

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNA MARIA CARACHENSKI

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DA GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM UMA CASA DE
ALTO PADRÃO EM SANTA CATARINA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

BRUNA MARIA CARACHENSKI

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DA GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM UMA CASA DE
ALTO PADRÃO EM SANTA CATARINA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 do
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT)
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
como requisito parcial para obtenção do título de
“Engenheiro Eletricista”.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coorientador: Eng. Esp. Marcelo Borck Machado

CURITIBA

2017

BRUNA MARIA CARACHENSKI

Estudo da viabilidade de implantação da geração distribuída por painéis fotovoltaicos em uma casa de alto padrão em Santa Catarina.

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Gra¹duação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de bacharel do curso de engenharia elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 20 de novembro de 2017.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão
de Curso de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

BANCA EXAMINADORA

Jair Urbanetz Junior, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Carlos Henrique Karam Salata, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo Borck Machado, Esp.
Coorientador

Gerson Maximo Tiepolo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

¹ A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Elétrica.

RESUMO

CARACHENSKI, Bruna M., ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM UMA CASA DE ALTO PADRÃO EM SANTA CATARINA, 2017. Trabalho De Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

O Brasil possui uma demanda crescente de energia elétrica, de maneira que a procura por formas de complementação da matriz energética vêm se tornando a cada dia mais intensa. O nosso país possui um enorme potencial para o aproveitamento de energias renováveis, porém, elas ainda são em sua grande maioria, geradas de forma centralizada e longe do ponto de consumo, resultando em grandes custos para construção de infraestrutura e perdas de transmissão e distribuição. O aproveitamento do recurso solar a partir do efeito fotovoltaico vem se mostrando uma alternativa eficiente para descongestionar o sistema interligado nacional. Desta forma, o presente trabalho possui como objeto de estudo, uma casa localizada em Santa Catarina, onde a falta de energia provida da rede de distribuição da concessionária local é constante e os valores de fatura de energia mensais são muito elevados. Afim de atenuar estes problemas, neste trabalho são avaliadas três alternativas de implantação de sistema fotovoltaico: isolado, conectado à rede e conectado à rede com o auxílio de um gerador a diesel.

Palavras-Chave: Energia solar fotovoltaica. Geração distribuída. Sistema fotovoltaico conectado à rede. Sistema fotovoltaico isolado. Gerador a diesel.

ABSTRACT

CARACHENSKI, Bruna M., STUDY OF THE FEASIBILITY OF IMPLANTATION OF GENERATION DISTRIBUTED BY PHOTOVOLTAIC PANELS IN A HIGH STANDARD HOUSE IN SANTA CATARINA, 2017. Trabalho de conclusão de curso (engenharia elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

Brazil has a growing demand for electric energy, and the way it looks for ways to complement the energy matrix is becoming more intense every day. Our country has enormous potential for the use of renewable energy; however, they are even more important, mostly centrally generated and far from the point of consumption, resulting in large costs for infrastructure construction and transmission and distribution losses . The use of the solar resource from the photovoltaic effect has proved to be an efficient alternative to decongest the national interconnected system. In this way, the present work has as object of study, a house located in Santa Catarina, where a lack of energy provided by the local concession distribution network is constant and the monthly energy energy values are very high. Support of problems, implementation and repair of photovoltaic systems: isolated, connected to the grid and connected to the grid with the aid of a diesel generator.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Distributed generation. Photovoltaic system connected to the grid. Isolated photovoltaic system. Diesel generator

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bandas de condução.....	19
Figura 2 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.....	20
Figura 3 - Estrutura de um módulo fotovoltaico.....	22
Figura 4 – Capacidade mundial de energia solar fotovoltaica.....	23
Figura 5 – Evolução das instalações fotovoltaicas por região.....	24
Figura 6 – Contribuição por país na evolução da capacidade instalada mundial.....	24
Figura 7 - Distribuição por classe de consumo.....	25
Figura 8 – Matriz energética brasileira 2017.....	26
Figura 9 – Componentes de um sistema fotovoltaico isolado.....	27
Figura 10 - Componentes de um sistema fotovoltaico conectado a rede com medição bidirecional.....	28
Figura 11 – Tarifa de energia elétrica CELESC.....	32
Figura 12 – ICMS cobrado sobre a tarifa de energia em Santa Catarina.....	33
Figura 13 - Localização geográfica - Casa Boa Vida.....	35
Figura 14 - Casa Boa Vida.....	36
Figura 15 - Mapa de irradiação solar no Brasil.....	38
Figura 16 - Irradiação global no plano horizontal para as coordenadas da Casa Boa Vida.....	38
Figura 17 - Pontos de irradiação constantes no banco de dados.....	39
Figura 18 - Conceito de desvio azimutal.....	39
Figura 19 - Desvio Azimutal do telhado da Casa Boa Vida.....	40
Figura 20 – Inserção dos dados de irradiação no RADIASOL.....	41
Figura 21 – Irradiação na Casa Boa Vida no plano da cobertura da edificação.....	41
Figura 22 - Irradiação na Casa Boa Vida - visualização em tabela.....	42
Figura 23 - Croqui do telhado da Casa Boa Vida.....	43
Figura 24 - Área para instalação dos painéis.....	43
Figura 25 - Informações técnicas módulo fotovoltaico MAXPOWER CS6U-315P.....	45
Figura 26 - Informações técnicas inversor 5048 da SMA.....	46
Figura 27 – Informações técnicas da bateria da Moura.....	48
Figura 28 – Informações técnicas do controlador de cargas da Xantrex.....	48
Figura 29 – Diagrama unifilar de um subsistema fotovoltaico isolado.....	49
Figura 30 – Inversor Sunny tripower 8000TL.....	52

Figura 31 – Diagrama do sistema conectado à rede.....	53
Figura 32 – Folha de dados do gerador diesel.	56
Figura 33 – Diagrama do SFVCR com gerador.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo mensal na Casa Boa Vida	36
Tabela 2 – Dimensionamento SFVI – Casa Boa Vida	44
Tabela 3 - Valores dos equipamentos - SFVI.....	50
Tabela 4 – Valores dos equipamentos SFVCR.....	54
Tabela 5 - Valores dos equipamentos SFVCR com gerador.	58
Tabela 6 – Comparativo dos sistemas dimensionados	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo mensal na Casa Boa Vida.....	37
--	----

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência nacional de energia elétrica
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CELESC	Centrais elétricas de Santa Catarina
COFINS	Contribuição para o financiamento da seguridade social
EPE	Empresa de pesquisa energética
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agencia internacional de energia)
INMETRO	Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
PBE	Programa brasileiro de etiquetagem
PIB	Produto interno bruto
PIS	Programa de integração social
SFVCR	Sistema fotovoltaico conectado à rede
SFVI	Sistema fotovoltaico isolado
SIN	Sistema interligado nacional
STC	<i>Standard Test Conditions</i> (Condições padrão de teste)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 TEMA	13
1.1.1 Delimitação do tema.....	15
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo geral.....	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 JUSTIFICATIVA	16
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
2.1.1 Efeito fotovoltaico.....	19
2.1.2 Sistema fotovoltaico	21
2.1.2.1 Célula fotovoltaica.....	21
2.1.2.2 Módulo fotovoltaico	21
2.1.2.3 Inversores	22
2.1.2.4 Acumuladores.....	22
2.2 PANORAMA ATUAL DA ENERGIA FOTOVOLTAICA.	23
2.2.1 Energia fotovoltaica no mundo	23
2.2.2 Energia fotovoltaica no Brasil.	25
2.3 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	26
2.2.1 Sistemas fotovoltaicos isolados.....	26
2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede	27
2.4 REGULAMENTAÇÃO	28
2.4.1.1 Resolução normativa n° 482/2012.....	29

2.4.1.2	Resolução normativa nº 687/2015.....	29
2.4.1.3	Procedimentos de Distribuição (PRODIST)	30
2.4.2	Legislação CELESC	30
2.4.3	Programa brasileiro de etiquetagem INMETRO	31
2.5	INCENTIVOS À GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	31
2.6	TARIFAÇÃO	31
2.7	TRIBUTOS	32
2.7.1	ICMS.....	32
2.7.2	PIS/COFINS.....	33
2.8	GERADOR A DIESEL.....	33
3.	DIMENSIONAMENTO	35
3.1	LEVANTAMENTO DE DADOS DO CONSUMIDOR.....	35
3.2	AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR NO LOCAL	37
3.3	SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO	42
3.3.1	EQUIPAMENTOS	44
3.3.1.1	Painel fotovoltaico	45
3.3.1.2	Inversor	46
3.3.1.3	Banco de baterias	47
3.3.1.4	Controlador de carga.....	48
3.3.1.5	Diagrama unifilar.....	49
3.4	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE.....	50
3.4.1	EQUIPAMENTOS	51
3.4.1.1	Painel fotovoltaico	52
3.4.1.2	Inversor	52
3.4.1.3	Diagrama unifilar.....	53
3.5	GERADOR DIESEL	54
4.	ANÁLISE DOS PROJETOS PROPOSTOS.....	59

4.1 SISTEMA ISOLADO	59
4.2 SISTEMA CONECTADO À REDE	60
4.3 GERADOR A DIESEL.....	61
5. CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS.....	66

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Um dos fundamentos da sustentabilidade econômica de um país, como explica Tolmasquim (2012), é a sua capacidade de prover logística e energia para o desenvolvimento de sua produção. Assim, a energia é o fator determinante para o crescimento de uma nação, ao fornecer apoio mecânico, térmico e elétrico às ações humanas (ANEEL, 2008).

Atualmente, a matriz de geração de energia elétrica brasileira tem, em seu grande percentual, com 64%, conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a geração de energia provinda das usinas hidrelétricas (EPE, 2017). Estas usinas, estão localizadas a grandes distâncias dos centros urbanos, o que torna o sistema de transmissão e distribuição muito complexo e exige constantes investimentos e melhorias. Além disso, a geração de energia por meio hidráulico, depende da constância de precipitação pluviométrica e a construção de novas usinas causam impactos ambientais.

O Brasil, sendo um país em desenvolvimento, possui uma crescente demanda por energia. O racionamento de energia ocorrido em 2001 expôs a fragilidade do sistema elétrico, abrindo espaço para que a discussão sobre fontes alternativas de energia, ao sistema hidráulico, ganhasse força (DIAS; BORTONI; HADDAD, 2006).

Atualmente, os estudos a cerca de energias renováveis, que são aquelas que provem de fontes disponibilizadas pela natureza de forma cíclica, como: a água, o vento e o sol, vêm se tornando mais intensos. A busca por meios de geração eficientes e sustentáveis está cada vez mais presente em nosso país, considerando que para o crescimento da atividade econômica e aumento do PIB (Produto Interno Bruto) é necessário incremento na geração de eletricidade. Em contrapartida, é necessária a preservação do meio ambiente.

Diariamente incide sobre a superfície terrestre, mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano (CÂMARA, 2011).

O consumo mundial de energia primária no ano de 2011 foi cerca de 143 mil TWh, então, no intervalo de duas horas a quantidade de energia solar recebida na superfície terrestre (multiplicando 94 mil TW por duas, resultando em 188 mil TWh) é superior ao consumo energético anual da humanidade (PINHO; GALDINO, 2014, p. 77).

Esta fonte de energia é vista como inesgotável, levando em consideração a escala terrestre de tempo e de vida do sistema solar. “O Brasil dispõe de grande potencial para a aplicação da

energia solar e é privilegiado por possuir elevados níveis de radiação” (RÜTHER et al., 2008). Desta forma, o aproveitamento desta fonte, vem se apresentando como uma alternativa promissora para a geração de energia elétrica.

No cenário atual, a estrutura do sistema interligado nacional (SIN) é caracterizada pela operação centralizada, assim as grandes usinas, ficam distantes dos maiores pontos de consumo, fazendo com que as perdas no processo de transmissão sejam maiores e aumentando o custo de produção (RÜTHER *et al.*, 2008).

Deste modo, a geração de energia de forma descentralizada, se mostra como uma alternativa para descongestionar o sistema elétrico nacional. A geração distribuída permite que o próprio consumidor seja o responsável pela geração de toda ou parte da energia que vai consumir (URBANETZ JUNIOR, 2010). Como a energia está sendo gerada no ponto de consumo, as perdas com transmissão e distribuição, bem como os custos de construção de novas linhas de grande extensão e manutenção destas, são evitados.

A geração distribuída de energia solar fotovoltaica vem ganhando apoio legislativo no país nos últimos anos, com leis federais, estaduais e municipais em favor do crescimento desta tecnologia.

A resolução normativa ANEEL n°482/2012 tornou possível a geração de energia pelos próprios consumidores. Através desta normativa, foram estabelecidas as condições gerais para o acesso de micro e mini geração ao sistema de distribuição de energia elétrica e foi criado o sistema compensatório de energia elétrica, permitindo a troca de energia entre o consumidor e a concessionária local.

O Convênio CONFAZ 016, de 2015, autoriza, em diversos estados, a isenção do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS), sob a energia injetada na rede da concessionária, por micro e mini geradores, no sistema de compensação de energia elétrica. Além disso, alguns estados, como Pernambuco, vem criando seus próprios incentivos, como é o caso do decreto N° 41.786, de 29 de maio de 2015, que institui o Programa Pernambucano de Micro e Mini geração de Energia Solar – PE Solar. Este programa busca incentivar a autoprodução de energia de forma distribuída, e procura estimular o crescimento de fornecedores e de mão de obra especializada, no estado. Além de Pernambuco, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Paraíba, podem ser citados, como estados que já criaram as suas leis de incentivo a geração distribuída de energia solar.

1.1.1 Delimitação do tema

Conforme afirmação presente em REN21 (2016), a geração de energia de forma distribuída, possibilita a população o subsídio para gerar a sua própria energia, trazendo a alternativa de desconexão da rede da concessionária ou de complementação da geração centralizada, de maneira que o consumidor torna-se responsável por toda, ou por parte da energia que irá consumir.

Desta forma, este trabalho tem como foco o estudo e dimensionamento de um sistema fotovoltaico em geração distribuída, buscando a diminuição da fatura de energia e eliminação da intermitência de fornecimento em uma residência. Serão analisados três modelos de sistemas fotovoltaicos, comparados seus custos de implantação, benefícios e capacidade de eliminação dos problemas supracitados.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Este estudo busca analisar a viabilidade de instalação de painéis fotovoltaicos no telhado de uma casa de alto padrão localizada em Santa Catarina. O consumo de energia elétrica na casa de alto padrão é mais acentuado no verão, época de alta temporada na região.

No local, a oferta de energia elétrica neste período é escassa, havendo constantes apagões, portanto, objetiva-se buscar uma alternativa eficaz, para que a residência não fique sem energia no caso da falta. Pretende-se avaliar a implantação de um banco de baterias para suprir a demanda no momento em que a energia da concessionária não estiver disponível e confrontar esta análise com a implantação de um gerador a diesel.

Tendo em vista que o crescente aumento nas tarifas de energia em nosso país vem fazendo com que os preços de produtos e serviços aumentem a cada dia, ou que os comerciantes diminuam seus lucros, faz-se necessária à busca por mecanismos alternativos que permitam aos usuários, a não dependência total do sistema da concessionária, desta forma será analisada a implantação de um sistema fotovoltaico no telhado da casa de alto padrão, tendo como base a normativa da ANEEL nº482/2012, que permite que o usuário injete o excedente da sua energia gerada na rede da concessionária e abata este valor nos meses em que a geração seja inferior ao consumo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Realizar um estudo de viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico afim de reduzir os valores das faturas de energia e eliminar os efeitos da intermitência da rede da concessionária em uma casa de alto padrão em Santa Catarina.

1.3.2 Objetivos específicos

- Entender o funcionamento da energia solar fotovoltaica em geração distribuída;
- Perceber os benefícios da utilização desta fonte de energia;
- Dimensionar um sistema capaz de reduzir os valores de fatura de energia pagos a concessionária;
- Dimensionar um sistema capaz de eliminar os efeitos da intermitência da rede e reduzir os valores de fatura de energia;
- Dimensionar os equipamentos necessários;
- Levantar custos de equipamentos;

1.4 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a necessidade cada vez maior de geração de energia no Brasil, torna-se importante o investimento em novas fontes de energia.

As fontes renováveis de energia se mostram como uma opção eficaz para a diversificação da matriz de geração brasileira, porém, algumas delas, como as grandes usinas hidrelétricas, trazem impactos ambientais em sua construção.

