

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES EM
RESIDÊNCIAS**

GUSTAVO KENJI SILVA NAMIMATSU
HENRIQUE SEIDI MURATA

**SÃO PAULO
2017**

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES EM
RESIDÊNCIAS**

GUSTAVO KENJI SILVA NAMIMATSU

HENRIQUE SEIDI MURATA

PROFESSOR ORIENTADOR:
PROF. ME. ROMILDO DE CAMPOS
PARADELO JÚNIOR

**SÃO PAULO
2017**

GUSTAVO KENJI SILVA NAMIMATSU
HENRIQUE SEIDI MURATA

ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES EM RESIDÊNCIAS

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado à Faculdade de Tecnologia
de São Paulo, como parte das
exigências para obtenção do título de
tecnólogo em instalações elétricas

São Paulo, 19 de dezembro de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Mestre Romildo de Campos Paradelo Júnior

Profa. Doutora Silvia Maria de Paula

Prof. Doutor Humber Furlan

Dedicamos este trabalho a nossos pais e familiares pelo apoio e carinho durante os anos de faculdade, aos professores e corpo docente por transmitir seu conhecimento para nós e aos companheiros de turma que nos incentivaram e nos forneceram muitas risadas durante estes anos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o Prof. Me Romildo de Campos Paradelo Júnior por nos orientar no desenvolvimento e na estrutura da pesquisa, indicação de especialistas e ajuda na busca de fontes para complementar nosso estudo.

Agradecemos o Prof. Dr. Humber Furlan por nos ajudar com seu conhecimento sobre os sistemas fotovoltaicos, em seu grupo, e por todo o conhecimento passado durante as reuniões.

Agradecemos o Prof. Me Hívio Fregolente Júnior por nos ajudar com as normas técnicas do trabalho.

Agradecemos a instituição da Faculdade de Tecnologia de São Paulo e a Universidade de São Paulo por nos fornecer fontes para a ideia da pesquisa.

“Ninguém baterá tão forte quanto a vida. Porém, não se trata de quão forte pode bater, se trata de quão forte pode ser atingido e continuar seguindo em frente. É assim que a vitória é conquistada.”

-Rocky Balboa

RESUMO

Com a atual viabilidade de implementar sistemas fotovoltaicos, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo criar uma base de estudo, funcionamento e implementação dos sistemas em residências, levando em conta o custo benefício que esta mudança traria na vida dos consumidores. Fundamentou-se o funcionamento dos equipamentos utilizados e as formas de montagem, com um estudo mais aprofundado dos equipamentos mais relevantes. Com isso em mãos optou-se pela escolha do sistema fotovoltaico ON-GRID, por ter um custo menor para a aplicação do caso e ser o método mais utilizado atualmente. Por meio do consumo médio, localização e da área disponibilizada no local, pode-se estudar a viabilidade da implementação neste caso, além de avaliar em quanto tempo terá um retorno para o consumidor. Esta relação de tempo e custo é base do planejamento. Estudou-se um caso de uma residência localizada no centro de São Paulo, pela acessibilidade de obtenção dos dados e recursos da região. Obteve-se êxito em dimensionar o sistema, porém foi diagnosticado que teria um alto investimento e um retorno em torno de 5 anos.

ABSTRACT

The actual viability of installing fotovoltaic systems, this Conclusion Course Work has as its objective, creating a baseline of study, operation and implementation of these systems in residences, focusing in the cost benefit that this change would bring to the customer's life. The operation and the forms of assembly were based on a study of the main components. By having that study, we chose the "ON-GRID" fotovoltaic system, once it has cheap values and for being the most used method by now. By the average consumption, localization and the area available in the local, it can be verified the viability of the implantation in this specific case and how long does it take to have a return for the customer. This relation of the cost and the time are the base of the planning. It was decided to use a house located at São Paulo's center because there was easier access to data and resources from the region. Also, it was figured out that it has enough support for estimating the system size but it would need a big investment for having the return in 5 years.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1: Geração solar mundial.

Figura 2: Configuração básica de um sistema fotovoltaico.

Figura 3: Sistema Conectado à rede.

Figura 4: Exemplo de sistema híbrido.

Figura 5: Representação das bandas de um material.

Figura 6: Junção PN.

Figura 7: Ligação das células em série.

Figura 8: Ligação das células em paralelo.

Figura 9: Ligação em série dos painéis fotovoltaicos.

Figura 10: Ligação em paralelo dos painéis fotovoltaicos.

Figura 11: Inclinação, equinócios e solstícios.

Figura 12: Movimento de Translação da Terra e estações do ano.

Figura 13: Movimento de declinação solar em relação ao planeta Terra.

Figura 14: Controlador paralelo com desconexão por baixa tensão opcional.

Figura 15: Controlador série com desconexão por baixa tensão opcional.

Figura 16: Bateria em corte.

Figura 17: Método de instalação com medidor bidirecional.

Figura 18: Método de instalação com dois medidores unidirecional.

Figura 19: Método de instalação com medidores simultâneos.

Figura 20: Gráfico de inclinações para instalação do módulo em função da irradiação.

Figura 21: Configuração da proteção do sistema.

Figura 22: Tabela do lucro acumulado através do tempo.

Figura 23: Gráfico do lucro acumulado através do tempo.

LISTA DE ABREVIações

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício amorfo
CC	Corrente contínua
CA	Corrente alternada
CB-solar	Centro Brasileiro para Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio
CIS	Disseleneto de Cobre, Índio
CPV	Concentrated Photovoltaics
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
DSSC	Dye-Sensitized Solar Cell
GaAs	Arsenieto de gálio
IME	Instituto Militar de Engenharia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
m-Si	Monocristalina

MPP	Maximum Potencial Point
OPV	Organic Photovoltaics
p-Si	Policristalina
PUC-RS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
SIGFIs	Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes intermitentes
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado
UFPR	Universidade Federal do Paraná
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE UNIDADES

°C	Graus célsius
Ω -cm	Ohms-centímetro
ρ	Resistividade
A	Ampéres
kW	Kilowatts
MWp	Megawatts pico
TWh	Terawatts hora
V	Volts
W	Watt
Wh	Watt hora
Wp	Watt pico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA	18
3. BREVE HISTÓRICO DO ESTUDO SOLAR	19
4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	25
4.1 Energia solar	25
4.2 Sistemas ON-GRID, OFF-GRID e Híbrido	25
4.3 Equipamentos	28
4.3.1 Placas Solares	28
4.3.2 Regulador de Tensão	38
4.3.3 Banco de Baterias (OFF-GRID)	40
4.3.4 Inversor	42
4.3.5 Medidor Bidirecional	43
5. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (ON-GRID)	46
5.1 Análise do local e condições climáticas	46
5.2 Temperatura	46
5.3 Dimensionamento da quantidade de módulos solares	48
5.4 Dimensionamento do inversor	49
5.5 Proteção e medição	50
6. APLICAÇÕES E ESTUDO DE CASO	52
6.1 Valores ajustados em decorrência da temperatura	53

6.2 Cálculo do número de painéis.....	55
6.3 Inversor	56
6.4 Proteção e medição	58
7. RESULTADOS OBTIDOS E LEVANTAMENTO DE CUSTO	60
8. CONCLUSÕES E TÓPICOS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO	64
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
10. ANEXOS	69

1. INTRODUÇÃO

Em um primeiro momento, fundamentou-se o histórico da energia fotovoltaica no mundo e no Brasil, levantando informações da evolução dos sistemas e como está estabelecido o patamar da energia solar atualmente. Muitos acontecimentos históricos influenciaram o desenvolvimento e o aumento da utilização dos sistemas fotovoltaicos. Esse estudo e levantamento será aprofundado no capítulo 3.

Com o estabelecimento desta base teórica sobre o histórico da energia solar no mundo, observa-se as principais formas de montagem que são utilizadas para a configuração dos sistemas. Atualmente a tecnologia disponibiliza de três configurações de montagem: ON-GRID, onde o sistema é conectado diretamente à rede da concessionária; OFF-GRID, sistema onde a energia coletada pelos painéis solares é armazenada em um banco de baterias e o Híbrido, que utiliza os painéis em conjunto com outras fontes de energia para disponibilizar ao cliente. A abordagem deste assunto será apresentada no item 4.2.

Os sistemas ON-GRID, OFF-GRID possuem diferentes componentes na montagem de seu sistema. O sistema ON-GRID necessita do conjunto de painéis, inversor e o medidor bidirecional. Enquanto o sistema OFF-GRID necessita do conjunto de painéis, regulador de tensão, baterias e o inversor. Estes equipamentos serão aprofundados durante o capítulo 4.3.

Após a escolha da configuração do sistema, é necessário entender como cada componente do sistema funciona. O principal componente é o painel solar que é formado por semicondutores e através do efeito fotovoltaico, fazem a conversão da radiação solar em energia elétrica. Também é importante atentar-se à conexão dos

painéis para a obtenção dos valores desejados na saída, isto será apresentado em detalhes no item 4.3.1.

Determinados os equipamentos, é possível iniciar o dimensionamento do sistema solar, de acordo com a demanda, consumo ou as especificações dimensionais do consumidor. Os métodos utilizados se encontram no capítulo 5.

Com esta metodologia, tem-se o suficiente para fazer o estudo de caso que, neste trabalho, será abordado uma residência localizada no centro de São Paulo. Esta definição é abordada no capítulo 6, onde aplicou-se as metodologias levantadas no capítulo anterior.

Os resultados obtidos serão demonstrados e discutidos no capítulo 7, junto com um estudo de tempo e viabilidade da implementação dos sistemas solares.

No capítulo 8, mostra-se como a metodologia influenciou na obtenção dos resultados e a relevância que esses dados terão para o projeto em questão de viabilidade. Também será abordado possíveis tópicos futuros e como está o panorama atual.

2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo fundamentar o estudo e implantação de recursos para obtenção de energia elétrica através de uma forma alternativa: a energia fotovoltaica. E como consequência deste levantamento de informações, pode-se determinar o sistema solar conveniente para aplicação em residências. E para ilustrar este estudo utilizamos o método de estudo de caso.

Visando o problema da crescente demanda de energia elétrica enfrentada pelas grandes cidades do mundo, o estudo na área solar surge como uma forma alternativa de trazer benefícios num panorama geral: o consumidor, a indústria solar, as empresas que concessionam a energia elétrica e o meio ambiente.

A introdução de sistemas solares em residências fará com que parte da demanda dos consumidores “pequenos” da rede, diminuam. Assim, aliviando as linhas da concessionária e como consequência, para o consumidor, a redução dos gastos de energia elétrica da rede. A popularização dos sistemas solares, impulsionará a procura pelos equipamentos dos sistemas beneficiando a indústria fotovoltaica. O meio ambiente não será afetado já que a energia solar é uma fonte renovável e limpa.

3. BREVE HISTÓRICO DO ESTUDO SOLAR

Desde o princípio da humanidade, o homem busca formas de aprimorar as técnicas que ele desenvolveu para garantir uma melhor qualidade de vida. Um fator primordial para esse desenvolvimento é a busca por novos materiais, onde destaca-se o Silício e Selênio. O químico Jöns Jacob Berzelius iniciou os estudos do Selênio e Silício no início do século XIX, materiais fundamentais para os sistemas fotovoltaicos.

Pouco tempo depois, em 1839, o físico francês Edmond Becquerel (1820-1891) observou o princípio do fenômeno fotovoltaico através de uma célula eletroquímica, o que fez constatar que a radiação solar ocasionava uma diferença de potencial nos seus terminais, que estavam mergulhados em um eletrólito. [19]

Em 1876, Adams e Day aprimoraram os estudos de Becquerel observando o efeito fotocondutivo em uma união de Selênio e Platina, o que permitiu Frits e Uljanin desenvolverem uma célula primitiva fotovoltaica de Selênio, bem diferente das que existem atualmente. [17]

Então, Calvin Souther Fuller em 1953 iniciou os estudos de dopagem dos materiais, modificando as propriedades do silício. Seu companheiro de estudos do laboratório, Gerald Pearson, junto com a pesquisa de Fuller, desenvolveu o que podem ser chamadas de primeira célula fotovoltaica moderna. Três anos depois, devido ao crescimento e procura da indústria eletrônica, as placas começaram a ser fabricadas em maior escala. Inicialmente, essa indústria era voltada para a área de telecomunicações e também para localidades remotas. [20]

Os acontecimentos que marcaram a história da civilização moderna, tais como: guerras, crises e alta demanda devido ao crescimento populacional exacerbado,

impulsionou o estudo e desenvolvimento da energia solar, trazendo-a como uma solução alternativa. O estudo progrediu bastante no mundo durante a década de 50, 60 e 70 com a chegada da “Guerra Fria” e das crises na América durante 1973.

