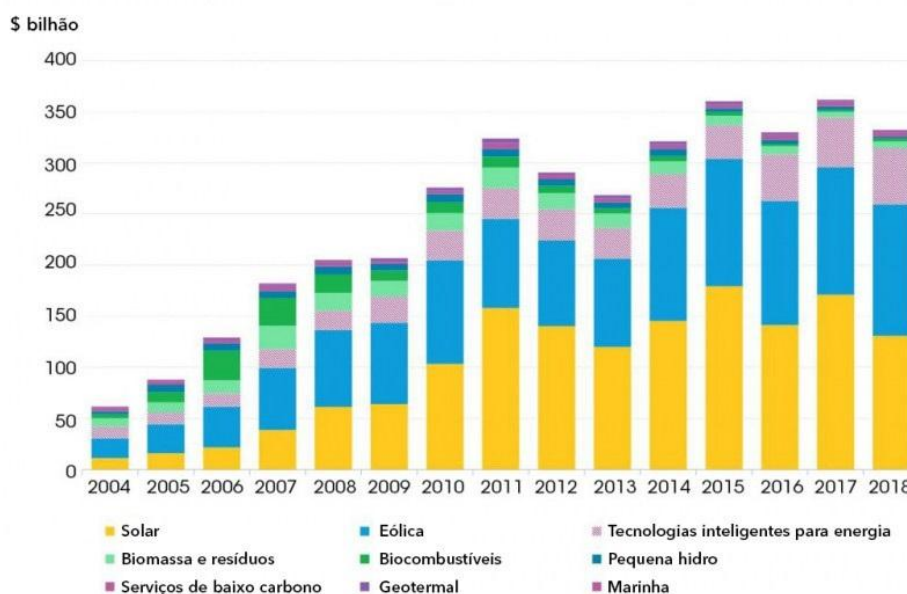


Fonte: Adaptado de (IEA, 2019).

Cerca de 85% da capacidade fotovoltaica global é de países que participam do Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica (PVPS) da Agência Internacional de Energia (IEA), os países que não fazem parte do programa tem uma representatividade de pelo menos 75,9 GW adicionais, sendo eles: Índia com pelo menos 32,9 GW, Reino Unido com 12,9 GW, Grécia com 2,7 GW, Taiwan com 2,7 GW, Paquistão com 2,4 GW, República Tcheca com 2,2 GW, Brasil com 1,2 GW, Ucrânia com 1,6 GW, Romênia com 1,4 GW e Bulgária com 1,0 GW, entre outros países que instalaram sistemas fotovoltaicos porém não atingiram a escala de GW (IEA, 2019).

O ano de 2018 se findou com um investimento mundial em energias renováveis de aproximadamente US\$332,1 bilhões, embora tenha sofrido uma queda de 8% comparado com o ano de 2017, o ano de 2018 foi o quinto ano seguido que os investimentos em energias renováveis ultrapassaram a marca de US\$300 bilhões conforme ilustra a Gráfico 2. Os contratos na área de energia solar obtiveram uma queda de 24% em dólares e mesmo assim bateu o recorde na capacidade de geração fotovoltaica passando pela primeira vez a barreira dos 100GW conforme dados oficiais da empresa de pesquisa BloombergNEF (NEF, 2019).

Gráfico 2 - Novos investimentos globais em energia limpa.



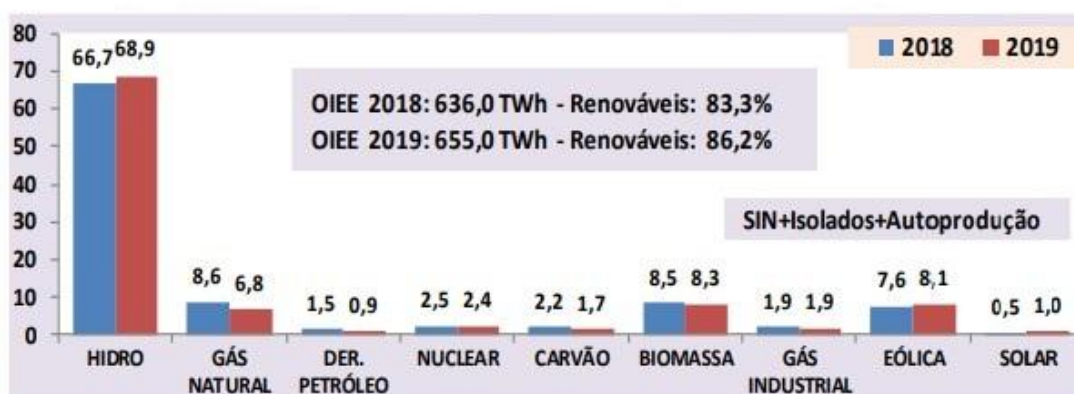
Fonte: Adaptado de NEF (2016).

O setor de energia solar foi o maior afetado com uma queda total de investimento de 24%, para US\$130,8 bi. Um fato importante que levou a tais declínios foi que o custo da instalação de MW de capacidade fotovoltaica caiu 12% em 2018, devido à grande quantidade de módulos fotovoltaicos no mercado mundial os fabricantes reduziram os preços. A China que é uma grande potência em energia solar, teve um declínio em investimentos no setor de energia solar de 53% para US\$40,4bi em 2018 em virtude de mudança na política do país (NEF, 2019).

2.2.1 Cenário Atual Brasileiro

Ao se comparar o Brasil com o resto do mundo, nota-se que o Brasil é um país no qual sua matriz energética é predominantemente renovável, onde a fonte hídrica é responsável por mais da metade da oferta interna de energia elétrica. Segundo o boletim mensal de energia disponibilizado pelo MME, cujo o mês base é fevereiro do ano de 2019, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) deve chegar na faixa de 655 TWh, superando em 3% o ano de 2018. A geração de energia através de fontes renováveis devem ultrapassar 85% conforme ilustra a Gráfico 3, tendo em vista que a eólica e a solar continuam projetando um aumento de suas participações no sistema (BRASÍLIA, 2019).

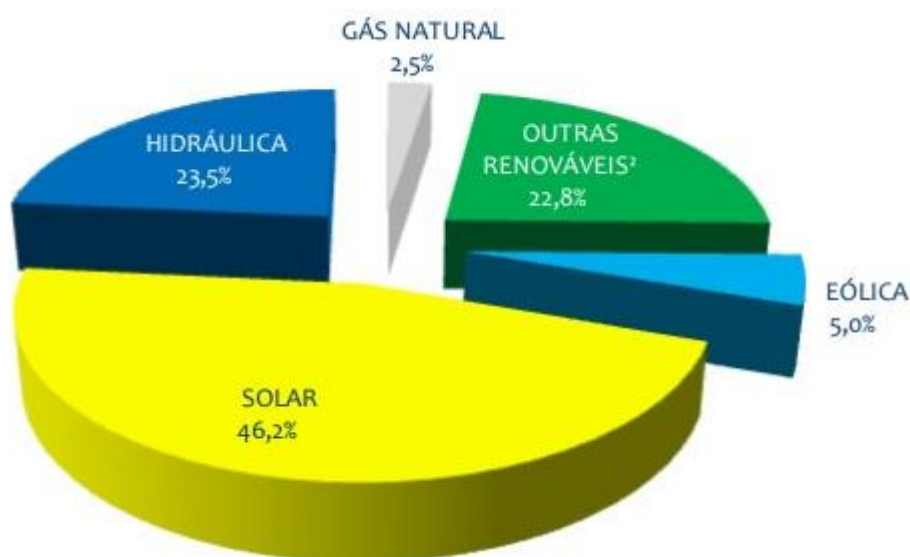
Gráfico 3 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte (%).



Fonte: Adaptada de BRASÍLIA (2019).

De acordo com a Epe (2018), autora do Balanço Energético Nacional (BEN) 2018 ano base 2017, a Micro e Mini Geração Distribuída atingiu 359,1 GWh com um aumento de 245% comparada ao ano de 2016 e uma potência instalada de 246,1MW. Onde a fonte solar fotovoltaica obteve destaque com 165,9 GWh e 174,5 MW de geração e potência instalada respectivamente correspondendo a 46,2% na participação na geração distribuída em 2017 conforme mostra a Gráfico 4.

Gráfico 4 - Participação de cada fonte na geração em 2017.



Fonte: MME (2018).

Segundo a Absolar (2019) através do infográfico atualizado em 02/04/2019, mostra que o Brasil conseguiu ingressar no ranking mundial do setor solar fotovoltaico no ano de 2017, um marco importante pois a partir de tal conquista as chances de receber novos investimentos nesse setor tornam-se maiores.

3. Princípio de funcionamento

3.1. Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Atualmente os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias diferentes, sendo elas: sistemas conectados à rede também conhecido por sistemas *on grid* ou *grid-tie*; os sistemas isolados ou também conhecidos por sistemas autônomos ou *off grid*; e os sistemas híbridos.

3.1.1 Sistemas conectados à rede elétrica

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são muito utilizados em residências e comércios, pois a energia é gerada de forma descentralizada, ou seja, ela é gerada no próprio local da unidade consumidora. O objetivo desse tipo de sistema é gerar eletricidade afim de conseguir reduzir ou até mesmo eliminar o consumo proveniente da rede elétrica pública.

Para se implantar um sistema conectado à rede em algum local é necessário que esse sistema atenda as atuais normas vigentes sendo as principais, a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, e também a ANEEL nº 687/2015 que é um aperfeiçoamento da 482/2012.

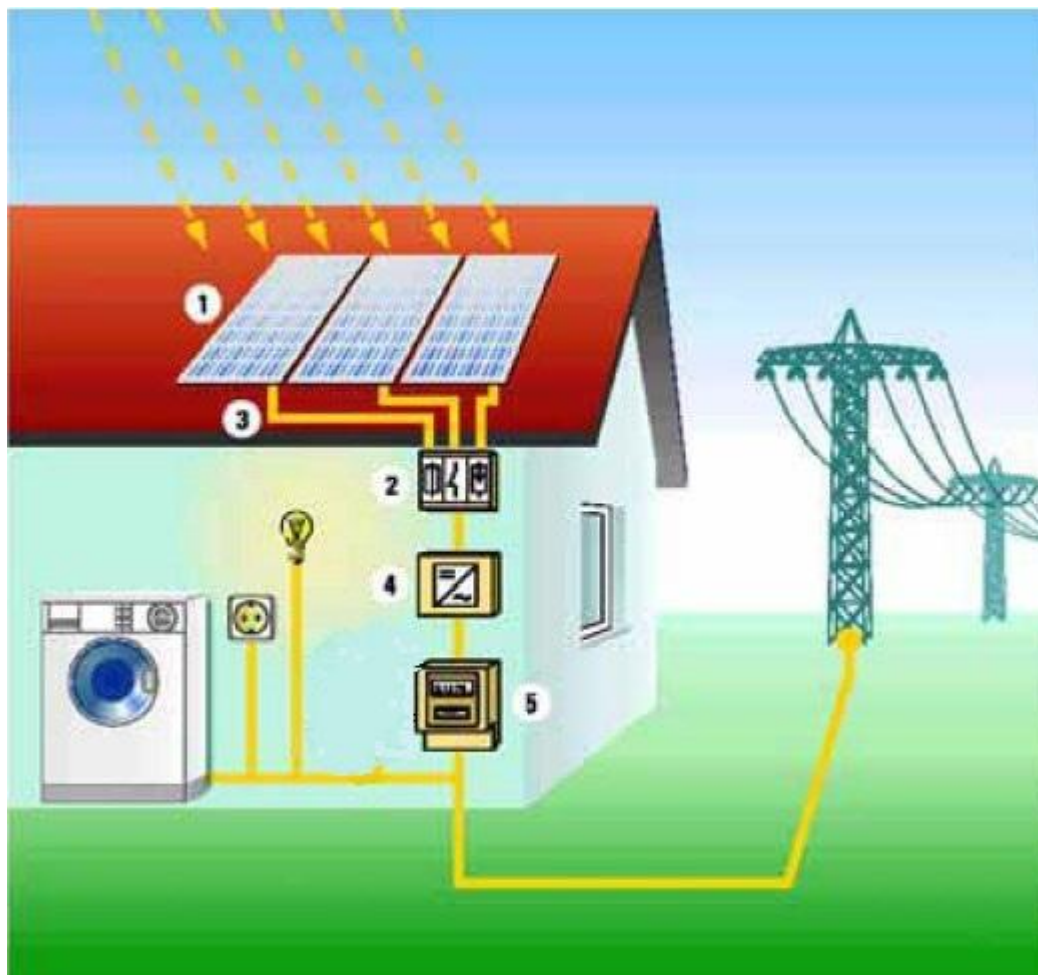
Conforme a ANEEL (2015), esse tipo de sistema pode ser classificado de acordo com sua potência instalada em:

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.

Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, os principais componentes necessários são ilustrados na Figura 2:

Figura 2- Estrutura principal de um sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: (TORRES, 2012).

1. Módulos fotovoltaicos;
2. Quadros de distribuição (*string box*);
3. Cabos CC e CA;
4. Inversor CC-CA;
5. Medidor bidirecional.

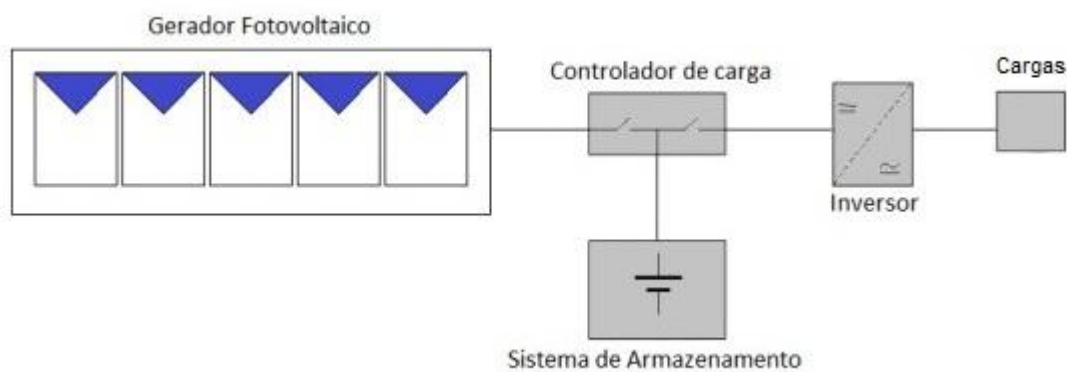
3.1.2 Sistemas isolados

Os sistemas isolados são utilizados em locais sem conexões com a rede elétrica, no Brasil se tem muitos lugares que ainda não são atendidos pela rede elétrica, em locais assim o sistema fotovoltaico isolado pode ser utilizado até mesmo para substituir os geradores movidos a diesel, pois os sistemas isolados tem a vantagem de não emitir ruídos e não poluem o meio ambiente.

Para esse tipo de sistema geralmente necessita de um modo para armazenar a energia gerada, por isso muitas vezes eles são compostos por baterias ou se forem utilizados para irrigação podem conter reservatório de água, porém dependendo de sua aplicação pode não se fazer necessário o armazenamento de energia.

Os principais componentes dos sistemas fotovoltaicos autônomos são ilustrados na Figura 3 que consiste basicamente nos módulos fotovoltaicos, o controlador de carga, o inversor, as baterias, e as cargas que serão alimentadas.

Figura 3- Componentes de um sistema fotovoltaico autônomo.



Fonte: Adaptado de (PINHO; GALDINO, 2014).

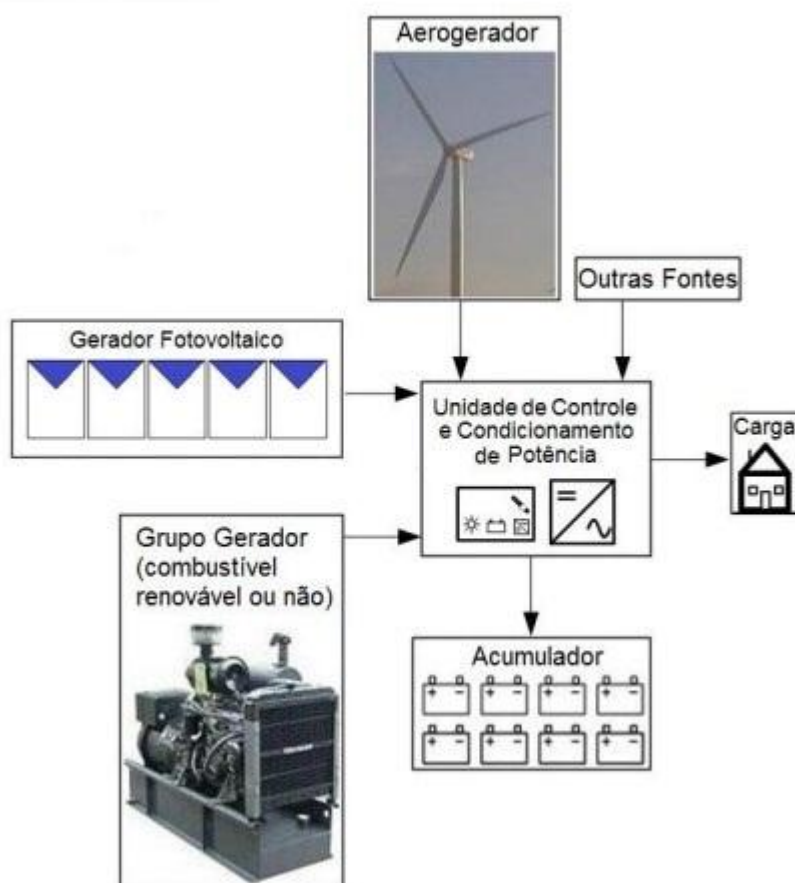
3.1.3 Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos são utilizados geralmente para atender consumidores que estão isolados do sistema de distribuição de energia elétrica, através do sistema híbrido o consumidor consegue ter uma maior confiabilidade do fornecimento de energia pois nesse tipo de sistema se tem mais de uma fonte de geração de energia

elétrica, sendo assim caso falte energia de uma fonte a outra consegue suprir essa falta temporária (SANTOS, 2018).