Assim, os métodos de geração distribuída vêm sendo implantados com o intuito de que o consumidor possa ser o responsável por, pelo menos, parte da sua demanda de energia. Como o sol é um recurso acessível a todos e o Brasil tem grande incidência deste durante todo o ano, seu potencial deve ser aproveitado de forma a beneficiar o ser humano.

Desta forma, seria possível complementar o uso de energia de uma casa, com a instalação de painéis solares fotovoltaicos em seu telhado. Como esta tecnologia ainda se

mostra com preços elevados no Brasil, torna-se importante demonstrar a viabilidade desta instalação, ou seja, verificar em quanto tempo este investimento financeiro seria recuperado, bem como se a irradiância do local é propícia para esta geração. Ressalta-se que vários fabricantes de módulos e outros equipamentos fotovoltaicos estão instalando fábricas no Brasil e é crescente o desenvolvimento desta indústria.

Também é importante verificar a legislação da concessionária local, listando as premissas que devem ser cumpridas para que este sistema seja implantado sem nenhuma restrição jurídica ou que venha a trazer riscos à vida dos trabalhadores ou às instalações.

Assim, este tema se torna relevante, tanto para o melhor desenvolvimento econômico da empresa, como para o aproveitamento das fontes renováveis de energia de modo a aumentar a oferta de energia elétrica nacional.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente será realizado um estudo teórico a respeito da geração de energia elétrica de maneira distribuída, buscando mostrar os principais conceitos e aplicações possíveis. Com estas informações, serão buscadas as normas vigentes para a instalação de painéis solares em meios construídos, apresentando os requisitos para a conexão com a rede urbana.

Na sequência, o estudo passará a ser focalizado na construção em questão. Pretende-se verificar a disponibilidade do local para a aplicação de geração por energia solar fotovoltaica, utilizando o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Após isso, será realizado um estudo buscando a melhor alternativa a ser implantada no local, que possibilite um ganho econômico com a redução dos valores pagos a concessionária e tranquilidade ao proprietário com a eliminação dos constantes apagões. Para o dimensionamento do sistema, serão utilizados métodos já testados e disponíveis na literatura. Assim, será possível realizar o levantamento de custos, valendo-se de consultas à fabricantes.

Por fim, pretende-se encerrar o trabalho, confrontando os benefícios e desvantagens dos métodos dimensionados, verificando os custos de implantação de cada um e a capacidade de resolução dos problemas apresentados

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão de curso será dividido pelos seguintes capítulos:

Capítulo 1 – Introdução: neste capítulo serão abordados os conceitos gerais sobre o trabalho. Pretende-se realizar uma apresentação geral deste, incluindo: tema, delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos, justificativa e procedimentos metodológicos.

Capítulo 2 – Revisão da literatura: Aqui serão apresentados os principais conceitos para a aplicação de energia solar fotovoltaica. Serão abordados os temas relacionados à geração fotovoltaica de forma isolada e conectada à rede. Pretende-se também listar as normas vigentes, dando especial ênfase aos requisitos para que a conexão à rede da concessionária local, seja possível.

Capítulo 3 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico: Neste capítulo será realizado o dimensionamento do sistema para a geração de energia solar por painéis fotovoltaicos de maneira distribuída. Serão verificados os dados de consumo energético e de irradiação solar no local e dimensionados três formas de implantação do sistema fotovoltaico: conectado à rede, isolado e conectado à rede com gerador.

Capítulo 4 – Análise dos projetos propostos: Neste capítulo serão analisados os projetos propostos, levando em consideração os valores para implantação e a capacidade de cada um de resolver os problemas propostos.

Capítulo 5 – Neste capítulo será feita a análise dos resultados obtidos no capítulo 3 e considerações realizadas no capítulo 4, afim de verificar qual sistema dimensionado mais se adequa a residência em questão.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1.1 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico, onde se converte diretamente a luz em eletricidade, foi observado pela primeira vez em 1839, quando o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, percebeu que ao iluminar placas metálicas de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito, uma pequena diferença de potencial surgia. Anos mais tarde, em 1876, G. W. Adams e R. E. Day, dois inventores americanos, observaram um efeito similar em um dispositivo de estado sólido fabricado com selênio. Em 1883 foram fabricados também em selênio, por C.E. Frits, os primeiros dispositivos que podem ser denominados de células fotovoltaicas (PINHO; GALDINO, 2014). A produção industrial de células fotovoltaicas iniciou-se apenas em 1956, acompanhando o desenvolvimento da eletrônica (DE OLIVEIRA GAMA, 2014).

As células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, caracterizado por possuir uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução vazia. Entre estas duas bandas existe a chamada banda proibida, também chamada de *gap*, conforme a Figura 1, que em materiais semicondutores, pode atingir até três elétrons volt (PINHO; GALDINO, 2014).



Figura 1 - Bandas de condução.
 Fonte: VALADARES; ALVES; CHAVES, 2005.

A principal propriedade dos materiais semicondutores que permite a sua utilização na fabricação de células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons incidentes com energia superior

a da banda proibida, excitarem os elétrons para a banda de condução, deixando na banda de valência as lacunas, fazendo surgir uma diferença de potencial variável com a intensidade da luz. Para o aproveitamento de corrente e tensão elétrica é necessário que um campo elétrico seja aplicado, a fim de separar os portadores, o que se consegue através da junção *pn*. (SOLARTERRA, 2014)

Para construir esta junção, é necessário introduzir impurezas no semicondutor por meio do processo de dopagem, que consiste em introduzir pequenas quantidades de outros elementos. Para o tipo *n* impurezas doadoras de elétrons e para o tipo *p* impurezas aceitadoras de elétrons. Na região tipo *n* os portadores negativos, ou elétrons, são os portadores majoritários, já na região tipo *p* os portadores positivos, ou lacunas, são os portadores majoritários. (PINHO; GALDINO, 2014).

Se uma junção *pn* for exposta a fótons, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna. Na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, sendo os elétrons acelerados para o tipo *n* e as lacunas para o tipo *p*, gerando assim, uma corrente através da junção, da região *n* para a *p* este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de efeito fotovoltaico. Esta estrutura pode ser observada na Figura 2. Para completar a célula fotovoltaica, é necessário um contato elétrico frontal na região tipo *n* e um contato elétrico traseiro na região tipo *p*, permitindo assim a passagem de uma corrente elétrica (DO NASCIMENTO, 2004).

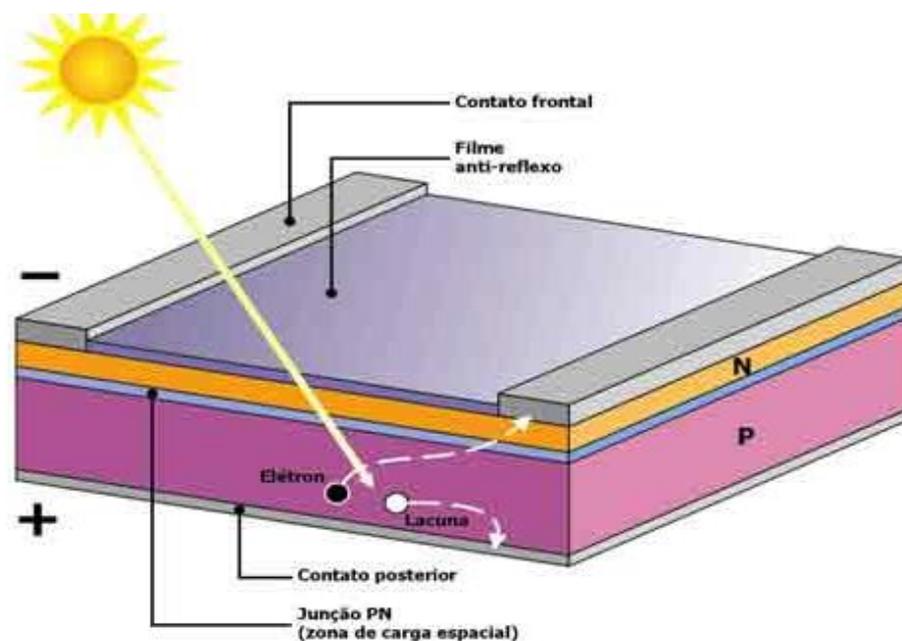


Figura 2 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.
FONTE: NT-Solar PUCRS, 2017.

2.1.2 Sistema fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico é constituído por um bloco gerador que contém os arranjos fotovoltaicos, o cabeamento elétrico e a estrutura de suporte, um bloco de condicionamento de potência que é constituído basicamente por inversores e dispositivos de proteção, supervisão e controle e opcionalmente um bloco de armazenamento, que contém acumuladores (PINHO; GALDINO, 2014).

2.1.2.1 Célula fotovoltaica

A célula solar fotovoltaica é o elemento essencial para a conversão de luz em eletricidade e cada célula gera em seus terminais uma tensão entre 0.5 e 1 V, com uma corrente típica em curto circuito de algumas dezenas de mili amperes. Como a tensão gerada é muito pequena, as células são associadas em série de modo a se obter a tensão desejada (BRITO; SILVA, 2016). As células fotovoltaicas disponibilizadas comercialmente são elaboradas à base de silício monocristalino, policristalino ou amorfo. Pode-se encontrar também células fabricadas com outros materiais, como o disseleneto de cobre-indio e telureto de cádmio, sendo que em 2015, as células de silício correspondiam a 93% da produção (CONFEEA, 2016), fato que pode ser explicado pela sua robustez e confiabilidade (RÜTHER, 2004).

2.1.2.2 Módulo fotovoltaico

Um módulo fotovoltaico é geralmente identificado pela sua potência elétrica de pico (Wp) e é composto pelo arranjo das células fotovoltaicas. Nele as células são encapsuladas em uma película plástica, recobertas por vidro e por último o módulo recebe uma película de alumínio. Na parte de trás, o módulo possui uma caixa de conexões elétricas onde são conectados os cabos conforme figura 3. Estes cabos possuem conectores padronizados (GAZOLI; VILLALVA; GUERRA, 2012).

Os módulos contêm células fotovoltaicas associadas em série e quando uma ou mais destas células recebe menos irradiação solar do que as outras da mesma associação, sua corrente será reduzida e vai limitar a corrente de todo o conjunto série. O efeito desta redução acaba se propagando para todos os módulos conectados em série (PINHO; GALDINO, 2014).

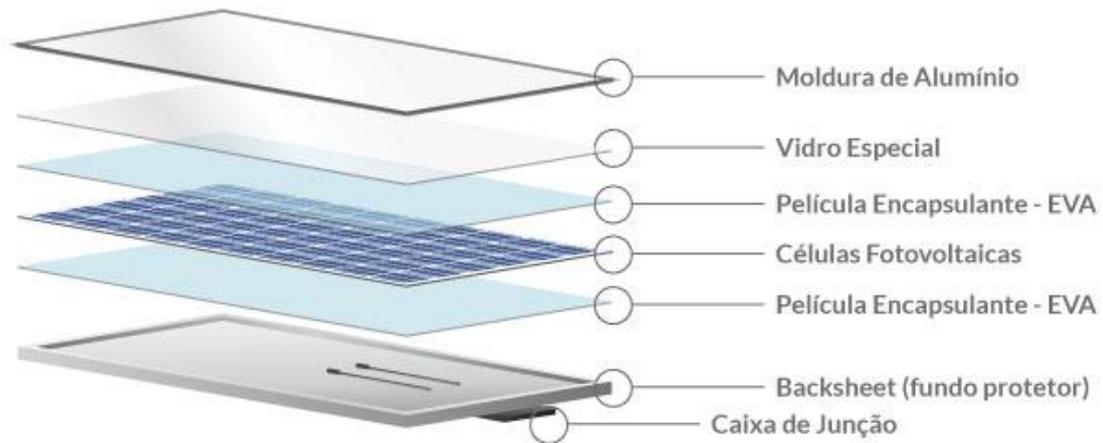


Figura 3 - Estrutura de um módulo fotovoltaico.
Fonte: BLUESOLAR, 2017.

2.1.2.3 Inversores

Os inversores têm a finalidade de transformar uma corrente contínua em corrente alternada. Os módulos fotovoltaicos geram tensão em corrente contínua, para alimentar cargas que operam em corrente alternada é necessário à utilização de um conversor CC/CA, a tensão alternada de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequado às cargas que alimentarão. No caso de sistemas conectados à rede, é necessário ainda que a tensão de saída seja sincronizada a tensão da rede (PEREIRA e GONÇALVES, 2008).

2.1.2.4 Acumuladores

Em sistemas fotovoltaicos autônomos, dado que a produção e consumo de energia muitas vezes não coincidem, o armazenamento de energia assume um papel fundamental. Para isto são utilizadas baterias, as quais devem possuir tempo de vida útil longo em condições de carga e descarga diárias, também conhecidas como baterias de alta profundidade de carga. (PEREIRA; GONÇALVES, 2008).

2.2 PANORAMA ATUAL DA ENERGIA FOTOVOLTAICA.

2.2.1 Energia fotovoltaica no mundo

Durante 2016, pelo menos 75 GW de energia solar fotovoltaica foram adicionadas a capacidade instalada mundial, o que equivale à instalação de mais de 31.000 painéis solares a cada hora. O crescimento em 2016 foi 48% superior ao de 2015, chegando à capacidade instalada de 303 GW, conforme mostra a Figura 4 (REN21, 2017).

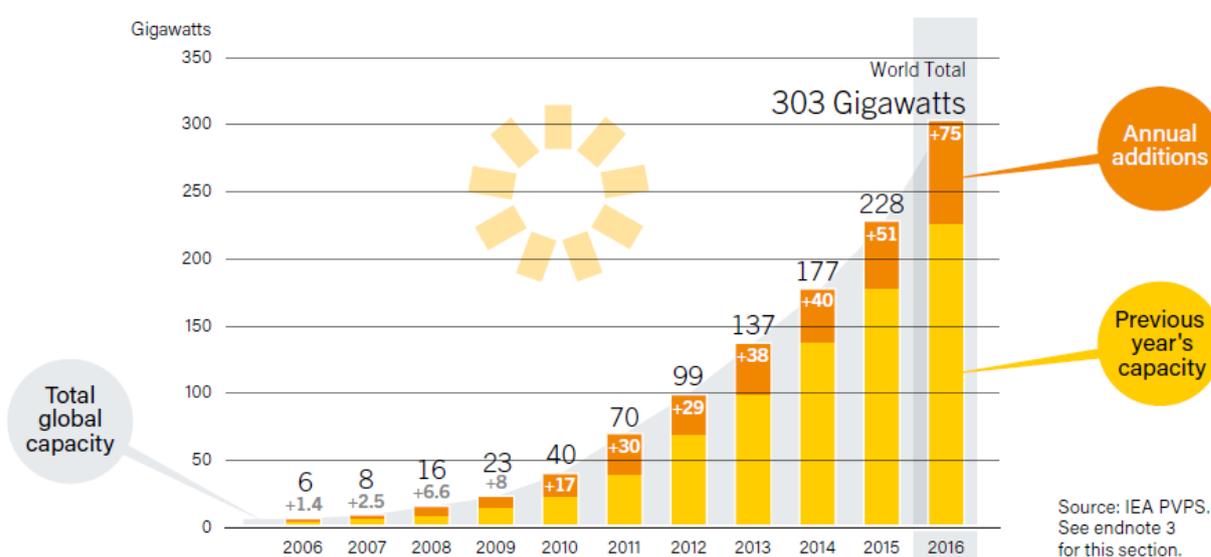


Figura 4 – Capacidade mundial de energia solar fotovoltaica.
Fonte: REN21, 2017.

Segundo o relatório de 2017 da Agência Internacional de Energia (IEA) a Ásia começou a crescer em capacidade instalada de energia fotovoltaica a partir de 2012, fato que foi confirmado nos anos seguintes, como pode ser observado na Figura 5. Em 2016, a Ásia deteve 48% da capacidade mundial, enquanto que a Europa, que anos antes era a responsável por grande parte da capacidade mundial, em 2016 contribuiu com apenas 34%. A capacidade instalada dos países das Américas vem crescendo, chegando em 2016 a 16% (IEA, 2017).