Na “Guerra Fria” citada anteriormente, destacou-se a “Corrida Espacial”, onde os países capitalistas e comunistas disputavam quem chegaria primeiro ao espaço. Esse evento foi um grande impulsionador do estudo de sistemas solares, pois surge como uma alternativa viável para as empresas, já que as placas têm um peso bem reduzido quando comparado aos outros geradores de energia e com um custo-benefício alto. [19]

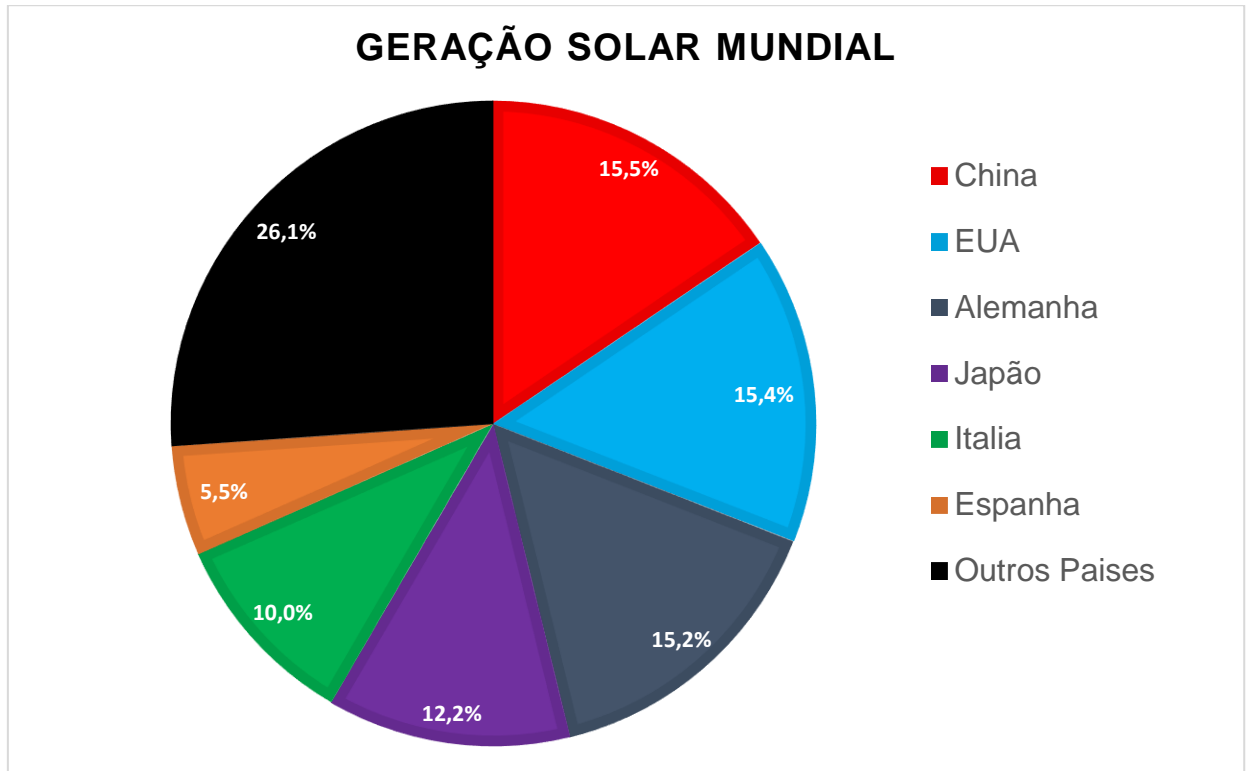
Na década de 70, com o advento da crise do petróleo, os países se viram forçados a achar alternativas além do combustível fóssil. Isso forçou o investimento na área de energia solar e assim, as placas que antigamente eram utilizadas para a “Corrida Espacial” agora tiveram seu preço reduzido para se tornarem economicamente viáveis.

Outro impulso no século XX, mais especificamente no final da década de 90, foi o Protocolo de Kyoto, onde os países entraram em um acordo de redução da emissão de CO₂, assim restringindo o uso de combustíveis fósseis e formas de gerar energia na qual comprometesse o meio ambiente.

Atualmente, o mundo tem uma geração fotovoltaica de 253,0 TWh [1]. O ranking é liderado pela China que é responsável por 15,5% da energia produzida, seguida pelo Estados Unidos com 15,4% e em terceiro lugar a Alemanha com 15,2%. [1]

A figura 1 ilustra os percentuais da geração solar mundial, sendo possível observar que grande parte da geração se concentra em poucos países.

Figura 1 - Geração solar mundial



Fonte: Energia solar no Brasil e Mundo, MME [1]

O Brasil, por estar situado numa região mais próxima da linha do equador e do trópico de capricórnio, possui uma incidência elevada de radiação solar em seu território.

Os desenvolvimentos da tecnologia em nossas terras datam da década de 50, onde o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e o Centro Técnico Aeroespacial (CTA), foram os responsáveis por realizar o primeiro incentivo à pesquisa nessa área tecnológica. Ainda nessa década, a Universidade de São Paulo (USP) iniciou o desenvolvimento de lingotes de silício mono cristalino, usados para a construção de painéis fotovoltaicos que obtiveram 12,5% de eficiência.

Na década de 70, devido à crise petrolífera, o Brasil intensificou os estudos de energia solar já que fontes alternativas estavam sendo necessárias. A nossa tecnologia se equiparava aos países europeus que também desenvolviam sistemas fotovoltaicos. Nesse período, o Instituto Militar de Engenharia (IME) progrediu as pesquisas em tecnologias de filmes finos, criando células de sulfeto de cádmio e sulfeto de cobre com um aproveitamento de 5%.

No entanto, o auge obtido na década de 70 teve uma queda repentina no início dos anos 80. Muitos pesquisadores se desinteressaram pela área devido à falta de incentivo. Com isso, muitas empresas faliram ou diminuíram a produtividade, porém houve progressão em relação à purificação de silício e as pesquisas em relação a esses materiais.

Essa tecnologia desenvolvida na década de 80, foi de grande utilidade para as pesquisas espaciais que o Brasil desenvolveu nos anos 90, tal como o primeiro satélite brasileiro desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Esta década também foi marcada pelo início dos estudos em Silício amorfo em nosso território pelas universidades e centros de pesquisa do Estado de São Paulo. O avanço tecnológico que o Brasil continha na década de 70, onde era comparado à países líderes no mercado, começou a ficar defasado nos anos em que se passaram.

O começo dos anos 2000 foi marcado pelo aumento da defasagem do Brasil em relação ao mundo diante à produção de células fotovoltaicas, principalmente na China. O Brasil, por sua vez, na primeira década do século XXI, tratou de retomar os estudos e pesquisas que haviam sido deixados em segundo plano na década de 80.

Em 2001, o governo iniciou um programa de incentivo à pesquisa e desenvolvimento em relação à energia solar. No ano seguinte, a ANEEL (Agência

Nacional de Energia Elétrica) estabeleceu normas e regras para a instalação de energia elétrica para consumidores isolados da rede (OFF-GRID), também conhecidos como Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFIs). Já em 2003, o programa criado pelo governo “luz para todos”, aumentou a ambição de conseguir energia em lugares remotos, o que trouxe grande aumento da instalação de SIGFIs por parte das concessionárias.

O governo federal, estadual do Rio Grande do Sul e municipal de Porto Alegre, com o auxílio da PUC-RS (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul) e a companhia estadual de energia elétrica (CEEE), criaram o Centro Brasileiro para Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica (CB-solar). O CB-solar foi muito importante para o início da pesquisa e produção de células fotovoltaicas em escala industrial e divulgação dos estudos desse período por meio de simpósios nacionais. Tudo isso ocorreu nos anos de 2004 e 2005.

A ANEEL iniciou uma série de projetos em 2011, de pesquisa e desenvolvimento para a inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética do Brasil. Esses projetos inseriram cerca de 24 MWp em nossa rede e um desses projetos foi a primeira Usina Fotovoltaica no Brasil com potência de 1 MWp. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição (ON-GRID) foram regulamentados no ano de 2012 pela ANEEL. Essa regulamentação prevê um equilíbrio entre a energia consumida e a energia gerada trazendo benefício para o cliente e para a concessionária.

Segundo os dados obtidos pela ANEEL em 2017, atualmente o Brasil disponibiliza de uma potência outorgada provida de energia solar de 236.248 kW [2] em relação à geração centralizada que representa apenas 0,15% da energia total produzida no país levando em conta as outras fontes geradoras (Hidrelétrica,

termoelétrica, eólica e outras) e de uma potência de 113.558,62 kW [3] em relação à geração distribuída. O cenário atual também se caracteriza por ter muitos grupos de estudo e desenvolvimento de purificação de silício e os componentes para os sistemas solares. Na INTERSOLAR em São Paulo, 2017, observou-se um grande interesse na tecnologia de Trackers, sistema que direciona o painel solar em um ângulo específico para obtenção de maior rendimento da placa, e placas mais eficientes.

4. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

4.1 Energia solar

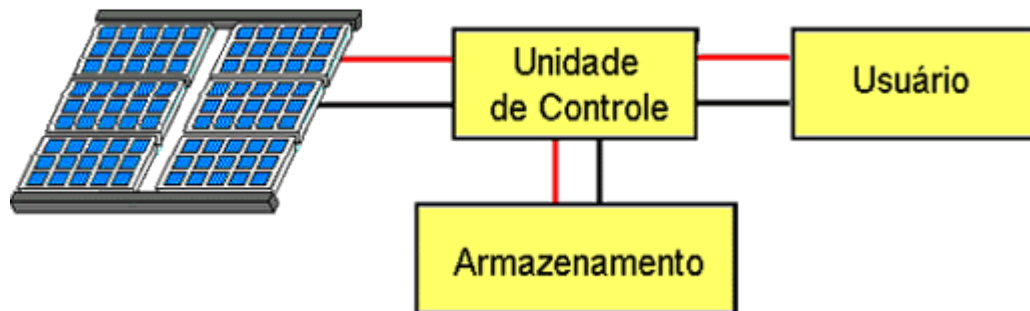
O nosso planeta é o terceiro do sistema solar em relação ao sol e recebe cerca de $1,5 \times 10^9$ TWh [4] de energia do Sol anualmente. Uma das formas de conversão da radiação solar em energia elétrica é através do efeito fotovoltaico, onde será abordado no capítulo de painéis solares.

4.2 Sistemas ON-GRID, OFF-GRID e Híbrido

A principal característica do sistema fotovoltaico OFF-GRID consiste no fato que a energia elétrica produzida é armazenada em um banco de baterias. Esse sistema é composto basicamente por: painel fotovoltaico, controlador de carga, banco de baterias e inversor CC/CA. O painel converte a energia solar em uma carga não uniforme, em seguida, essa carga passa pelo controlador de carga que por sua vez regula a tensão para um valor fixo em corrente contínua. Essa energia é armazenada em um banco de baterias e caso o usuário necessite utilizá-la, ela deverá passar pelo inversor onde transformará a corrente contínua em alternada e em seguida pode ser utilizada para os equipamentos domésticos encontrados no mercado. [16]

A figura 2 ilustra a estrutura básica de um sistema fotovoltaico OFF-GRID, dividindo-o em blocos de funções dos equipamentos.

Figura 2 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico

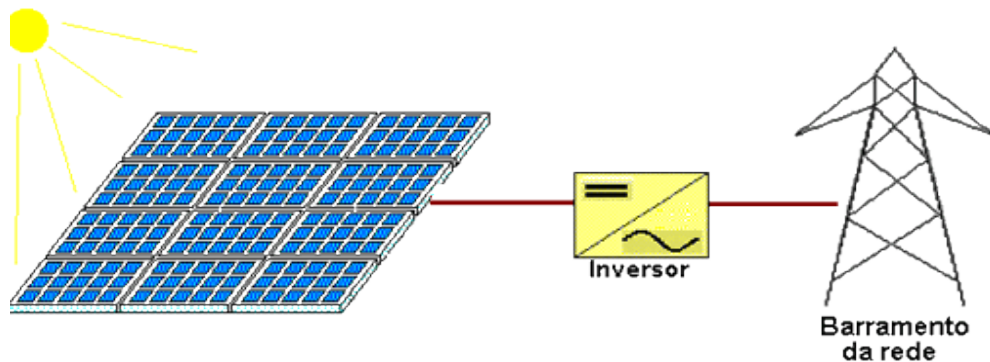


Fonte: Componente de um sistema fotovoltaico, CRESESB [16]

O sistema de geração fotovoltaica conectada à rede elétrica, sistema ON-GRID, é um sistema diferente do OFFGRID e Híbrido, por ser formado basicamente de painéis solares, medidor bidirecional e inversor de corrente (CC/CA), não armazenando a energia gerada. Esse sistema é conectado na rede da concessionária, permitindo que a energia produzida possa ser entregue à rede ou ser disponibilizada para consumo do usuário. Caso o consumidor não utilize toda a energia que está sendo produzida, ela é direcionada à rede. A entrega da energia é feita através de créditos que são abatidos e geram desconto na conta de energia. A energia coletada pelos painéis passa pelo inversor, transformando a energia em CC para CA e sincroniza a forma de onda com a da concessionária. Na sequência, o medidor bidirecional, localizado entre o sistema solar e a rede, faz o cálculo da energia gerada que o usuário quer entregar à concessionária e a energia consumida da rede. [16]

Na figura 3 observa-se um esquema simplificado de um sistema ON-GRID.

Figura 3 - Sistema Conectado à rede



Fonte: Componente de um sistema fotovoltaico, CRESESB [16]

Composto por mais de uma fonte de geração de energia, o sistema híbrido, além de utilizar painel solar, possui outros meios de geração de energia tais como o gerador a diesel e as turbinas eólicas. Usualmente, os sistemas híbridos, dependem de uma otimização complexa, já que múltiplos geradores diferentes tornam o controle da energia gerada mais difícil. Por este motivo, cada caso é estudado individualmente, em sua maioria operam em OFF-GRID e em corrente contínua onde dependem de inversores. Este sistema pode ser observado na figura 4, onde indica-se alguns exemplos de fontes de geração que podem ser aplicadas aos sistemas híbridos. [16]

Figura 4 - Exemplo de sistema híbrido



Fonte: Componente de um sistema fotovoltaico, CRESESB [16]

4.3 Equipamentos

Para construção de um sistema solar, é indispensável fazer um levantamento e estudo dos equipamentos que serão utilizados e da demanda do consumidor. Antes de fundamentar-se o projeto em si, será estudado todos os equipamentos que fazem parte dos sistemas ON-GRID e OFF-GRID. Para a escolha dos equipamentos adequados para a aplicação, é importante a consulta aos catálogos, onde obtém-se um valor teórico das características do equipamento feito pelos fabricantes em laboratório e com estes dados pode-se calcular: custo, geração e rendimento do conjunto dos seus equipamentos. O projetista deve-se atentar ao espaço disponível e localização geográfica do local onde será implantado, pois dependendo de sua longitude e latitude haverá uma diferença no ângulo de instalação entre a placa e sua base.

4.3.1 Placas Solares

Os sistemas de energia solar abordados nesse projeto são os do tipo fotovoltaico e não os fototérmicos. Tendo isso em vista, o funcionamento das placas se dá por células fotovoltaicas que por sua vez são compostas de materiais semicondutores. A radiação solar influencia uma das faces do material semicondutor e através do efeito fotovoltaico é possível obter energia elétrica desta operação.