Esse tipo de sistema pode ser formado por várias fontes de energia tais como, solar-eólico, solar-diesel, solar-eólico-diesel, entre outras combinações.

Figura 4 – Exemplo de sistema híbrido.



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

3.2 Radiação solar

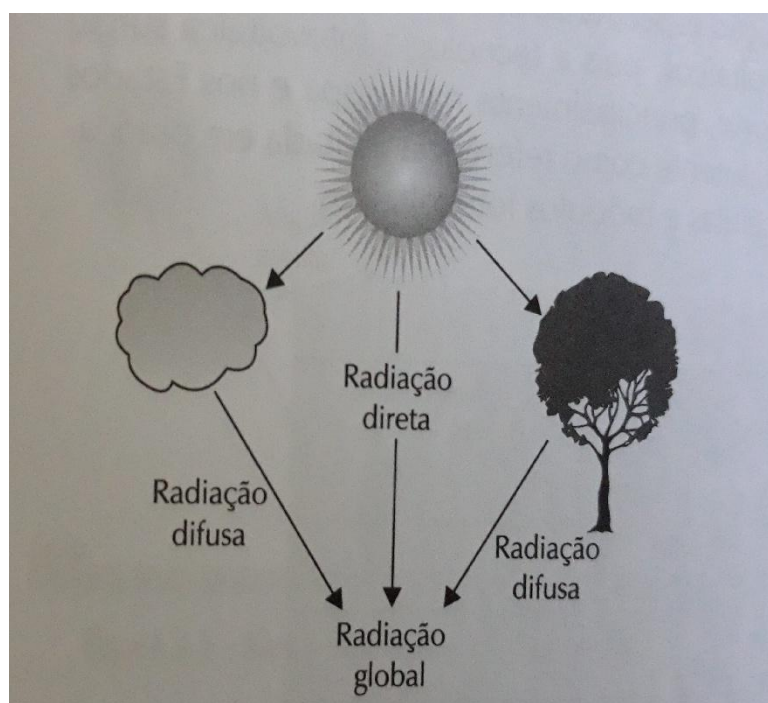
A principal fonte de energia do planeta terra é o sol anualmente ele emite uma quantidade muito grande de energia solar, a radiação solar é considerada uma fonte inesgotável de luz e calor e ao mesmo tempo oferece um enorme potencial energético a ser aproveitado, a radiação pode ser utilizada através de sistemas de captação e conversão em outras forma de energia (térmica, elétrica, etc.), e uma das formas de

conversão é a energia solar captada por meio do efeito fotovoltaico onde é convertida diretamente a radiação solar em eletricidade (CRESESB, 2008).

A disseminação da energia do sol na terra ocorre por meio da radiação eletromagnética, cerca de 97% da radiação solar possui um comprimento de onda de 0,3 a 3,0 μ m, o que pode ser definida como radiação de ondas curtas. Para melhor compreensão sobre a radiação na superfície terrestre é interessante saber sobre sua composição (FADIGAS, 2014).

A radiação que chega a superfície horizontal 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. A radiação global consiste no somatório da radiação direta e da radiação difusa como mostra a Figura 5. Sendo a radiação direta aquela onde os raios solares incidem diretamente no plano horizontal em linhas retas, já a radiação difusa é aquela onde os raios solares incidem no plano horizontal após passar por algum processo de difração na atmosfera ou de reflexão da luz na poeira, nuvens entre outros objetos (VILLALVA, 2015).

Figura 5 - A radiação global é a soma das radiações direta e difusa

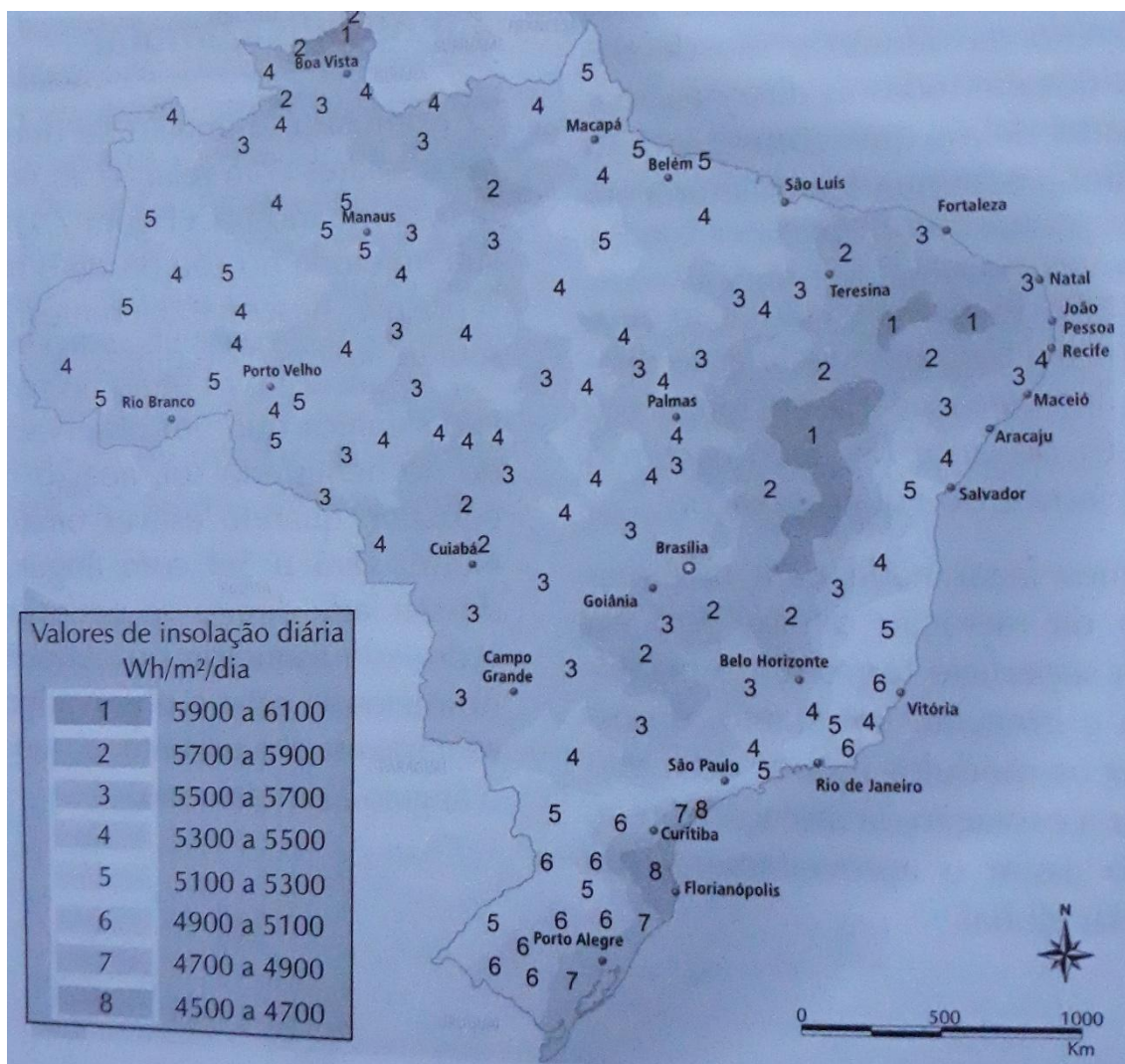


Fonte: (VILLALVA, 2015).

De acordo com Fadigas (2014), devido a terra está em constante movimento e devido a inclinação de seu eixo de rotação comparada ao plano da órbita em torno do

sol, os níveis de radiação solar no plano horizontal da terra, mudam conforme as estações do ano, e também variam de acordo com a região em virtude das diferenças de latitude, altitudes como ilustra a Figura 6, e também mudam devido a condições meteorológicas.

Figura 6 - Mapa de insolação do território brasileiro.



Fonte: (VILLALVA, 2015).

A grandeza utilizada para quantificar a radiação solar é a Irradiância ou também chamada de irradiação sua unidade de medida é W/m² (watt por metro quadrado), que é uma unidade de potência por área. No plano horizontal da superfície terrestre o valor da irradiação é entorno de 1000 W/m², valor esse adotado como padrão na indústria

fotovoltaica para classificação e avaliação das células e módulos fotovoltaicos (VILLALVA,2015).

Já a grandeza utilizada para expressar a energia solar incidente em uma determinada superfície plano ao longo de um determinado intervalo de tempo é a insolação e sua unidade de medida é Wh/m² (watt-hora por metro quadrado, posteriormente veremos que a medida da insolação é de grande importância para o dimensionamento de os sistemas fotovoltaicos, pois as tabelas, mapas solares e ferramentas computacionais utilizados para saber os valores diários são expressos geralmente em Wh/m²/dia (watt-hora por metro quadrado por dia), (VILLALVA,2015).

3.3 Efeito Fotovoltaico

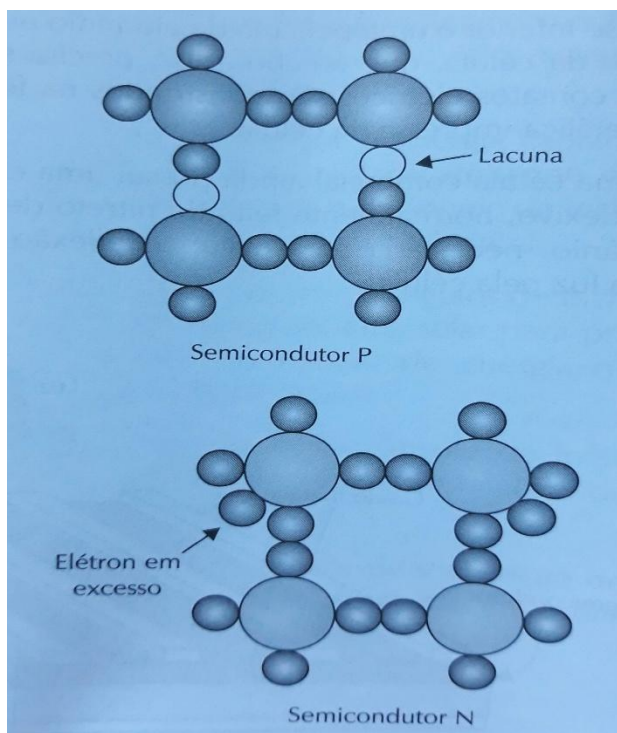
O efeito fotovoltaico ocorre através das células solares pois são elas que realizam a conversão da radiação solar em energia elétrica. Para que esse processo possa ocorrer é necessário a utilização de materiais semicondutores como o silício, o arseneto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio, ao qual são submetidos ao processo de dopagem com o objetivo que tais materiais tenham melhores condições de realizar o efeito fotovoltaico. Estima-se que 95% das células solares comercializadas no mundo sejam de silício, devido esse ser um material encontrado em grandes proporções na Terra, mas ele não é um elemento químico puro, ele pode ser encontrado na areia de sílica em forma de dióxido de silício, ou quando combinado com outros elementos mais o oxigênio, formando então os silicatos sendo os principais o quartzo, asbestos, zeolita e a mica (IST; DGS; UE, 2004).

Pelo fato dos materiais utilizados nas células solares precisarem ter a maior pureza possível, é necessário separar do dióxido de silício todo o oxigênio não desejado. Assim, a areia de sílica é aquecida e fundida junto com pó de carvão, criando-se desse modo o silício metalúrgico com uma pureza de 98%. Portanto, 2% de impurezas no silício para utilizações eletrônicas ainda é considerado uma porcentagem muito grande, sendo assim necessário purificar o silício em estado bruto por meio de vários processos químicos. O silício de alta qualidade é obtido dessa maneira, e ele pode ser processado de diferentes modos para a produção de células monocristalinas ou policristalinas (IST; DGS; UE, 2004).

Os materiais semicondutores possuem uma característica interessante que é a existência de uma banda de Valência totalmente preenchida pelos elétrons e ao mesmo tempo uma banda de condução totalmente vazia. A rede cristalina é formada a partir do momento que os quatro elétrons de ligação do átomo de silício se ligam com seus vizinhos, porém quando adicionados átomos com cinco elétrons de ligação a exemplo do fósforo, passa a ter um elétron à mais onde ele não conseguirá ser emparelhado desse modo devido à baixa energia térmica, este elétron fica livre e vai em direção a banda de condução. Em virtude desse fenômeno, o fosforo é classificado como um dopante de elétrons, conhecido como dopante n (CRESESB, 2008).

Portanto, ao introduzir átomos com falta de elétrons para completar as ligações com os átomos de silício da rede, como é o caso do boro que possui apenas três elétrons de ligação, acaba-se gerando uma lacuna, lacuna essa que se desloca de lugar devido à pouca energia térmica e o elétron do lugar vizinho passar a assumir esta posição. Assim caracteriza o boro como um aceitador de elétrons ou dopante p (CRESESB, 2008).

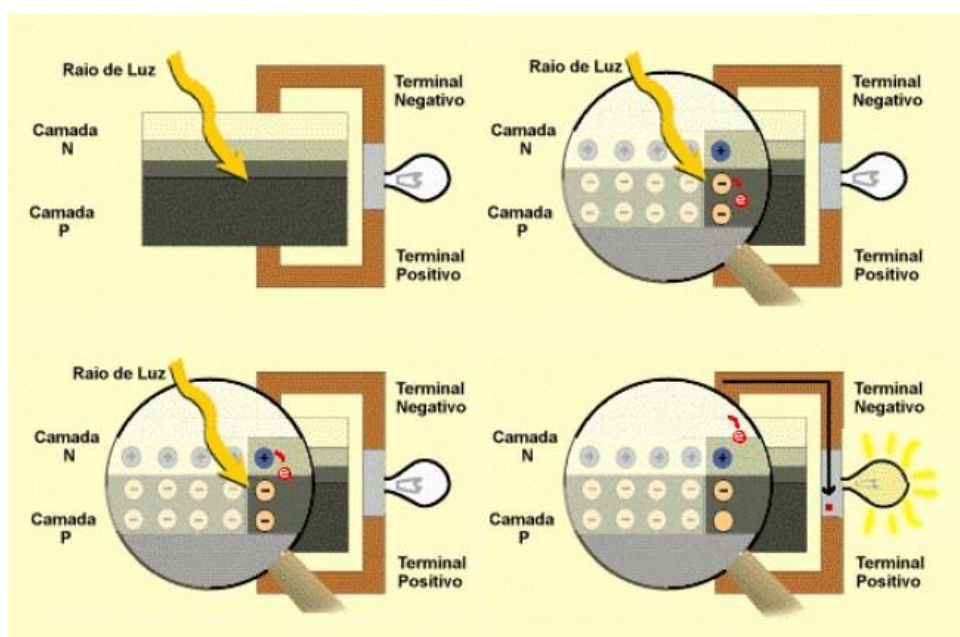
Figura 7 - Estruturas moleculares dos semicondutores P e N.



Fonte: (VILLALVA, 2015).

Se combinarmos as duas impurezas no mesmo cristal intrínseco de silício, formamos uma Junção P-N. Na área de contato da junção, os elétrons livres do semiconductor Tipo-N fluem para os buracos do semiconductor Tipo-P até que se forme um campo elétrico que impede o fluxo permanente de elétrons. Se a Junção P-N for exposta à radiação solar, os fótons com energia superior ao gap liberam mais buracos-elétrons livres que criam uma corrente elétrica na área da junção. Alguns dos elétrons liberados são recombinados, se não forem capturados. Além disso, nem todo o espectro da radiação é aproveitado. Fótons com energia superior ou inferior à necessidade geram calor desnecessário, que diminui a eficiência da célula fotovoltaica (SOUZA, 2017).

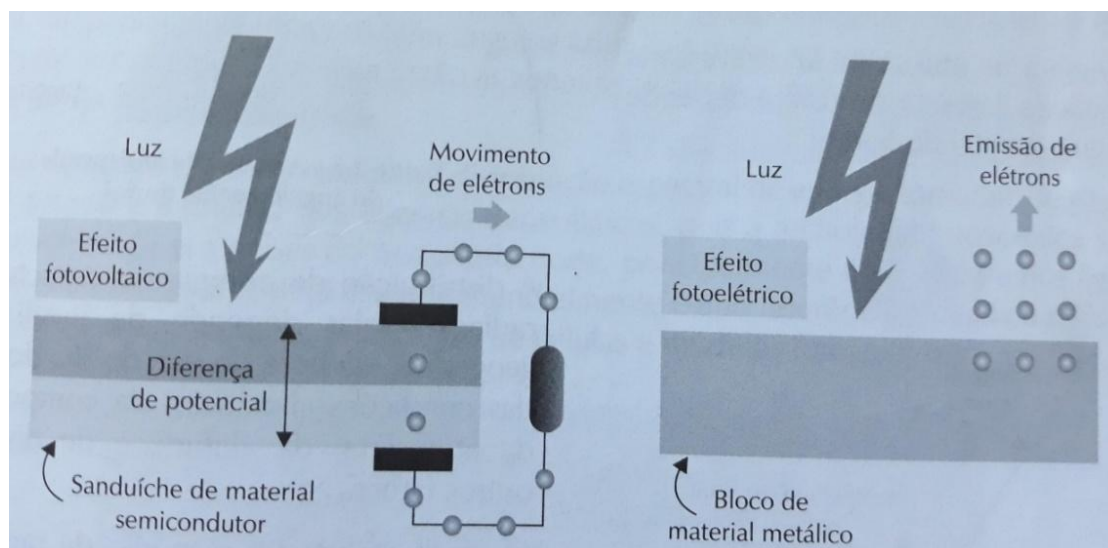
Figura 8 - Efeito fotovoltaico na junção pn.3



Fonte: CRESESB (2006).