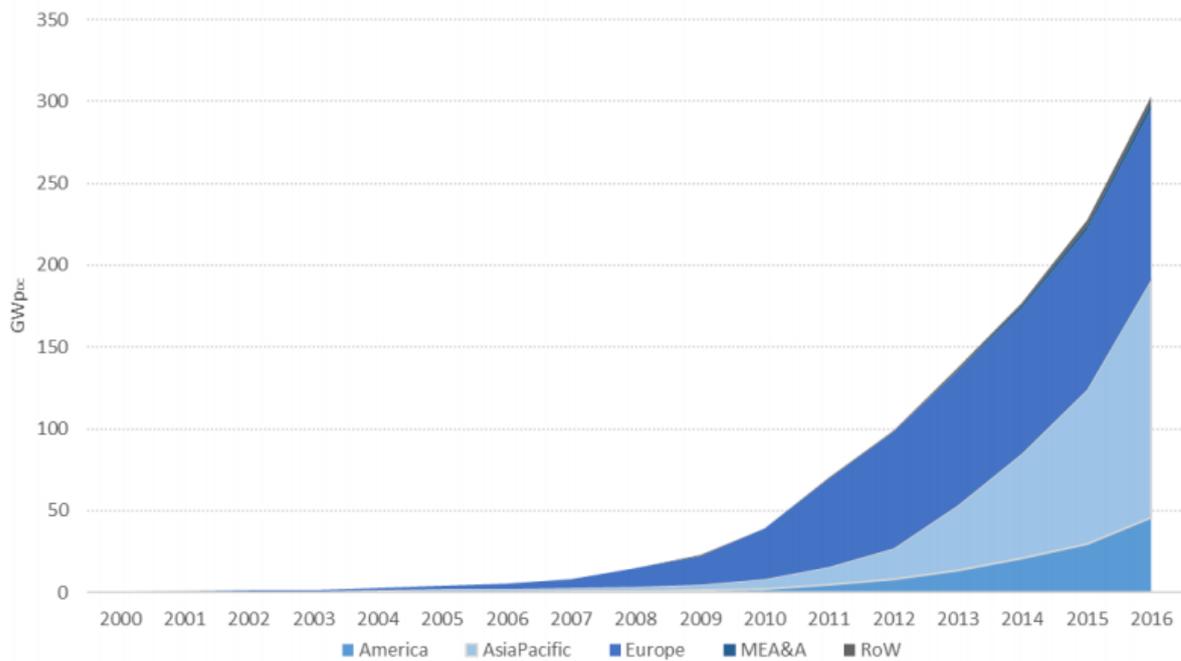


Figura 5 – Evolução das instalações fotovoltaicas por região.
Fonte: IEA, 2017.

Grande parte deste crescimento atingido pela Ásia se deve a China, que em 2016 adicionou 34,6 GW a capacidade mundial, assim aumentando a sua capacidade instalada interna em 45% totalizando 77,4 GW, capacidade muito superior a qualquer outro país, como mostra a Figura 6 (REN21, 2017).

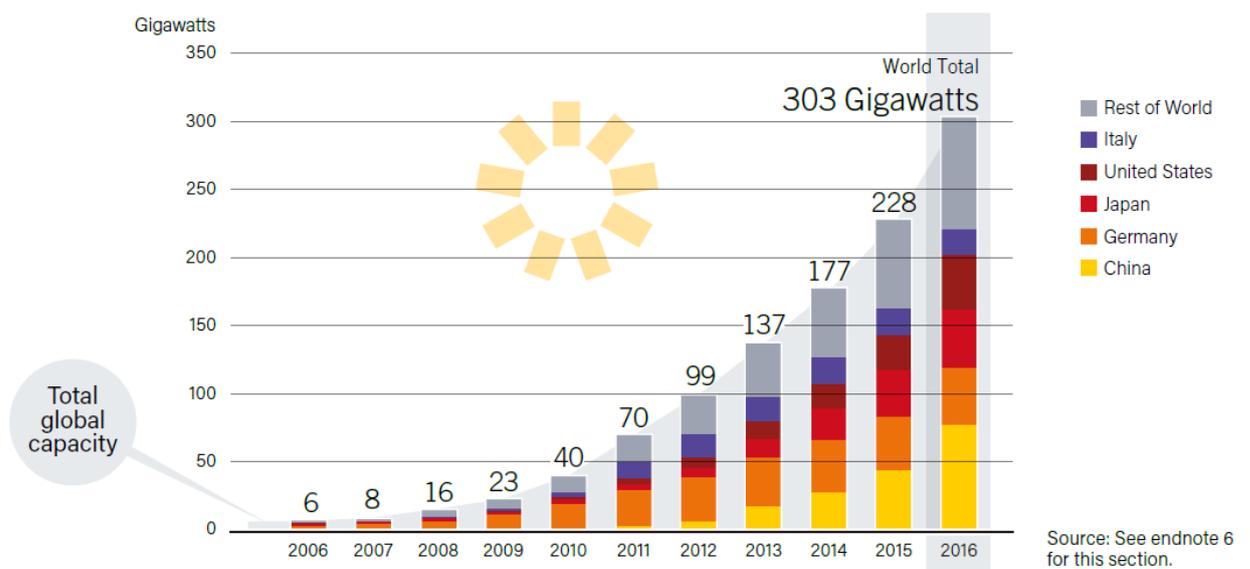


Figura 6 – Contribuição por país na evolução da capacidade instalada mundial.
Fonte: REN21, 2017.

2.2.2 Energia fotovoltaica no Brasil.

O Brasil vem a cada ano aumentando o seu potencial instalado de energia fotovoltaica. Em 2014 houve a primeira contratação de energia solar de geração pública centralizada através de leilão de energia reserva, de 890 MW, no ano seguinte, mais dois leilões foram realizados, totalizando 2.653 MW contratados, com início de suprimento em 2017 e 2018. Estes leilões foram realizados na modalidade de “energia de reserva”, e com o objetivo de promover o uso e o desenvolvimento da indústria solar no Brasil.

Dados do Ministério de Minas e Energia (MME) mostram que a capacidade de energia solar de forma centralizada em 2015 era de 23MW, sendo que destes, 10MW estavam localizados no estado de Pernambuco (MME, 2016).

Segundo a Empresa de Pesquisas Elétricas (EPE), em 2015 a fonte solar fotovoltaica distribuída no Brasil atingiu 20,0 GWh de geração e 13,3 MW de potência instalada (EPE, 2016), sendo que 79%, conforme Figura 7, desta energia gerada está sendo utilizada pelo setor residencial.

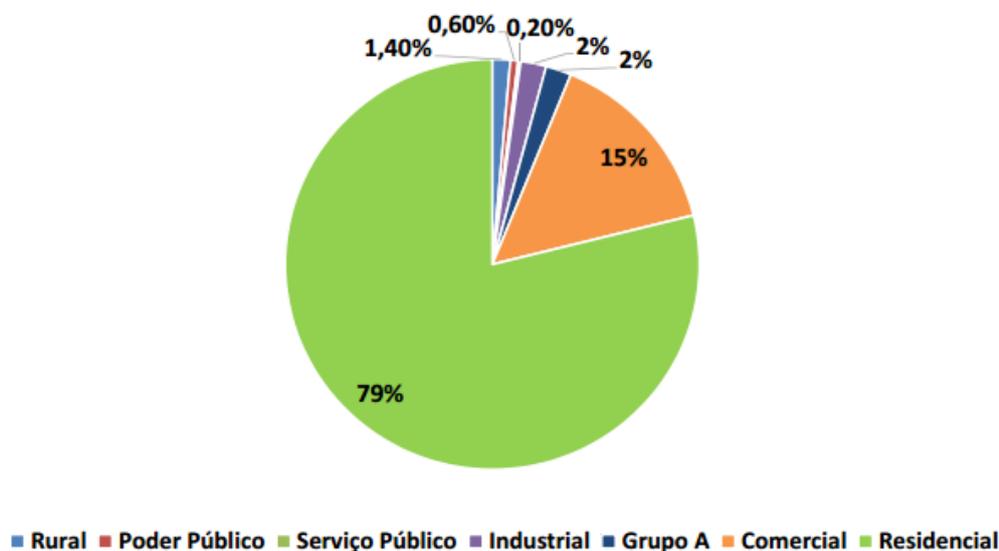


Figura 7 - Distribuição por classe de consumo.
Fonte: ABSOLAR, 2017.

A geração solar é responsável por 0,01% da geração total nacional, como pode ser verificado na Figura 8, número que pode ser significativo se comparado com os dados do ano anterior, onde a geração solar ainda não aparecia na matriz energética brasileira.

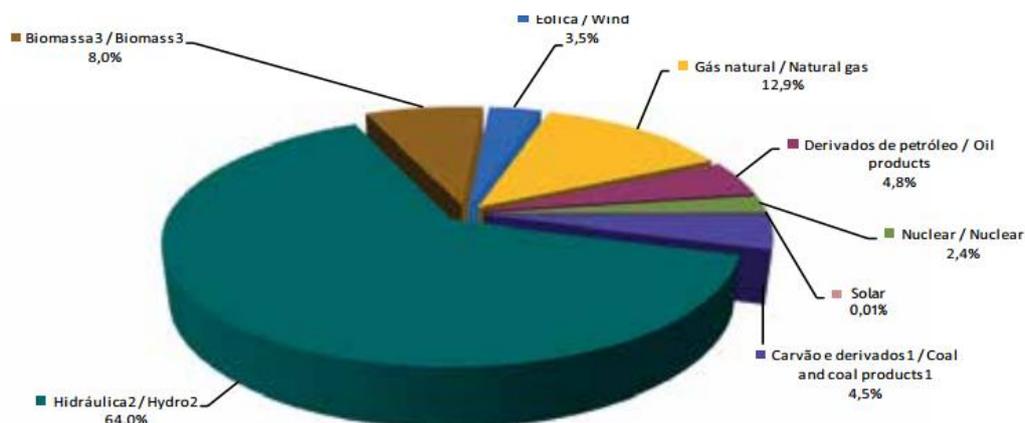


Figura 8 – Matriz energética brasileira 2017.
Fonte: EPE, 2017.

2.3 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos (SFV) podem ser classificados em duas categorias principais: isolados, também chamados de off-grid e conectados à rede ou on-grid. A utilização de cada uma dessas duas opções depende da aplicação e disponibilidade de recursos energéticos (FREITAS, 2008).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, ainda podem se dividir em dois tipos, segundo Rütther (2004):

- De forma centralizada, como se fosse uma usina convencional e longe dos consumidores (grandes centrais fotovoltaicas);
- De forma integrada a edificação, próxima ao consumidor e descentralizada (pequeno porte).

2.2.1 Sistemas fotovoltaicos isolados

Os sistemas isolados são destinados para a geração de energia para o atendimento exclusivo de uma única unidade consumidora e não estão conectados à rede de distribuição de eletricidade da concessionária. No Brasil, estes sistemas atendem às comunidades isoladas, fornecendo eletricidade, na maior parte dos casos, para iluminação, refrigeração e outras cargas baixas de energia (PINHO; GALDINO, 2014).

Os sistemas autônomos precisam de algum tipo de acumulador de energia, para que a energia gerada pelo sistema fotovoltaico seja armazenada e posteriormente consumida, (RÜTHER, 2004), quando na ausência do sol ou quando o consumo é maior que a geração.

Os elementos fundamentais que constituem um sistema fotovoltaico isolado podem ser visualizados na Figura 9, são eles: gerador fotovoltaico, unidade de controle e condicionamento de potência (controlador de carga e inversor de corrente) e acumuladores (SEGUEL, 2009).

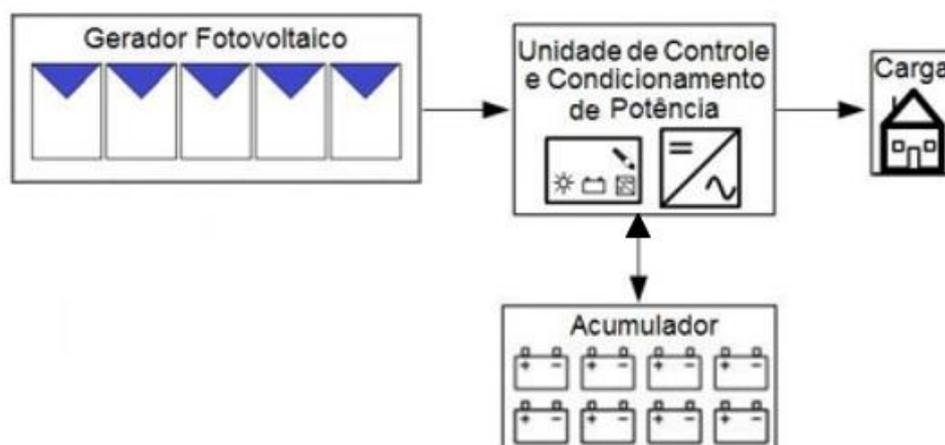


Figura 9 – Componentes de um sistema fotovoltaico isolado.
 Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

O controlador de carga entre os módulos fotovoltaicos e os acumuladores tem o objetivo de evitar as sobrecargas e descargas profundas nas baterias, preservando a vida útil das mesmas (CASTRO, 2017).

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede

Instalações solares fotovoltaicas interligadas à rede elétrica da concessionária podem apresentar duas configurações distintas como já apresentado anteriormente: de forma integrada a uma edificação e perto do ponto de consumo ou de forma centralizada como em uma usina central geradora convencional, neste caso normalmente a certa distância do ponto de consumo.

No caso da geração centralizada, existe a necessidade de complexos sistemas de transmissão e distribuição e grandes custos envolvidos. Já no caso da geração distribuída existem grandes vantagens como a não necessidade de grandes áreas, proximidade do ponto de consumo e eliminação das perdas por transmissão e distribuição (RÜTHER, 2004).

Os sistemas fotovoltaicos descentralizados podem ser instalados de forma integrada a uma edificação, como nos telhados de casas ou prédios, trazendo a vantagem das perdas de transmissão e distribuição serem mínimas, pelo fato do ponto de consumo estar próximo ao ponto de geração (RÜTHER, 2004).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR), dispensam o uso de acumuladores, pois a energia gerada pode ser consumida diretamente pela carga e o seu excedente pode ser injetado diretamente na rede da distribuidora. Da mesma forma que em momentos em que a geração fotovoltaica está abaixo da necessidade demanda ou não existe, como a noite, pode ser utilizada a energia proveniente da rede da concessionária (JANNUZZI; VARELLA; KOM; GOMES, 2009).

Para este sistema são utilizados apenas o gerador fotovoltaico, o inversor de corrente e como existe a alternância entre a utilização da energia proveniente do sistema fotovoltaico e da rede da concessionária, é necessário o uso de um medidor. No Brasil, a regulamentação da Aneel, em vigor, estipula a utilização de medição bidirecional, conforme Figura 10. Onde será medida a energia líquida, gerada menos a consumida.

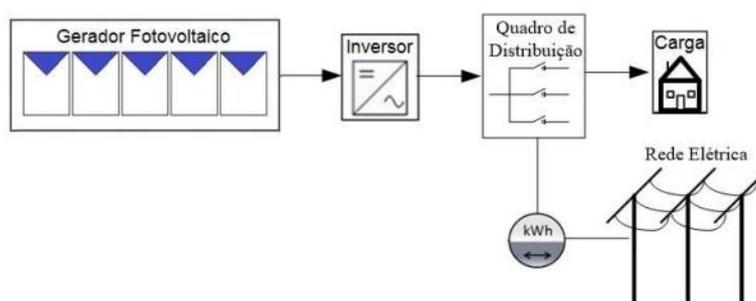


Figura 10 - Componentes de um sistema fotovoltaico conectado a rede com medição bidirecional.
Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

2.4 REGULAMENTAÇÃO

Este estudo busca avaliar a viabilidade de instalação de painéis fotovoltaicos em geração distribuída em uma casa no estado de Santa Catarina, desta forma serão analisados aqui os requisitos nacionais e da concessionária CELESC, para a conexão na rede de energia.

2.4.1 Legislação brasileira

Com a evolução dos sistemas de geração distribuída no mundo e levando em consideração o enorme potencial que o Brasil possui para energias renováveis, tornou-se imprescindível a criação de uma resolução que normatizasse os requisitos para que as “micro” ou “mini” gerações tivessem acesso ao sistema de distribuição da concessionária bem como ao sistema de compensação, o que se tornou realidade com a resolução normativa da ANEEL nº 482 de 2012.

Anteriormente a esta resolução a geração distribuída era enquadrada em leis gerais que definiam os sistemas de geração de energia elétrica no Brasil (BENEDITO, 2009).

2.4.1.1 Resolução normativa n° 482/2012

A resolução normativa da ANEEL n° 482 que entrou em vigor em 17 de abril de 2012 estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas ao sistema de distribuição de energia elétrica.

Nesta normativa é definido o sistema de compensação de energia no qual o excedente de energia gerada pelas unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída é injetado na rede da distribuidora gerando assim créditos em energia ativa a ser consumido em até sessenta meses. Este crédito pode ser compensado na mesma unidade consumidora ou em outra unidade com a mesma titularidade da unidade consumidora geradora.