Os semicondutores operam de uma forma diferente dos materiais condutores e isolantes. Eles possuem resistividade (ρ) bem menor comparada a um isolante e bem maior do que um condutor. O cobre (Condutor) por exemplo possui resistividade próxima de $10^{-6} \Omega\text{-cm}$ e a mica (Isolante) possui a resistividade em torno de $10^{12} \Omega\text{-cm}$. Quando esses materiais são comparados ao silício (Semicondutor) ele não se

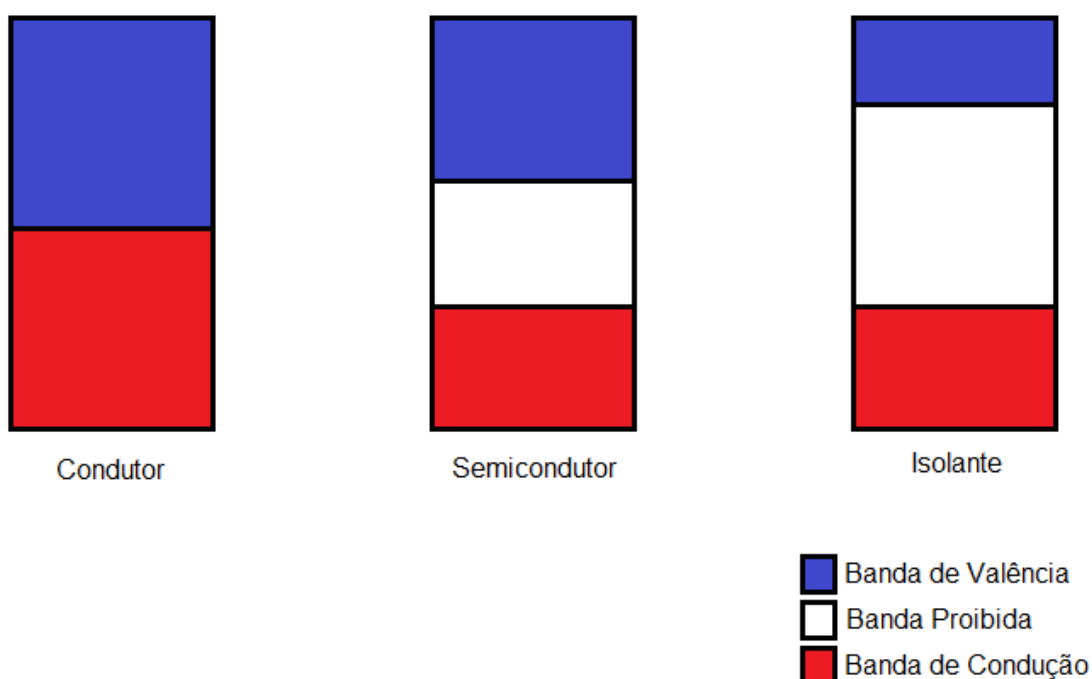
encaixa em nenhum, pois possui valor intermediário a esses grupos ($50 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$).

[18]

Todo material possui uma “banda proibida”, que varia dependendo da resistividade (ρ) do mesmo, entre a camada de valência (que contém elétrons mais suscetíveis a se tornarem elétrons livres para fazer a passagem) e a banda de condução.

A figura 5 representa como são as bandas dos materiais: condutor, semicondutor e isolante.

Figura 5 - Representação das bandas de um material

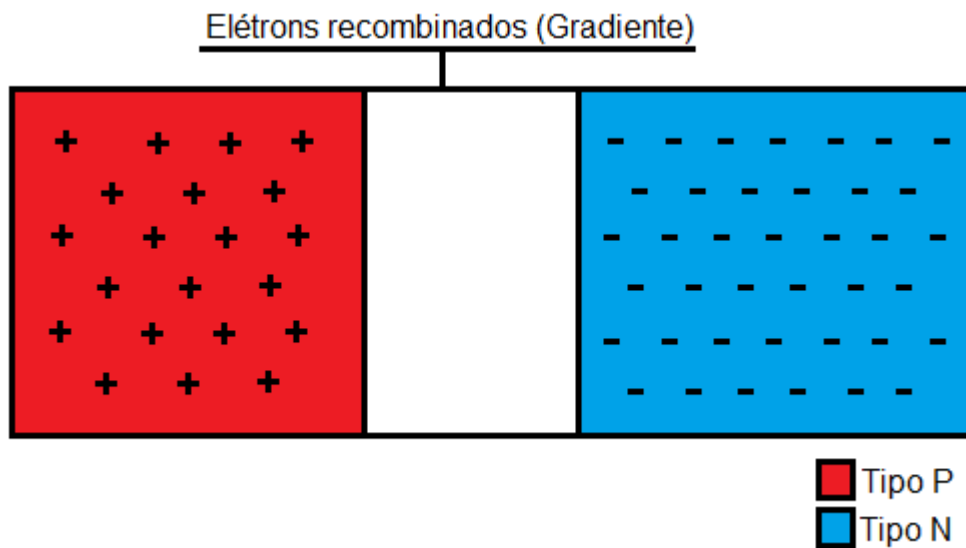


Dependendo da quantidade de energia fornecida aos elétrons, eles podem ganhar energia suficiente para se tornarem elétrons livres e assim passarem da camada mais externa (valência) para a banda de condução, atravessando a banda proibida, tornando o material condutor. Existem diferentes formas de modificar os

materiais semicondutores, dopando o silício ou germânio (que se encontram na quarta família da tabela periódica, indicando que ambos possuem 4 elétrons na camada de valência). Caso o silício ou o germânio sejam dopados com um elemento da terceira família da tabela periódica, obtém-se um material semiconductor do tipo P, que se caracteriza pelo aparecimento de cargas positivas (chamadas de lacunas por faltar um elétron para fazer as ligações entre o boro e o silício). Caso o silício ou germânio sejam dopados com um elemento da quinta família da tabela periódica, obtém-se um material semiconductor do tipo N, que se caracteriza pelo aparecimento de cargas negativas (pelo elemento da quinta família ter cinco elétrons na camada de valência, que por sua vez só pode ter oito, na ligação entre os elementos sobrar um elétron livre).

Pode-se juntar os materiais do tipo P e N, obtendo a chamada “Junção PN”. Com isso, os elétrons livres que se encontravam no tipo N passam para o tipo P preenchendo parte das lacunas, criando uma barreira de potencial na junção devido a recombinação das lacunas e dos elétrons livres. Esta combinação pode ser observada na figura 6, onde tem-se uma ilustração de junção PN. [18]

Figura 6 - Junção PN



Segundo o Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos [19] obtém-se a seguinte definição para efeitos fotovoltaicos: “Conversão direta da energia da luz (espectro visível) em energia elétrica. A célula fotovoltaica é o elemento que realiza essa conversão”

Os raios solares são grandes emissores de energia. Quando a radiação proveniente do sol incide na célula fotovoltaica (material semicondutor N), energiza os elétrons livres, assim, fornecendo energia suficiente para que os mesmos vençam a barreira de potencial e possam atravessá-lo, gerando energia elétrica.

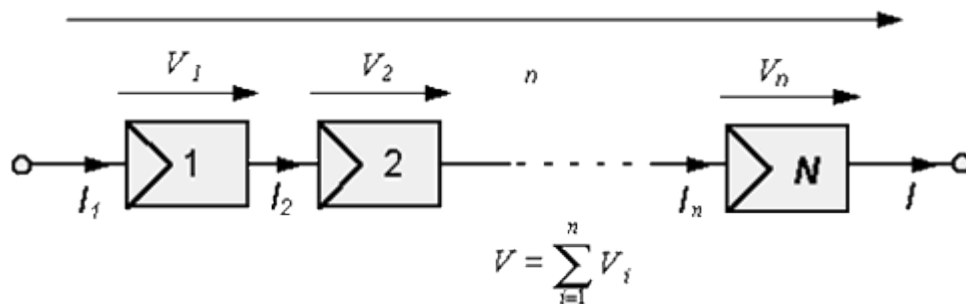
Os painéis são constituídos de um agrupamento de células fotovoltaicas. Existem diversos tipos de células e podem ser utilizadas em diferentes ocasiões.

O Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos [19] define a célula fotovoltaica como “Dispositivo elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta da energia solar em elétrica”.

Por possuir uma tensão individual baixa, é necessária uma ligação entre as células fotovoltaicas. Cada célula deve ser conectada entre si através de ligações em

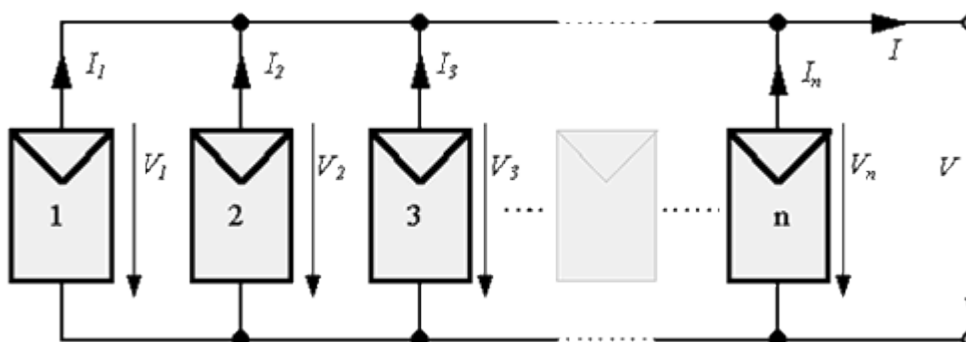
série e/ou paralelo, que podem ser observadas respectivamente nas figuras 7 e 8, para obter as tensões e correntes em um valor significativo. Isso se aplica às placas de silício cristalino, que são maioria no mercado, porém as de filme fino não podem fazer tais ligações por se tratar de uma célula integral. As células integrais não se tratam de pequenas unidades geradoras individuais e sim, células unitárias por módulo. Deste modo, cada placa de filme fino possui, teoricamente, apenas uma célula em sua composição.

Figura 7 – Ligação das células em série



Fonte: CRESESB [5]

Figura 8 – Ligação das células em paralelo



Fonte: CRESESB [5]

Também chamadas de primeira geração, as células de Silício Cristalino são atualmente as mais utilizadas no mercado tendo um custo-benefício alto comparada

aos outros tipos. Existem dois tipos de células formadas a base de silício cristalino, a monocristalina (m-Si) e a policristalina (p-Si).

A célula monocristalina é formada de uma peça de silício homogênea e seu rendimento é de 19% a 23%. Já a célula policristalina, possui vários cristais de silícios agrupados uns nos outros não possuindo aparência uniforme. Seu rendimento é em torno de 16% a 19% e possui um preço menor em comparação a célula monocristalina. [17]

Conhecidas como segunda geração, os filmes finos são células com um preço inferior em relação à primeira geração, porém para ter custo reduzido utiliza-se materiais tais como: vidro, aço inoxidável ou plásticos, revestidos por uma camada exageradamente fina de materiais sensíveis à energia solar.

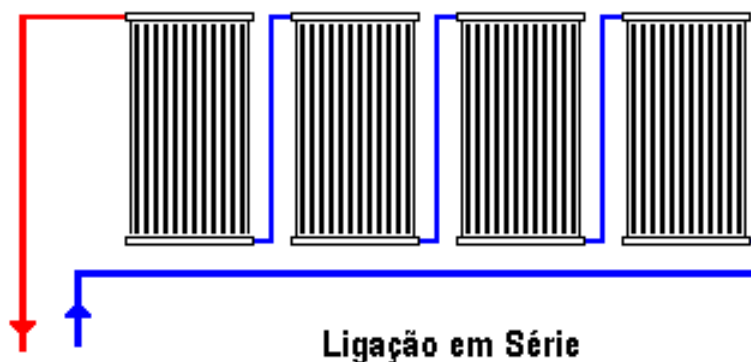
Esses materiais sensíveis à energia podem ser: o Silício amorfo (a-Si), onde possui eficiência energética de 8% a 13%; o Disseleneto de Cobre, Índio (CIS) ou Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS) possuem rendimento alto comparado à outras células (15% a 23%), porém a disponibilidade dos materiais como índio cria dificuldades para essa tecnologia; O Telureto de Cádmio (CdTe) possui rendimento em torno de 9% a 18%, porém o fato do Cádmio ser tóxico torna um material com poucas aplicações. [17]

Ainda em estudo e desenvolvimento, junto com as células da terceira geração (CPV, OPV, DSSC), o Arsenieto de Gálio (GaAs) possui o maior rendimento em relação à outras células, porém o custo de fabricar uma placa dessas ainda a torna inviável. Provavelmente se tornarão as placas mais utilizadas assim que o valor de custo reduzir. [19]

Agora que os conceitos sobre a célula e o módulo foram estabelecidos, deve-se atentar à dois fatores muito importantes: A ligação e a posição dos módulos.

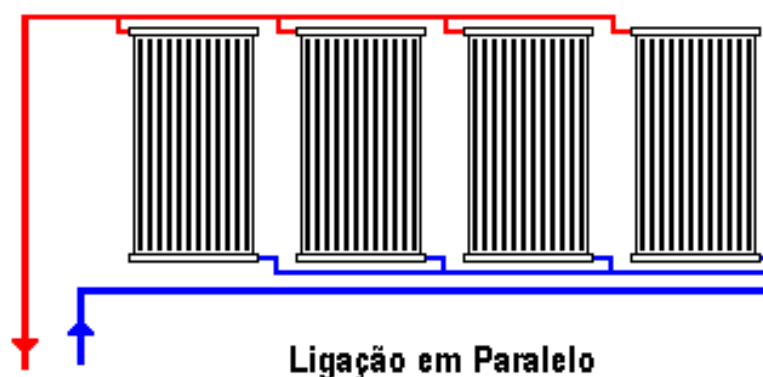
Dependendo da aplicação, os módulos deverão ser conectados entre si para obter valores de tensão e corrente desejados para o sistema solar. Caso a ligação dos painéis seja feita em série, soma-se as tensões e mantém a mesma corrente ao longo do circuito, lembrando que as ligações são em corrente contínua, ou seja deve ser feita através da ligação do positivo (+) de uma placa no negativo (-) de outra, de acordo com a figura 9. E caso a ligação seja feita em paralelo, soma-se as correntes e mantém a tensão, efetuando a conexão dos polos positivos (+) entre si, das placas, e o mesmo para os polos negativos (-), de acordo com a figura 10. Estudando as opções de como utilizar essas duas conexões, obtém-se os valores de tensão e corrente desejados.