O efeito fotoelétrico é por muitas das vezes confundido com o efeito fotovoltaico porém é importante salientar que embora eles estejam relacionados, são fenômenos distintos pois o efeito fotoelétrico acontece em materiais metálicos e não metálicos sólidos, líquidos ou gasosos. Ao incidir a luz sobre o material ocasiona-se a remoção de elétrons, porém não é capaz de se criar uma tensão elétrica sobre o material, conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico.



Fonte: (VILLALVA, 2015).

3.4 Células e Módulos Fotovoltaicos

A célula fotovoltaica pode ser definida como a unidade básica projetada e desenvolvida para realizar o funcionamento de um sistema fotovoltaico, que só é possível devido as células solares que nele integram, pois é através delas que ocorrem o efeito fotovoltaico do qual a radiação solar é convertida diretamente em energia elétrica. Durante esse processo são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arseneto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio, materiais esses que sofrem um processo de dopagem afim de se criar um meio adequado para que possa ocorrer o efeito fotovoltaico (IST; DGS; UE, 2014).

Devido uma única célula não ser suficiente para gerar muita das vezes a energia necessária os fabricantes agrupam várias células, e as encapsulam formando assim um módulo fotovoltaico, ou seja o módulo nada mais é que um conjunto de células solares, interligadas eletricamente para que possa gerar eletricidade (IDEAL, 2016). Os módulos usados comercialmente diferem entre si por vários fatores como por exemplo a capacidade em gerar potencial, conhecido como potência-pico, fator de forma, área, etc. Esses valores variam de acordo com os fabricantes e de acordo com o tipo de célula fotovoltaica utilizada (SOUZA, 2017).

Já os painéis solares é a junção de dois ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente, e montados formando uma única estrutura. O conjunto de módulos, juntamente com equipamentos que complementam o sistema fotovoltaico

(inversores e cabos), formam uma usina fotovoltaica. Importante salientar que já há diversas instituições especializadas em medir a qualidade dos componentes de sistemas fotovoltaicos, inclusive no Brasil desde 2010 os módulos mais eficientes recebem o selo Procel de economia de energia (IDEAL, 2016).

A energia produzida pelas células fotovoltaicas podem ser utilizada de inúmeras maneiras como alimentando aparelhos elétricos, carregando banco de baterias ou podem ser usadas para alimentar de um modo geral a necessidade de uma residência, condomínio e cidades que estejam conectadas a rede elétrica. Atualmente as células fotovoltaicas que são produzidas em grandes quantidades para fins comerciais são fabricadas de silício monocristalino, policristalino ou amorfo, porém há outras tecnologias e materiais como por exemplo as chamadas células orgânicas que utilizam polímeros e outros materiais combinados aos semicondutores, diversas pesquisas estão sendo realizadas afim de descobrirem novos materiais, com uma maior eficiência e confiabilidade para a fabricação das células fotovoltaicas destinadas a produção comercial (VILLALVA, 2015).

3.4.1 Células fotovoltaicas comercialmente disponíveis

Desde o descobrimento e entendimento sobre o efeito fotovoltaico, começou uma corrida contra o tempo com o objetivo de se criar células fotovoltaicas com uma eficiência cada vez maior, atualmente já se tem células com uma eficiência de até 44,5 % porém esse tipo de célula não está ainda disponível em larga escala até mesmo devido seu valor ser inviável. Atualmente as células mais utilizadas são as células de silício monocristalino, células de silício policristalino e as células de filmes finos.

3.4.1.1 Células de silício monocristalino

Segundo Villalva (2015), para que se possa obter o produto final da célula de silício monocristalino, é necessário vários processos químicos que vão desde o aquecimento dos blocos de silício ultrapuro onde posteriormente são sujeitos ao método de *Czochralski*, que é um processo para obtenção do lingote de silício monocristalino.

Esse lingote é composto de uma estrutura cristalina única e há organização molecular homogênea, o lingote tem seus cantos recortados como um octógono e logo após é serrado em várias lâminas de silício puro (Wafers), em seguida os wafers são submetidos a outros processos químicos para receberem impurezas dos dois lados com intuito de se formar às camadas de silício p e n (VILLALVA, 2015).

A Figura 10 ilustra um pouco sobre o processo de fabricação das células fotovoltaicas monocristalinas, onde se tem da esquerda para a direita, a) Minério de silício purificado, b) Forno de Czochralski, c) Lingote de silício; d) Wafers; e) Célula fotovoltaica monocristalina.

Figura 10 – Processo de fabricação de células monocristalinas.



Fonte: (SOLAR, 2011).

Informações complementares de acordo com (SOUZA, 2017):

- **Eficiência:** 15 – 18% (Czochralski)
- **Forma:** Geralmente arredondadas, ou em formato de faixa de pizza.
- **Tamanho:** geralmente 10x10 cm² ou 12,5x12,5 cm²; diâmetro 10, 12,5 ou 15 cm. Espessura: 0,3 mm.
- **Cor:** geralmente azul-escuro ou quase preto (com antirreflexo), cinza ou azul-acinzentado (sem antirreflexo).

3.4.1.2 Células de silício policristalino

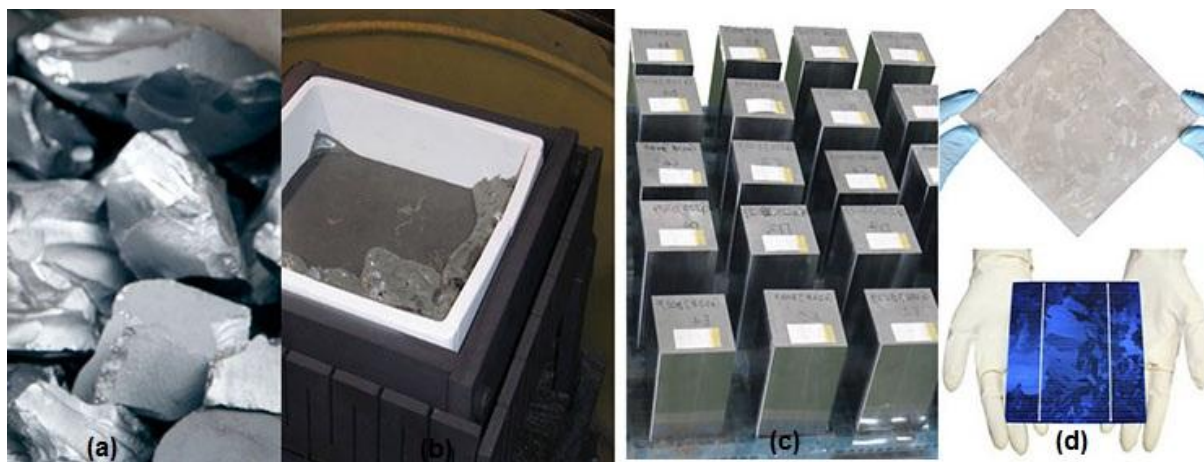
O processo de fabricação das células de silício policristalino é mais barato do que o usual na fabricação do monocristalino. O lingote de silício policristalino é formado por pequenos cristais com tamanhos e orientações diferentes, os processos para obtenção do produto final é similar ao do silício monocristalino, com o corte,

depois os processos químicos para receberem impurezas dos dois lados, (VILLALVA, 2015).

O processo de fundição do silício policristalino é diferente. O silício purificado é fundido em grandes blocos. Células de silício policristalino são o tipo mais comum usado em painéis fotovoltaicos e são menos eficientes do que as feitas de silício monocristalino (SOLAR, 2011).

A Figura 11 ilustra um pouco sobre o processo de fabricação das células fotovoltaicas policristalinas, onde se tem da esquerda para a direita, a) Minério de silício purificado; b) Fundição em bloco do silício; c) "tijolos de silício"; d) wafers; e) célula fotovoltaica policristalino.

Figura 11 – Processo de fabricação de células policristalinas.



Fonte: (SOLAR, 2011).

Informações complementares de acordo com (SOUZA, 2017):

- **Eficiência:** 13 – 15% (com antirreflexo)
- **Forma:** geralmente quadrada.
- **Tamanho:** 10x10 cm², 12,5x12,5 cm², 15x15 cm². Espessura: 0,3 mm.
- **Estrutura:** durante o resfriamento, formam-se vários cristais de silício com orientações diversas. Essa formação multicristalina é facilmente reconhecida.
- **Cor:** azul (com antirreflexo), cinza prateado (sem antirreflexo).

3.4.1.3 Células de filmes finos

Na tecnologia das células de filmes finos o material semiconductor é aplicado em um substrato, normalmente o vidro por meio da deposição por vaporização, deposição catódica ou banho eletrolítico, permitindo assim o uso de pequenas quantidades de matéria-prima para fabricação dos módulos, evitando também os desperdícios de matéria-prima que geralmente ocorrem na serragem dos wafers cristalinos. Os materiais semicondutores mais utilizados são o silício amorfo (a-Si), o silício monocristalino, o disseleneto de cobre e índio (gálio) (CIS-CIGS), o telureto de cádmio (CdTe) e também células híbridas, (SOUZA, 2017 e VILLALVA, 2015).

De acordo com Villalva (2015), os dispositivos de filmes finos podem ser produzidos em qualquer tamanho sendo restrito apenas a área da base para a fabricação do módulo, essa tecnologia apresenta grandes vantagens se comparada com as tecnologias citadas anteriormente como o melhor aproveitamento da matéria-prima, ela utiliza uma quantidade menor de energia para sua fabricação porque as temperaturas de fabricação são entre 200 °C e 500 °C, de modo geral possui seu processo de fabricação mais simples e barato.

As células de filmes finos possuem também um melhor aproveitamento da luz solar para níveis baixos de radiação e para radiação do tipo difusa, e por ser formada por uma única célula essa tecnologia é menos sensível ao efeito de sombreamento, em contrapartida ela possui uma menor vida útil por sofrer degradação de modo mais acelerado do que os de silício monocristalino e o silício policristalino (VILLALVA, 2015).

Informações complementares de acordo com (SOUZA, 2017):

- **Eficiência:** 9 – 14% de eficiência do módulo;
- **Forma:** formato livre;
- **Tamanho de acordo com o material semiconductor:**

Silício amorfo (a-Si), tamanho: módulo standard 0,77x2,44 m²; módulos especiais 2x3 m². Espessura: 1-3 mm para o substrato (plástico, vidro, etc.), com um revestimento de silício amorfo de aproximadamente 0,001 mm.

Cobre e índio (gálio) (CIS-CIGS), tamanho: geralmente entre 1,2 x 0,6 m². Espessura: 3 mm para o substrato com revestimento de 0,003 mm.

Telureto de cádmio (CdTe), tamanho: geralmente 1,2 x 0,6 m². Espessura: 3 mm para o substrato com 0,008 mm de revestimento.

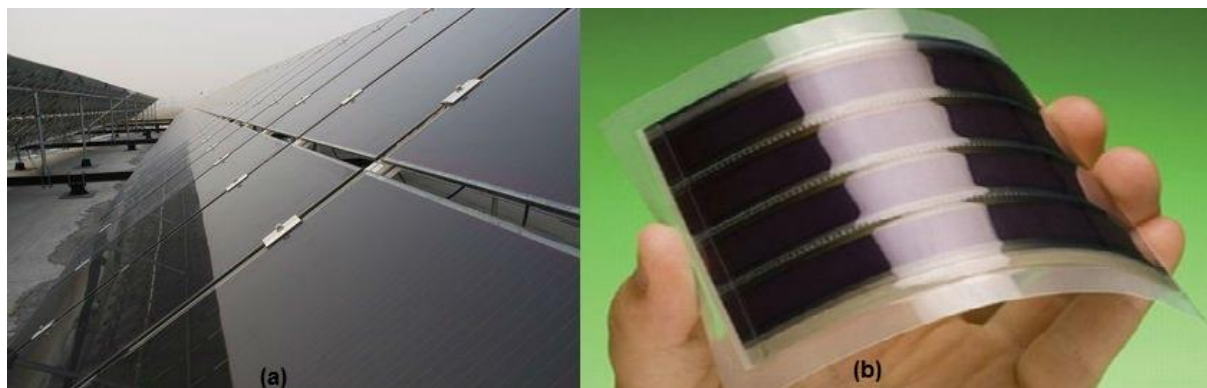
- **Cor de acordo com o material semicondutor:**

Silício amorfo (a-Si), castanho avermelhado a azul escuro.

Cobre e índio (gálio) (CIS-CIGS), preto.

Telureto de cádmio (CdTe), verde-escura a preto.

Figura 12 - Painel solar fotovoltaico de filmes finos

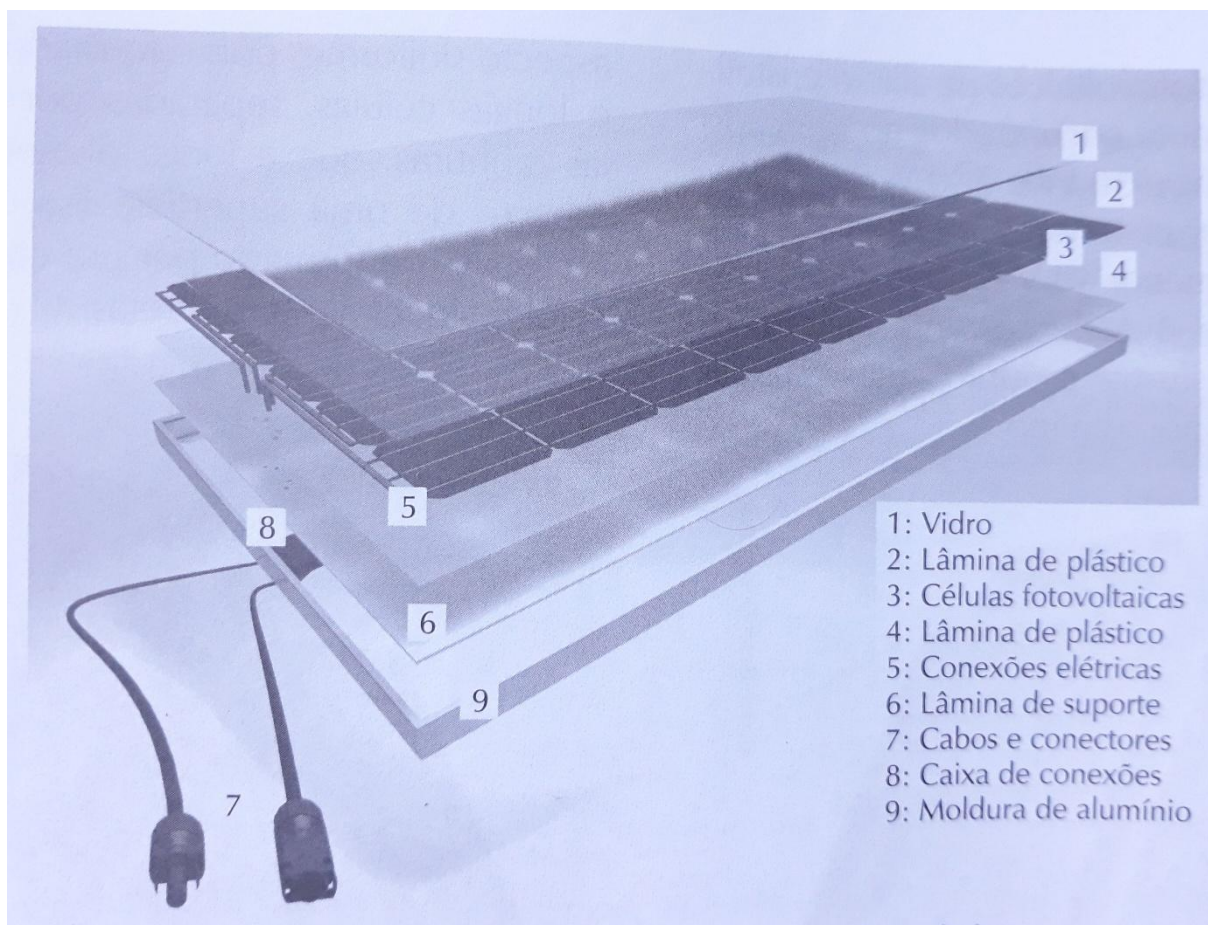


Fonte: Adaptado de (SOL CENTRAL, 2015).

3.4.2 Módulo Fotovoltaico

Um módulo fotovoltaico é formado por um conjunto de células normalmente ligadas em série para deste modo fornecer uma maior tensão, esse conjunto de células são montados em uma estrutura rígida e conectadas eletricamente. A Figura 13 mostra como é a estrutura típica de um módulo fotovoltaico, onde as células e também suas conexões são envolvidas em lâminas plásticas e comprimidas. O módulo é envolvido por uma lâmina de vidro e por último recebe uma estrutura de vidro, já na parte de trás é acoplado uma caixa com os cabos conectores do módulo, geralmente padronizados com o objetivo de facilitar assim a conexão dos módulos em série (VILLALVA, 2015).

Figura 13 Componentes de um módulo fotovoltaico



Fonte: (VILLALVA, 2015).

A soma dos módulos conectados em série vai resultar na tensão de operação do sistema de corrente contínua (CC), vale ressaltar que a corrente do sistema fotovoltaico é definida pela conexão em paralelo dos painéis individuais ou de *strings* (conjunto de módulos conectados em série). Geralmente a potência instalada é determinada em CC e é resultado da soma de potência nominal dos módulos individuais. Os módulos fotovoltaicos são fabricados para poderem operar em média de 25 anos (RÜTHER, 2004).