O artigo 7° desta resolução define que um valor mínimo deverá ser cobrado referente ao custo de disponibilidade para consumidores do grupo B e de demanda contratada pra consumidores do grupo A, ou seja, se o consumidor injetar mais energia que consumir, ele terá estes créditos disponíveis durante sessenta meses, não influenciando no valor do mínimo cobrado.

2.4.1.2 Resolução normativa n° 687/2015

Esta resolução proposta em 24 de novembro de 2015 aperfeiçoou a normativa já existente n° 482, alterando e inserindo informações de forma a se adequar a realidade observada após três anos de vigência da resolução n° 482.

Nela ficam definidas como microgeração distribuída a central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 kW e minigeração distribuída a central geradora com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, ambos os casos para fontes renováveis.

Esta resolução trouxe a possibilidade de geração distribuída em condomínios, onde os créditos gerados podem ser compensados nas múltiplas unidades do condomínio, com uma porcentagem predefinida pelos próprios consumidores, além disso ela permitiu que diferentes consumidores se unam em consórcio ou cooperativa e instalem um micro ou minigerador, sendo a energia gerada utilizada para reduzir as suas contas de energia elétrica.

2.4.1.3 Procedimentos de Distribuição (PRODIST)

Os Procedimentos de Distribuição (PRODIST) são documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica, contém novo módulos, sendo o módulo 3 o que normatiza o acesso ao sistema de distribuição.

Este módulo tem como objetivo estabelecer as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, ao sistema de distribuição. Ele estabelece os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessantes bem como aos existentes.

A seção 3.7 deste módulo descreve os procedimentos para acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição.

Dentre os demais requisitos que são dispostos neste módulo, está o ponto de conexão do acessante com microgeração ou minigeração distribuída que deve ser o ponto de entrega da unidade consumidora, os equipamentos mínimos necessários de acordo com a potência instalada, a medição que deve ser feita de forma bidirecional, podendo ser realizada por meio de dois medidores unidirecionais, um para aferir a energia elétrica ativa consumida e outro para a energia elétrica ativa gerada, e as etapas do processo de solicitação de acesso.

2.4.2 Legislação CELESC

A concessionária CELESC, conforme definido na resolução nº 482 da ANEEL, criou a sua normativa, de código I-432.0004, onde define os requisitos para a conexão de micro ou mini geradores de energia ao sistema elétrico da CELESC distribuição.

Esta normativa define o tipo de tensão da conexão de acordo com a potência instalada, da seguinte maneira:

- Para potência instalada de até 15 kW a conexão se dará em baixa tensão, podendo ser monofásica, bifásica ou trifásica;
- Para potência acima de 15 kW até 25 kW a conexão também se dará em baixa tensão, porém apenas de forma bifásica ou trifásica;
- Para potência acima de 25 kW até 75 kW a conexão será em baixa tensão e apenas de forma trifásica.
- Acima de 75 kW até 5 MW a conexão se dará em média tensão e de forma trifásica.

Fica estabelecido nesta normativa que o projeto, a implantação, a operação e a proteção das instalações elétricas da unidade consumidora, a partir do medidor de energia, incluindo todo o sistema de micro ou minigeração, não são de responsabilidade da distribuidora.

Além disso a normativa estipula os requisitos mínimos para o sistema de proteção e medição e demonstra as etapas para a viabilização do acesso.

2.4.3 Programa brasileiro de etiquetagem INMETRO

A portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011 do INMETRO foi desenvolvida considerando a necessidade de zelar pela eficiência energética dos sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, estabelecendo requisitos mínimos de desempenho e segurança. Ela cria critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade, para sistemas fotovoltaicos, analisando os seguintes equipamentos: módulos, controlador de carga, inversor e bateria, atendendo aos requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, visando à eficiência energética e adequação ao nível de segurança.

2.5 INCENTIVOS À GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Com o intuito da difusão da geração distribuída pelo país, novos incentivos vêm surgindo, como é o caso do projeto “Bônus fotovoltaico” criado pela CELESC. Este programa tem como objetivo incentivar a geração residencial de energia solar, instalando sistemas completos de produção de energia solar fotovoltaica em até 1.000 residências, restritas a casas. O projeto tinha a intenção de beneficiar os participantes com bônus de 60% na aquisição de um sistema fotovoltaico e de cinco lâmpadas de LED (site CELESC, 2016).

Este projeto foi bem aceito pela população e já atingiu o seu número limite de residências e agora se encontra com as inscrições encerradas.

2.6 TARIFAÇÃO

No Brasil, as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: grupo A e grupo B, este agrupamento é definido, principalmente, em função do nível de tensão de atendimento e em função da demanda (kW). As unidades atendidas em baixa tensão fazem parte do grupo B, onde estão às residências, lojas e edifícios residenciais, que em sua maioria são atendidos nas tensões 127 V ou 220 V (LOPES, 2011).

Na concessionária CELESC a resolução homologatória N° 2.286 de 15 de agosto de 2017, define as tarifas a serem aplicadas por kWh de acordo com a classe do consumidor, conforme Figura 11.

Tarifa Convencional - Grupo B (sem tributos)		
Subgrupos	Classificação	Energia R\$/kWh
B1	Residencial Normal	0,4598500
	Residencial Baixa Renda até 30kWh	0,1497265
	Residencial Baixa Renda de 31 a 100kWh	0,2566740
	Residencial Baixa Renda de 101 a 220kWh	0,3850110
	Residencial Baixa Renda acima de 220kWh	0,4277900
B2	Rural, não cooperativa	0,3218900
	Cooperativa de Eletrificação	0,3218900
	Serviço Público de Irrigação	0,2759100
B3	Água, Esgoto e Saneamento	0,3908725
	Demais Classes	0,4598500
B4a	Iluminação Pública - Rede de Distribuição	0,2529200
B4b	Iluminação Pública - Bulbo da Lâmpada	0,2759100

Figura 11 – Tarifa de energia elétrica CELESC.
Fonte: CELESC, 2017.

Assim, a tarifa a ser cobrada para um consumidor residencial normal é de 0,4598 reais por kWh mais impostos, resultando em um valor de 0,6008 reais por kWh em novembro de 2017.

2.7 TRIBUTOS

No Brasil, os tributos estão embutidos nos preços dos bens e serviços. Nas faturas de energia, os consumidores pagam tributos federais, estaduais e municipais, que posteriormente são repassados aos cofres públicos pelas distribuidoras de energia (LEMOS, 2005).

2.7.1 ICMS

A Lei complementar número 87 de 1996 instituiu a cobrança de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Intermunicipal, Interestadual e Serviços de Comunicação (ICMS), esta lei estabelece as regras gerais do imposto, bem como limites que devem ser respeitado pelos estados para a sua própria cobrança de ICMS.

No estado de Santa Catarina a Lei que define o ICMS é a 7.547 de 1989.

Na tarifa de energia o valor cobrado é de 12% para os primeiros 150kWh e 25% após ultrapassar essa quantidade, para o caso de uma instalação residencial, conforme Figura 12.

Observações (ICMS):	
ICMS: Lei Estadual n.º 7.547, de 27/01/89	
Classe	ICMS:
Classe Residencial: Primeiros 150 kWh	12%
Classe Residencial Acima de 150 kWh	25%
Classe Rural: Primeiros 500 kWh	12%
Classe Rural Acima de 500 kWh	25%
Demais Classes	25%
ICMS Mun. de Rio Negro - PR - Todas as Classes	29%

Figura 12 – ICMS cobrado sobre a tarifa de energia em Santa Catarina.
Fonte: CELESC, 2017.

2.7.2 PIS/COFINS

O Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição Social para Financiamento da Seguridade Social (CONFINS) são dois tributos federais que eram embutidos na tarifa de energia elétrica e tinham alíquotas fixas que eram reajustadas juntamente com o reajuste da tarifa. (AES ELETROPAULO, 2017)

A resolução normativa n° 227 de 2005 da ANEEL alterou a sistemática de repasse determinando a exclusão destes tributos da tarifa, de maneira que as empresas de distribuição devem calcular a alíquota e cobrá-la, demonstrando separadamente na conta de energia elétrica do consumidor. (EDP, 2017).

2.8 GERADOR A DIESEL

Todo dispositivo cuja finalidade é produzir energia elétrica à custa de energia mecânica constitui uma máquina geradora de energia elétrica. O funcionamento destas máquinas se baseia no fenômeno da indução eletromagnética (CEEE, 2017).

O gerador foi inventado na Inglaterra em 1831 por Michael Faraday. Este consistia, basicamente, de um eletroímã que se movimentava dentro de uma espira, provocando o

aparecimento de uma força eletromotriz, e o surgimento de tensão elétrica, tendo como base a variação de fluxo magnético (GALDINO, 2017).

Os geradores são muito utilizados como pequenos centros de geração de energia, principalmente em locais isolados, onde as redes de distribuição de energia elétrica não estão disponíveis ou possuem pouca confiabilidade e podem operar em três regimes padronizados (WEG, 2017):

- Contínuo: gerador funcionando com carga nominal durante um período ilimitado de tempo, neste regime o gerador admite sobrecargas;
- Prime: gerador funcionando com cargas variáveis durante um período programado e limitado de tempo. Neste regime a máquina admite sobrecargas.
- Stand-by: gerador funcionando com cargas variáveis não sendo admitidas sobrecargas, este regime é utilizado principalmente para situações emergências e em locais atendidos pela rede da concessionária.

A utilização de geradores traz comodidade, segurança e confiabilidade e podem sanar a demanda de energia elétrica durante horas, dias ou mesmo semanas, dependendo do seu dimensionamento.

3. DIMENSIONAMENTO

3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DO CONSUMIDOR

O objeto de análise deste estudo trata-se de uma casa de alto padrão localizada na Rua Amoreira em Bombinhas, Santa Catarina. Ela está localizada geograficamente com as coordenadas de latitude e longitude: -27,183013, -48,501532. Conforme Figura 13, onde através do Google Maps, foi possível observar a localização exata.

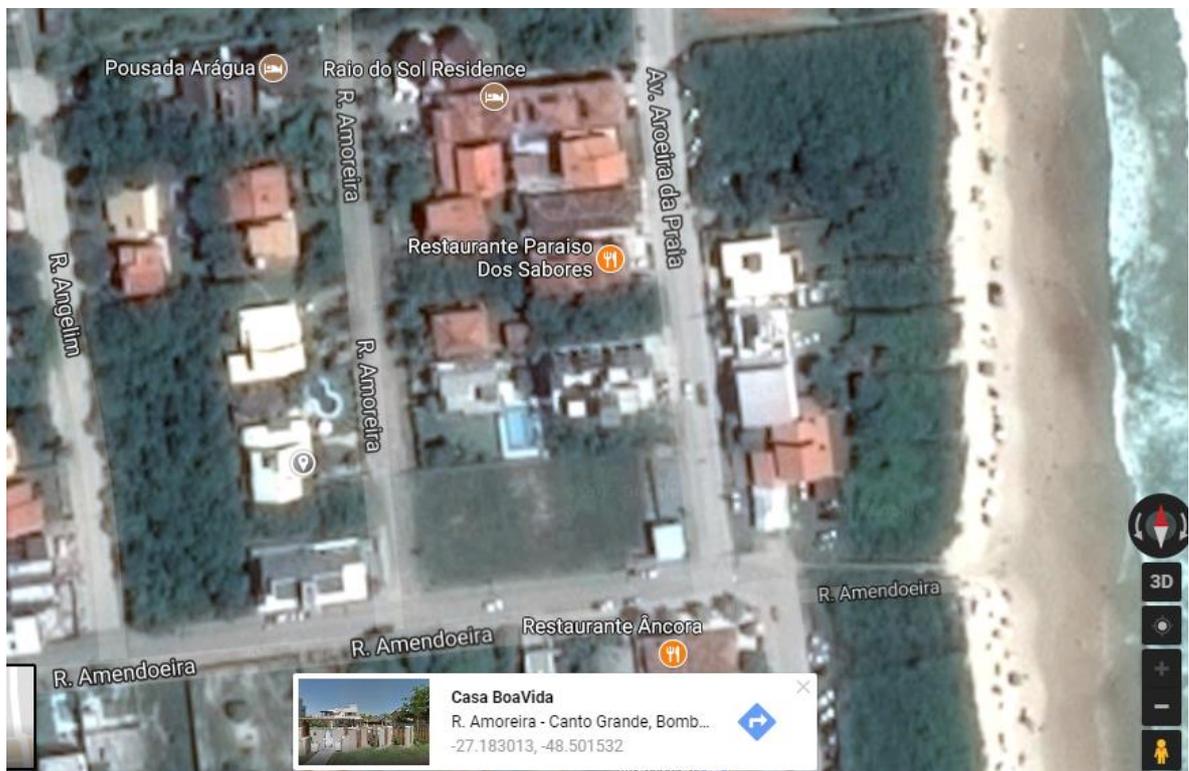


Figura 13 - Localização geográfica - Casa Boa Vida
Fonte: Google Maps, 2017.

Esta casa, Figura 14, é alimentada pela rede de distribuição da concessionária CELESC e se enquadra no grupo de tarifação B, sendo um consumidor residencial e atendido em baixa tensão. Esta casa possui um angulação de telhado de aproximadamente 25°.



Figura 14 - Casa Boa Vida
Fonte: Google Maps, 2017.

A casa é alimentada em tensão trifásica e teve um consumo médio mensal, no ano de 2016 de 888,83 kWh/mês. Este dado foi levantado observando-se as tarifas de energia, conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Consumo mensal na Casa Boa Vida

2016	kWh
janeiro	1845
fevereiro	1531
março	1286
abril	782
maio	738
junho	323
julho	504
agosto	679
setembro	690
outubro	402
novembro	804
dezembro	1082
MÉDIA	888,83

Fonte: Aatoria própria

Pode-se observar que o consumo desta casa é mais acentuado nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. Isto se deve ao fato de estar localizada no litoral e a procura desta, por turistas, ser mais intensa nos meses de verão e férias escolares. Período também em que o uso de equipamentos de climatização é mais constante.

Esta variação pode ser observada no Gráfico 1.

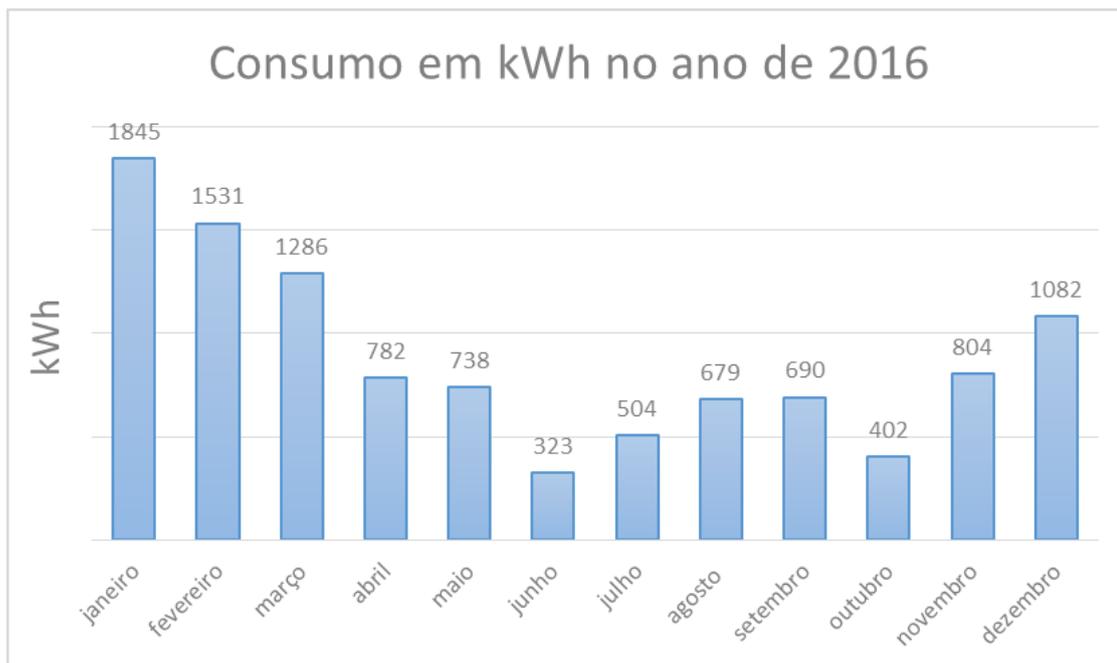


Gráfico 1 - Consumo mensal na Casa Boa Vida
Fonte: Autoria própria.