Figura 9 – Ligação em série dos painéis fotovoltaicos



Fonte: Tissit [6]

Figura 10 – Ligação em paralelo dos painéis fotovoltaicos



Fonte: Tissit [6]

Dependendo da localização, deve-se estudar o posicionamento do arranjo de módulos, pois o ângulo da instalação da placa influencia diretamente o aproveitamento de energia. Sabendo que o Planeta Terra possui uma inclinação de aproximadamente 23° , de acordo com a figura 11, em relação ao sol, deve-se instalar o painel de forma que capte energia o ano todo, em um ângulo médio para o movimento translativo do sol. Durante a translação, a localização passa por mudanças na sua incidência dos raios em relação à Terra. Para ilustrar essas mudanças pode-se observar os equinócios e solstícios, que são datas que marcam a mudança de estações do ano.

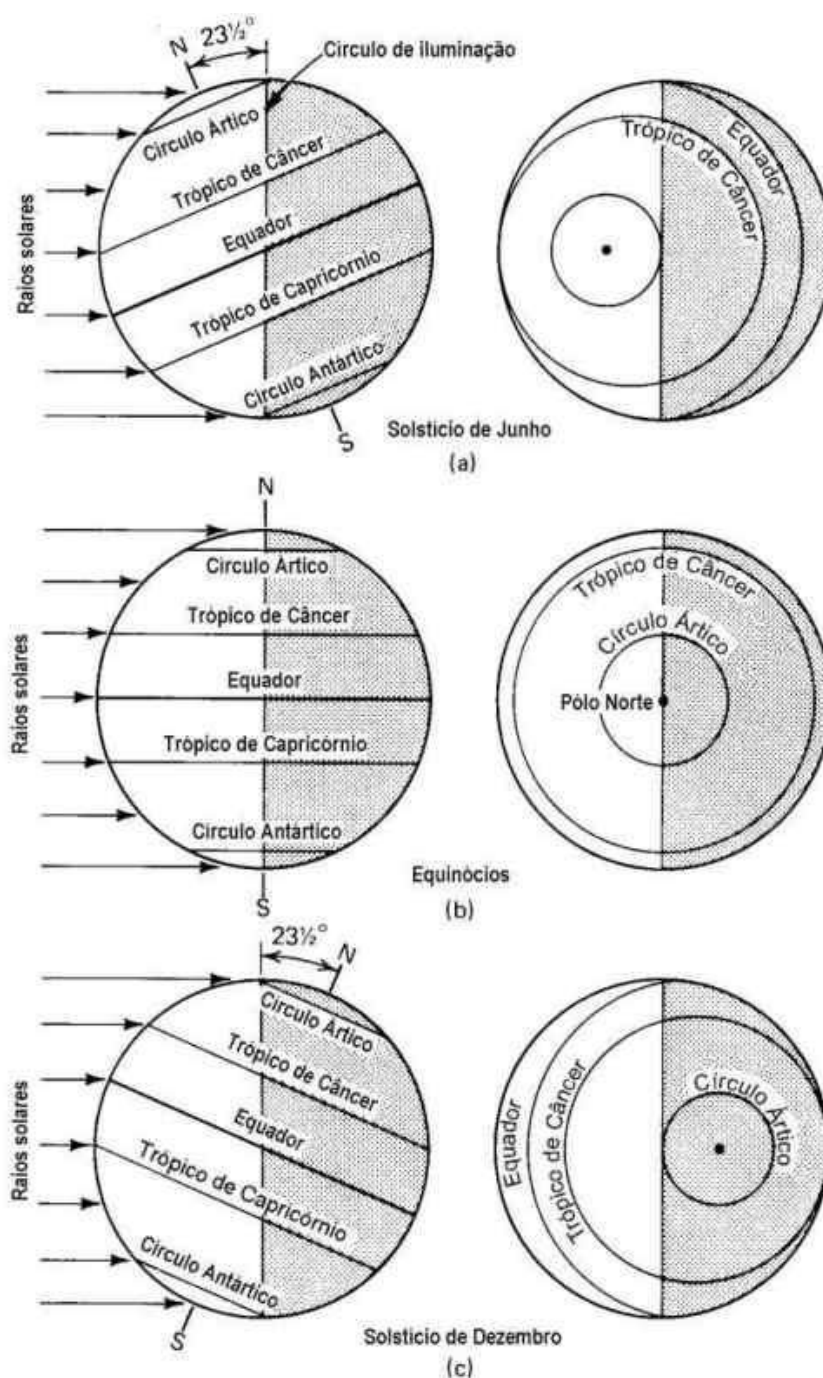
O período do solstício se caracteriza pela passagem da primavera para o verão e do outono para o inverno, dependendo da localização geográfica. Durante os solstícios, o planeta está a uma inclinação de 23° como observado na figura 11. Por este motivo, a incidência solar é diferente de um hemisfério em relação ao outro.

O equinócio por sua vez, marca a passagem do verão para o outono ou do inverno para a primavera. Durante os equinócios, o Planeta Terra recebe uma

distribuição uniforme da radiação solar entre seus hemisférios. Isso ocorre por seu eixo de rotação estar perpendicular aos raios solares.

Com os conceitos geográficos da Terra, utiliza-se o ângulo da latitude da localização do Sistema Fotovoltaico como ângulo de inclinação.

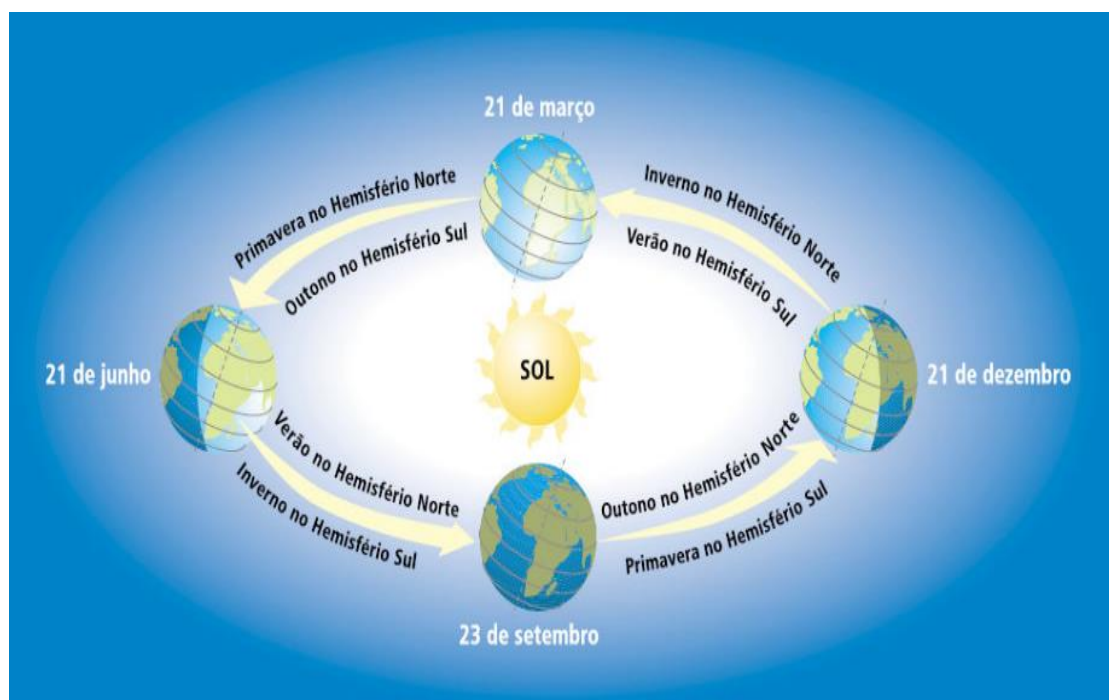
Figura 11 – Inclinação, equinócios e solstícios



Além do ângulo de instalação dos painéis é necessário que eles fiquem virados para o hemisfério inverso da localização do projeto (caso esteja no hemisfério sul deve-se voltar o painel para o norte e caso esteja no hemisfério norte, deve-se voltar o painel para o sul). Essa recomendação é dada pois dependendo da época do ano a declinação solar será diferente. Seguindo essa recomendação, haverá um máximo aproveitamento dos raios solares durante o ano todo. A declinação solar muda em relação as estações do ano, equinócios e solstícios. Podemos observar a inclinação anual do sol na figura 13. [17]

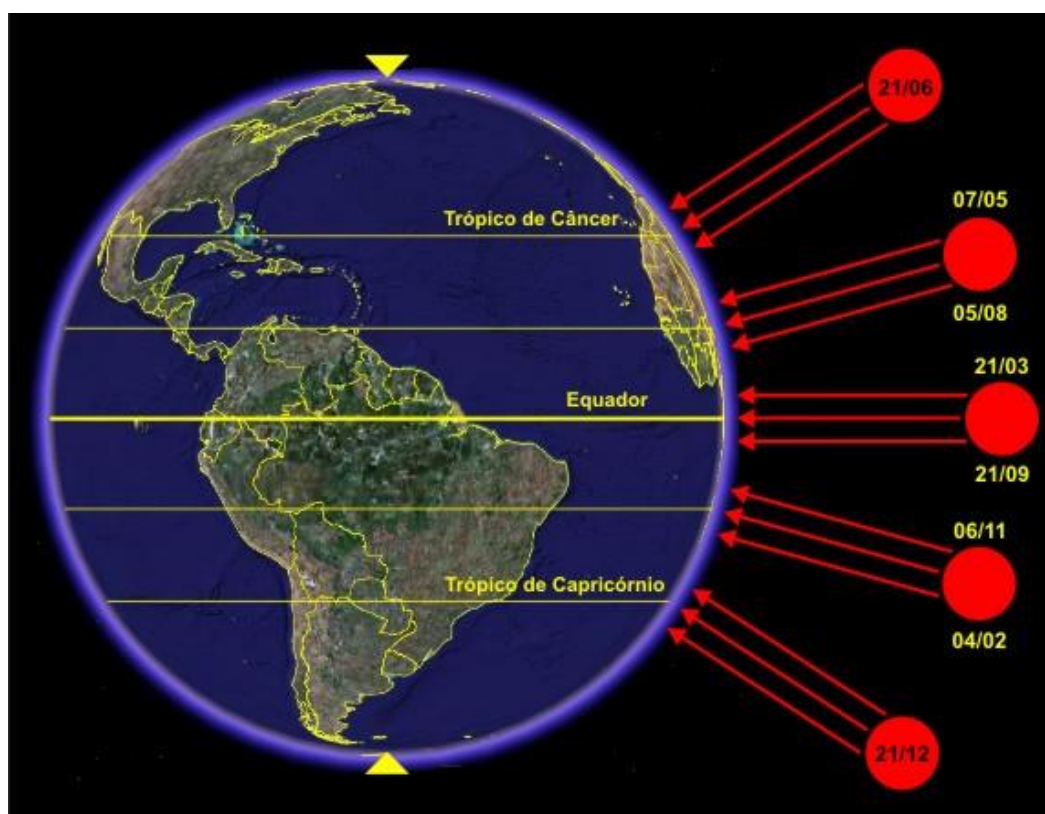
As mudanças de estação do ano são dadas pelos equinócios e solstícios, esses períodos podem ser observados na figura 12. Onde as datas de 21 de março e 23 de setembro são os equinócios e as datas de 21 de dezembro e 21 de junho são os solstícios.

Figura 12 – Movimento de Translação da Terra e estações do ano



Fonte: ABRAVA [8]

Figura 13 – Movimento de declinação solar em relação ao planeta Terra



Fonte: Nô, Esron [9]

Além do melhor aproveitamento de energia, a inclinação é importante para que os módulos fotovoltaicos façam uma autolimpeza através das chuvas e não fique resíduos sob a placa, assim, escoando grande parte dessas impurezas. Mesmo a latitude do local sendo 0° , recomenda-se uma inclinação mínima para que não fique resíduos acumulados.

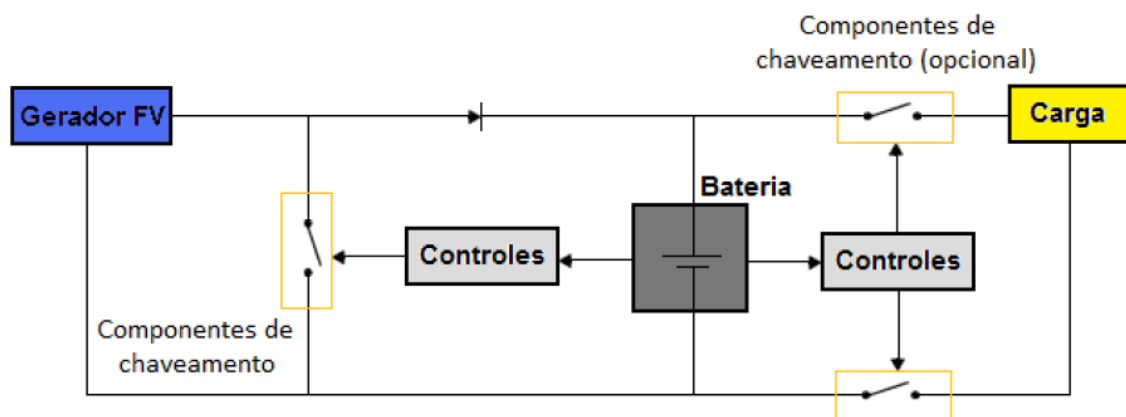
4.3.2 Regulador de Tensão

O regulador de tensão é utilizado normalmente no sistema off-grid. Seu principal objetivo é proteger e administrar a transição da energia do painel para o banco de baterias. Sua função é, basicamente, interromper a passagem de energia dos módulos fotovoltaicos para a bateria quando a mesma atingir a carga plena e

interromper o fornecimento de energia para o consumidor quando a bateria atingir um limite mínimo que será abordado no item 4.3.3.