3.4.2.1 Propriedades elétricas dos módulos fotovoltaicos

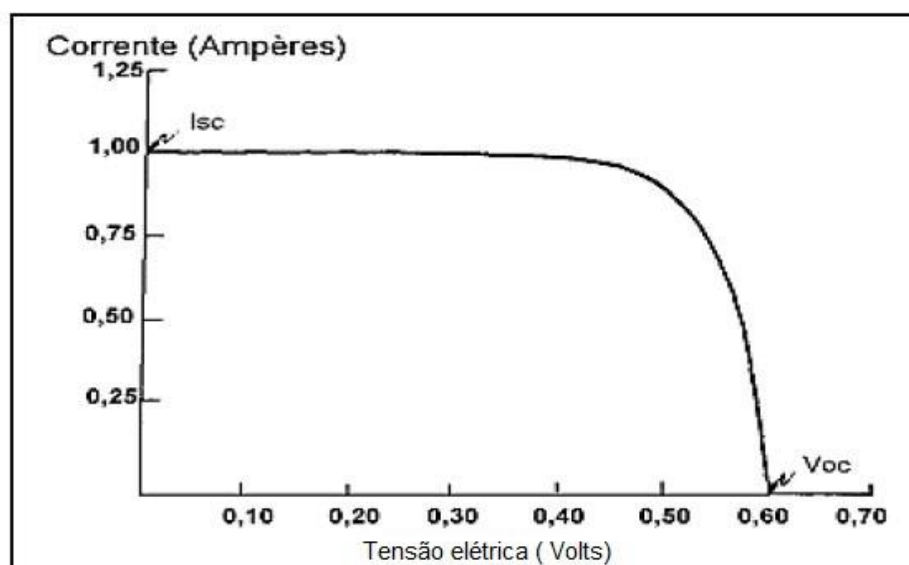
Em geral a potência dos módulos é dada pela potência de pico, representada em W_p , porém ela não é o único parâmetro para comparar os diferentes tipos de

módulos sendo necessário levar em consideração também alguns fatores, (CRESESB, 2008), como por exemplo:

- Voltagem de Circuito Aberto (V_{oc});
- Corrente de Curto Circuito (I_{sc});
- Potência Máxima (P_m);
- Voltagem de Potência Máxima (V_{mp});
- Corrente de Potência Máxima (I_{mp}).

A condição padrão para se obter as curvas características dos módulos é definida por uma irradiância de 1.000 W/m^2 , temperatura da célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (com tolerância de $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) e espectro solar para massa de ar (AM) = 1,5 (TORRES, 2012).

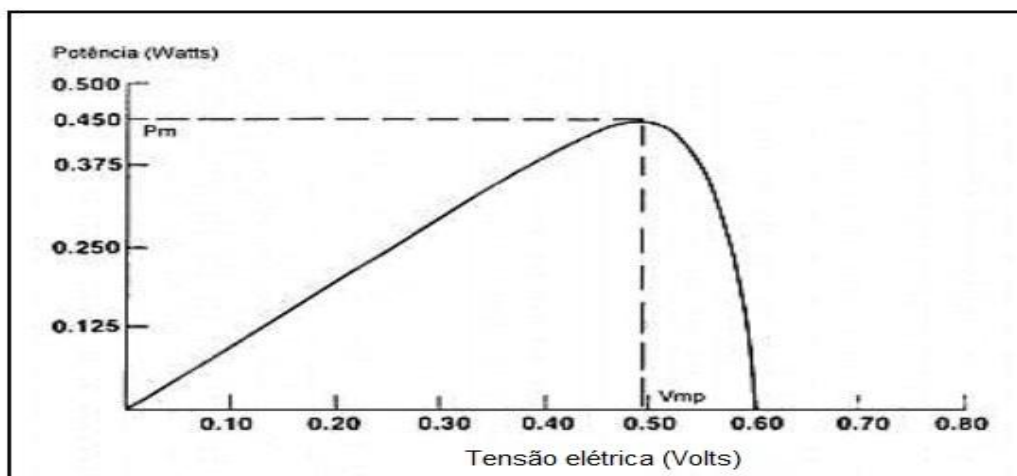
Gráfico 5- Curva característica I x V mostrando a corrente I_{sc} e a tensão V_{oc}



Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2008).

Em cada ponto da curva I x V, o item corrente tensão ilustra a potência gerada para aquela estado de operação, a análise da curva I x V é determinante para a definição de um módulo fotovoltaico, porque é a partir dela que é possível obter os principais parâmetros que irão definir a qualidade e o desempenho de um módulo. No Gráfico 6 mostra que para o módulo existe somente uma tensão e correspondente corrente, na qual é possível se extrair a potência máxima (TORRES, 2012).

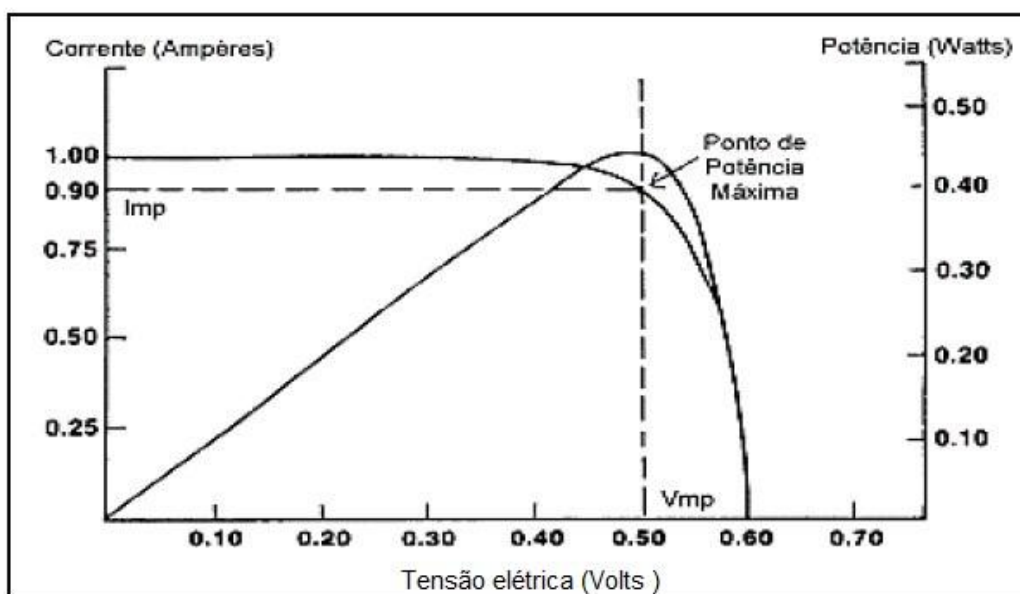
Gráfico 6- Curva típica de potência versus tensão



Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2008).

O ponto de máxima potência pode ser determinado pela tensão de máxima potência (V_{mp}) e pela corrente de máxima potência (I_{mp}). Onde os valores de P_m , V_{mp} , I_{mp} , V_{oc} e I_{sc} que irão determinar os parâmetros que especificam o produto sobre as condições de radiação, temperatura de operação e massa de ar. No Gráfico 7 é possível ver a curva característica $I \times V$ superposta à curva de potência para avaliação dos parâmetros (TORRES, 2012).

Gráfico 7- Rastreamento do ponto de máxima potência

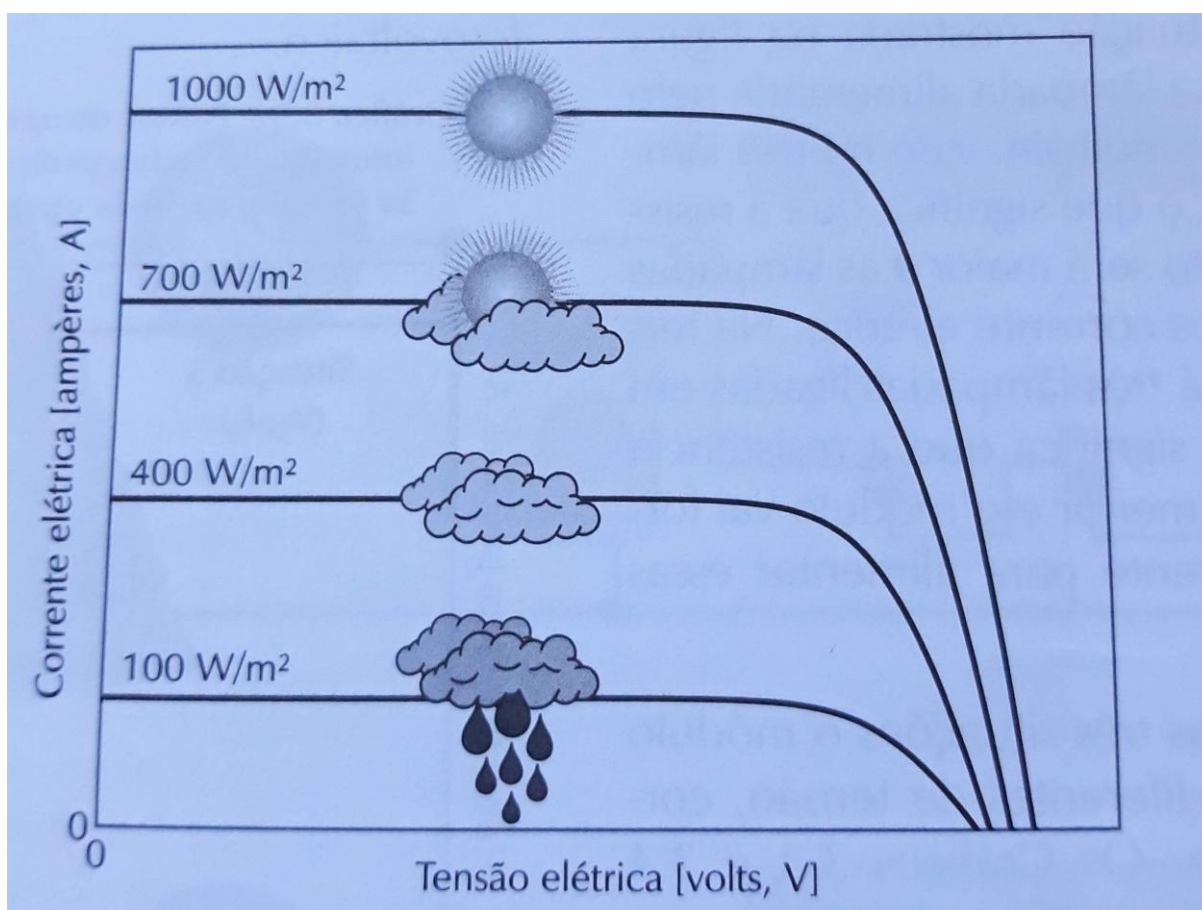


Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2008).

3.4.2.2 Influência da radiação solar

A corrente elétrica que o módulo fotovoltaico pode gerar está diretamente relacionada com a intensidade da radiação solar que incide em suas células, em geral os módulos conseguem gerar a corrente máxima de acordo com a especificação do fabricante, quando incide nele uma irradiância solar de 1000 W/m^2 e tem suas células submetidas a uma temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. A máxima corrente que o módulo consegue fornecer é relativo à irradiância, pois com uma quantidade pequena de luz, a capacidade de gerar energia do módulo é drasticamente reduzida (VILLALVA, 2015).

Gráfico 8- Influência da radiação solar na operação do módulo fotovoltaico

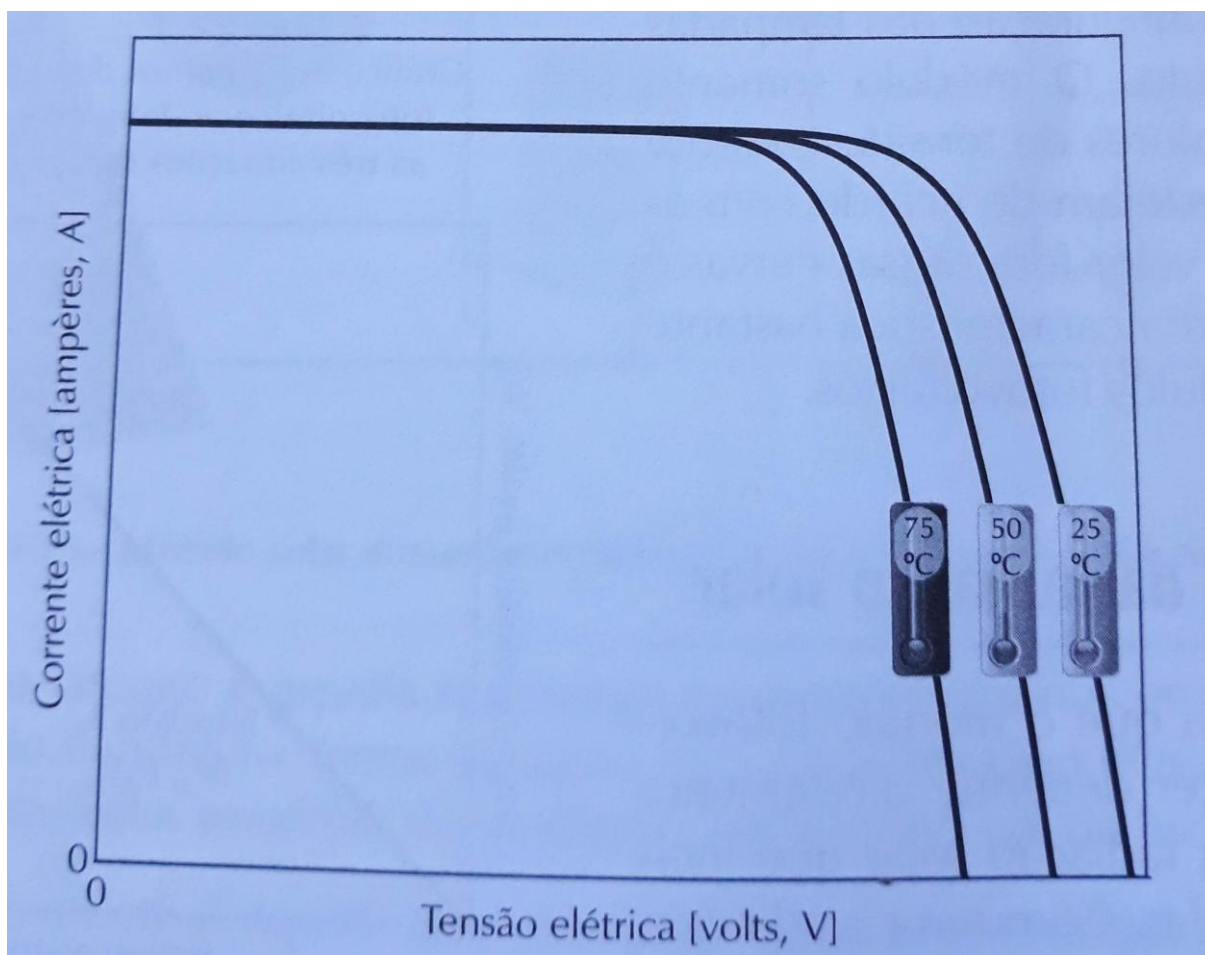


Fonte: (VILLALVA, 2015).

3.4.2.3 Influência da temperatura

A temperatura do ambiente exerce influência na tensão que o módulo fornece em seus terminais e logo também na potência fornecida, as tensões são maiores sobre baixas temperaturas e em temperaturas altas as tensões são menores. Já a corrente que o módulo fornece não varia em virtude de mudanças de temperatura, uma consequência da mudança sobre o módulo fotovoltaico é que, devido a temperatura aumentar a potência que o módulo produz diminui porque a potência é o produto da tensão e da corrente do módulo (VILLALVA, 2015).

Gráfico 9- Influência da temperatura na operação do módulo fotovoltaico



Fonte: (VILLALVA, 2015).

3.4.3 Tipos de conexão dos módulos

De acordo com a necessidade dos valores desejados de tensão e correntes os módulos fotovoltaicos podem ser agrupados em série, ou em paralelo ou em agrupamentos mistos de módulos conectados em série e paralelo.

3.4.3.1 Conexão em série

A conexão em série dos módulos fotovoltaicos é realizada através da ligação de um terminal positivo do módulo a um terminal negativo de outro módulo e assim por diante até chegar a valores desejados de tensão, pois ao se realizar ligações em série as tensões de cada módulo são somadas e a corrente permanece a mesma para todos os módulos.

Figura 14- Conjunto de módulos em série

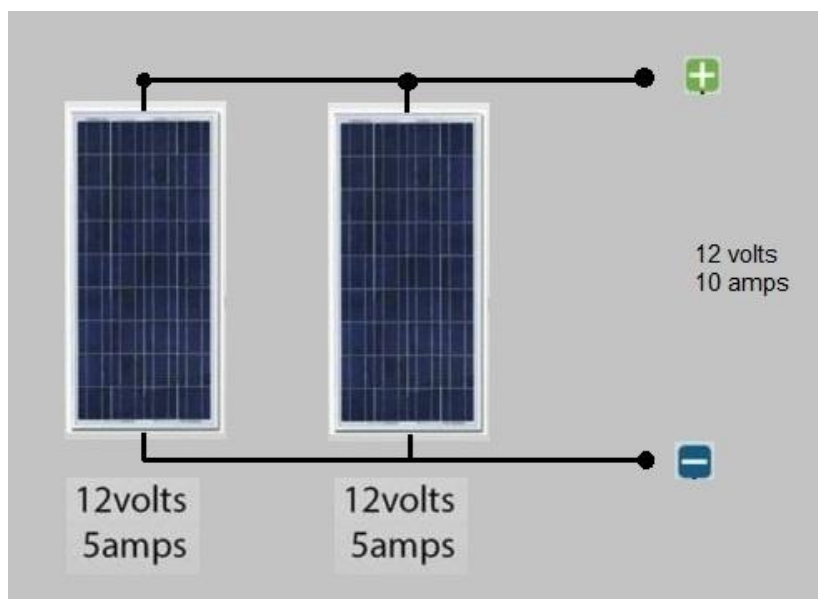


Fonte: Adaptado de (KRINAT_SOLAR, 2017).

3.4.3.2 Conexão em paralelo

A conexão em paralelo dos módulos fotovoltaicos é realizada interligando todos os terminais positivos em um único ponto comum, e interliga-se todos os terminais negativos em um único ponto comum, desse modo a tensão de saída permanece igual, porém a corrente de saída será o resultado da soma das correntes individuais de cada módulo.