3.2 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR NO LOCAL

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário conhecer o nível de irradiação incidente no local onde os painéis fotovoltaicos serão instalados.

Neste trabalho, será utilizado o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar na sua segunda edição, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O Atlas Brasileiro de Energia Solar disponibiliza várias informações a respeito do potencial fotovoltaico no Brasil e é possível avaliar, através das coordenadas geográficas do local, o índice de irradiação incidente. Na Figura 15, é possível observar, através da escala de cores, os locais com maior índice de irradiação global, no plano horizontal.

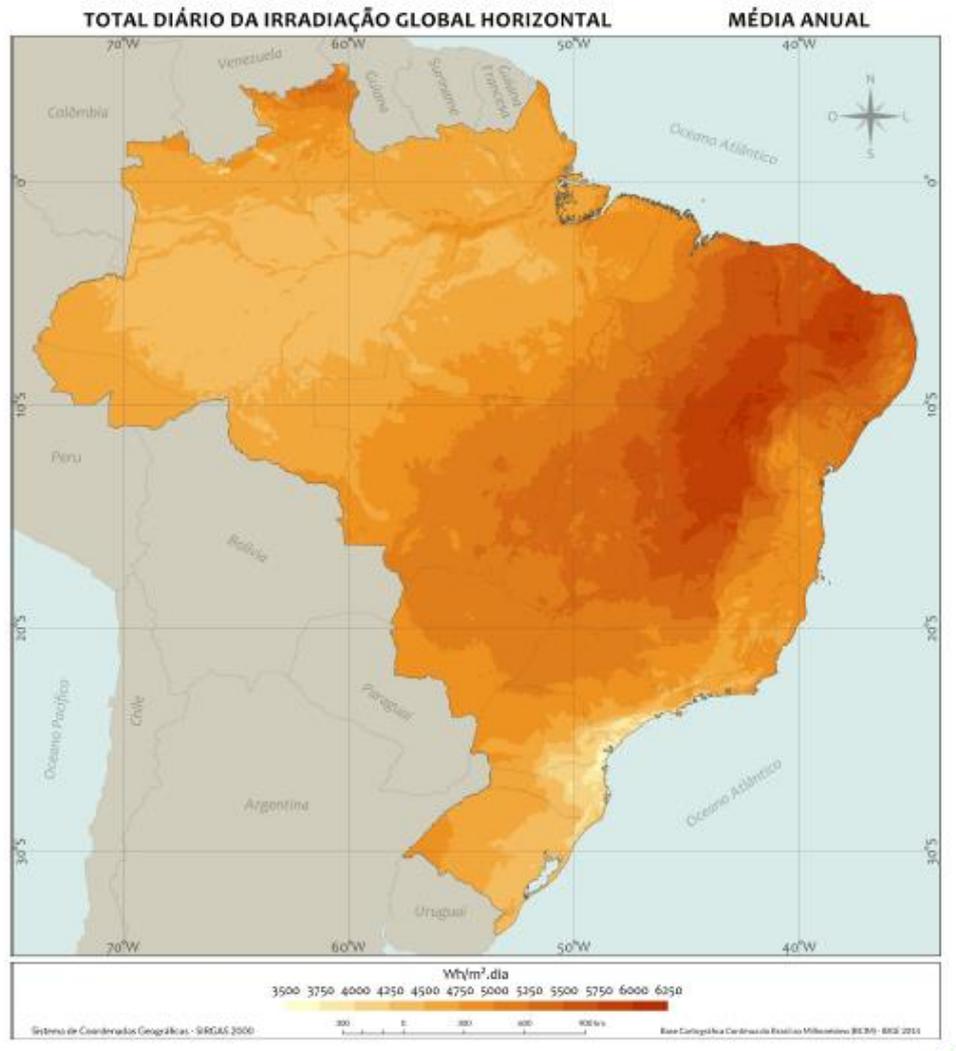


Figura 15 - Mapa de irradiação solar no Brasil
Fonte: Pereira et al., 2017.

O banco de dados disponibiliza os valores de irradiação para pontos separados em aproximadamente de 10 km em 10 km. Desta forma, filtrando os dados disponíveis no formato excel, obteve-se os pontos mais próximos, conforme a Figura 16.

	A	B	C	D	E
1	ID	COUNT	LON	LAT	00_ANNUAL
3202	3201	Brasil	-48,5490000000	-27,2005000000	4211
3203	3202	Brasil	-48,4490000000	-27,2005000000	4372
3257	3256	Brasil	-48,5490000000	-27,1005000000	4239
3258	3257	Brasil	-48,4490000000	-27,1005000000	4394

Figura 16 - Irradiação global no plano horizontal para as coordenadas da Casa Boa Vida
Fonte: INPE, 2017.

Para verificar qual o ponto mais se aproxima do local onde se pretende avaliar o índice de irradiação incidente, foi utilizado o software Google Earth, onde foram afixados os pontos constantes no banco de dados e a real localização da casa. Com a utilização da ferramenta régua, foi possível concluir, que o ponto a ser utilizado seria o ponto D, como pode ser observado na Figura 17, onde as coordenadas geográficas de longitude e latitude são: -48,44 e -27,20.

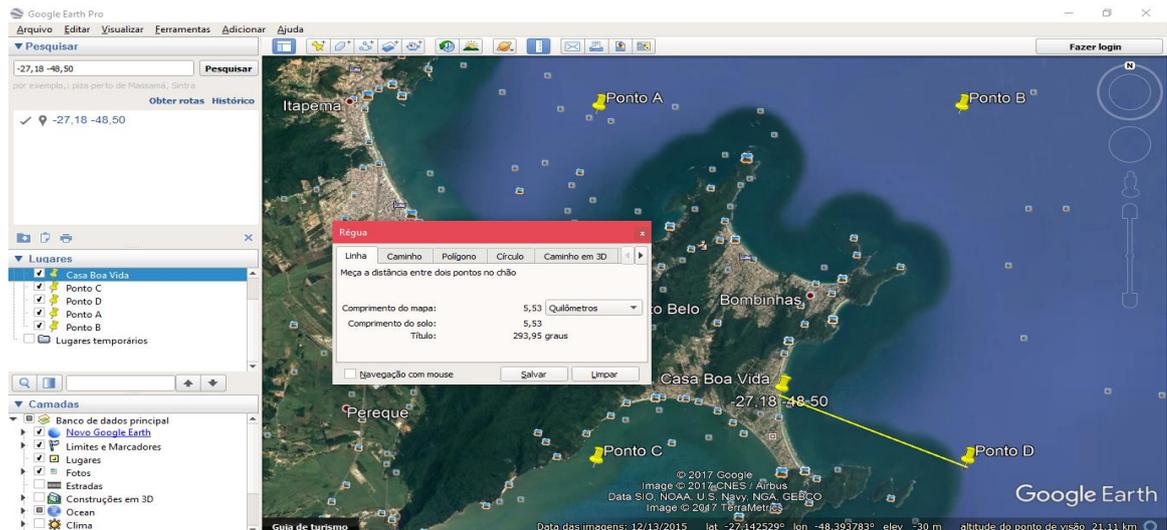


Figura 17 - Pontos de irradiação constantes no banco de dados
Fonte: Google Earth, 2017.

Para obter o real índice de irradiação no telhado da casa, é necessário conhecer o desvio azimutal em relação ao norte, ou seja, a diferença angular, entre o observador, neste caso a casa, e o norte, conforme ilustrado na Figura 18 o desvio azimutal pode se dar tanto para leste como para oeste.

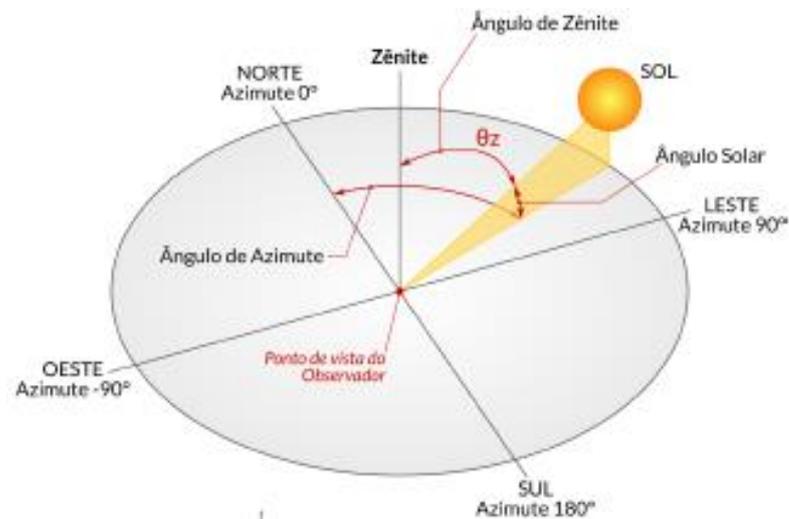


Figura 18 - Conceito de desvio azimutal
Fonte: Pereira et al., 2017.

Para determinar o desvio azimutal da Casa Boa vida, utilizou-se mais uma vez o software Google Earth, onde é possível observar que o desvio azimutal ocorre com aproximadamente 82° a leste, como pode ser observado na Figura 19.

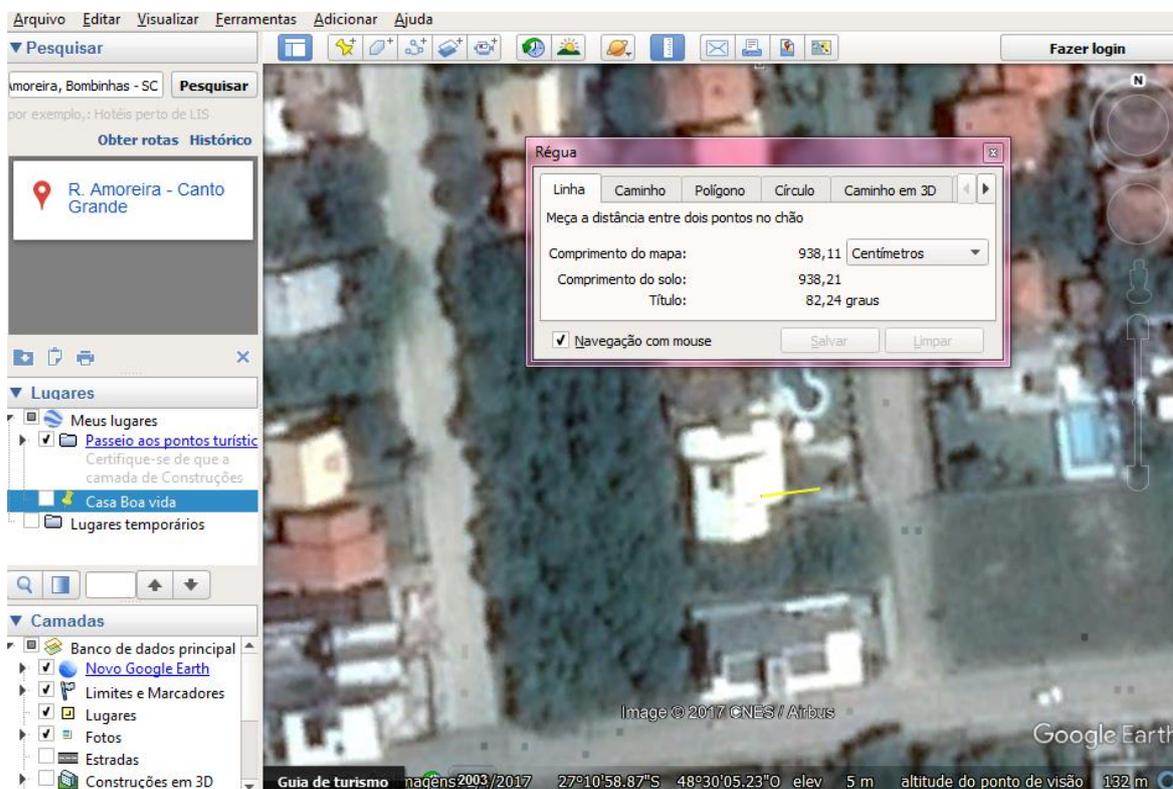


Figura 19 - Desvio Azimutal do telhado da Casa Boa Vida
Fonte: Google Earth, 2017.

O banco de dados do INPE fornece os valores para o plano horizontal, portanto faz-se necessária a utilização de um recurso que determine a radiação efetiva incidente sobre o telhado da casa. Neste trabalho será utilizado o programa RADIASOL que é disponibilizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este programa permite que a partir da inserção dos valores de irradiação disponibilizados pelo banco de dados do INPE, sejam identificados os valores para diferentes planos e desvios azimutais.

Desta forma, os valores obtidos para o ponto que mais se aproxima da Casa Boa vida, foram inseridos no RADIASOL, conforme a Figura 20.

Selecione um país e uma estação

País

Estação

OK Editar Sair

Latitude N/S: Longitude E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
6,07	5,69	4,92	3,88	3,11	2,60	2,73	3,40	3,65	4,52	5,76	6,13

Radiação em kWh/m²

Figura 20 – Inserção dos dados de irradiação no RADIASOL.
Fonte: RADIASOL, 2017.

Ainda foi necessária a informação referente a inclinação do telhado onde serão instalados os painéis fotovoltaicos e o desvio azimutal em relação ao norte.

Na Figura 21, pode-se verificar o gráfico gerado pelo programa, onde estão os valores de um dia típico de cada mês. Pode-se observar que nos meses de janeiro e dezembro, os índices de radiação foram mais altos.

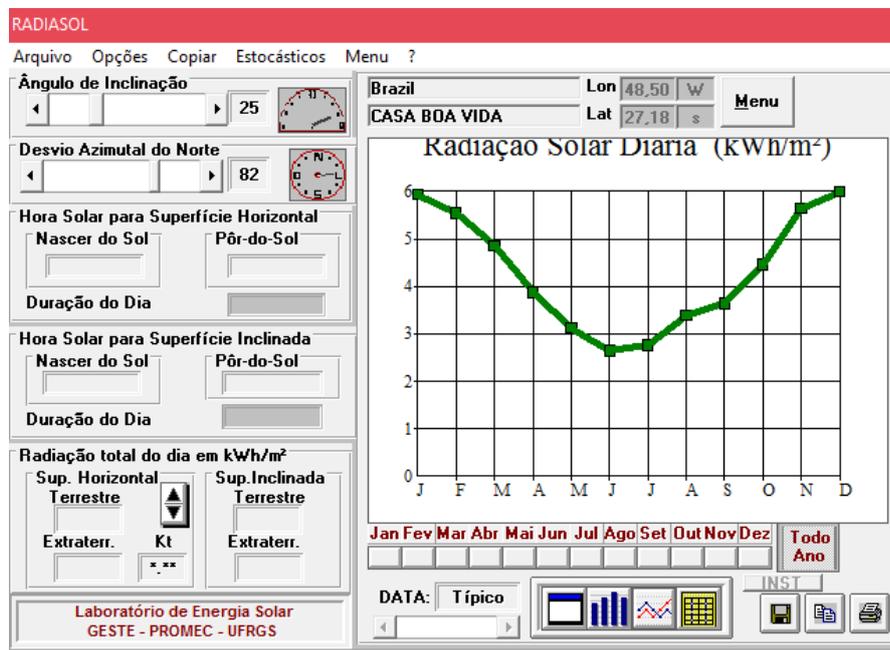


Figura 21 – Irradiação na Casa Boa Vida no plano da cobertura da edificação.
Fonte: RADIASOL, 2017.

Outro recurso disponível neste programa é a observação de dados através de uma tabela. Nesta, Figura 22, é possível verificar a irradiação solar em um dia típico, sendo possível também, a visualização por horários.

Tabela de Radiação Inclinada													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	66	14
6:30	204	165	107	45	0	0	0	3	52	105	182	212	90
7:30	369	335	269	186	128	92	101	151	174	242	343	376	231
8:30	531	504	436	339	267	215	228	293	304	383	503	535	378
9:30	664	644	578	472	391	328	342	418	419	504	635	666	505
10:30	746	731	667	558	474	405	420	501	498	585	718	746	587
11:30	765	752	690	584	499	431	447	527	528	613	739	765	612
12:30	723	707	647	547	466	404	419	494	505	586	699	723	577
13:30	631	610	551	461	386	335	348	414	438	513	609	633	494
14:30	506	479	422	343	278	239	250	305	340	408	486	509	380
15:30	365	334	281	216	162	135	144	187	229	287	349	370	255
16:30	226	192	155	110	73	54	60	90	124	167	212	232	141
17:30	120	93	56	16	0	0	0	1	33	72	110	126	52
18:30	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	30	6
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5931	5546	4859	3877	3124	2638	2759	3384	3644	4465	5638	5989	4321

Figura 22 - Irradiação na Casa Boa Vida - visualização em tabela.