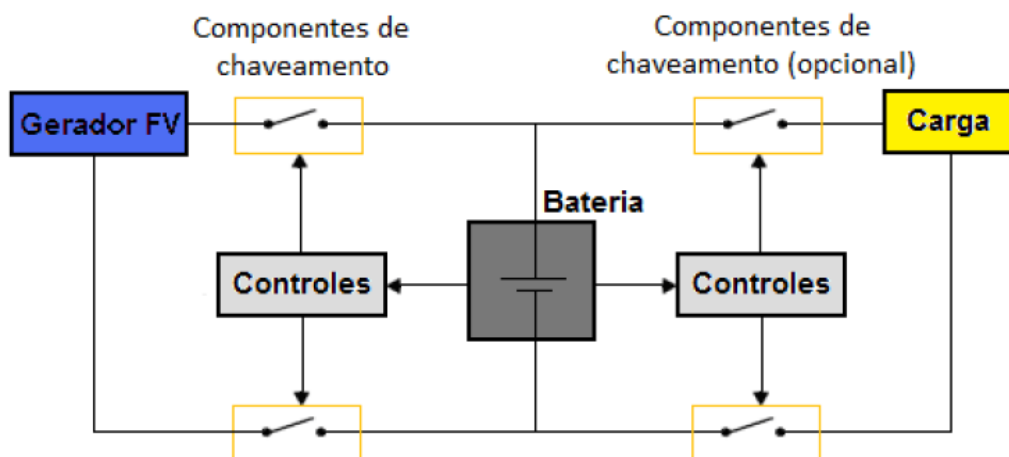
Escolhe-se os controladores de acordo com a necessidade e podem ser selecionados quanto a grandeza a ser utilizada, forma de desconexão do painel fotovoltaico e estratégia do controle. As grandezas adotadas mais utilizadas são: estado de carga, tensão e densidade do eletrólito. Há duas formas de desconectar o painel fotovoltaico quando a bateria atinge a carga plena. São elas: paralelo e série.

Figura 14 - Controlador paralelo com desconexão por baixa tensão opcional



Fonte: Manual de engenharia [19]

Figura 15 - Controlador série com desconexão por baixa tensão opcional



Fonte: Manual de engenharia [19]

Os controladores paralelos, ilustrados na figura 14, utilizam dispositivos que desliga ou reduz a corrente que está fluindo para a bateria quando ela está totalmente carregada. Desse modo, uma parte da corrente gerada pelo painel é desviada por meio de um dispositivo em paralelo com a bateria e apenas uma pequena parte dessa corrente é encaminhada para a bateria. Um dos componentes fundamentais nesse circuito de controlador paralelo é o diodo de bloqueio que é ligado em série entre o elemento de chaveamento e a bateria. O controlador série, ilustrado na figura 15, utiliza um relé eletrônico ou dispositivo semicondutor de chaveamento para interromper a passagem da corrente gerada para a bateria quando a mesma estiver em plena carga. [19]

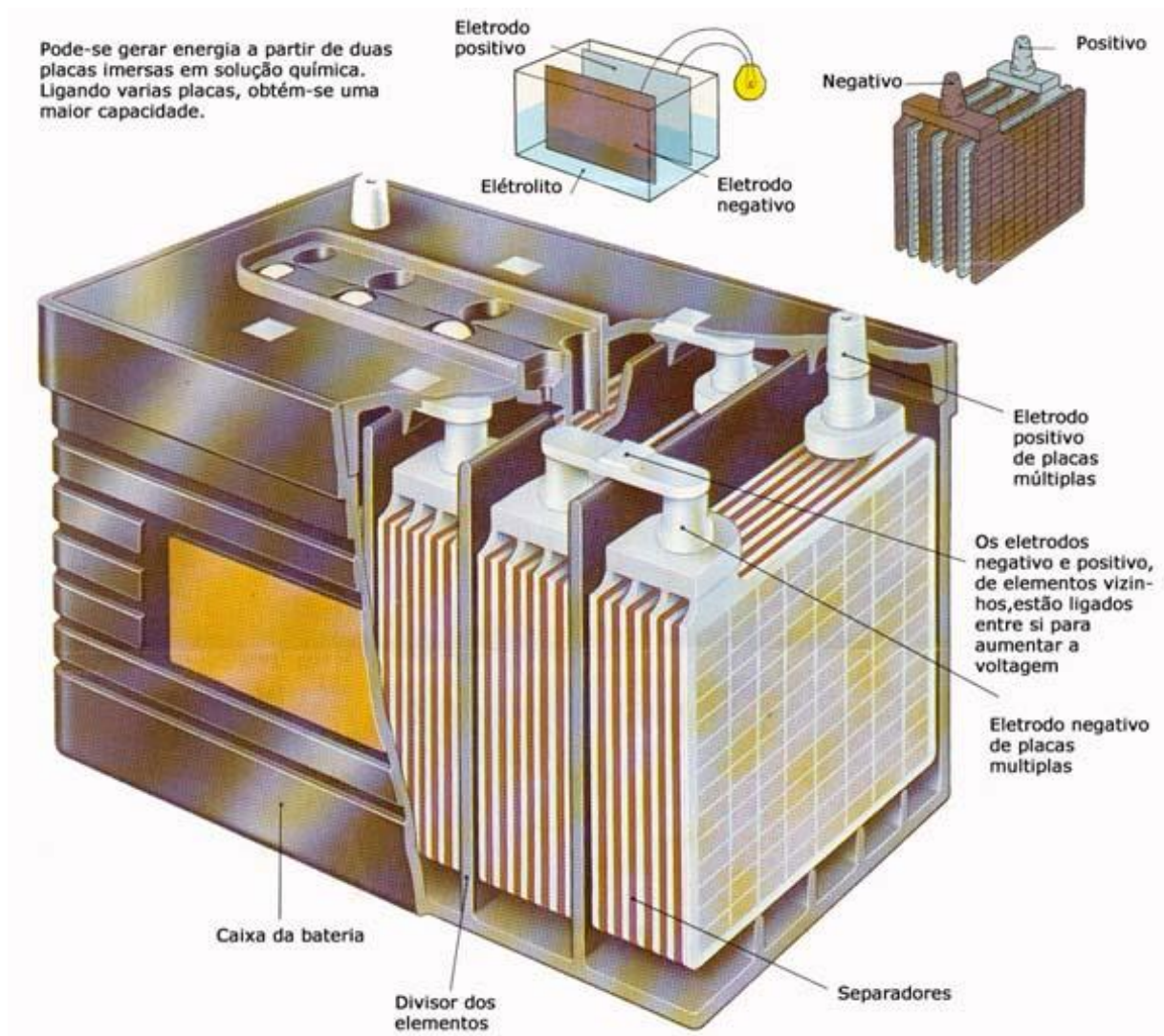
Os reguladores de tensão liga-desliga são os mais simples, pois não precisam de nenhum tipo de regulação. Ele aplica uma tensão e uma corrente diretamente na bateria e efetua o controle com base tensão instantânea nos terminais da bateria. [19]

4.3.3 Banco de Baterias (OFF-GRID)

Para um sistema fotovoltaico off-grid é necessário armazenar a energia produzida para ser utilizada em momentos em que não há produção de energia ou a energia produzida é insuficiente para alimentar as cargas (como à noite, ou quando a radiação solar for baixa). Desse modo, a energia produzida em excesso é armazenada para ser utilizada nessas ocasiões.

“A palavra “bateria” refere-se a um grupo de células eletroquímicas conectadas eletricamente em série e/ou paralelo para produzir tensão e/ou corrente mais elevada do que a que pode ser obtida por uma única célula” [19]. O conjunto de células eletroquímicas mergulhadas em um eletrólito pode ser observada na figura 16.

Figura 16 - Bateria em corte



Fonte: Sistemas automotivos [10]

A bateria como dita anteriormente, é um conjunto de células eletroquímicas que converte energia química em elétrica e reciprocamente. Elas podem ser: Baterias Chumbo-ácido; Baterias Níquel-Cádmio e Níquel-hidreto metálico; Baterias Li-íon;

As baterias de Chumbo-Ácido foram as primeiras baterias a serem comercializadas. Criada pelo Francês Planté em 1859, possuía uma forma de construção diferente por ser constituída de placas planas de Chumbo. Atualmente,

essa bateria é constituída de dióxido de chumbo, chumbo metálico e uma estrutura altamente reativa imersas em ácido sulfúrico.

As baterias mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados (SFI), são de Chumbo-Ácido do tipo estacionárias, que permanecem em um estado de flutuação e operam ocasionalmente para ciclos de carga e/ou descarga. Elas devem possuir dois tipos de ciclo em sua operação. São eles: Ciclos rasos a cada dia e Ciclo profundo por vários dias. Recomenda-se que, ao consumir a bateria, não utilize mais que 30% da carga. [19]

Nos ciclos rasos, a cada dia, a energia gerada durante o dia é consumida e armazenada na bateria e durante o período em que não há incidência solar (noite) ou a incidência não é suficiente para alimentar as cargas (tempo nublado), a bateria supre a demanda das cargas, utilizando uma pequena parte da carga contida nela. No momento em que houver incidência ou na manhã seguinte em que há luz solar, a bateria carregará novamente essa pequena parte utilizada.

Nos ciclos profundos, as cargas utilizadas da bateria não são supridas pelo carregamento da mesma. Portanto, o estado de carga da bateria reduz depois de cada dia e quando isso ocorre durante um período de vários dias, levará ao ciclo profundo onde recomenda-se que utilize no máximo cerca de 50% do total da carga da bateria.

A recomendação para a utilização limite da carga deve ser atendida para uma melhor vida útil das baterias.

4.3.4 Inversor

Os inversores são responsáveis por converter a energia de corrente contínua obtida pelos painéis, em corrente alternada que será utilizada pela carga. Dependendo

do sistema em estudo, pode-se aplicar determinados tipos de inversores.

Atualmente os inversores referentes ao sistema fotovoltaico podem ser divididos de acordo com sua aplicação: sistemas conectados na rede e sistemas isolados. Ao dimensionar o inversor para seu sistema, deve-se verificar três fatores: forma e continuidade da saída, capacidade do sistema a ser atendido e eficiência. [18]

Uma tecnologia encontrada atualmente nos inversores são os Pontos de máxima potência, conhecidos como MPPs, que se tratam de divisões na entrada dos inversores que possibilitam fazer arranjo dos módulos divididos pelo número de MPPs. Pode-se comparar como se existissem dois inversores dentro de um, pois eles funcionam separadamente em relação à entrada, porém deve-se lembrar que mesmo com mais entradas o inversor terá somente uma saída.

No sistema ON-GRID, além da função de um inversor comum, ele se encarrega de sincronizar a energia de saída, com a forma de onda da concessionária.

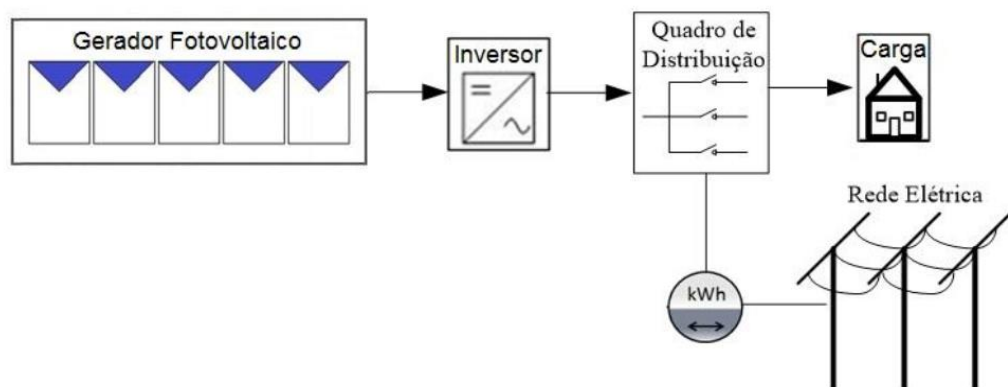
É importante ter cuidado ao escolher o inversor atentando-se ao arranjo da montagem dos módulos, pois o inversor possui um valor de tensão máxima e corrente máxima admitida.

4.3.5 Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional possui a função de registrar a energia consumida da rede pelo consumidor e a energia injetada na rede. Essa medição pode ser feita através de um medidor bidirecional, apresentado na figura 17, ou dois medidores, mostrados na figura 18, um em cada sentido. Em cada momento, registrará apenas um sentido que é dada pela diferença entre a energia consumida e a energia gerada.