Figura 15- Conjunto de módulos em paralelo

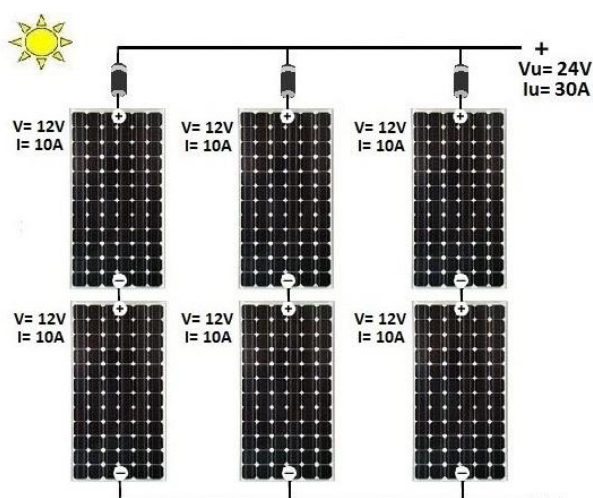


Fonte: Adaptado de (KRINAT_SOLAR, 2017).

3.4.3.3 Conexão em série e paralelo

Com a conexão em série e paralelo dos módulos fotovoltaicos é possível se obter uma maior tensão e uma maior corrente na saída do mesmo. Assim é possível se afirmar que hoje grande parte dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede apresentam ligações desses modo.

Figura 16- Conjunto de módulos em série e paralelo



Fonte: (SOLAR, 2019).

3.5 Normas para módulos fotovoltaicos

A tabela a seguir ilustra as principais normas nacionais e internacionais sobre módulos fotovoltaicos que são recomendadas para consulta (PINHO; GALDINO, 2014).

Tabela 1- Normas e regulamentos sobre módulos fotovoltaicos

Org.	Código	Título	Descrição	Aplicação
IEC – International Electrotechnical Commissions	61215: 2005	Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval; Edition 2.0;	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos de Silício monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si)
	61646: 2008	Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval; Edition 2.0;	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos de filmes finos (a-Si, CdTe, CIGS, etc)
	61730-2: 2004	Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction; Part 2: Requirements for testing.	A Parte 2 estabelece ensaios para verificação da segurança elétrica e mecânica de módulos fotovoltaicos	Módulos fotovoltaicos
	61701:2011	Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules; Edition 2.0	Estabelece o procedimento de ensaio da resistência de módulos fotovoltaicos à corrosão por névoa salina	Módulos fotovoltaicos
	62108:2007	Concentrator photovoltaic (CPV) modules and assemblies - Design qualification and type approval; Edition 1.0	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos fotovoltaicos com concentração
ABNT	NBR 11876:2010	Módulos Fotovoltaicos - Especificação; Segunda Edição	Estabelece requisitos e critérios de aceitação de módulos fotovoltaicos de uso terrestre	Módulos fotovoltaicos
INMETRO	Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011;	Anexo – Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, Controlador de Carga, Inversor e Bateria).	Especifica os procedimentos de ensaio para etiquetagem de módulos fotovoltaicos (e outros equipamentos).	Módulos fotovoltaicos (e outros equipamentos)

Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

3.6 Inversores para a conexão à rede elétrica

Os inversores são responsáveis pela conversão da corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos, para corrente alternada que é a fornecida pela rede elétrica e também a consumida nas residências. Os inversores para conexão com a rede elétrica também conhecidos como *grid-tie*, funcionam como uma fonte de corrente, enquanto os inversores para sistemas autônomos funcionam como fonte de tensão.

Um ponto importante a ser abordado é que os inversores utilizados para a conexão à rede não funcionam caso a rede esteja desenergizada, logo, se faltar energia na rede automaticamente os inversores devem se desconectar da rede e assim faltará energia na residência também, isso ocorre porque esse tipo de inversor

não foi projetado para operar sem a rede e também por segurança dos equipamentos ligados na rede ou de pessoas que possam estar realizando algum trabalho na rede.

Os inversores utilizados para sistemas fotovoltaicos de até 5kW são geralmente monofásicos porém a constituição de um sistema trifásico caso necessário, pode ser feito através de associações com inversores monofásico ou por meio de um inversor trifásico.

Figura 17- Exemplo de um inversor para conexão com à rede



Fonte: SOLAR (2019).

3.6.1 Principais características para a escolha correta do inversor

A escolha correta do inversor é de suma importância para o sistema fotovoltaico como um todo, pois caso o inversor não esteja dimensionado de acordo com o que especifica o fabricante ele pode ter uma grande perda em seu rendimento e também no rendimento do sistema fotovoltaico, por exemplo os fabricantes disponibilizam tabelas com características técnicas sobre seus inversores, entre as informações eles dão dois valores de potência expressa em watts, seria ela a potência sugerida de entrada e a potência sugerida de saída, é possível conectar nos inversores arranjos fotovoltaicos com potências maiores ou menores do que o fabricante especifica porém supondo que seja conectado um arranjo de potência menor, parte do rendimento do inversor vai ficar inutilizada, e caso o arranjo tenha uma potência maior o inversor será

utilizado em seu limite de potência porém os módulos por outro lado ficariam com parte de sua potência inutilizada (VILLALVA, 2015).

Segundo Pinho e Galdino (2014), um bom inversor deve conter algumas qualidades importantes dentre elas foram destaca-se as seguintes:

- Alta eficiência de conversão, tanto na carga nominal quanto em cargas parciais;
- Alta confiabilidade e baixa manutenção;
- Operação em uma faixa ampla de tensão de entrada;
- Boa regulação de tensão de saída;
- Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico;
- Baixa emissão de ruído audível;
- Baixa emissão de interferência eletromagnética;
- Tolerância aos surtos de partidas das cargas a serem alimentadas;
- Segurança tanto para as pessoas quanto para a instalação;
- Grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação;
- Garantia de fábrica de pelo menos 2 anos.

3.7 Proteção do sistema conectado à rede

3.7.1 Dispositivos de proteção

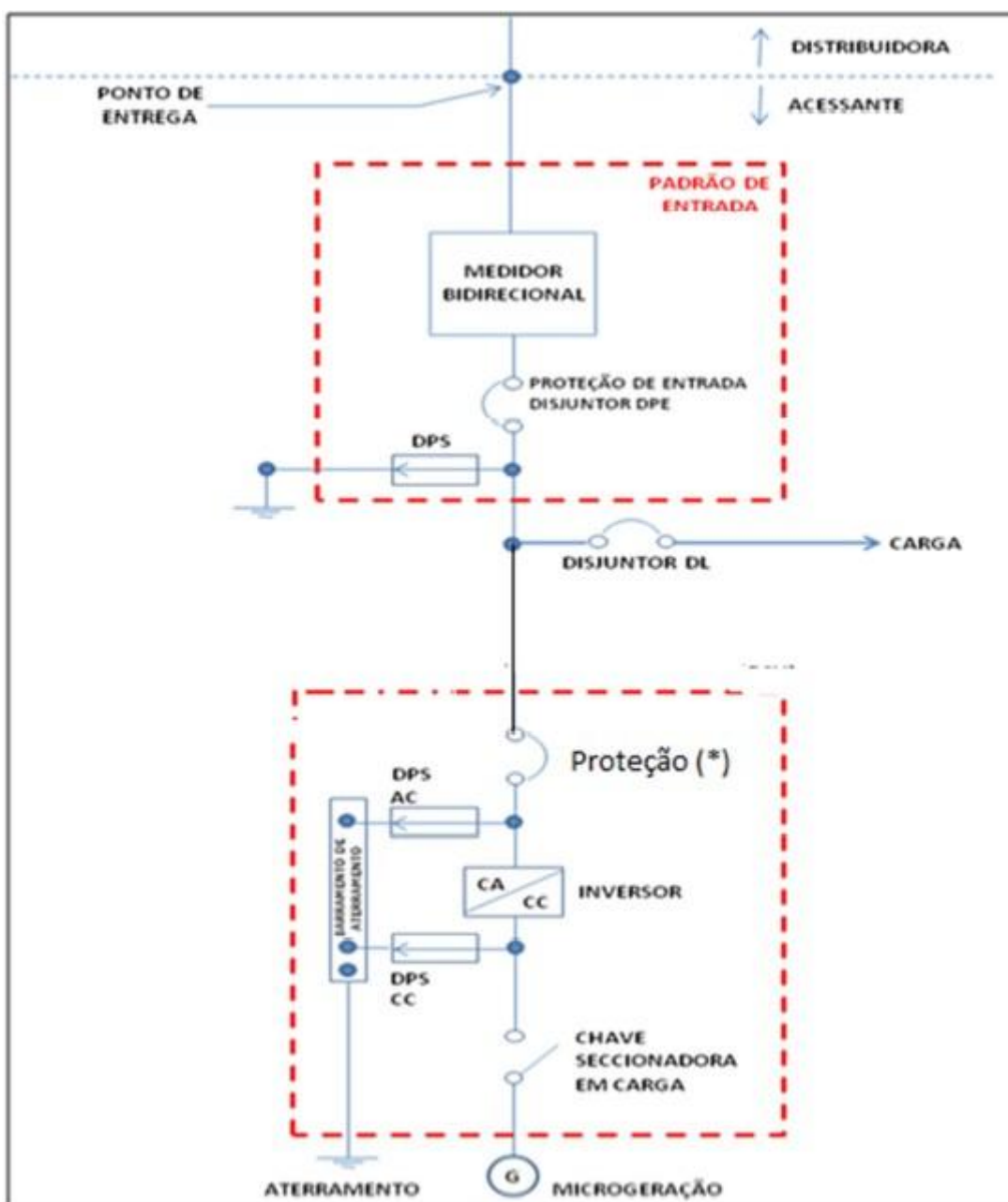
Todo o sistema fotovoltaico projetado deve atender as normas vigentes, afim de garantir uma melhor eficiência do sistema mais também uma proteção das pessoas que estarão tendo acesso à ele.

Conforme Santos (2018), função dos dispositivos de proteção é de interromper a passagem da corrente elétrica, protegendo assim os equipamentos elétricos, eletrônicos, os circuitos, os usuários entre outros. E os principais dispositivos de segurança de sistemas fotovoltaicos conectados à rede são:

- Disjuntor: é responsável pela proteção dos equipamentos e condutores elétricos contra danos provocados por sobrecargas e curto-circuito.
- Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV): é responsável em desconectar o gerador fotovoltaico da rede da concessionária de modo manual.
- Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS): é responsável em proteger a instalação elétrica contra eventuais descargas atmosféricas.

- Fusível: é responsável pela proteção da instalação elétrica contra sobrecorrentes.
- Dispositivo anti-ilhamento: é responsável em desconectar automaticamente o sistema fotovoltaico da rede elétrica, esse sistema de proteção é uma função que o inversor deve ter.

Figura 18- Diagrama de conexão da microgeração através com à rede de BT da Eletrobras Distribuidora.



Fonte: (ELETROBRAS, 2016).

3.7.2 Aterramento

Segundo Pinho e Galdino (2014), o aterramento é a ligação intencional da estrutura e dos componentes com a terra, afim de garantir a operação correta e segura da instalação, o objetivo é proporcionar um caminho mais fácil para a passagem das correntes elétricas indesejáveis evitando então riscos para as pessoas e equipamentos.

O aterramento é muito importante para o bom funcionamento do sistema fotovoltaico, pois assim além de se evitar riscos as pessoas que estão expostas a alguma parte do sistema o aterramento cuida também da parte física do sistema. Portanto caso ocorra um pico elevado de corrente o aterramento se encarrega de evitar que os componentes do sistema fotovoltaico fiquem expostos por longos períodos a correntes indesejáveis evitando então prejuízos financeiros e até mesmo a redução precoce da vida útil dos componentes. No Apêndice “A” é possível notar que os componentes do sistema fotovoltaico estão aterrados conforme se faz necessário.

3.8 Manutenção

As manutenções de um sistema fotovoltaico geralmente são manutenções preventivas onde na maioria dos casos não se faz necessário uma mão de obra qualificada para isso. A manutenção é de grande importância para o sistema fotovoltaico pois assim garante que ele continue a gerar energia de forma a aproveitar o máximo de eficiência de seus componentes (PORTAL SOLAR, 2017).

Segundo a Ecoplanetenergy (2015), a realização da manutenção preventiva é recomendada pelo menos uma vez ao ano, porém em regiões com baixo índice de chuva recomenda-se que seja feito à cada seis meses. A manutenção preventiva consiste basicamente em verificações periódicas no sistema fotovoltaico, onde o próprio consumidor pode avaliar os seguintes pontos:

- Avaliar se os módulos fotovoltaicos estão limpos, sem acúmulo de poeira, folhas ou até mesmo fezes de pássaros, pois caso os módulos estejam sujos isso causa uma perda na geração de energia.

- Notar se o sistema possui algum ponto com aquecimento fora do comum, como por exemplo no inversor. Pois em muitos casos o inversor fica exposto ao tempo podendo então ter seu circuito interno empoeirado ou até mesmo com teias de aranha dificultando então o bom funcionamento do equipamento;
- Verificar se as estruturas não se deterioraram com o tempo, pois com o passar do tempo os parafusos podem perder aperto;
- Avaliar se os quadros estão com suas vedações intactas;
- Verificar se há algum cabo solto ou até mesmo mal conectado, pois em caso de cabos mal conectados o sistema pode gerar aquecimentos desnecessários, resultando então em perdas de energia ou pode até mesmo ocasionar um curto circuito.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Informações sobre o local

O estudo de caso apresentado a seguir tem o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede para uso comercial e residencial simultaneamente na cidade de Ji-Paraná/ RO. Para dar início ao dimensionamento do projeto é necessário realizar o levantamento de algumas informações primordiais como por exemplo, o local que será instalada a usina, o consumo de energia elétrica dos últimos doze meses, o custo de disponibilidade de energia que a concessionária local cobra entre outras informações que serão levantadas posteriormente.

Já sabendo a localidade onde será instalado o sistema fotovoltaico que é na cidade de Ji-Paraná / RO, será observado os índices de irradiação do local, índices esses obtidos através do site do CRESESB pelo software SunData. Através do site do google map foi encontrado o local e verificado as coordenadas do mesmo que possui uma latitude de: -10.875083 e Longitude: -61.94691, com esses dados é possível procurar no bando de informações do software a irradiação do local que é disposto na tabela a seguir, através da Tabela 2 é possível concluir que a média de irradiação solar do local é de 4,61 kWh/m².dia. Essa média da irradiação refere-se a quantidade de horas de sol pleno diário a uma intensidade de 1000 W/m².

Tabela 2- Irradiação solar mensal em Ji-Paraná.

Mês	HSP [kWh/m ² .dia]
Janeiro	4,41
Fevereiro	4,43
Março	4,45
Abril	4,51
Mai	4,07
Junho	4,36
Julho	4,43
Agosto	4,87
Setembro	4,88
Outubro	5,15
Novembro	4,97
Dezembro	4,75
Média	4,61

Fonte: CRESESB SUNDATA (2019).

Após saber a média de irradiação solar no plano horizontal do local, foi levantado o consumo da propriedade nos últimos doze meses e calculado a média desse consumo que resultou no valor de 545 kWh. É de grande importância saber a taxa mínima que a concessionária local que no caso é a Ceron (Centrais Elétricas de Rondônia S.A.) cobra para uma instalação bifásica, a taxa cobrada será de 50 kWh. Logo por mais que o consumidor algum mês gere mais energia do que consumiu da rede ele será obrigado a pagar essa taxa de disponibilidade da concessionária ficando assim com saldo positivo, saldo esse que será creditado automaticamente no mês que a geração fotovoltaica for inferior ao consumo da propriedade.

Tabela 3- Consumo de energia elétrica dos últimos doze meses.

Mês	Consumo (kWh)
Janeiro	567
Fevereiro	409
Março	316
Abril	424
Mai	586
Junho	465
Julho	621
Agosto	676
Setembro	643
Outubro	741
Novembro	684
Dezembro	418
Média	545

Fonte: O autor (2019).

4.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

No Apêndice A, está apresentado o diagrama que descreve a planta no qual será implementado a geração solar fotovoltaica. O telhado do local onde serão instalados os módulos possui uma área de 95m², sabendo da área total do telhado é necessário também dimensionar o ângulo vertical que os módulos precisaram ter, baseado na tabela retirada de (VILLALVA, 2015) e de posse do valor da latitude do local conclui-se que o melhor ângulo de inclinação dos módulos será de 21° voltados ao norte, pois assim é possível maximizar a produção de energia dos módulos e ao mesmo tempo evita acúmulo de sujeiras.

Tabela 4- Escolha do ângulo de inclinação do módulo.

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: VILLALVA (2015).

Sabendo o ângulo de inclinação para os módulos e a direção na qual eles terão que ser instalados para maximizar o aproveitamento do sol, o próximo passo consiste na escolha dos módulos e os requisitos que eles precisarão atender. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário saber o consumo médio mensal durante o ano nesse caso é de 545 kWh/mês, será descontado a taxa da disponibilidade cobrada pela concessionária que é de 50 kWh, assim a média real do consumo mensal é 495 kWh. Para se obter a média diária é só dividir por 30 (quantidade adotada de dias no mês), assim o valor médio diário é de 16,5 kWh/dia.

Tabela 5- Consumo médio.

Valor médio	Consumo (kWh)
Média dos doze meses	545
Custo disponibilidade	50
Média mensal	495
Média diária	16,5

Fonte: O autor (2019).

Um sistema fotovoltaico possui perdas de energia que precisam ser estimadas para um bom dimensionamento do sistema perdas essas que foram estimadas na Tabela 6, após saber o valor das perdas é possível também estimar o rendimento do sistema fotovoltaico. Para se mensurar a potência necessária para atender a demanda do consumidor utiliza-se a seguinte forma:

Tabela 6- Perdas estimadas no sistema fotovoltaico.