Fonte: RADIASOL, 2017.

3.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

Em um sistema fotovoltaico isolado a demanda energética das instalações deve ser suprida por completo. Como para a Casa Boa vida existe uma variação muito grande de demanda energética ao longo dos meses do ano, dimensionar o sistema utilizando a média anual de consumo energético, não garantiria que em todos os meses a energia gerada pelas instalações fotovoltaicas seria superior à demandada pela casa. Portanto, optou-se por calcular a potência requerida do painel fotovoltaico utilizando a demanda de cada mês e a sua respectiva irradiação incidente.

Para o dimensionamento da potência de pico do painel fotovoltaico, conforme Urbanetz Junior (2017), a equação a ser utilizada deve levar em consideração os seguintes parâmetros:

E: é a energia diária a ser gerada (Wh);

G: é a irradiância na condição STC (1000W/m²);

H_{TOT}: é a irradiação diária (Wh/m²);

R: é o rendimento do conjunto de equipamentos do SFVI (0,65 a 0,75);

F_{CARREG}: é o fator de carregamento das baterias (1,1).

Assim, para o dimensionamento do SFVI, será utilizada a equação (1).

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{TOT} \cdot R} \cdot F_{CARREG} \quad (1)$$

Como o sistema precisa ser dimensionado de maneira garantir que a demanda de energia elétrica seja suprida, será utilizado o menor rendimento do conjunto de equipamentos, ou seja, $R=0,65$.

Outra questão que deve ser levada em consideração no dimensionamento de um sistema fotovoltaico é a área requerida para a instalação dos painéis. Para isto, retiraram-se as medidas de telhado da Casa Boa vida e observou-se que a área utilizável para a instalação, onde as dimensões são maiores que 2 metros e não possuem a incidência de sombras, é de aproximadamente $55m^2$. Estas áreas podem ser observadas nas Figuras 23 e 24, onde estão indicadas com a letra “A”.

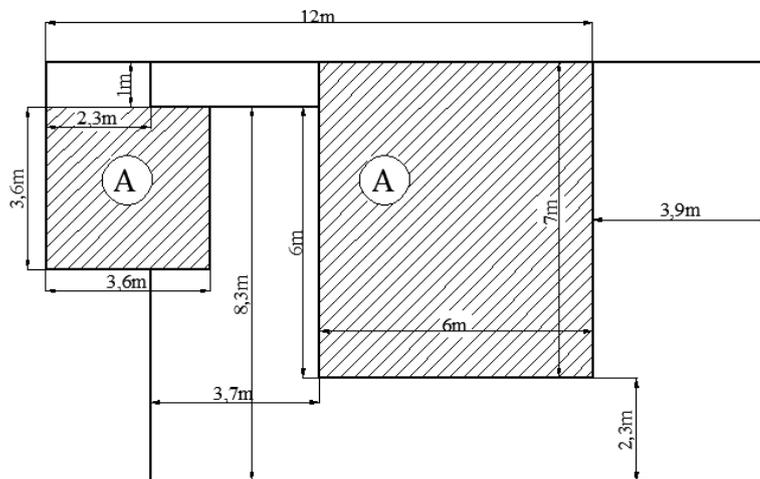


Figura 23 - Croqui do telhado da Casa Boa Vida.
Fonte: Autoria própria.



Figura 24 - Área para instalação dos painéis.
Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo da área necessária para cada situação de consumo e irradiação, a fórmula a ser utilizada, segundo Urbanetz Junior (2017), deve ser a razão entre a potência do painel fotovoltaico e eficiência desta tecnologia, desta maneira, a fórmula a ser utilizada, segue na equação (2):

(2)

$$A = \frac{P_{FV}}{E_{FF}} \cdot 100$$

Com o consumo médio diário de cada mês e com a irradiação incidente no mesmo, foi possível calcular a potência que seria necessária para suprir a demanda da Casa Boa vida. Os resultados obtidos estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensionamento SFVI – Casa Boa Vida

MÊS	CONSUMO (kWh)	CONSUMO DIÁRIO (kWh/dia)	IRRADIAÇÃO NO LOCAL (Wh/m²dia)	PFV(Wp)	ÁREA (m²)
JANEIRO	1845	59,5	5931	15768,9	98,6
FEVEREIRO	1531	52,8	5546	14958,6	93,5
MARÇO	1286	41,5	4859	13416,1	83,9
ABRIL	782	26,1	3877	10565,4	66,0
MAIO	738	23,8	3124	11975,1	74,8
JUNHO	323	10,8	2638	6413,6	40,1
JULHO	504	16,3	2759	9260,0	57,9
AGOSTO	679	21,9	3384	10171,2	63,6
SETEMBRO	690	23,0	3644	9918,5	62,0
OUTUBRO	402	13,0	4465	4563,9	28,5
NOVEMBRO	804	26,8	5638	7469,7	46,7
DEZEMBRO	1082	34,9	5989	9158,1	57,2

Fonte: Autoria própria

Conforme explicado no início deste capítulo, o dimensionamento só foi realizado com os dados mensais, pelo fato do consumo de energia nesta residência ser muito variável ao longo do ano.

Observa-se que para suprir o elevado consumo do mês de janeiro, apesar de ser um mês com alto índice irradiação, é necessário um sistema fotovoltaico de aproximadamente 16 kWp o que requereria uma área de aprox. 98 m². Como a área disponível de telhado, conforme já apresentado na Figura 23 é de aproximadamente 55m², faz-se imprescindível a utilização de uma área adicional de 43m², a qual poderá ser alocada em solo.

3.3.1 EQUIPAMENTOS

Para o dimensionamento do sistema será utilizado a maior potência de pico do painel fotovoltaico, o que ocorre no mês de janeiro, assim fica garantido que em todos os demais meses a geração será superior à demanda.

Para atender a demanda total de energia é necessário um potencial de pico do sistema fotovoltaico de 16kWp. Tendo em vista que, na grande maioria das vezes, os sistemas fotovoltaicos isolados são dimensionados para atender pequenas cargas, como residências rurais, onde a rede de energia elétrica não chega, não é comum encontrar equipamentos que suportem grandes potências. Por este motivo, o sistema foi subdividido em quatro sistemas menores de 4kWp, o que facilitou o dimensionamento dos equipamentos.

3.3.1.1 Paineis fotovoltaicos

Conforme dimensionado, cada subsistema terá uma potência de 4kWp, para isto, foi escolhida a utilização de módulos fotovoltaicos de 315kWp. Desta forma, serão necessários 12 módulos por subsistema.

O módulo fotovoltaico escolhido é o MAXPOWER CS6U-315P da fabricante Canadian. Os parâmetros elétricos deste equipamento seguem na Figura 25.

ELECTRICAL DATA / STC*				
CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Module Efficiency	16.20%	16.46%	16.72%	16.97%
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 (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

**Figura 25 - Informações técnicas módulo fotovoltaico MAXPOWER CS6U-315P.
Fonte: Canadian, 2017.**

Pode-se observar que este módulo apresenta uma tensão de circuito aberto de 45,1V, máxima corrente de operação de 8,61A e máxima tensão de operação de 36,6V. Para verificar os parâmetros por subsistema e assim conseguir dimensionar os demais equipamentos necessários, foi definido que o arranjo dos módulos será realizado da seguinte maneira: serão conectados 3 módulos em série e serão realizados 4 paralelos deste conjunto.

Desta forma, os parâmetros elétricos de um subsistema são os seguintes:

Tensão de circuito aberto: 135,3V;

Corrente de máxima potência: 34,4A;

Tensão de máxima potência: 109,8V.

3.3.1.2 Inversor

Para a escolha do inversor a ser utilizado, levou-se em consideração a potência necessária por cada subsistema.

O inversor encontrado que atende os requisitos é o ISLAND 5048 da SMA.

Este inversor possui uma tensão nominal de saída em corrente alternada de 230V, sendo que esta pode ser ajustada entre 202 e 253V. A potência nominal em corrente alternada é de 5000W em 25°C e 4000W em 45°C, satisfazendo assim a condição de 4kWp de potência de cada subsistema. A tensão suportada por este inversor para um banco de baterias é de 48V. As demais especificações podem ser observadas na Figura 26.

Technical data	Sunny Island 5048
AC output (loads)	
Nominal AC voltage (adjustable)	230 V [202 V - 253 V]
Nominal frequency (adjustable)	50 Hz / 60 Hz [45 Hz - 65 Hz]
Continuous AC power at 25 °C / 45 °C	5000 W / 4000 W
AC output power at 25 °C for 30 min / 1 min / 3 s	6500 W / 8400 W / 12000 W
Nominal AC current / max. AC current (peak)	21.7 A / 120 A for 60 ms
THD output voltage / power factor (cos φ)	< 3 % / -1 to +1
AC input (generator or grid)	
AC input voltage (range)	230 V [172.5 V - 264.5 V]
AC input frequency (range)	50 Hz / 60 Hz [40 Hz - 70 Hz]
Max. input current (adjustable) / max. input power	56 A [0 A - 56 A] / 12.8 kW
Battery DC input	
Battery voltage (range)	48 V [41 V - 63 V]
Max. battery charging current / continuous charging current at 25 °C	120 A / 100 A
Battery type / battery capacity (range)	lead, NiCd / 100 - 10,000 Ah
Charge control	IUoU process
Efficiency / operating consumption	
Max. efficiency	95 %
Own consumption with no load / standby	25 W / 4 W
Protection devices	
DC reverse polarity protection / DC fuse	●/●
AC short-circuit / AC overload	●/●
Overtemperature / excessive battery discharge	●/●
General data	
Dimensions (W / H / D) in mm	467 / 612 / 235
Weight	63 kg
Operating temperature range	-25 °C ... +50 °C
Protection rating (as per IEC 60529)	indoors (IP30)
Features / function	
Operation & display / multifunction relays	internal / 2
3-phase systems / parallel connection	●/●
Integrated bypass / multicluster operation	-/●
State-of-charge calculation / full / equalization charge	●/●/●
Integrated soft start / generator support	●/●
Battery temperature sensor / communication cables	●/●
Warranty (5 / 10 / 15 / 20 / 25 years)	●/○/○/○/○
Certificates and permits	www.SMA-Solar.com
Accessories	
Battery cables / battery fuses	○/○
Interfaces (RS485 / Multicluster PB)	○/○
"GenMan" extended generator start	○
Load-shedding contactor / battery current measurement	○/○
● Standard features ○ Optional features - Not available	
Last revision: May 2010	
Type designation	
	SI 5048

Figura 26 - Informações técnicas inversor 5048 da SMA.

Fonte: SMA, 2017.

3.3.1.3 Banco de baterias

Para o dimensionamento do banco de baterias para um sistema fotovoltaico isolado, conforme explica Urbanetz Junior (2017), a capacidade do banco de baterias deve ser determinada supondo regime C20. Visto que o banco de baterias deve operar sempre em flutuação, ou seja, nunca atingindo a descarga completa das baterias, a profundidade de descarga máxima admitida será limitada em 50%, profundidade de descarga diária máxima em 20%, temperatura de operação estimada em 25°C e fator de segurança de 10%.

Como serão 4 subsistemas, será utilizado para este dimensionamento a demanda diária de consumo do mês de janeiro dividida pelo número de subsistemas, obtendo assim um valor de 14,87kWh/dia. A tensão do banco de baterias deverá ser de 48V, conforme definido pelo inversor.

Desta forma o consumo diário em Ah será calculado pela razão da demanda diária pela tensão da bateria, obtendo assim: 309,89Ah.

Como o conjunto de baterias deverá ter uma autonomia de 2 dias, afim de garantir que em momentos de pouca incidência de irradiação solar a instalação não fique sem energia, o valor de demanda diária será multiplicado pela quantidade de dias, neste caso 2. Assim obtém-se 619,8Ah.

Para obter o correto valor de descarga do banco de baterias, Urbanetz Junior (2017), sugere que devem ser comparados os seguintes cálculos: dividir a corrente diária demandada pela instalação pela máxima corrente de descarga diária admitida e comparar com a divisão da corrente demanda em dois dias, pela máxima descarga admitida. Desta forma, obtém-se para o primeiro caso uma corrente de descarga de 1541,6Ah e para o segundo 1239,6Ah. Deve ser escolhido o valor mais alto entre os dois resultados, neste caso deve-se utilizar 1541,6 Ah ao qual deve ser aplicado um fator de segurança de 10%, obtendo assim 1695,8Ah.

Serão utilizadas baterias estacionária com capacidade em regime C20 de 220Ah e 12V. Desta forma, o arranjo das baterias deverá ser realizado, por subsistema, da seguinte maneira: 4 baterias em série, de maneira a obter os 48V necessários e 8 paralelos deste conjunto, obtendo assim 1760 Ah na saída do banco de baterias.

A bateria que apresenta estes parâmetros é a 12MF220 da Moura, conforme Figura 27.

Modelo		12MF36	12MF45	12MF55	12MF63	12MF80	12MF105	12MF150	12MF220
Tensão Nominal (V)		12	12	12	12	12	12	12	12
Capacidade a 25°C (Ah)	10h-1,75V/Elem	32	41	50	57	72	94	135	195
	20h-1,75V/Elem	36	45	55	63	80	105	150	220
	100h-1,75V/Ele	40	50	60	69	87	115	165	244
Dimensões (mm)	Comprimento	212	212	242	282	330	330	509	517
	Largura	175	175	175	175	172	172	211	272
	Altura	175	175	175	175	244	244	246	246
Peso (Kg)		10,5	11,5	13,5	16,4	22,0	25,5	44,0	56,2
Posição dos Terminais		- +		+ -		- +			
Acessórios		Parafusos, arruelas e porcas sextavadas em aço inox							
Tensão de Flutuação (V)		13,20 - 13,38 a 25°C (2,20 - 2,23 p/ elemento)							
Tensão de Equalização (V)		14,16 -14,40 a 25°C (2,36 - 2,40 p/ elemento)							
Compensação de Temperatura		-0,33 V para cada 10°C acima de 25°C							
		+0,33 V para cada 10°C abaixo de 25°C							

Figura 27 – Informações técnicas da bateria da Moura
Fonte: Moura , 2017.

3.3.1.4 Controlador de carga

Com os demais equipamentos dimensionados, é possível escolher o controlador de cargas. Este controlador deve suportar a tensão de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos de 135,3V, tensão de operação de 109,8V e a máxima corrente de operação de 34,4. Assim, o controlador escolhido é o XW-MPPT60-150 da Xantrex, que possui os parâmetros elétricos conforme Figura 28.

XW Solar Charge Controller

Electrical Specifications	
Nominal battery voltage	12, 24, 36, 48, 60 Vdc
Maximum PV array voltage (operating)	140 Vdc
Maximum PV array open circuit voltage	150 Vdc
Array short-circuit current	60 Adc maximum
Maximum and minimum wire size in conduit	#6 AWG to #14 AWG
Total power consumption while operating	2.5 W (tare)
Charger regulation method:	Three-stage (bulk, absorption, float)
	Two-stage (bulk, absorption)

Figura 28 – Informações técnicas do controlador de cargas da Xantrex
Fonte: Xantrex, 2017.

3.3.1.5 Diagrama unifilar

Com todos os equipamentos dimensionados, apresenta-se na Figura 29, o diagrama unifilar de um subsistema fotovoltaico isolado a ser aplicado para suprir $\frac{1}{4}$ da demanda de energia da Casa Boa Vida.