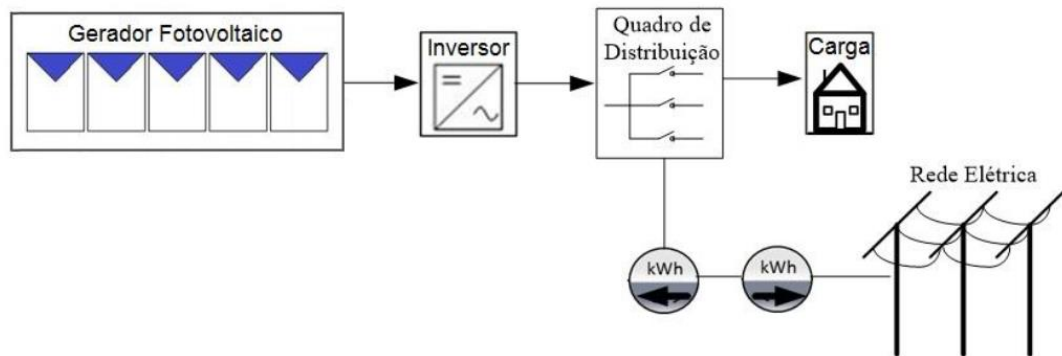
Para se obter informações mais precisas sobre a energia consumida e a energia gerada, utiliza-se um método diferente de medição, que pode ser visualizado na figura 19, chamada de medição simultânea que consiste em 2 medidores independentes um do outro (um para medir a energia gerada e outro para medir a energia consumida). No caso anterior, o medidor registra a energia líquida que é a energia gerada menos a consumida e nesse caso de medição simultânea, toda a energia produzida através do sistema fotovoltaico é registrado assim como a energia utilizada pelo consumidor. Esses três tipos de medições são regulamentados pela ANEEL. [19]

Figura 17 - Método de instalação com medidor bidirecional



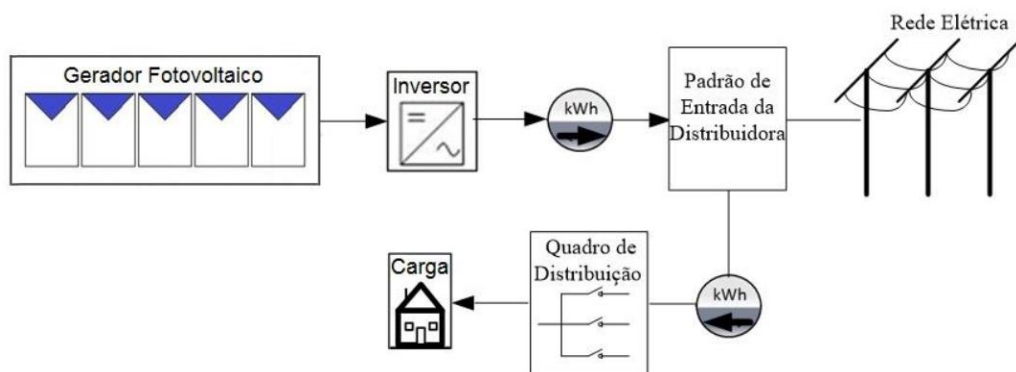
Fonte: Manual de engenharia [19]

Figura 18 - Método de instalação com dois medidores unidirecional



Fonte: Manual de engenharia [19]

Figura 19 - Método de instalação com medidores simultâneos



Fonte: Manual de engenharia [19]

5. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (ON-GRID)

Para o dimensionamento correto de um sistema solar, são necessários alguns aspectos que serão abordados nos tópicos subsequentes, segue-se um estudo elaborado para o desenvolvimento de seu projeto.

5.1 Análise do local e condições climáticas

Inicialmente, deve-se analisar a incidência solar na região onde será feito o projeto. Existem várias formas de encontrar a incidência solar: a consulta a mapas solares, a medição em campo e a consultas à estudos estatísticos já realizados são algumas delas. Uma das fontes que pode-se utilizar é o site da CRESESB, onde pode-se obter os valores de incidência e vale lembrar o que foi explicado no tópico 3.3.1 referente a angulação de instalação dos módulos, onde os valores de catálogo são referentes à hipótese da incidência solar perpendicular à placa.

5.2 Temperatura

É importante ressaltar que a temperatura influencia diretamente no rendimento e características da placa. Por isso, é interessante que faça os cálculos utilizando a máxima temperatura da região, pois influencia diretamente a potência, tensão e corrente.

Os valores a serem ajustados por conta dessa influência de temperatura podem ser analisados através dos catálogos dos fabricantes dos módulos fotovoltaicos levando em conta a temperatura normal de operação.

A corrente vinda dos módulos normalmente eleva-se com o aumento da temperatura. O valor ajustado pode ser definido pela equação (1).

$$I_{aj} = I_{sc} \times \left[1 + \left(\frac{C_i \times \Delta T}{100} \right) \right] \quad (1)$$

Onde:

I_{aj} é a corrente ajustada decorrente do fator da temperatura em A;

I_{sc} é a corrente de curto circuito em A;

C_i é o coeficiente de variação da corrente em função da temperatura em %/°C;

ΔT é a variação da temperatura de operação com a temperatura do local em °C.

A tensão por sua vez, terá uma queda em seu valor nominal conforme aumenta a temperatura. O valor ajustado para esta variação pode ser obtido através da equação (2).

$$V_{aj} = V_{oc} \times \left[1 - \left(\frac{C_v \times \Delta T}{100} \right) \right] \quad (2)$$

Onde:

V_{aj} é a tensão ajustada decorrente do fator da temperatura em V;

V_{oc} é a tensão de circuito aberto em V;

C_v é o coeficiente de variação da tensão em função da temperatura em %/°C;

ΔT é a variação da temperatura de operação com a temperatura do local em °C.

A potência, como a tensão, sofre uma queda em seu valor nominal em decorrência da temperatura. O valor ajustado é dado pela equação (3).

$$P_{aj} = P_p \times \left[1 - \left(\frac{C_p \times \Delta T}{100} \right) \right] \quad (3)$$

Onde:

P_{aj} é a potência ajustada decorrente do fator da temperatura em W;

P_p é a potência de pico do módulo em W;

C_p é o coeficiente de variação da potência em função da temperatura em %/°C;

ΔT é a variação da temperatura de operação com a temperatura do local em °C.

5.3 Dimensionamento da quantidade de módulos solares

Pode-se dimensionar através de alguns modos: Método da área disponível para instalação dos módulos, através da demanda ou consumo do usuário.

Caso o projetista opte por dimensionar através do espaço disponível no local do projeto, deve-se analisar a área disponível em m² e quanto um painel solar ocupa de área. Assim, pode-se obter quantos painéis poderão existir naquele espaço. Lembre-se que deverá ser colocado um espaçamento entre as placas para manutenção das mesmas. Também recomenda-se fazer o estudo da área para o arranjo físico dos módulos que obterá o melhor aproveitamento da área. Através da equação (4), pode-se achar a quantidade de painéis.

$$N^{\circ} \text{ Painéis} = \frac{\text{Área do local}}{\text{Área ocupada por um painel}} \quad (4)$$

No método de dimensionamento através da demanda, é desejável que se estude ou conheça a demanda e a potência instalada no local em estudo, ou saiba o espaço que o cliente disponibiliza para as instalações dos painéis solares. Caso o projetista opte por utilizar a demanda como base para o cálculo, deve-se colocar em mente que a mesma poderá ser suprida parcialmente ou integralmente, dependendo do objetivo do projeto. O cálculo da demanda normalmente fica sob responsabilidade do projetista. Caso a construção já esteja estabelecida, utiliza-se o consumo médio do cliente. Caso ainda esteja em projeto de construção, normalmente se usa estudos estatísticos em cima da potência que será instalada.

Com a demanda estabelecida, pode-se calcular a quantidade de painéis em função da potência de pico dos painéis e da potência média utilizada pelo usuário, através da equação (5):

$$\text{Nº de painéis} = \frac{P_m}{\eta \times P_{aj}} \quad (5)$$

Onde:

P_m é a potência média do usuário em Wh;

P_{aj} é a potência ajustada em função da temperatura em Wh;

η é o rendimento do painel solar.

5.4 Dimensionamento do inversor

Estabelecido anteriormente, os valores ajustados em função da temperatura são importantes para a escolha do inversor pois: O valor ajustado da tensão deverá

ser maior que a tensão de operação do inversor, a corrente ajustada deverá ser menor do que a máxima corrente suportada e a potência ajustada deverá ser menor que a máxima suportada pelo inversor.

Dependendo do arranjo dos módulos, pode-se obter valores de tensão, corrente e potência variados. O inversor será o equipamento que limita a montagem do arranjo em série e paralelo, pois ele possui valores de máxima tensão, corrente e potência suportados.

Os inversores mais recentes vêm com o sistema de MPPs, que são basicamente duas entradas para um único inversor. A vantagem de ter os MPPs é que pode distribuir os módulos entre eles, diminuindo o valor de tensão e/ou corrente de entrada, ou deixar um deles livre para futuros sistemas.

5.5 Proteção e medição

As configurações de instalação da medição e da proteção, são dadas através de normas estabelecidas pela concessionária, por isso é importante consultar as normas da concessionária local. No município de São Paulo a grande maioria do seu território é concessionada pela AES Eletropaulo. As diretrizes de proteção e medição de mini e micro geração em São Paulo é estabelecida através da norma NT-6012 da AES Eletropaulo.

Mesmo que a concessionária não exija a instalação de dispositivos de proteção para sistemas geradores fotovoltaicos, é recomendado a instalação de DPSs (Dispositivo de proteção contra surtos), disjuntores ou chaves seccionadoras, para garantir a segurança do usuário, dos trabalhadores da concessionária e do sistema.

Lembrando que o disjuntor localizado entre a carga e o medidor é altamente recomendado, pois além da proteção contra curto circuitos direcionais e sobrecargas no sistema, também possui a função de proteger o funcionário da concessionária que irá fazer qualquer manutenção na rede.

6. APLICAÇÕES E ESTUDO DE CASO

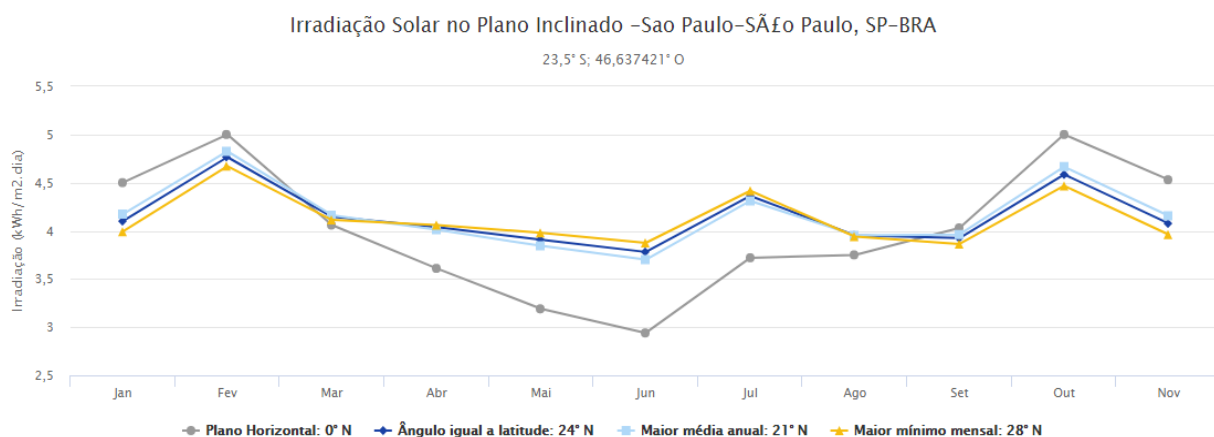
Para o estudo de caso deste projeto, utilizou-se, uma residência localizada no centro da cidade de São Paulo, mais precisamente na Avenida Tiradentes. Com isso, encontrou-se, de acordo com a figura 20, os valores de latitude e longitude onde, aplicados aos dados de monitoramento da CRESESB, foi obtida a melhor média de irradiação de acordo com a inclinação.

Figura 20 - Gráfico de inclinações para instalação do módulo em função da irradiação

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: São Paulo
Município: São Paulo, SP - BRA
Latitude: 23,5° S
Longitude: 46,637421° O
Distância do ponto de ref. (23,529764° S; 46,632326° O): 3,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² .dia)												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	4,50	5,00	4,06	3,61	3,19	2,94	3,22	3,72	3,75	4,03	5,00	4,53	3,96	2,06
✓	Ângulo igual a latitude	24° N	4,10	4,76	4,15	4,04	3,91	3,78	4,09	4,36	3,95	3,92	4,59	4,08	4,14	,98
✓	Maior média anual	21° N	4,17	4,83	4,16	4,01	3,84	3,70	4,01	4,31	3,95	3,96	4,67	4,16	4,15	1,12
✓	Maior mínimo mensal	28° N	3,99	4,67	4,11	4,06	3,98	3,87	4,18	4,42	3,94	3,86	4,47	3,96	4,13	,81



Fonte: Cresesb [11]

Em relação a latitude e angulação do painel solar, observa-se na figura 21, segundo o levantamento da CRESESB, a melhor média obtida neste local será caso posicione-se as placas à 21° voltadas ao norte. Assim obtendo uma média anual de irradiação solar de 4,15 kW/m².dia [11].

Através do catálogo da Canadian Solar, optou-se pela pelo módulo de 260 Wp e pode-se observar alguns valores importantes para o dimensionamento. Os dados são: Corrente de curto circuito (I_{cc}), tensão de circuito aberto (V_{oc}), potência de pico (P_p), rendimento (η) e os coeficientes de temperatura (C_i , C_v , C_p). O projeto trata-se de uma residência com 4 moradores e possui um consumo de 400 kWh/mês.

Os valores nominais obtidos no catálogo da Canadian Solar foram:

Corrente de curto circuito (I_{cc}) = 9,12 A;

Tensão de circuito aberto (V_{oc}) = 37,5 V;

Potência de pico (P_p) = 260 W;

Rendimento (η) = 16,16 %;

Coeficiente de variação da corrente em função da temperatura (C_i) = 0,053 %/°C;

Coeficiente de variação da tensão em função da temperatura (C_v) = 0,31 %/°C;

Coeficiente de variação da potência em função da temperatura (C_p) = 0,41 %/°C.

6.1 Valores ajustados em decorrência da temperatura

Como dito no tópico 4.2, os valores de catálogo têm de ser ajustados em relação à temperatura de onde os módulos serão instalados.