Perdas	Valor (%)
Perdas por temperatura	11
Incompatibilidade elétrica	1,5
Acúmulo de sujeira	1,5
Cabos CC	1
Cabos CA	1
Inversos	4
Total de perdas	20

Fonte: Adaptado de FOTAIC (2017).

$$Pt = \frac{E}{HSP \times \eta} \quad (1)$$

$$Pt = \frac{16,5kWh/dia}{4,61h/dia \times 80\%} \quad (2)$$

$$Pt = 4,47 kWp \quad (3)$$

onde:

Pt - Potência necessária que os módulos gerem;

E - Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

HSP - Horas de Sol Pleno;

η - Rendimento que deverá considerar as perdas do sistema fotovoltaico.

Analisando alguns requisitos para a escolha dos módulos como, eficiência, garantia do fornecedor, valores, e indicações de profissionais da área, o modelo de módulo escolhido foi o CS6U-330P da fabricante Canadian Solar com potência de 330W e células de silício policristalino. Após a escolha do módulo conhecendo a potência dele e a potência que o sistema irá precisar é possível calcular a quantidade de módulos necessária para suprir a demanda do consumidor conforme ilustra a Equação 4.

$$Qtd_{Módulos} = \frac{PT_{Módulos}}{P_{Módulos}} \quad (4)$$

$$Qtd_{Módulos} = \frac{4470W}{330W} \quad (5)$$

$$Qtd_{Módulos} = 13,54 \quad (6)$$

onde:

$Qtd_{Módulos}$ - quantidade total de módulos necessários para o sistema;

$PT_{Módulos}$ - potência total de geração necessária pelo sistema fotovoltaico;

$P_{Módulos}$ - potência máxima gerada por cada módulo fotovoltaico.

Através da Equação 4, após a realização do cálculo é possível notar que o resultado deu 13,54 porém para o dimensionamento da quantidade de módulos esse valor será arredondado para cima, e o sistema precisará de 14 módulos para atender

a demanda do consumidor. Para calcular a potência instalada é só multiplicar a quantidade de módulo pela potência de cada um. Assim a potência instalada será de 4620 W (330W x 14).

4.3 Dimensionamento do inversor

De acordo com Villalva (2015), o dimensionamento do inversor está diretamente ligado a potência total dos módulos fotovoltaicos, pois é de grande importância que nem o inversor e nem o conjunto de módulos estejam subutilizados.

Para uma boa escolha do inversor recomenda-se que a potência dele seja de +/- 20% a potência gerada pelos módulos, a potência total dos módulos já se sabe que será de 4620W, logo os valores que o inversor devem atender será ilustrado a seguir.

$$\text{Potência máxima} = 4620\text{W} + 20\% \quad (7)$$

$$\text{Potência máxima} = 5544\text{W} \quad (8)$$

$$\text{Potência mínima} = 4620\text{W} - 20\% \quad (9)$$

$$\text{Potência mínima} = 3696\text{W} \quad (10)$$

Levando em consideração as características técnicas, o custo, garantia do fornecedor e de modo geral a confiabilidade que o inversor fornece ao sistema fotovoltaico optou-se pela escolha do inversor da marca Fronius solar e modelo Fronius Primo 5KWp. Onde as principais características estão especificadas nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7- Dados de entrada do inversor Fronius Primo 5kW

Dados de entrada	
Máxima tensão de entrada	1000V
Mínima tensão de entrada	80V
Máxima corrente de entrada	12A
Máx. conjunto corrente de curto-circuito	18A
Número de rastreadores MPPT	2
Faixa de operação MPPT	240-800V
Número de conexões CC	2+2

Fonte: Manual Fronius (2019).

Tabela 8- Dados de saída do inversor Fronius Primo 5kW

Dados de saída	
Potência nominal CA	5000W
Máxima potência de saída	5000VA
Máxima corrente de saída	21,7A
Frequência	50Hz/60Hz
Eficiência	98,10%
Fator de potência	1
Grau de proteção	IP 65

Fonte: Manual Fronius (2019).

Após o dimensionamento do inversor é necessário calcular a quantidade máxima de módulos que será possível conectar em série sem danificar o inversor, tal resultado será obtido através da Equação 11.

$$N_{série} = \frac{V_{in}}{V_{0c_painel}} \quad (11)$$

$$N_{série} = \frac{1000}{45,6} \quad (12)$$

$$N_{série} = 21,9 \quad (13)$$

onde:

$N_{série}$ - quantidade máxima de painéis que podem ser conectados em série;

V_{in} - tensão máxima de entrada do inversor;

V_{0c_painel} - tensão total de circuito aberto do painel.

Através da Equação 11, foi verificado que o inversor possui capacidade de ter no máximo 21 módulos conectados em série por MPPT, comprovando que o inversor escolhido atende bem as necessidades do sistema fotovoltaico, a quantidade mínima de módulos conectados em série por MPPT deve gerar uma tensão mínima de 240V como especifica o fabricante, mas outro ponto importante a ser abordado é calcular a quantidade máxima de conjuntos que podem ser conectados em paralelo, essa quantidade é dada a partir do resultado da Equação 16.

$$N_{paralelo} = \frac{I_{inversor}}{I_{sc_painel}} \quad (14)$$

$$N_{paralelo} = \frac{12}{9,45} \quad (15)$$

$$N_{paralelo} = 1,26 \quad (16)$$

onde:

$N_{paralelo}$ - quantidade máxima de conjunto de módulos conectados em paralelo;

$I_{inversor}$ - capacidade de corrente do inversor;

I_{sc_painel} - corrente de curto-circuito do módulo.

Os dados do inversor necessário para calcular a Equação 10, foram apresentados na Tabela 7, já os dados referente aos módulos fotovoltaicos estão especificados no manual que o fabricante fornece. O resultado da Equação 16 é o número máximo de conjunto de módulos que o inversor suporta em paralelo por MPPT, assim nota-se que o projeto poderá conter apenas uma *string* com os 14 módulos fotovoltaicos interligados em série que o inversor atenderá perfeitamente.

Um dado importante para concluir que o inversor foi bem dimensionado é verificar a corrente máxima de cada painel, o fornecedor já informa no manual do produto que no caso destes módulos escolhidos será de 8,88A, como os módulos estarão todos em série a corrente será a mesma para todos, e para saber se a tensão do conjunto de módulos está no limite permitido pelo inversor basta somar a tensão máxima de cada painel (37,2 x 14), logo a tensão é de 520,8V.

Após a realização dos cálculos anteriores já é possível estimar a energia gerada pelo sistema fotovoltaico mensalmente através da Equação 17.

4.4 Condutores

Para o dimensionamento dos condutores elétricos deve-se recorrer a NBR 5410, e levar alguns critérios em consideração como:

- Capacidade de condução;
- Queda de tensão;
- Curto-circuito
- Seção mínima.

O fabricante dos módulos utilizado no projeto recomenda que se use cabos para aplicações fotovoltaicas com uma seção de no mínimo 4mm², como as distâncias de interligações serão relativamente pequenas os cabos em corrente contínua serão de 4mm², para o dimensionamento dos cabos de corrente alternada foi utilizado como base o catálogo da fabricante Corfio, ilustrada na Tabela 9 baseado na Tabela 19 da própria fabricante onde é especificada a corrente suportada pelo cabo, optou-se pelo cabo flexível de bitola 6mm².

Tabela 9- Capacidade de condução de correntes para cabo flexível

Seção nominal (mm ²)	Corrente (A)
1	10
1,5	15
2,5	20
4	28
6	35
10	50

Fonte: (CORFIO FIOS E CABOS ELÉTRICOS, 2017).

4.5 Dispositivos de proteção

Os dispositivos de proteção dimensionados para o lado de corrente contínua são, chave seccionadora em corrente contínua, base porta fusível com fusíveis e dispositivo de proteção contra surto- DPS, todos esses dispositivos de proteção estão inclusos em na *string box* escolhida da fabricante ecoSolys onde o manual se encontra no anexo C a qual possui duas entradas para *strings* e uma saída para o inversor.

Vale ressaltar que essa string box atende as normas IEC 61439 e ABNT NBR IEC 60439 que são de extrema importância para segurança dos sistemas fotovoltaicos.

Já para a proteção após o inversor, ou seja o lado de corrente alternada será utilizado um disjuntor DIN de 25A e também um DPS 40kA.

Figura 19- String box EcoSolys



Fonte: (MINHA CASA SOLAR, 2019)

4.6 Orçamento dos materiais e mão de obra

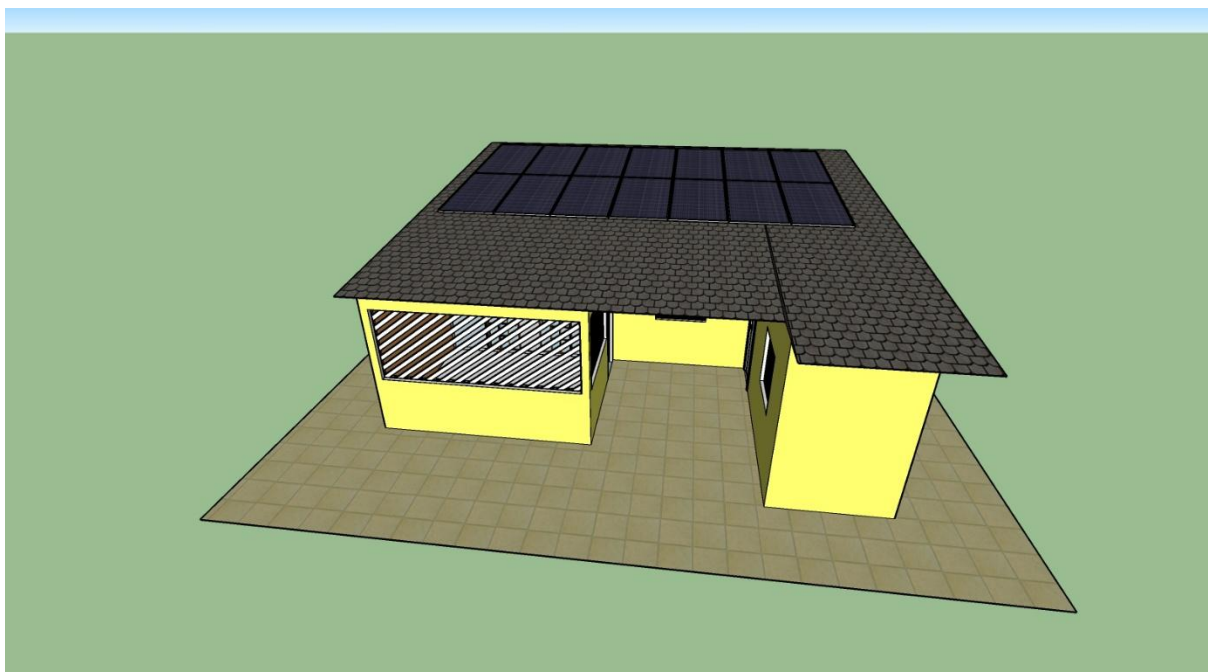
Depois do dimensionamento do sistema fotovoltaico, realiza-se o orçamento onde será levado em consideração não só o custo dos materiais e mão de obra, mas também vários outros fatores importantes como, a garantia e qualidade dos materiais, os prazos de entregas, assistência técnica, também se os materiais e equipamentos estão atendendo os requisitos que as normas atuais exigem entre outras informações. Sendo assim a Tabela 10 apresenta os materiais necessários para a instalação do sistema fotovoltaico, e também o valor estimado da mão de obra para montagem do mesmo que foi considerado um valor de 10% sobre o valor total dos materiais.

Tabela 10- Orçamento dos materiais com a mão de obra inclusa.

Componentes	Valor unit.	Qtd	Valor total (R\$)	Fornecedor
Módulos Canadian solar 330W	R\$ 747,31	14 un	R\$ 10.462,38	Minha casa solar
Inversor solar Fronius Primo 5000 W	R\$ 8.599	1 un	R\$ 8.599,00	SoLigado
String Box CC Ecosolys	R\$ 844,31	1 un	R\$ 844,31	Minha casa solar
DPS classe II 40 kA	R\$ 98,00	1 un	R\$ 98,00	Implemaq
Disjuntor 25 A	R\$ 12,00	1 un	R\$ 12,00	Implemaq
Cabo 4mm ² HEPR	R\$ 3,10	50 m	R\$ 155,00	Implemaq
Cabo 6mm ² flexível	R\$ 2,90	80 m	R\$ 232,00	Implemaq
Estrutura de fixação	R\$ 486,25	4 un	R\$ 1.945,00	LKEMEMBER
Mão de obra	10%	-	R\$ 2.211,80	
Total			R\$ 24.559,49	

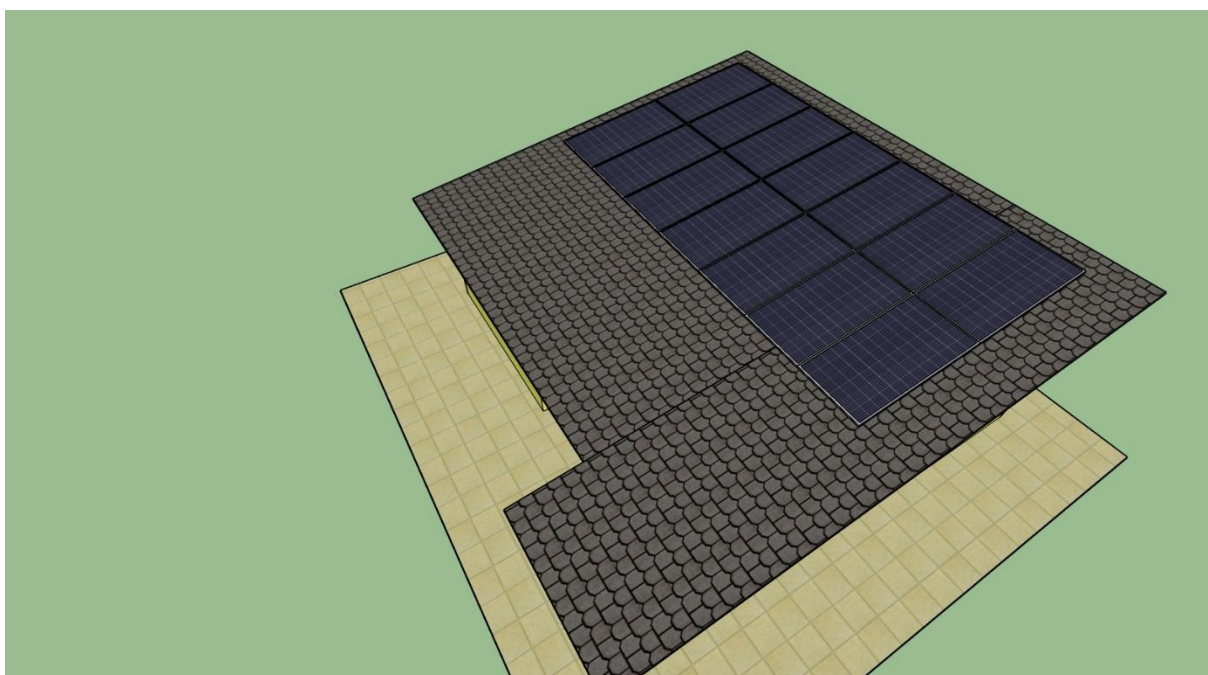
Fonte: O autor (2019).

Figura 20- Proposta de instalação dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: O autor (2019)

Figura 21- Proposta de instalação dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: O autor (2019).

4.7 Análise da viabilidade econômica

Para a análise da viabilidade econômica do sistema pode ser utilizado diversos métodos como por exemplo o tempo de reembolso (*payback*), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) entre outros, para isso será necessário saber de alguns dados que já foram calculados anteriormente, a intenção de realizar essa análise é notar se realmente é viável o uso da energia solar fotovoltaica para o comércio e para o uso residencial, e também procurar avaliar caso viável em quanto tempo o sistema fotovoltaico consegue se pagar e oferecer ao consumidor até mesmo um retorno financeiro. A primeira etapa será realizado o cálculo do tempo de reembolso do investimento (*payback*), mais antes é necessário saber do que se trata o *payback*.

De acordo com Pinto Junior (2018), resumidamente *payback* é o tempo que o investimento seja ele em energia fotovoltaica, ou até mesmo de algum outro produto necessita para arcar com o valor gasto inicialmente, e após desse tempo se é possível ter lucro seja ele a curto, médio ou longo prazo com esse investimento. No caso de sistemas fotovoltaicos para mensurar o *payback* do sistema é necessário saber o custo total do investimento (valor estimado na tabela 9), e dividi-lo pela economia gerada ao longo de um período, o *payback* pode ser calculado através da Equação 20, porém antes será estimado o valor da geração de energia do sistema fotovoltaico através da Equação 17.

$$E = P_{total} * HSP * N * \eta_{rendimento} \quad (17)$$

$$E = 4.62W * 4,61h/dia * 30 * 80\% \quad (18)$$

$$E = 511,15kWh \quad (19)$$

onde:

E - energia mensal gerada;

P_{total} - potência total instalada dos módulos fotovoltaicos;

HSP - horas de sol pleno;

N - número de dias do mês;

$\eta_{rendimento}$ - rendimento do sistema.

Após encontrar o valor médio de energia gerada ao longo dos meses, ao multiplicar pela quantidade de meses no ano ($E=511,15kWh \times 12$), obtém-se então a energia gerada ao longo de um ano 6133,8kWh.

$$Payback_{(ano)} = \frac{Investimento (R\$)}{Energia Gerada \left(\frac{kWh}{ano}\right) \times ValorDaTarifa} \quad (20)$$

$$Payback_{ano} = \frac{24.559,49}{6133,8kWh \times 0,77} \quad (21)$$

$$Payback_{ano} = 5,2 \quad (22)$$

Para se calcular a taxa de retorno sobre o investimento, conhecida também por rentabilidade é preciso saber o desempenho do sistema fotovoltaico ao longo do tempo estimado, mas para isso uma série de fatores precisam ser levados em conta como por exemplo precisa-se saber o valor da inflação e das tarifas de energia, as perdas que os módulos fotovoltaicos tem ao longo dos anos, é preciso conhecer a geração anual do sistema fotovoltaico entre outros (PINTO JUNIOR, 2018). Os valores necessários para calcular a rentabilidade estão expressos na Tabela 11.