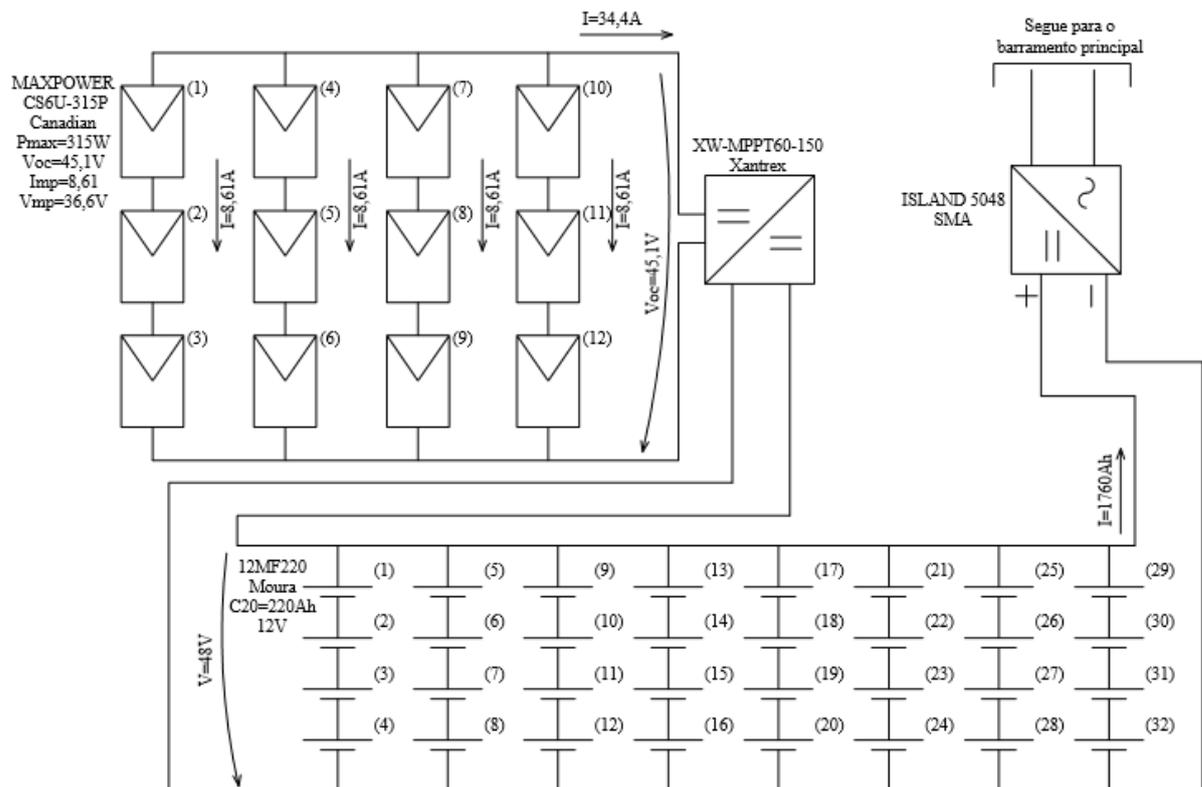


Figura 29 – Diagrama unifilar de um subsistema fotovoltaico isolado.
Fonte: Autoria própria.

Para que toda a demanda seja suprida é preciso instalar 4 sistemas iguais ao apresentado. Percebe-se que os equipamentos dimensionados são de grande porte, além de que, de alguns se faz necessário uma grande quantidade de elementos, como é o caso do banco de baterias. Desta forma serão necessários para o sistema inteiro: 48 módulos fotovoltaicos, 4 conversores, 4 inversores e 128 baterias.

3.3.2 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DA INSTALAÇÃO

Para que seja possível a análise do valor do investimento deste sistema, foram consultados, por meios de pesquisas a distribuidores, os valores de cada elemento do sistema. Notou-se que

o elemento mais caro do subsistema de forma unitária é o inversor, porém, como serão necessárias muitas baterias, elas se tornam o principal complicador no valor final do projeto. Estes valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores dos equipamentos - SFVI

EQUIPAMENTO	VALOR POR UNIDADE (REAIS)	QUANTIDADE POR SUBSISTEMA	VALOR POR SUBSISTEMA (REAIS)
CONTROLADOR DE CARGAS	R\$1.842,96	1	R\$1.842,96
PAINEL FOTOVOLTAICO	R\$749,00	12	R\$8.988,00
INVERSOR	R\$5.142,16	1	R\$5.142,16
BATERIA	R\$1.058,00	32	R\$33.856,00
TOTAL		R\$49.829,12	
TOTAL DOS 4 SUBSISTEMAS		R\$199.316,48	

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que o valor total de um subsistema se aproxima de 50 mil reais, desta forma, para que o sistema inteiro, seria necessário um investimento, em equipamentos, de 200 mil reais. Ressalta-se que este valor refere-se apenas aos equipamentos principais do sistema, sendo necessário ainda o investimento em cabos, equipamentos para proteção após o inversor, estrutura metálica para a fixação dos painéis, infraestrutura para as baterias e contratação de equipe para a instalação do sistema.

3.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede, é preciso conhecer os valores de energia elétrica consumidos por mês, por pelo menos um ano, para ser possível garantir uma média confiável. Para esta instalação, foram cedidos pela proprietária as faturas de energia do ano de 2016, onde a média de consumo foi de 888,83kWh.

Como regulamento pela Aneel na resolução normativa 456, a concessionária de energia deve cobrar uma taxa referente a disponibilidade do sistema, que, para consumidores trifásicos, é de 100kWh. Portanto, o sistema será dimensionado de maneira que a geração total, abranja o consumo mensal médio, menos 100kWh. Desta maneira o proprietário pagará a concessionária a taxa mínima em cada mês, o ICMS sobre a energia consumida, o adicional referente às bandeiras tarifárias e a taxa de iluminação pública.

Conforme Urbanetz Junior (2017) explica, para o cálculo da potência de pico necessária para suprir determinada demanda, faz-se necessário a obtenção dos seguintes parâmetros:

E: Energia diária a ser gerada (Wh/dia);

G: é a irradiância na condição STC (1000W/m²);

H_{TOT} : é a irradiação diária (Wh/m²);

PR: Performance do conjunto de equipamentos;

Assim, a fórmula a ser utilizada para o dimensionamento, pode ser observada na equação (3).

$$P_{FV} = \frac{E.G}{H_{TOT}.PR} \quad (3)$$

Para o valor de energia diária ser gerada, foi tomado como base o valor médio de consumo no ano de 2016 e subtraído o valor de disponibilidade, desta forma o valor a ser gerado por mês é de 788,83kWh, conseqüentemente o valor a ser gerado por dia fica sendo 26.294Wh/dia.

Para o sistema fotovoltaico conectado à rede, utiliza-se o valor médio de irradiação no local, visto que, com o sistema de compensação, caso em um mês a geração seja superior a demanda, o excedente poderá ser utilizado para compensar o mês em que a geração seja inferior, de forma que, o consumidor, esteja pagando apenas a taxa mínima. Desta forma, será utilizado o valor de incidência média anual no plano do telhado, que segundo o programa RADIASOL, para a localidade em questão e inclinação de telhado de 25° e desvio azimutal de 82°, é de 4,321kWh/m²dia.

Será utilizado o valor de performance dos equipamentos como 75%, valor de referência para projetos de SFVCR.

Desta forma, a potência de pico dos sistema fotovoltaico deverá ser de 8,114 kWp.

Afim de verificar se a área de telhado é suficiente para a instalação deste sistema, realizou-se o cálculo, com a fórmula que já foi exposta neste trabalho, chegando a um valor de 50,71m², como a área disponível é de aproximadamente 55m², o sistema poderá ser instalado por completo no telhado da Casa Boa Vida.

3.4.1 EQUIPAMENTOS

Os equipamentos do sistema fotovoltaico, serão dimensionados de maneira a atender os parâmetros elétricos calculados. Para, posteriormente, ser possível analisar o valor de implantação de cada sistema, isolado e conectado à rede com gerador, serão dimensionados os equipamentos de mesma modelo e marca, sempre que possível.

3.4.1.1 Painel fotovoltaico

Serão utilizados os módulos de 315kWp MAXPOWER CS6U-315P da fabricante Canadian, os mesmos utilizados para o sistema isolado. Estes módulos, conforme já mencionado no dimensionamento anterior, possuem tensão de circuito aberto de 45,1V por painel, corrente de máxima potência de 8,61A e tensão de máxima potência de 36,6V.

Para suprir a demanda dimensionada, serão instalados 26 módulos fotovoltaicos.

3.4.1.2 Inversor

Para a definição do inversor, o primeiro critério utilizado foi a máxima tensão, em corrente contínua, que o sistema fotovoltaico vai ser capaz de gerar, com isto foi selecionado o inversor Sunny Tripower 8000TL da SMA. Este equipamento é fabricado para atender a máxima potência de 8200W, como foram projetadas 26 módulos de 315Wp, a máxima potência que será gerada será 8190Wp, portanto este equipamento atende ao requisito. Este inversor é trifásico, então é necessária a aquisição de apenas um equipamento para o sistema todo. Os parâmetros elétricos do inversor, podem ser observados na Figura 30.

Technical Data	Sunny Tripower 8000TL
Input (DC)	
Max. DC power (@ cos φ=1)	8200 W
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	320 V - 800 V / 600 V
Min. input voltage / initial input voltage	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	22 A / 11 A
Max. input current per string input A* / input B*	33 A / 12.5 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:4; B:1
Output (AC)	
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	8000 W
Max. apparent AC power	8000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Nominal AC voltage range	160 V - 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz
Rated grid frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V
Max. output current	16 A
Power factor at rated power	1
Adjustable displacement factor	0.8 overexcited... 0.8 underexcited
Phase conductors / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency / European efficiency	98.1 % / 97.5 %
Protection	
Input-side disconnection device	●
Ground-fault monitoring / grid monitoring	● / ●
DC surge arrester Type II, can be integrated	○
DC reverse-polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -
All-pole sensitive residual current monitoring unit	●
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III

Figura 30 – Inversor Sunny tripower 8000TL
Fonte: SMA

3.4.1.3 Diagrama unifilar

Para a escolha do arranjo dos módulos, deve ser analisada a tensão de circuito aberto do sistema e a máxima tensão suportada pelo inversor.

Se os 26 módulos fossem conectados em série, haveria uma tensão máxima de circuito aberto de 1.172,6V, o que ultrapassa a capacidade do inversor e do módulo fotovoltaico. Para resolver este problema, como o inversor possui duas entradas, resolveu-se conectar os módulos em dois estrings, cada um com 13 painéis em série, desta forma a máxima tensão de circuito aberto passa a ser 586,3V, o que é inferior aos 1.000V suportados pelo inversor. Em relação ao ponto de máxima potência, obtem-se uma tensão de 475,8V, o que está dentro da faixa de operação do inversor (320V a 800V). Como será ligado apenas um string a cada buscador de máxima potência, cada buscador receberá no máximo 8,61A, valor inferior ao suportado em cada entrada do inversor.

O diagrama unifilar do SFVCR pode ser observado na Figura 31.

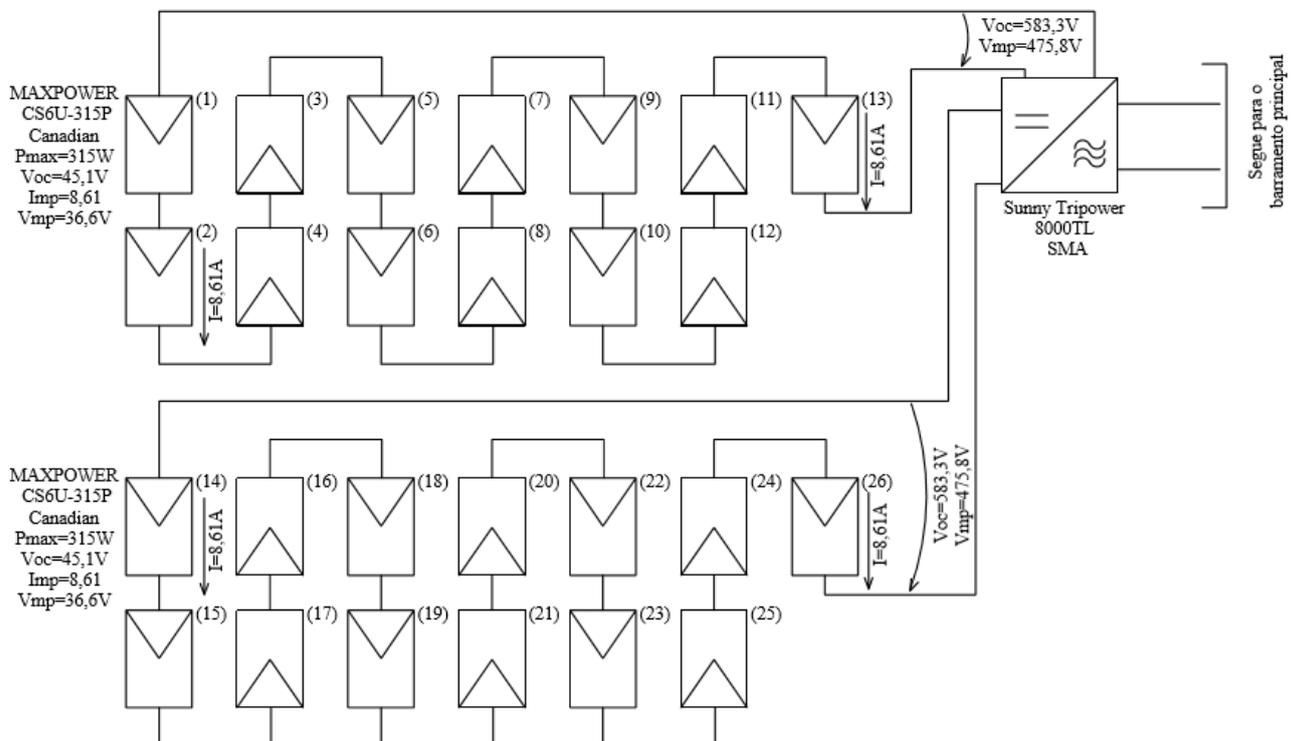


Figura 31 – Diagrama do sistema conectado à rede.
Fonte: Autoria própria

3.4.2 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DO SISTEMA

Para o levantamento de custos dos sistema foram utilizados os valores encontrados em meio digital. Os valores podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos equipamentos SFVCR

EQUIPAMENTO	VALOR POR UNIDADE (REAIS)	QUANTIDADE	VALOR (REAIS)
MÓDULO FOTOVOLTAICO	R\$749,00	26	R\$19.474,00
INVERSOR	R\$8.592,00	1	R\$8.592,00
TOTAL			R\$28.066,00

Fonte: Autoria própria

O valor mencionado para o inversor refere-se apenas ao preço do equipamento, devendo ainda ser incluído o valor de impostos incidentes sobre a importação e frete.

É possível observar que o elemento mais caro deste sistema é o painel fotovoltaico, seguido pelo inversor.

3.5 GERADOR DIESEL

Para evitar que a casa fique sem energia nos momentos de falha da concessionária, neste capítulo será dimensionado um grupo motor gerador, que poderá também, no caso da falta, alimentar as cargas junto com o sistema fotovoltaico.

O gerador ficará conectado diretamente no barramento do quadro geral de baixa tensão da casa. Para que o gerador receba o sinal de falta de energia da concessionária, este deverá ser adquirido com um quadro de transferência automática.

Este quadro de transferência automática, deve possuir um transformador de corrente que passará a informação a um relé, cuja função na tabela ANSI é a 27, este relé irá perceber a falta de energia naquele barramento e irá enviar o sinal de que o gerador deve ser acionado. Afim de garantir que a rede de energia da concessionária não entre em momento algum em paralelo com o gerador, o quadro de transferência possui dois disjuntores intertravados entre si, um conectado entre a rede e o barramento principal e outro entre o gerador e o barramento principal, desta forma se o disjuntor da rede estiver fechado o do gerador estará aberto, e o mesmo acontece ao contrário. Desta forma, assim que for percebido pelo sistema de automatismo do gerador, a falta

de energia, o gerador será acionado. Quando a energia da concessionária retornar, o quadro de automatismo desconectará o gerador diesel.

Este gerador, no caso da falta, poderá operar juntamente com o sistema fotovoltaico.

Em um sistema fotovoltaico conectado à rede, o inversor é o equipamento responsável por verificar se existe uma rede de energia sólida, com frequência e tensão dentro do recomendado, no barramento em que o sistema está conectado, evitando assim a transferência de energia do sistema fotovoltaico para a rede da concessionária. Caso este equipamento perceba que a rede que está chegando naquele ponto está fora dos parâmetros ou que ela tenha deixado de existir naquele ponto, o sistema fotovoltaico é automaticamente desconectado.

Desta forma, caso a energia proveniente do gerador, chegue até o barramento dentro dos parâmetros esperados, o inversor irá perceber que existe uma rede sólida e irá reconectar o sistema fotovoltaico neste barramento. Assim, com o auxílio da energia proveniente do painel fotovoltaico o gerador não precisará operar em plena carga, reduzindo assim o consumo de diesel.

Para o dimensionamento deste equipamento, tomou-se como base a demanda declarada na fatura de energia, que é de 32000W. Assim o gerador deve ter uma potência próxima de 32kW, como os geradores, no geral, possuem um fator de potência de 0,8, o gerador a ser adquirido deve ser de 40kVA, com frequência de 60Hz. Observando os catálogos, o grupo motor gerador que mais se aproximou é o 1103A-33G da Stemac.