Com isso, adotou-se uma temperatura máxima na cidade de São Paulo em torno de 40°C e a temperatura na placa igual a 65°C. Como os valores de placa foram ensaiados com a temperatura ambiente de 20°C e temperatura da placa de 45°C, portanto conclui-se que a variação de temperatura ΔT é de 20°C. A corrente de curto circuito no catálogo possui o valor de 9,12 A e o coeficiente de variação da corrente

em função da temperatura é de 0,053 %/°C. Com esses dados, pode-se calcular o valor de corrente ajustada à temperatura do local.

$$I_{aj} = I_{sc} \times \left[1 + \left(\frac{C_i \times \Delta T}{100} \right) \right]$$

$$I_{aj} = 9,12 \times \left[1 + \left(\frac{0,053 \times 20}{100} \right) \right]$$

$$I_{aj} = 9,22 \text{ A}$$

O cálculo da tensão ajustada também mostrada no tópico 4.2, necessita dos seguintes valores de placa: Tensão de circuito aberto, coeficiente de variação da tensão em função da temperatura e a variação de temperatura. O valor da variação de temperatura foi encontrado no cálculo anterior da corrente ajustada e possui o valor de 20°C. Já a tensão de circuito aberto e o coeficiente podem ser encontrados no catálogo e seus valores, valem respectivamente, 37,5 V e 0,31 %/°C. Com esses dados, pode-se encontrar a tensão ajustada.

$$V_{aj} = V_{oc} \times \left[1 - \left(\frac{C_v \times \Delta T}{100} \right) \right]$$

$$V_{aj} = 37,5 \times \left[1 - \left(\frac{0,31 \times 20}{100} \right) \right]$$

$$V_{aj} = 35,18 \text{ V}$$

A potência também tem de ser ajustada e para obter-se esse valor é necessário: A potência de pico, o coeficiente de variação da potência em função da temperatura e a variação de temperatura. A variação de temperatura é de 20°C, e no catálogo pode-se achar os valores de 260 W para a potência de pico e de 0,41 %/°C para o coeficiente de variação da potência em função da temperatura.

$$P_{aj} = P_p \times [1 - (\frac{C_p \times \Delta T}{100})]$$

$$P_{aj} = 260 \times [1 - (\frac{0,41 \times 20}{100})]$$

$$P_{aj} = 238,68 \text{ W}$$

6.2 Cálculo do número de painéis

Neste caso, foi utilizado o método de cálculo através do consumo médio e com este valor, o rendimento e a potência, pode-se obter o número de placas necessárias para suprir a carga.

A potência média consumida por mês neste estudo é 400 kWh. Utilizou-se para o cálculo, um mês como 30 dias em média e um dia com 24 horas. Assim encontrando o valor de 720 horas por mês, portanto, a potência média utilizada por hora (P_m) é de 555,55 Wh, este valor foi obtido da divisão do valor de 400 kWh por 720. O rendimento é de 16,16% ou 0,1616 e a potência ajustada em fator da temperatura (P_{aj}) é de 238,68 Wh.

$$\text{Nº de painéis} = \frac{P_m}{\eta \times P_{aj}}$$

$$\text{Nº de painéis} = \frac{555,55}{0,1616 \times 238,68}$$

$$\text{Nº de painéis} = 14,4 \rightarrow 15 \text{ painéis}$$

6.3 Inversor

Como as novas tecnologias de inversores suportam 2 MPPs, encontrou-se um arranjo de módulos de forma que o inversor pudesse operar com certa folga, em tensão, corrente e potência. Caso no futuro, seja necessário alguma mudança ou ampliação no sistema, não haverá a necessidade de troca de equipamentos.

Como para esta aplicação serão necessários 15 módulos fotovoltaicos, pensou-se em dividi-los entre os MPPs, sendo que um ficaria com 8 placas em série e o outro teria 7 placas em série. Assim, a configuração ficaria:

- MPP1:

No MPP1 existirão 8 placas em série. Portanto o terminal de saída dos painéis terá a somatória das tensões das mesmas e a corrente terá o mesmo valor para todas.

A tensão máxima no terminal de saída dos painéis (V_{oc1}) terá que ser menor do que a tensão máxima suportada pelo inversor (V_{max1}). Essa tensão pode ser obtida através da equação 6.

$$V_{max} = N^{\circ} \text{ de placas} \times V_{oc} [\text{tensão máxima}] \quad (6)$$

Por outro lado, a tensão mínima no terminal de saída dos painéis (V_{aj1}) terá que ser menor do que a tensão mínima de operação do inversor (V_{min1}). Essa tensão pode ser obtida através da equação 7.

$$V_{min} = N^{\circ} \text{ de placas} \times V_{aj} [\text{tensão mínima}] \quad (7)$$

Como a configuração dos módulos se manteve em série, é importante atentar-se ao fato que a corrente máxima dos módulos (I_{aj1}), ajustada à temperatura do local, deve ser menor que a corrente máxima suportada pelo inversor (I_{mpp1}). A corrente pode ser analisada através da equação 8.

$$I_{mpp} = I_{aj} \quad (8)$$

Portanto o terminal do MPP1 irá operar em uma faixa de 281,44 V e 300 V, com uma corrente máxima vinda dos módulos de 9,22 A.

- MPP2:

No MPP2 existirão 7 placas em série. Portanto o terminal de saída dos painéis será a somatória das tensões das mesmas e a corrente terá o mesmo valor para todas. Utilizou-se no cálculo, as mesmas equações do MPP1, ou seja, as equações 6, 7 e 8.

O MPP2 irá operar em uma faixa de 246,16 V e 262,5 V, com uma corrente máxima vinda dos módulos de 9,22 A.

Com esses dados em mãos, pode-se escolher o inversor. É importante analisar a corrente dos MPPs comparando com a corrente máxima de operação do inversor e com a mínima e máxima tensão em que os MPPs irão operar com o valor de mínima tensão de entrada e máxima tensão de entrada do equipamento. Com essa análise, chegou-se ao equipamento Fronius 2.5-1, pois satisfaz o projeto e ainda mantém uma possibilidade de ampliação do sistema.

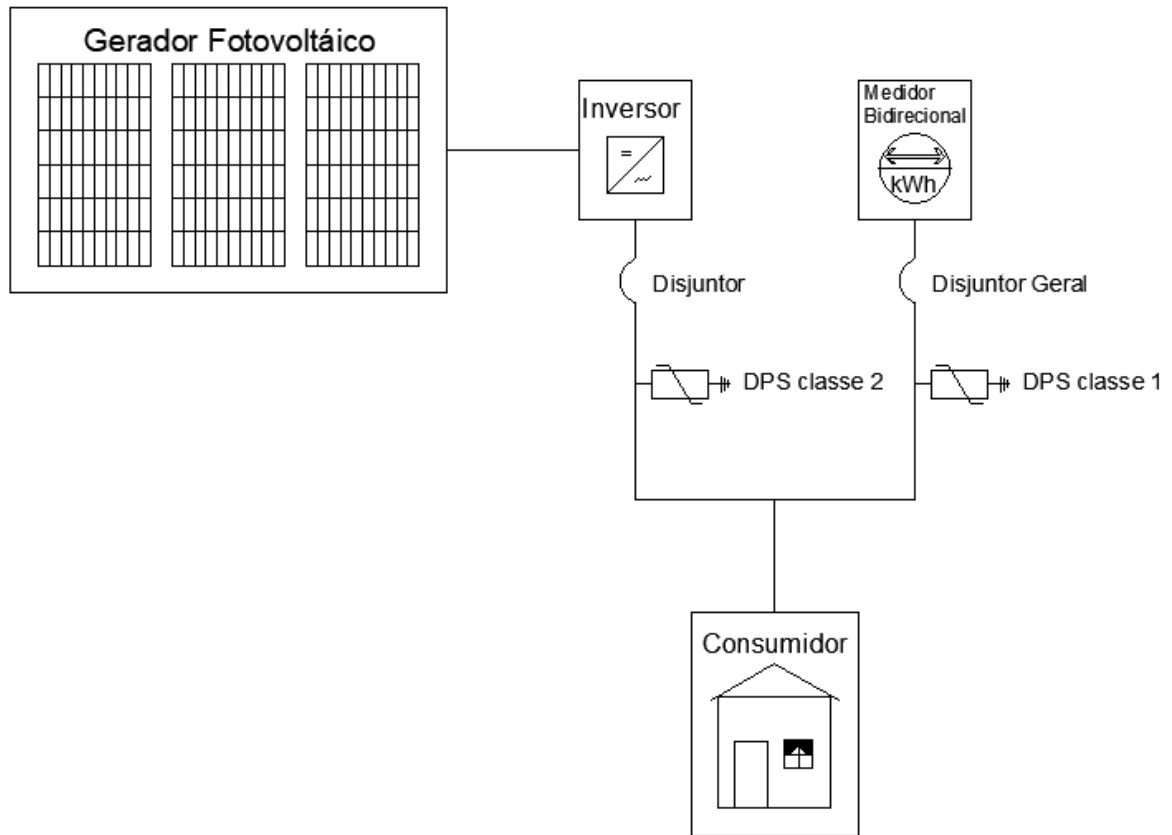
6.4 Proteção e medição

Devido à localização deste projeto situar-se no centro de São Paulo, a concessionária que administra a região é a AES Eletropaulo. Portanto, nossa proteção e medição são dadas conforme as normas regulamentadas pela mesma.

De acordo com a norma NT – 6.012-4, que trata de “*Requisitos Mínimos para Interligação de Microgeração e Minigeração Distribuída com a Rede de Distribuição da AES Eletropaulo com Paralelismo Permanente Através do Uso de Inversores - Consumidores de Média e de Baixa Tensão*” [15], esta aplicação trata-se de um padrão 2 de baixa tensão pois o inversor se localiza a mais de 10m da entrada de energia.

Com base nesta norma, é necessário a instalação de um disjuntor geral junto ao medidor e um DPS classe 1 na sequência do disjuntor, ambos na entrada de energia da rede. A norma também exige a instalação de um DPS classe 2 junto a um disjuntor na saída do inversor. O diagrama de ligação do sistema entre a rede, consumidor e a geração, com suas proteções, é dada pela figura 21.

Figura 21 - Configuração da proteção do sistema



A configuração do medidor e o tipo de medidor ficam sob responsabilidade da concessionária. A diferença das configurações não irá alterar o projeto em si.

Como o único dado obtido do usuário foi o consumo médio mensal, não é possível encontrar a corrente de demanda, por não ter os valores instantâneos de carga. Foi adotado uma corrente de 50 A para os disjuntores e para os DPSs.

7. RESULTADOS OBTIDOS, CUSTOS E DISCUSSÃO

De acordo com os cálculos realizados, descobriu-se a quantidade de equipamentos e materiais necessários para a implementação do sistema. Pôde-se fazer um levantamento de custo pesquisando os valores de mercado e assim obter um orçamento final.

Nesta aplicação são necessárias 15 placas fotovoltaicas, sendo que cada uma delas possui um valor em torno de R\$550,00 ou US\$166,94. Com isso, é possível calcular o custo total dos painéis, que será de R\$8250,00 (US\$2504,02). [12] [13]

O inversor escolhido é capaz de suprir a necessidade do projeto e ainda tem capacidade para ampliação futura do sistema, caso necessário. O valor do equipamento gira em torno de R\$5000,00 (US\$1517,59). [14]

Os dispositivos de proteção, DPSs e disjuntores, possuem o valor de:

- Dispositivo de proteção contra surtos classe 1: R\$270,00 (US\$81,95). [25]
- Dispositivo de proteção contra surtos classe 2: R\$270,00 (US\$81,95). [25]
- Disjuntor: R\$63,00 (US\$19,12). [26]

O valor total da proteção ficará em torno de R\$666,00 (US\$202,14).

A estrutura dos painéis utilizadas neste projeto possuem capacidade para apoiar 3 módulos fotovoltaicos. Cada estrutura possui o valor de R\$690,00 (US\$208,43), sendo necessárias 5 estruturas para os 15 painéis. O valor total das estruturas será de R\$3450,00 (US\$1047,14). [27]

A mão de obra e a fiação variam de cada projeto. Neste caso, adotou-se 15% do valor dos equipamentos para ter uma base. O valor total da mão de obra gira em torno de, aproximadamente R\$2605,00 (US\$790,66).

O custo total do projeto será de R\$19971,00 (US\$6061,55).

Adotou-se o custo do kWh em torno de R\$0,65 e cotando a inflação anual como 5%, ou seja, a cada ano que passar terá um aumento de 5% no valor do kWh. Como demonstrado na figura 22, o cliente terá retorno por volta do 6º ano, onde o ganho acumulado se tornaria maior que o investimento inicial. O valor de ganho acumulado se trata da somatória dos valores gerados por ano. A durabilidade do sistema sem a necessidade de troca de equipamentos é de 20 anos, portanto o cliente teria 14 anos de lucro sem nenhuma mudança no sistema. Lembrando que a manutenção deverá ser feita periodicamente para limpeza dos painéis, para uma melhor durabilidade e eficiência da placa.

Na figura 23 observa-se o gráfico do ganho acumulado demonstrado na figura 22, porém com o valor do investimento inicial incluso. Assim pode-se ter uma visão mais clara do lucro e retorno em relação ao tempo.

Figura 22 - Tabela do lucro acumulado através do tempo

Retorno do investimento			
Consumo mensal em kWh			400,00
Valor atual do kWh			R\$ 0,65
INFLAÇÃO			5%
Ano	Custo da energia	Valor da energia gerada por ano	Ganho acumulado
1	R\$ 0,65	R\$ 3.120,00	R\$ 3.120,00
2	R\$ 0,68	R\$ 3.276,00	R\$ 6.396,00
3	R\$ 0,72	R\$ 3.439,80	R\$ 9.835,80
4	R\$ 0,75	R\$ 3.611,79	R\$ 13.447,59
5	R\$ 0,79	R\$ 3.792,38	R\$ 17.239,97
6	R\$ 0,83	R\$ 3.982,00	R\$ 21.221,97
7	R\$ 0,87	R\$ 4.181,10	R\$ 25.403,07
8	R\$ 0,91	R\$ 4.390,15	R\$ 29.793,22
9	R\$ 0,96	R\$ 4.609,66	R\$ 34.402,88
10	R\$ 1,01	R\$ 4.840,14	R\$ 39.243,02
11	R\$ 1,06	R\$ 5.082,15	R\$ 44.325,18
12	R\$ 1,11	R\$ 5.336,26	R\$ 49.661,43
13	R\$ 1,17	R\$ 5.603,07	R\$ 55.264,51
14	R\$ 1,23	R\$ 5.883,23	R\$ 61.147,73
15	R\$ 1,29	R\$ 6.177,39	R\$ 67.325,12
16	R\$ 1,35	R\$ 6.486,26	R\$ 73.811,37
17	R\$ 1,42	R\$ 6.810,57	R\$ 80.621,94
18	R\$ 1,49	R\$ 7.151,10	R\$ 87.773,04
19	R\$ 1,56	R\$ 7.508,65	R\$ 95.281,69
20	R\$ 1,64	R\$ 7.884,08	R\$ 103.165,78

Figura 23 - Gráfico do lucro acumulado através do tempo



Possivelmente com os avanços tecnológicos, os sistemas fotovoltaicos se tornarão uma tecnologia acessível a todos e mais eficiente. Caso esse fator ocorra, é inevitável que se torne uma grande candidata a ser a fonte de energia alternativa mais utilizada em grande parte das residências. Por enquanto, as placas ainda estão com rendimento em torno de 15% a 20% o que é baixo em relação à outras fontes.