Tabela 11- Dados para calcular a rentabilidade.

Investimento Inicial	R\$ 24.559,49
Inflação energética	6% ao ano
Perda de eficiência dos módulos	0,07% ao ano
Geração anual	6133,8kWh
Preço da tarifa de energia	R\$ 0,77
TMA	10%

Fonte: O autor (2019).

Para o cálculo do VPL é importante considerar o valor do dinheiro ao longo de um tempo, para isso calcula-se todos os fluxos de caixa futuros para saber seus valores no presente. Com o VPL é possível trazer ao valor presente um valor futuro pois ele ilustra a diferença entre os valores recebidos e os valores pagos de um projeto de investimento em valores monetários atuais, o cálculo do VPL é realizado através da equação 23 (NETO, 2007).

$$VPL = -FC_o + \sum_{K=1}^N \frac{FC_K}{(1+i)^K} \quad (23)$$

onde:

FC_o – Investimento inicial;

FC_K - Fluxo de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

$K - (1;n)$: Períodos do horizonte de planejamento;

i - Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Conforme Assaf Neto (2007), a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de juros que iguala em determinado momento o valor presente das entradas com o valor das saídas previstas de caixa e pode ser calculada através da equação 24. A TIR é calculada para saber quanto representa em porcentagem o retorno obtido sobre o capital investido.

Resumidamente a TIR é usada para avaliar se um investimento ou projeto é atrativo de fato ou não, caso a TIR de um projeto seja maior que a TMA significa que o projeto é viável. Se o valor da TIR se mostrar menor que o TMA o projeto deve ser rejeitado pois é inviável.

$$0 = -FC_o + \sum_{K=1}^N \frac{FC_K}{(1+i)^K} \quad (24)$$

onde:

FC_o – Investimento inicial;

FC_K - Fluxo de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

$K - (1;n)$: Períodos do horizonte de planejamento;

i - Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Após apresentado as informações na Tabela 11, é possível calcular o desempenho do sistema fotovoltaico em um período de 25 anos que é a vida útil estimada dos módulos solares, o desempenho do sistema fotovoltaico foi ilustrado na Tabela 12.

Tabela 12- Desempenho do sistema fotovoltaico em 25 anos.

Ano	Geração (kWh)	Estimativa da Tarifa/kWh	Fluxo de caixa descontado	Valor presente líquido
Inicial				-R\$ 24.559,49
1	6129	0,77	R\$ 4.719,33	-R\$ 19.840,16
2	6086,1	0,82	R\$ 4.967,47	-R\$ 14.872,69
3	6081,8	0,87	R\$ 5.261,83	-R\$ 9.610,85
4	6077,6	0,92	R\$ 5.573,64	-R\$ 4.037,21
5	6073,3	0,97	R\$ 5.903,92	R\$ 1.866,71
6	6069,1	1,03	R\$ 6.253,78	R\$ 8.120,49
7	6064,8	1,09	R\$ 6.624,36	R\$ 14.744,85
8	6060,6	1,16	R\$ 7.016,91	R\$ 21.761,77
9	6056,3	1,23	R\$ 7.432,72	R\$ 29.194,48
10	6052,1	1,30	R\$ 7.873,17	R\$ 37.067,65
11	6047,9	1,38	R\$ 8.339,72	R\$ 45.407,37
12	6043,6	1,46	R\$ 8.833,91	R\$ 54.241,28
13	6039,4	1,55	R\$ 9.357,39	R\$ 63.598,67
14	6035,2	1,64	R\$ 9.911,89	R\$ 73.510,56
15	6030,9	1,74	R\$ 10.499,25	R\$ 84.009,81
16	6026,7	1,85	R\$ 11.121,41	R\$ 95.131,22
17	6022,5	1,96	R\$ 11.780,45	R\$ 106.911,67
18	6018,3	2,07	R\$ 12.478,53	R\$ 119.390,20
19	6014,1	2,20	R\$ 13.217,99	R\$ 132.608,18
20	6009,9	2,33	R\$ 14.001,26	R\$ 146.609,44
21	6005,7	2,47	R\$ 14.830,94	R\$ 161.440,38
22	6001,5	2,62	R\$ 15.709,79	R\$ 177.150,18
23	5997,3	2,77	R\$ 16.640,73	R\$ 193.790,90
24	5993,1	2,94	R\$ 17.626,82	R\$ 211.417,73
25	5988,9	3,12	R\$ 18.671,35	R\$ 230.089,08
TIR				24%

Fonte: O autor (2019).

Através das informações mostradas nos cálculos anteriores foi possível desenvolver o desempenho do sistema fotovoltaico, onde a segunda coluna retrata os valores de geração, é perceptível a perda que o sistema vai tendo a cada ano devido à perda de eficiência dos módulos. Na terceira coluna retrata o valor da tarifa energética e o aumento estimado de 6% à cada ano. Na quarta coluna é ilustrado o fluxo de caixa descontado que o consumidor passa a ter a cada ano. Na quinta coluna nota-se o valor presente líquido onde inicialmente o consumidor investe o capital no

sistema e a partir do próximo ano já é possível mensurar o retorno financeiro que o sistema fotovoltaico trás.

Após conhecer os valores que o sistema fotovoltaico projeta entregar ao longo dos 25 anos, é possível calcular a rentabilidade que espera-se de tal investimento através da Equação 23. No Gráfico 10 é possível notar que o sistema fotovoltaico já dá um retorno financeiro possível a partir do 5º ano de instalação, retorno esse mais visível a partir do 6º ano em diante, deste modo o consumidor terá cerca de 19 anos para aproveitar todo os benefícios que o sistema fotovoltaico lhe traz.

$$Rentabilidade = \frac{Economia (R\$/ano)}{Investimento} \quad (25)$$

$$Rentabilidade = \frac{4.719,33}{24.559,49} \quad (26)$$

$$Rentabilidade = 0,1921 \quad (27)$$

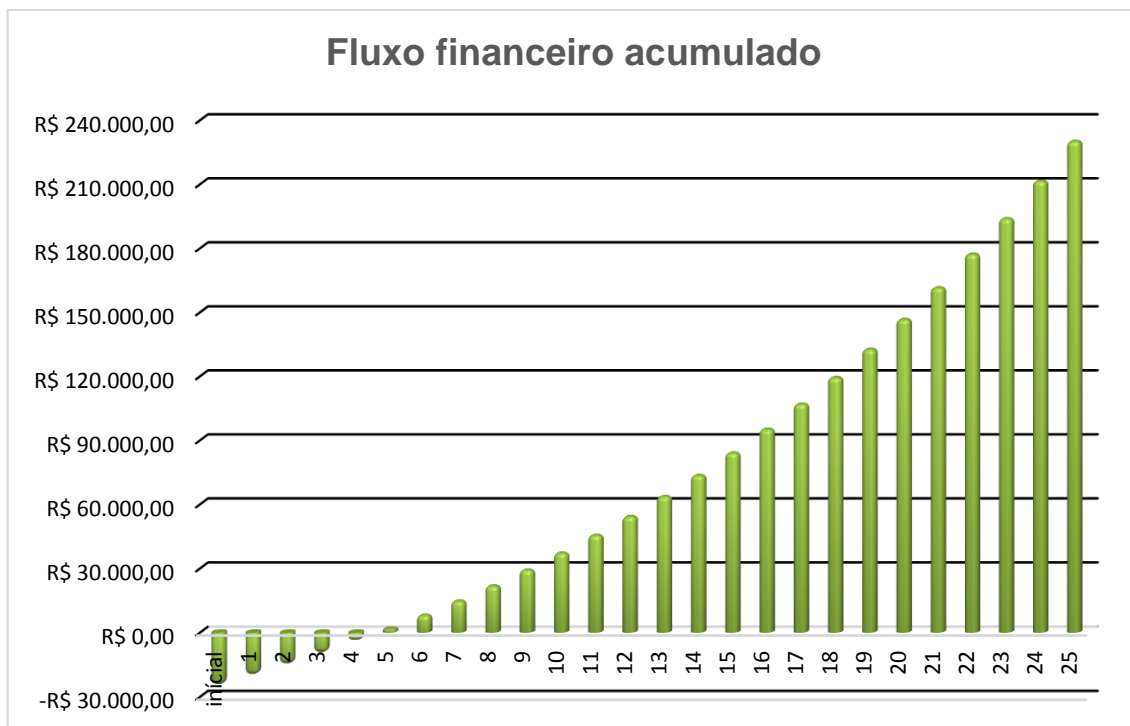
Segundo a Equipe Rico (2019), os valores de rentabilidade da poupança no ano de 2019 é de 4,55% ao ano e o valor de rentabilidade da taxa Selic é de 6,50% ao ano. Logo comparando com a rentabilidade do sistema fotovoltaico projetado, nota-se que o investimento nessa fonte de energia é mais atrativo pois sua rentabilidade é de 19,21% ao ano. O Gráfico 11 ilustra o retorno que o consumidor terá ao longe de um ano caso investisse o mesmo valor nessas três diferentes aplicações, e a Tabela 13 apresenta o lucro das três aplicações no primeiro ano.

Tabela 13- Lucro no primeiro ano de investimento

Investimento	Rentabilidade 2018	Lucro no primeiro ano
Sistema Fotovoltaico	19,21%	R\$ 4.719,33
Taxa Selic	6,50%	R\$ 1.596,37
Taxa da poupança	4,55%	R\$ 1.117,46

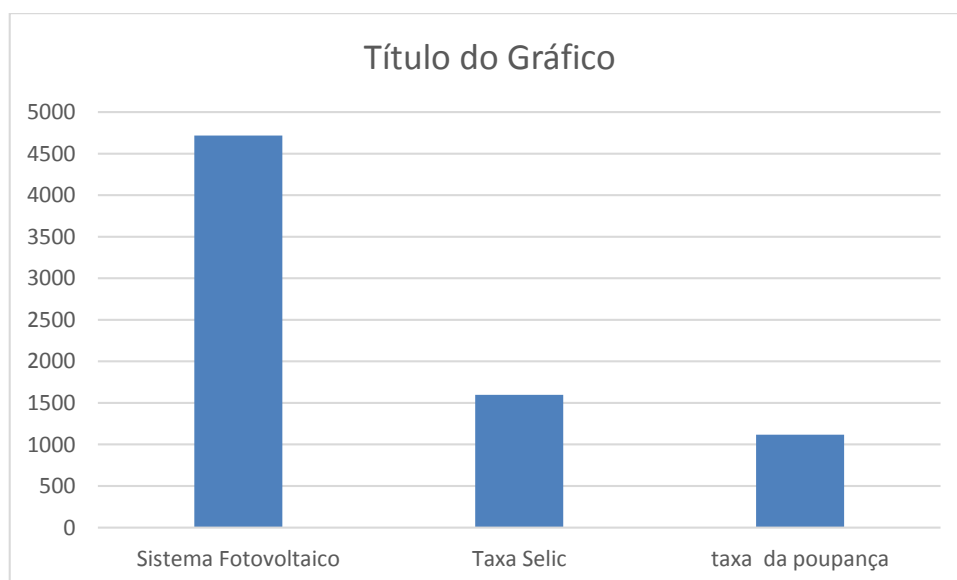
Fonte: O autor (2019).

Gráfico 10- Desempenho do sistema fotovoltaico em 25 anos.



Fonte: O autor (2019).

Gráfico 11- Lucro no primeiro ano de investimento.



Fonte: O autor (2019).

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi de conhecer mais a fundo sobre essa tecnologia que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado financeiro por se mostrar viável e rentável sua utilização, alguns países já utilizam essa tecnologia em larga escala e também realizam novos estudos afim de otimiza-la como é o caso da China, dos EUA, da Alemanha, Japão entre outros.

Na última década o Brasil também tem visto essa tecnologia com novos olhares, por ser um país com um potencial energético baseado em fontes renováveis o Brasil até então não demonstrava grandes interesses nesse tipo de tecnologia, porém após a criação da resolução normativa 482/2012 da Aneel e atualização para à 687/2015, muitas pessoas físicas e jurídicas tem procurado por meio dos sistemas fotovoltaicos uma economia na fatura de energia e valorização do imóvel.

Os sistemas fotovoltaicos possui uma característica muito interessante que é a possibilidade do consumidor gerar sua energia de forma limpa e descentralizada, deste modo novos investimentos em novas usinas de energia elétrica de grande porte e até mesmo construções de novas linhas de transmissão não se faz necessário.

Após conhecer mais sobre a história e princípio de funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, neste trabalho foi abordado um estudo de caso afim de verificar se realmente é viável tal investimento. A princípio foi realizado o levantamento de dados do consumidor e da localidade dele, e logo em seguida dimensionado um sistema fotovoltaico conectado à rede. Depois de dimensionar o sistema foi realizado um orçamento sobre os equipamentos que compõem o sistema, como módulos, estrutura para os módulos, inversor, dispositivos de proteção, cabos, e mão de obra. Tal orçamento está embasado em valores reais, para que futuramente o consumidor possa implantar o sistema em sua edificação.

Em seguida tendo o orçamento em mãos foi analisado o desempenho do sistema fotovoltaico ao longo de 25 anos que é o tempo estimado de sua vida útil, e também analisado qual o tempo de *payback* do mesmo. O resultado dos cálculos do *payback* indica que em 5 anos e 2 meses o sistema já se paga totalmente, e a partir então o consumidor consegue ter um saldo positivo todo mês em consequência do fluxo de caixa descontado que o sistema irá oferecer, concluindo-se assim que o investimento em sistemas de microgeração fotovoltaica é sim viável e economicamente rentável, pois a TIR apresentou um valor de 24%.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABSOLAR (São Paulo). **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**: Infográfico ABSOLAR. 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **687/2015: ACESSO AOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO**. Brasília: Aneel, 2015.

ASSAF NETO, Alexandre. **Matemática Financeira e Suas Aplicações**. 9 ed. Atlas, 2007.

BARROS, Ricardo; SAUAIA, Rodrigo; KOLOSZUK, Ronaldo. **PERSPECTIVAS PARA A GERAÇÃO CENTRALIZADA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL**. 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/perspectivas-para-a-geracao-centralizada-solar->>. Acesso em: 27 abr. 2019.

BRASÍLIA. Aneel. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**: Unidades consumidoras com geração distribuída da Unidade da Federação: RO. 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_estadual_detalhe.asp?uf=RO>. Acesso em: 04 maio 2019.

BRASÍLIA. Aneel. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e Minigeração Distribuída**: Sistema de compensação de Energia Elétrica. 2016. Cadernos temáticos ANEEL 2º edição. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Dis>>. Acesso em: 07 nov. 2018.

BRASÍLIA. Aneel. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_

ifecycle%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: 12 fev. 2019.

BRASÍLIA. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA MME. . **Boletim Mensal de Energia (Fevereiro 2019)**. 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/boletins-de-energia?_20_folderId=3580498&_>. Acesso em: 09 abr. 2019.

BRASÍLIA. Srd. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Finformacoes-tecnicas%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_CegkWaVJWF5E%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: 18 abr. 2019.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. **NT-003**: Conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras da eletrobras- Conexão em baixa tens. Rondônia: Eletrobras, 2016.

CORFIO FIOS E CABOS ELÉTRICOS (Caçador/ Sc). **Catálogo Compactado com tabelas**. 2017. Disponível em: <https://www.corfio.com.br/documentos/catalogo_de_produtos_2016_pt.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

CRESESB, Centro de Referencia Para Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito. **Energia Solar Fotovoltaica**. 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=291>. Acesso em: 12 dez. 2018.

ECKHOUSE, Brian. **Corporações nunca tiveram tanto apetite por energia não poluente**. 2019. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com.br/blog/corporacoes-nunca-tiveram-tanto-apetite-por-energia-nao-poluente/>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

ECOPLANETENERGY (Salvador/ Ba). **Manutenção de sistemas fotovoltaicos**. 2015. Disponível em: <<http://www.ecoplanetenergy.com/pt-br/servicos/manutencao-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 20 maio 2019.

ENERGIA, Ambiente. **Nova célula solar tem eficiência de 44,5%, a maior do mundo**. 2017. Com informações da Revista Meio Filtrante. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2017/07/nova-celula-solar-tem-eficiencia-de-445-maior-mundo/32187>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2018**. Rio de Janeiro: Epe, 2018. 292 p. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2018+-+Documento+Completo+em+Portugu%C3%AAs+](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2018+-+Documento+Completo+em+Portugu%C3%AAs+>)>. Acesso em: 09 abr. 2019.

EQUIPE RICO. **Qual o Rendimento da Poupança 2019?** 2019. Disponível em: <<https://blog.rico.com.vc/rendimento-da-poupanca>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica**. Gepea -: Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo, 2014.

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. 3. ed. Santa Maria: Ufsm, 2014. 320 p.

IST, Instituto Superior Técnico. **Breve história da energia solar**. Lisboa: ., 2004. Disponível em: <<http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

IST; DGS. **Energia fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projetos e instalação**. 2004. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro>>. Acesso em Setembro, 2018.

Júnior, Luiz; Mendes, Luiz.; **Microgeração fotovoltaica conectada à rede elétrica: considerações acerca de sua difusão e implantação no Brasil**. Disponível em:

<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/5825> acesso em agos. 2018.

JESUS, Gildevam Silva de. **Análise de viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico como alternativa de geração de en.** 2018. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Contábeis, Universidade Federal de Rondônia - Unir, Cacoal/ro, 2018.