Os materiais certamente são as barreiras existentes nos sistemas solares. Por isso, a descoberta de novos materiais ou aprimoramento dos já existentes são os pilares para o futuro do desenvolvimento da energia solar no mundo. Na questão nacional, a divulgação desses sistemas para a população e incentivo financeiro por parte do governo para a indústria, voltada a energia limpa, certamente impulsionariam uma procura maior por projetos como esse, automaticamente diminuindo o custo de investimento.

8. CONCLUSÕES E TÓPICOS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO

Os sistemas fotovoltaicos são uma tecnologia inovadora e vêm evoluindo constantemente. Certamente farão parte do futuro por utilizar uma fonte de energia praticamente inesgotável e ser uma fonte limpa que não prejudica o meio ambiente na qual afeta o cotidiano humano diretamente.

O projeto teve como objetivo analisar e estudar a implantação da energia solar em residências, uma fonte de geração que atualmente não é muito comum, visando o quanto de energia elétrica poderia gerar, propondo um estudo do investimento e retorno ao longo do tempo e, como consequência para o usuário, trazer uma redução da conta de elétrica mensal.

Através das pesquisas, pode-se analisar os tipos de sistemas, os equipamentos necessários para as montagens dos sistemas e como eles funcionam. Com esses dados, possibilitou-se criar uma base para a ideia de implantar o projeto em residências.

Optou-se pelo sistema ONGRID. Esse sistema se justificou, pois, a residência se localizava em uma zona urbana e além de que, o investimento financeiro seria menor, pois os investimentos em equipamentos como baterias não se justificavam pelo custo alto e espaço que levaria em uma moradia deste tipo.

Atualmente, o investimento em sistemas fotovoltaicos é acessível para pessoas com poder aquisitivo relativamente alto, devido ao grande investimento inicial e um retorno “demorado”. Porém esse fator pode mudar, pelo desenvolvimento de novas tecnologias e tornando um custo cada vez mais acessível.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Energia solar no Brasil e Mundo, MME. Disponível em
<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c?version=1.3>> Acesso em 15 de setembro de 2017.
- [2] Banco de geração do Brasil, ANEEL. Disponível em
<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 12 de setembro de 2017.
- [3] Geração distribuída, ANEEL. Disponível em
<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte_detalhe.asp?Tipo=12> Acesso em 12 de setembro de 2017.
- [4] Radiação solar, CRESESB. Disponível em
<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301> Acesso em 17 de setembro de 2017
- [5] Módulos fotovoltaicos, CRESESB. Disponível em
<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=331> Acesso em 16 de outubro de 2017
- [6] Distribuição e ligação entre coletores, tissit. Disponível em
<<http://www.tisst.net/documentos/sistemas-solares-termicos/tipos-de-liga%C3%A7%C3%A3o-entre-coletores/>> Acesso em 16 de outubro de 2017
- [7] Movimentos da Terra, estações, UFPR. Disponível em
<<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>> Acesso em 23 de outubro de 2017

[8] Manual de Capacitação em projetos de sistema solar de Aquecimento Solar, ABRAVA. Disponível em
<<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf>> Acesso em 16 de outubro de 2017

[9] A história do horário de verão, Esron Nô. Disponível em
<<http://esronno.blogspot.com.br/2011/>> Acesso em 23 de outubro de 2017

[10] Bateria, Sistemas automotivos. Disponível em
< <http://sistemasautomotivos.blogspot.com.br/2009/01/>> Acesso em 27 de outubro de 2017

[11] Potencial Solar, Cresesb. Disponível em
<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acesso em 24 de novembro de 2017

[12] Preço dos módulos fotovoltaicos, Neo solar. Disponível em
<<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar.html?marca=92>> Acesso em 24 de novembro de 2017

[13] Conversor de Moeda, Uol. Disponível em
<<https://economia.uol.com.br/cotacoes/>> Acesso em 28 de novembro de 2017

[14] Preço do inversor, Neo solar. Disponível em
<https://www.neosolar.com.br/loja/catalogsearch/result/index/?cat=5&q=fronius&gclid=Cj0KCQiAl8rQBRDrARIsAEW_To_RKS7bRtqSci9sSjHtkletQ-1f-8PHowWc6KWBSikUkPkP6n5w-6QaAmGiEALw_wcB> Acesso em 24 de novembro de 2017

- [15] Requisitos Mínimos para Interligação de Microgeração e Minigeração, AES Eletropaulo. Disponível em
<<https://www.aeseletropaulo.com.br/padroes-e-normas-tecnicas/geradores-de-energia/Documents/NT%206012-4.pdf>> Acesso em 28 de novembro de 2017
- [16] Componentes de um Sistema Fotovoltaico, CRESESB. Disponível em
<http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=341> Acesso em 07 de setembro de 2017.
- [17] ZILLES, Roberto. [et. al.], *Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica*, São Paulo, 2012, primeira edição, Oficina dos Textos.
- [18] LOPEZ, Ricardo Aldabó, *Energia Solar para produção de eletricidade*, São Paulo, 2012, primeira edição, Artliber Editora.
- [19] PINHO, João Tavares. [et. al.], *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*, Rio de Janeiro, 2014, primeira edição, CEPEL – CRESESB.
- [20] VALLÊRA, António M.; BRITO, Miguel Centeno, *Meio século de história fotovoltaica*, Lisboa, 2006, Volume 29 da Gazeta de Física, Centro de Física da Matéria Condensada – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- [21] MARSHALL, Joseph M.; DIMOVA-MALINOVKA, Dorian, *Photovoltaic and Photoactive Materials - Properties, Technology and Applications*, Netherlands, 2002, primeira edição, Springer Netherlands.
- [22] ANDRADE, Adnei Melges de. [et. al.], *1º seminário nacional de eletricidade solar da FONE MAT SA*, São Paulo, 1980, FONE-MAT S.A.
- [23] BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis, *Dispositivos eletrônicos e teoria dos circuitos*, São Paulo, 2004, Pearson Prentice Hall.

[24] ALVES, Dennys Lopes.; *Geração Solar Fotovoltaica – Conceitos básicos*, Rio Grande do Norte, 2016, Instituto Federal do Rio Grande do Norte.

[25] Preço dos DPS classe 1 e 2, Loja Clamper. Disponível em <<https://www.lojaclamper.com.br/clamper-vcl-slim-classe-I-II>> Acesso em 9 de dezembro de 2017

[26] Preço dos disjuntores, Leroy Merlin. Disponível em <https://www.leroymerlin.com.br/disjuntor-din-bipolar-250-440v-50a-siemens_85727593> Acesso em 9 de dezembro de 2017

[27] Preço da estrutura de fixação dos painéis solares, Redimax. Disponível em <<https://redimax.com.br/produto/kit-de-montagem-redimax-universal-para-telhado-3-paineis/>> Acesso em 9 de dezembro de 2017

[28] SOUZA, Ronilson di.; *Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica*, São Paulo, 2017, BlueSol energia solar.

10. ANEXOS

Catálogos dos fabricantes do inversor e módulo fotovoltaico que foi utilizado no estudo de caso.

/ Carregadores de Bateria / Tecnologia de Soldagem / **Energia Solar**



SHIFTING THE LIMITS

FRONIUS GALVO

/ O inversor à prova do futuro para os sistemas de pequeno porte e de auto-consumo.



/ Processo de substituição da placa PC



/ Sistema de Monitoramento



/ HF transformador de transição



/ Interface WLAN



/ Dados de comunicação de abertura



/ Smart Grid Ready



/ Com categorias que vão de energia 1,5-3,1 kW, o Fronius Galvo é otimizado para sistemas de auto-consumo. O relé integrado de gestão de energia permite uma maximização do auto-consumo. Uma série de outros recursos inteligentes tornam o Fronius Galvo um dos inversores mais à prova de futuro da sua classe: por exemplo, o registro de dados integrado, a simples conexão à internet por WLAN, ou a tecnologia plug-in card para adaptação funções adicionais.

DADOS TÉCNICOS FRONIUS GALVO

DADOS DE ENTRADA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
Potência CC máxima para cos φ=1	1,600 W	2,140 W	2,650 W	3,160 W	3,310 W
Máx. corrente de entrada	13.3 A	17.8 A	16.6 A	19.8 A	20.7 A
Máx. tensão de entrada	20.0 A	26.8 A	24.8 A	29.6 A	31.0 A
Faixa de tensão MPP	120 V		165 V		
Min. tensão de entrada	120 V		165 V		
Feed em tensão inicial	260 V		330 V		
Tensão nominal de entrada	420 V		550 V		
Max. tensão de entrada (UDC max)	120 - 335 V		165 - 440 V		
Número de ligações CC	3				

DADOS DE SAÍDA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
Saída Nominal	1,500 W	2,000 W	2,500 W	3,000 W	3,100 W
Potência de saída máx.	1,500 VA	2,000 VA	2,500 VA	3,000 VA	3,100 VA
Corrente de saída máx.	7.2 A	9.7 A	12.1 A	14.5 A	15.0 A
Grid de conexão	1-NPE 230 V				
Tensão de saída mín.	180 V				
Tensão de saída máx.	270 V				
Frequência	50 Hz / 60 Hz				
Faixa de frequência	45 - 65 Hz				
Fator de distorção	< 4 %				
Fator de potência	0.85 - 1 ind. / cap.				

DADOS GERAIS	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
Dimensões (altura x largura x profundidade)	645 x 431 x 204 mm				
Peso	16.8 kg				
Grau de Proteção	IP 55				
Classe de Proteção	1				
Categoria de sobretensão (DC / AC)	2 / 3				
Consumo Noturno	< 1 W				
Conceito retificador	Transformador HF				
Resfriamento	Refrigeração de ar controlado				
Instalação	Montagem interna e externa				
Faixa de temperatura ambiente	-25 - +50 °C				
Umidade relativa permitida	0 a 100 %				
Tecnologia de conexão de rede	Parafuso terminal de conexão 2,5 mm ² - 16 milímetros				
Principal tecnologia de conexão	Parafuso terminal de conexão 2,5 mm ² - 16 milímetros				
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, AS 4777-2, AS 4777-3, AS3100, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1-2, IEC 62116, IEC 61727, CER 06-190, CEI 0-21, EN 50438, G83, G59, ABNT NBR 16149				

¹⁾ disponível para os países onde as restrições 3 kW aplicam. Mais informações sobre a disponibilidade dos inversores no seu país pode ser encontrada em www.fronius.com.br



*Black frame product can be provided upon request.

QUARTECH CS6P-260 | 265 | 270P

Canadian Solar's new Quartech modules have significantly raised the standard of module efficiency in the solar industry. They introduced innovative four busbar cell technology, which demonstrates higher power output and higher system reliability. Worldwide, our customers have embraced this next generation of modules for their excellent performance, superior reliability and enhanced value.

NEW TECHNOLOGY

- Reduces cell series resistance
- Reduces stress between cell interconnectors
- Improves module conversion efficiency
- Improves product reliability

KEY FEATURES



Higher energy yield

- Outstanding performance at low irradiance
- Maximum energy yield at low NOCT
- Improved energy production through reduced cell series resistance



Increased system reliability

- Long-term system reliability with IP67 junction box
- Enhanced system reliability in extreme temperature environment with special cell level stress release technology



Extra value to customers

- Positive power tolerance of up to 5 W
- Stronger 40 mm robust frame to hold snow load up to 5400 Pa and wind load up to 2400 Pa
- Anti-glare project evaluation
- Salt mist, ammonia and blowing sand resistance apply to seaside, farm and desert environments*

25
years

linear power output warranty

10
years

product warranty on materials
and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / MCS / CE / JET / SIL / CEC AU / INMETRO / CQC
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS
Take-e-way / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1

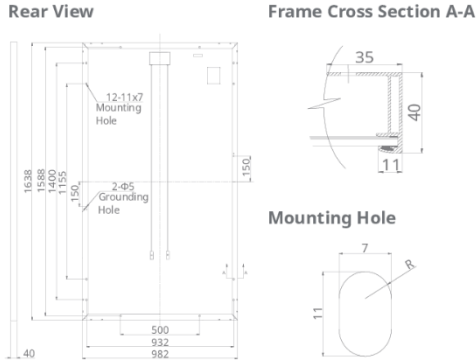


CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with over 14 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

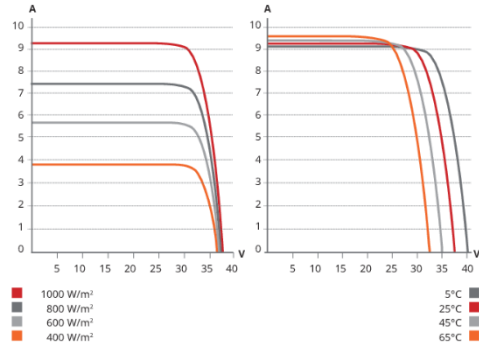
CANADIAN SOLAR INC.

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

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6P-265P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A
Module Efficiency	16.16 %	16.47 %	16.79 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC61730)		
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 / NOCT*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (Pmax)	189 W	192 W	196 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.7 V	27.9 V	28.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.80 A	6.88 A	6.97 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.5 V	34.7 V	34.8 V
Short Circuit Current (Isc)	7.39 A	7.48 A	7.55 A

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

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1638×982×40 mm (64.5×38.7×1.57 in)
Weight	18 kg (39.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional)
Connectors	Friends PV2a (IEC), Friends PV2b (IEC / UL)
Standard Packaging	26 pieces, 515 kg (1135.4 lbs) (quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	728 pieces (40' HQ)

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PARTNER SECTION



Scan this QR-code to discover solar projects built with this module