KOLOSZUK, Ronaldo; SAUAIA, Rodrigo. **RENOVÁVEIS NO BRASIL: MATURIDADES DIFERENTES PARA CADA FONTE EXIGEM CUIDADOS ESPECIAIS.** 2018. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/renovaveis-no-brasil-maturidades-diferentes-para-cada-fonte-exigem-cuidados-especiais.html>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

KRINAT_SOLAR. **Ligações Série e Paralelo entre os módulos.** 2017. Disponível em: <<https://krinatsolar.com.br/ligacoes-serie-e-paralelo-entre-os-modulos/>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

MINHA CASA SOLAR (Contagem/ Mg). **String Box CC, 01 ou 02 Strings, 01 Saída / 01 ou 02 Entrada ECOSOLYS – ECOSTRING.** Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/string-box-cc-01-ou-02-strings-01-saida-01-ou-02-entrada-ecosolys-%E2%80%93-ecostring-79179>>. Acesso em: 09 jun. 2019.

NEF, Bloomberg. **Investimento em energia limpa novamente ultrapassa US\$300 bi em 2018.** 2019. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com.br/blog/investimento-em-energia-limpa-novamente-ultrapassa-us300-bi-em-2018>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel- Cresesb, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

PINTO JUNIOR, Luiz Alberto Wagner. **Investir em energia solar: quanto tempo leva para ter retorno?** 2018. Disponível em: <<http://hccengenharia.com.br/investir-em-energia-solar-quanto-tempo-leva-para-ter-retorno/>>. Acesso em: 20 maio 2019.

PORTAL SOLAR. **Tudo Sobre a Manutenção do Painel Solar**. 2017. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/tudo-sobre-a-manutencao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 11 maio 2019.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de Energia Elétrica**. 3. ed. Barueri: Manole, 2017. 509 p.

SANTERNO (Itália). **Sunway™ M XS**. Disponível em: <<http://santerno.com/bra/solar-energy/sunwaym-xs/#1490038362614-e86c7549-bf72>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

SANTOS, Israel Joaquim dos. **Estudos de casos de um sistema fotovoltaico conectado à rede**. 2018. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Unifacvest, Lages, 2018.

SAUAIA, Rodrigo Lopes. **Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios.**: Brasília (df): Absolar, 2017. Color. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/painel+3+ap+7+2017.10.19+ABSOLAR++Energia+Solar+Fotovoltaica+-+Dr.+Rodrigo+Lopes+Sauaia.pdf/54f8b161-751b-0639-bd04-77a60cac45c3>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

SOL CENTRAL (Curitiba/SC). **Módulos Fotovoltaicos**: Filme Fino. 2015. Disponível em: <<http://www.solcentral.com.br/produtos/>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

SOLAR, Minha Casa. **Inversor Fronius 5,0kW (Grid-Tie) com Wi-Fi-Primo 5.0**. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-fronius-5-0kw-grid-tie-com-wi-fi-primos-5-0-79233?utm_source=GoogleShopping&utm_medium=&utm_campaign=GoogleShopping&gclid=Cj0KCQjw6cHoBRDdARIsADiTTza7J78YSz_fW8fmkZEQc6FJKM0NYZ2YnQ49wnMwN_m5wZgqIZlyoNlaAmjHEALw_wcB>. Acesso em: 22 maio 2019.

SOLAR, Mppt. **Painéis solares em série e paralelo**. 2019. Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-paralelo.html>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

SOLAR, Portal. **Célula Fotovoltaica: CÉLULA DE SILÍCIO MONOCRISTALINO (mono-Si)**. 2011. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SOLAR, Portal. **Célula Fotovoltaica: CÉLULA DE SILÍCIO POLICRISTALINO (multi-Si)**. 2011. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SOUZA, Ronilson di. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica**. Ribeirão Preto/ Sp: Blue sol Energia Solar, 2017. 114 p. Disponível em: <<http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%AO>>. Acesso em: 09 dez. 2018.

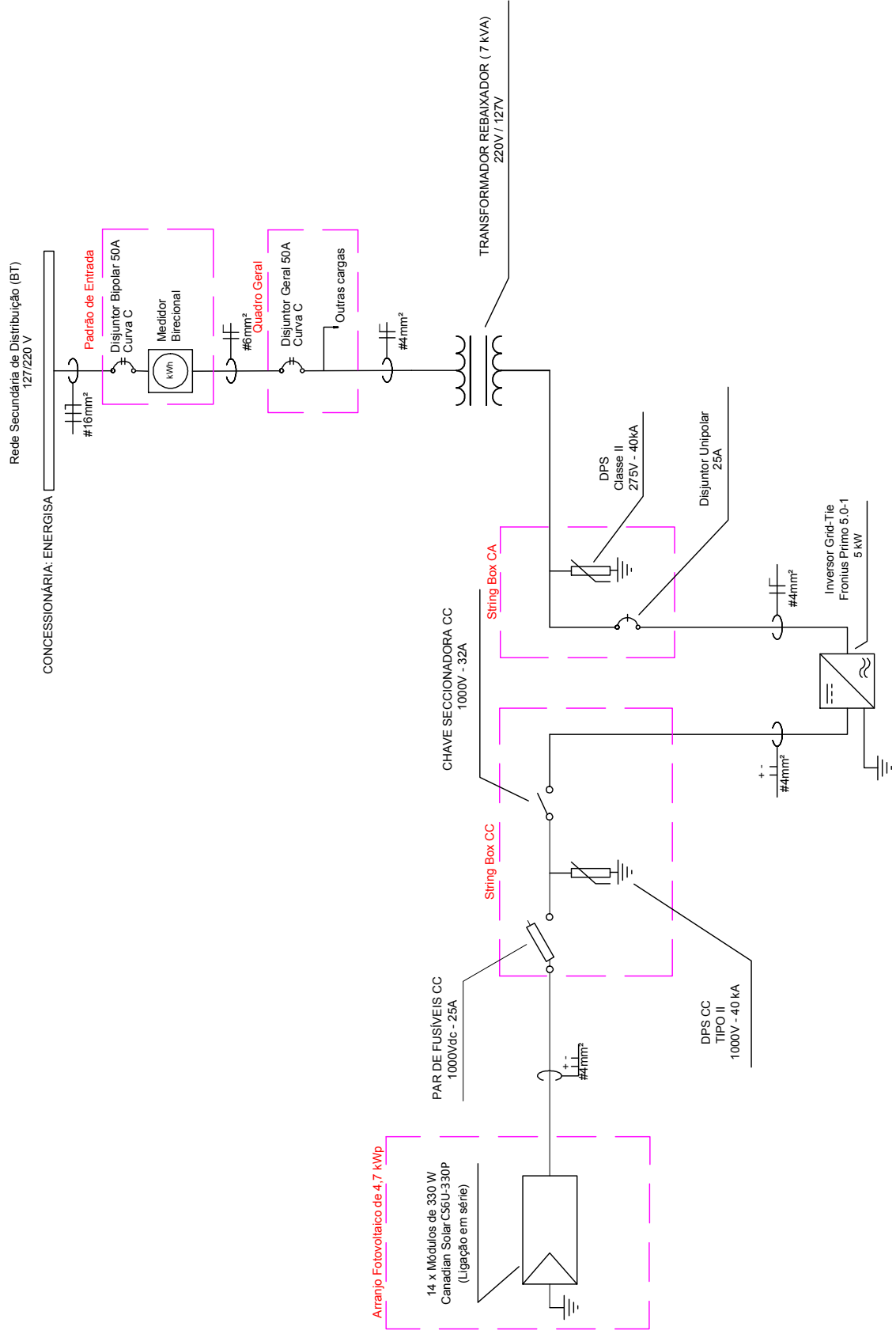
SUNERGIA. **CONHEÇA UM POUCO MAIS SOBRE A HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. 2017. Disponível em: <<https://sunergia.com.br/blog/conheca-um-pouco-mais-sobre-a-historia-da-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

TORRES, Regina Célia. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações resi.**2012. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Eesc/usp, São Carlos, 2012.

VALLÊRA, A.; BRITO, M.. **Meio século de história fotovoltaica**. ,: Gazeta de Física, 2006.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica : conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: érica/ Saraiva, 2015. 224 p. Rev. e atual.

APENDICE A- DIAGRAMA UNIFILAR DO ESTUDO DE CASO 1



ANEXO A – MANUAL DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS



MAXPOWER CS6U-325 | 330 | 335P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 17 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES



Excellent module efficiency of up to: 17.23 %



High PTC rating of up to: 92.18 %



IP68 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 3600 Pa*



linear power output warranty



product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system

ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system

OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / INMETRO / CEC AU / KEMCO / SII

UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)

UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE

UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / IEC 60068-2-68: SGS

Take-e-way



* We can provide this product with special BOM specifically certified with salt mist, ammonia and sand blowing tests. Please talk to our local technical sales representatives to get your customized solutions.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001.

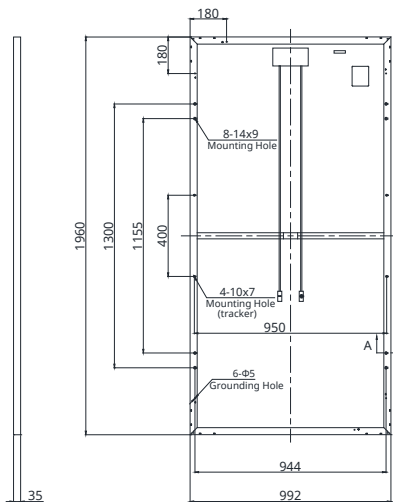
*For detail information, please refer to Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.

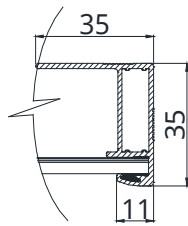
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)

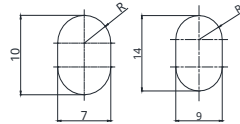
Rear View



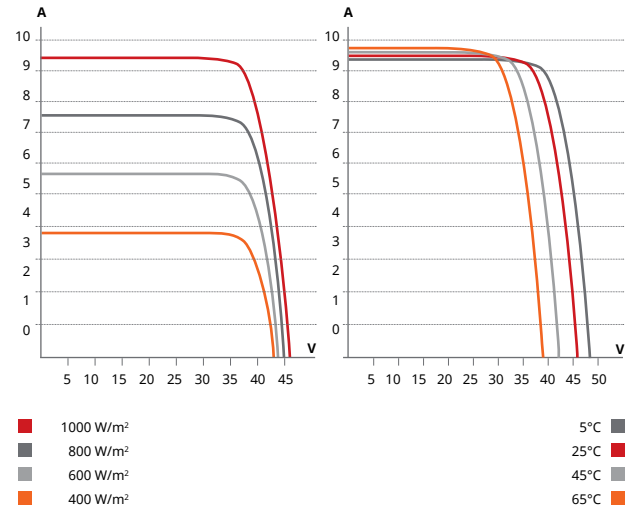
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



CS6U-330P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	239 W	243 W	247 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.0 V	34.2 V	34.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.03 A	7.10 A	7.17 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.4 V	42.5 V	42.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.54 A	7.63 A	7.70 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 35 mm (77.2 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	720 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.40 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

PARTNER SECTION



ANEXO B – MANUAL DO INVERSOR SOLAR

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



SHIFTING THE LIMITS



INDEPENDÊNCIA É POSSÍVEL.
PORQUE DISPONIBILIZAMOS
ENERGIA SOLAR DIA E NOITE

/ Produtos Solar Energy

FRONIUS PRIMO

/ O inversor comunicativo para gerenciamento de energia otimizada



DADOS TÉCNICOS FRONIUS PRIMO

DADOS DE ENTRADA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1
Max. corrente de entrada (Idc max1 / Idc max2)	12.0 A / 12.0 A	
Max. conjunto corrente curto circuito (MPP1 / MPP2)	18.0 A / 18.0 A	
Min. tensão de entrada (Udc min)	80 V	
Tensão de alimentação inicial (U _{dc start})	80 V	
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	710 V	
Max. tensão de entrada (Udc max)	1,000 V	
Faixa de tensão MPP (Umpp min - Umpp max)	200 - 800 V	210 - 800 V
Numero de rastreadores MPP	2	
Número de entradas DC	2 + 2	
Certificado INMETRO	Concessão: 002132/2016	Concessão: 002130/2016
Certificados	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150	

DADOS DE SAÍDA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1
Tensão nominal de saída (Pac,r)	3,000 W	4,000 W
Max.potência de saída	3,000 VA	4,000 VA
Max. corrente de saída (Iac max)	13.0 A	17.4 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)	
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Distorção harmônica total	< 5 %	
Fator de potência (cos φac,r)	0.85 - 1 ind. / cap.	

DADOS DE ENTRADA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Max. corrente de entrada (Idc max1 / Idc max2)	12.0 A / 12.0 A		
Max. conjunto corrente curto-circuito (MPP1 / MPP2)	18.0 A / 18.0 A		
Min. tensão de entrada (Udc min)	80 V		
Tensão de alimentação inicial (U _{dc start})	80 V		
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	710 V		
Max. tensão de entrada (Udc max)	1,000 V		
Faixa de tensão MPP (Umpp min - Umpp max)	240 - 800 V	270 - 800 V	
Numero de rastreadores MPP	2		
Número de entradas DC	2 + 2		
Certificado INMETRO	Concessão: 002133/2016	Concessão: 002131/2016	Concessão: 002134/2016
Certificados	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150		

DADOS DE SAÍDA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Tensão nominal de saída (Pac,r)	5,000 W	6,000 W	8,200 W
Max.potência de saída	5,000 VA	6,000 VA	8,200 VA
Max. corrente de saída (Iac max)	21.7 A	26.1 A	35.7 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)		
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Distorção harmônica total	< 5 %		
Fator de potência (cos φac,r)	0.85 - 1 ind. / cap.		

ANEXO C – MANUAL DA STRING BOX

ecoString_{box}

ecoSolys - CC

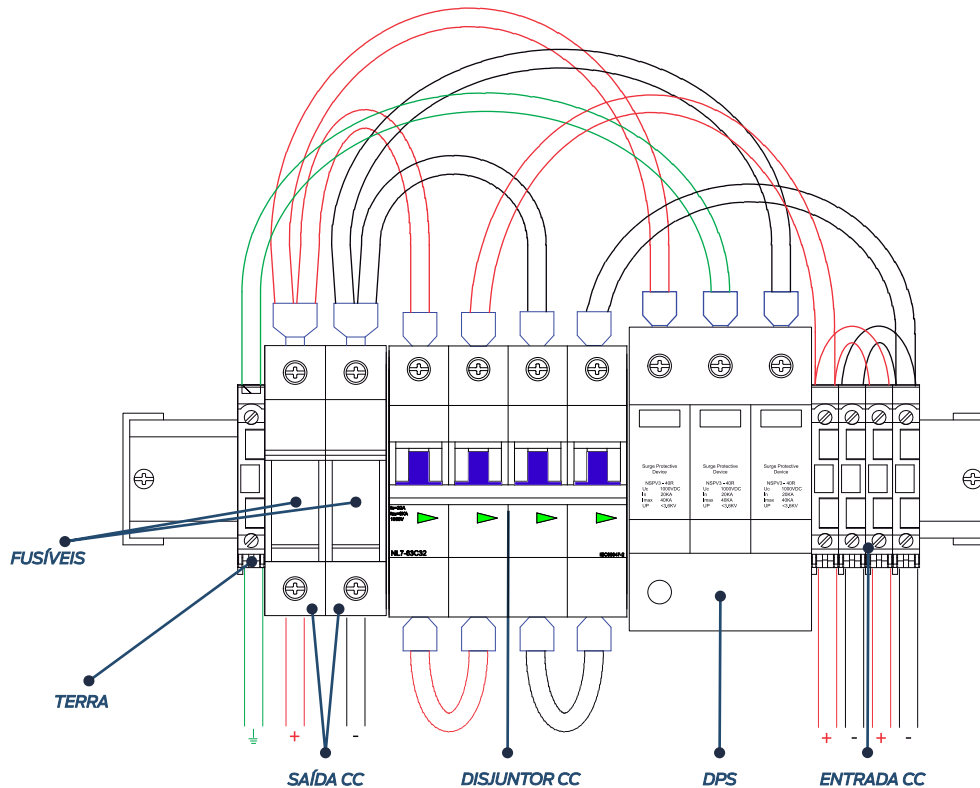
Extra proteção para seu sistema fotovoltaico.



A **ecoString_{box}** foi desenvolvida para garantir a proteção do circuito entre o módulo fotovoltaico e o inversor, cumprindo com todas as indicações de um quadro elétrico de proteção em corrente contínua. Esse quadro elétrico é composto por dispositivos de proteção dimensionados para intervir em caso de distúrbios elétricos no sistema.

ecoString_{box}

ecoSolys - CC



A String Box ecoSolys é composta de:

Caixa de proteção em ABS

Índice de proteção: IP66

Base porta fusível com fusíveis

Disjuntor em corrente contínua

Dispositivo de Proteção Contra Surto - DPS

Os equipamentos foram testados por laboratórios internacionais conforme as diretrizes europeias: IEC 60947-2:2006+A1:2009, 50539-11:2013+A1:2014, 60269-6:2011, 60269-1:2007+A1:2009+A2:2014, 61439-1:2011, 61439-2:2011, 60439, EN 50618.

* Para versões anteriores com fusível de 15 A, a Stringbox permite apenas uma string de entrada.

2 Fusíveis 10x38

Corrente: 25 A

Tensão: 1000 VDC

Disjuntor em corrente contínua

Corrente: 32 A

Tensão: 1000 VDC

DPS

Tensão nominal: 1000 VDC

Corrente nominal: 20 kA

Corrente máxima: 40 kA

Tensão de pico: $\leq 3,5$ kV

ecoSolys

Uma nova luz para a sustentabilidade

Fone: +55 41 3056-8511

Rua Deputado Heitor Alencar Furtado - 270

CEP 80740-060 - Curitiba - Paraná - Brasil

www.ecosolys.com.br
contato@ecosolys.com.br

f @ecosolys

ig @ecosolys

tw @ecosolys