Este equipamento possui potência de 38kVA, podendo ser usado ao admitir-se que todas as cargas da casa não estarão ligadas ao mesmo tempo e que haverá o auxílio do SFVRC, frequência de 60Hz e fator de potência de 0,8. O consumo de diesel quando o gerador estiver operando em plena carga é de 8,6 l/hora. Os demais parâmetros deste equipamento podem ser observados na Figura 32.

		60Hz						50Hz					
Modelo		404D-22G	1103A-33G	1103A-33TG1	1103A-33TG2	1104A-44TG2	1104A-44TAG2	404D-22G	1103A-33G	1103A-33TG1	1103A-33TG2	1104A-44TG2	1104A-44TAG2
Motor	Potência standby (kVA)	25	38	59	75	100	125	22	33	50	66	88	110
	Referência do motor	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1500	1500	1500	1500	1500	1500
	Dimensão da face da calmêia do radiador L x A	334 x 500	526 x 524	526 x 524	526 x 524	526 x 524	690 x 570	334 x 500	526 x 524	526 x 524	526 x 524	526 x 524	690 x 570
	Consumo de combustível standby (L/h)	6,7	9,5	14,3	18,2	24,4	29,7	6,0	7,9	12,0	15,4	-	24,9
	Consumo de combustível prime (L/h)	6,0	8,6	12,9	16,6	22,3	26,9	5,3	7,1	10,7	13,9	20,5	22,6
	Consumo de combustível base (L/h)	ND	6,0	9,0	11	15	13,8	ND	6,0	8,0	11	14	10,9
	Sistema de governo	Mecânico	Mecânico	Mecânico	Mecânico	Mecânico	Elétrônico	Mecânico	Mecânico	Mecânico	Mecânico	Mecânico	Elétrônico
	Vazão de ar para admissão (m³/s)	2589	4356	4434	6954	7050	14004	2589	4356	4434	6954	7050	14004
	Vazão de ar do ventilador do radiador (m³/s)	2484	4200	4200	6660	6660	13536	2484	4200	4200	6660	6660	13536
	Sistema elétrico do motor (Vcc)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Carcaça do volante (capa seca)	04	03	03	03	03	03	04	03	03	03	03	03
	Volante (flange de acoplamento)	7,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	7,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
	Temperatura máxima dos gases de descarga (°C)	ND	530	551	564	560	574	ND	520	537	571	580	543
	Diâmetro da conexão de descarga (pol)	ND	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	ND	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5
	Norma de emissões	Emissionado EU Stage IIIA, EPA Tier 4 interm.	Não Emissionado	Emissionado EU Stage IIIA, EPA Tier 4 interm.	Não Emissionado								
Peso do motor (Kg)	260	430	438	438	485	425	260	430	438	438	485	425	
Cilindrada(L)	2,2	3,3	3,3	3,3	4,4	4,4	2,2	3,3	3,3	3,3	4,4	4,4	
Gerador	Tipo do gerador	Síncrona, brushless, especial para cargas deformantes											
	Fator de potência	0,8											
	Classe de isolamento	180 °C (H)											
	Temperatura de sobrelevação	125 °C											
	Grau de proteção	Ip21											
	Distorção harmônica total	<5 %											
Operação e Manutenção	Corrente de curto-circuito	3In, durante 5 segundos											
	Período de troca de óleo lubrificante	A cada 250 horas ou a cada 6 meses ¹⁸											
	Período de troca do filtro de óleo lubrificante	A cada troca de óleo lubrificante											
	Tipo de óleo	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4	SAE 15W40 AP/CH4
	Capacidade máxima do cárter (L)	ND	7,8	7,8	7,8	7,0	7,0	ND	7,2	7,8	7,8	7,0	7,0
	Capacidade total do sistema lub. com filtros(L)	10,6	8,3	8,3	8,3	8,0	8,0	10,6	8,3	8,3	8,3	8,0	8,0
	Modelo e quantidade de elementos de filtros para a lubrificante	ND	PN2654403/01pc	PN2654403/01pc	PN2654403/01pc	PN2654407/01pc	PN2654407/01pc	ND	PN2654403/01pc	PN2654403/01pc	PN2654403/01pc	PN2654407/01pc	PN2654407/01pc
	Modelo e quantidade de elementos de filtros para a diesel	ND	PN26560163/01pc	PN26560163/01pc	PN26560163/01pc	PN265602/01pc	PN265602/01pc	ND	PN26560163/01pc	PN26560163/01pc	PN26560163/01pc	PN265602/01pc	PN265602/01pc
	Período de troca do filtro de óleo diesel	A cada 500 horas ou a cada 1 ano ¹¹											
	Tipo do elemento do filtro para admissão de ar	ND	PN26510362/01pc	PN26510337/01pc	PN26510337/01pc	PN26510342/01pc	PN26510342/01pc	ND	PN26510362/01pc	PN26510337/01pc	PN26510337/01pc	PN26510342/01pc	PN26510342/01pc
Período de troca do filtro para admissão de ar	A cada 500 horas ou a cada 1 ano ¹¹												
Tipo do aditivo para o sistema de arrefecimento	Utilize líquido arrefecedor/anticongelante que atenda a norma ASTM D4985 ou produto ELC da Perkins												
Período de troca da água do sis. de arrefecimento	A cada 3000 horas ou 2 anos, para produtos comerciais. A cada 12000 horas ou 6 anos, para ELC Perkins												
Capacidade de água do sis. de arrefecimento (L)	7,0	10,2	10,2	10,2	13,0	12,6	7,0	10,2	10,2	10,2	13,0	12,6	

Figura 32 – Folha de dados do gerador diesel.
Fonte: Stemac, 2017.

3.5.1 DIAGRAMA UNIFILAR COM GERADOR

O diagrama unifilar do sistema com o gerador segue na Figura 33. Observa-se que a alteração a ser realizada em relação ao SFVCR puro é apenas a inserção de um quadro de transferência automática entre a medição e o barramento principal.

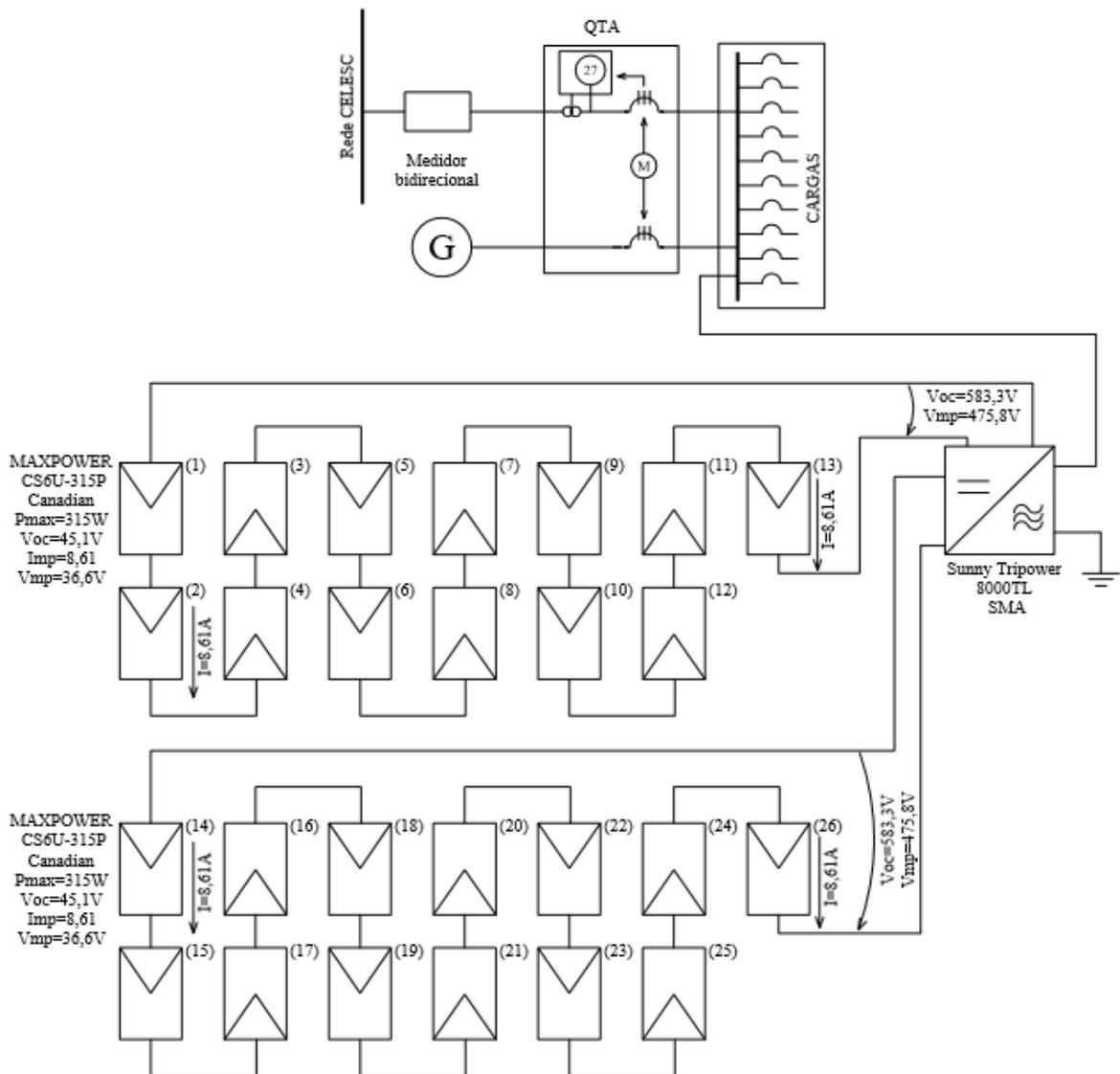


Figura 33 – Diagrama do SFVCR com gerador.
Fonte: Autoria própria.

Como o sistema fotovoltaico só irá trabalhar juntamente com o gerador se os parâmetros da rede estiverem satisfatório é importante observar a qualidade do produto a ser adquirido e o cumprimento dos parâmetros estipulados em projeto.

3.5.1 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DO SISTEMA

Após consultas a fornecedores, verificou-se que os preços médios para geradores com os parâmetros muito próximos, é de aproximadamente 40 mil reais.

Desta forma, os valores de equipamentos para o sistema com gerador, podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores dos equipamentos SFVCR com gerador.

EQUIPAMENTO	VALOR POR UNIDADE (REAIS)	QUANTIDADE	VALOR (REAIS)
MÓDULO FOTOVOLTAICO	R\$749,00	26	R\$19.474,00
INVERSOR	R\$8.592,00	1	R\$8.592,00
GERADOR	R\$40.000,00	1	R\$40.000,00
TOTAL	R\$68.066,00		

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que os valores adicionais referem-se apenas a aquisição do gerador, devendo ainda ser levado em consideração o cabeamento necessário para a conexão deste equipamento ao quadro geral e a infraestrutura para a alocação deste.

4. ANÁLISE DOS PROJETOS PROPOSTOS

A casa Boa Vida, possui dois grandes problemas em relação a energia elétrica, um deles é a conta de energia com valor elevado e o outro é a intermitência, ou seja, a falta de energia elétrica provinda da rede da concessionária. A fim de minimizar ou anular estes problemas, no decorrer deste trabalho foram propostas três soluções, as quais serão analisadas neste capítulo.

4.1 SISTEMA ISOLADO

A primeira proposta apresentada foi a implantação de um sistema de energia fotovoltaica de maneira isolada, com a utilização deste sistema, o consumidor seria desconectado da rede da concessionária e passaria a depender somente da energia que estaria sendo gerada pelos painéis fotovoltaicos. Para garantir que nos momentos em que não houver irradiação solar o consumidor ainda disponha de energia elétrica para alimentar as cargas da casa, foi previsto a instalação de um banco de baterias. Este banco foi projetado com autonomia de dois dias, ou seja, caso não exista nenhuma geração, as cargas da casa serão totalmente alimentadas pelo banco de baterias, pelo período de até dois dias.

Um dos limitantes encontrados já no início do dimensionamento deste sistema, foi a restrição de área de telhado. Como no sistema isolado, deve-se ter como premissa que a energia gerada, deve ser capaz de alimentar a casa por completo, sem nenhum auxílio da concessionária, foi preciso garantir que nos meses de maior consumo, a geração seria superior a demanda. Neste caso, apesar de, a maior demanda mensal de energia coincidir com o maior índice de irradiação, a potência de pico do painel fotovoltaico, resultou em 16kWp, o que demandaria uma área de telhado de 98 m², área muito superior as 55m² disponíveis para esta instalação, desta forma, seria necessário analisar se a proprietária do imóvel estaria disposta a realizar esta instalação em um local no solo. Outro inconveniente em relação a área, se observa na alocação das baterias, seria necessário a construção de uma sala, onde as baterias deverão ser armazenadas, protegidas das ações da natureza como a chuva e ventos fortes, isto desprenderia um investimento em construção civil e impossibilitaria a locação da casa para os turistas, durante o período de construção.

Em relação a custos, observou-se um valor elevado para a aquisição deste sistema. Observa-se que somente para o banco de baterias seria necessário um investimento de cerca de 34 mil reais por subsistema, ou seja, 136 mil reais para o sistema inteiro. Como a vida útil de um banco

de baterias, segundo os fabricantes, é estimada em 4 a 5 anos, após no máximo 5 anos, seria necessário reinvestir este valor para a aquisição de novas baterias.

Ou seja, no dimensionamento deste sistema, percebeu-se que ele é capaz de resolver o problema de intermitência e acabar com a fatura de energia, porém os custos associados a aquisição deste sistema são altos, e os reinvestimentos são periódicos. O que acaba por inviabilizar a implantação deste sistema, pois elimina-se a fatura de energia, mas em consequência, tem-se um gasto periódico em baterias, que acaba por não ser muito inferior ao somatório do valor das faturas de energia, neste mesmo período de 5 anos, de maneira que o valor inicial do investimento não seria recuperado.

4.2 SISTEMA CONECTADO À REDE

No dimensionamento do sistema conectado à rede, levou-se em consideração a média de consumo anual e a irradiação média no local, com isso, a área de telhado necessária, foi de pouco menos de 52m², desta forma, a área disponível consegue abrigar todos os módulos.

Como este sistema é conectado à rede, não existe a necessidade de implantação de um sistema de armazenamento de energia, pois caso o sistema fotovoltaico não esteja gerando, será utilizada a energia provinda da rede de distribuição da concessionária.

Três situações podem ocorrer com a implantação deste sistema e a utilização da compensação de energia prevista pela ANEEL:

- 1) Quando houver demanda de energia elétrica por parte da casa e existir geração suficiente de energia fotovoltaica, será utilizada apenas a energia provinda do SFVCR. Por esta energia o consumidor não pagará nenhum tributo a concessionária, já que ele está gerando a própria energia que irá consumir.
- 2) Se houver excesso de geração fotovoltaica, esta energia excedente será injetada na rede da concessionária e resultará em créditos que poderão ser acumulados e utilizados em momentos em que a geração for inferior a demanda.
- 3) Quando a demanda for superior a geração fotovoltaica, será utilizada a energia da rede de distribuição da concessionária. Por esta energia o consumidor pagará o valor referente a tarifa de energia e demais tributos referentes a impostos municipais, estaduais e nacionais, como o ICMS. Caso existam créditos acumulados, estes poderão ser utilizados para a redução da tarifa de energia, porém, não poderá ser abatido o ICMS e o adicional de bandeira tarifária incidentes sobre a energia consumida, e o valor referente a iluminação pública.

Assim, após a instalação do SFVCR, será possível reduzir a conta de energia de maneira significativa.

Porém, como o inversor de energia, é um equipamento projetado para permitir o fornecimento de energia provinda da geração fotovoltaica ao barramento do quadro geral, somente se ele perceber que existir uma energia dentro dos padrões estabelecidos chegando neste mesmo barramento, quando for percebida a falta por parte da concessionária, ele irá desconectar o sistema fotovoltaico, deixando assim, a casa sem energia elétrica.

Em relação a custos, este sistema se apresentou como um investimento viável, já que o elemento mais caro desta instalação é o painel fotovoltaico que tem um prazo de vida de aproximadamente 25 anos, segundo fabricantes. Estudos mostram que o prazo para retorno do investimento para sistemas fotovoltaicos residências, em Santa Catarina, está avaliado em cerca de 10 anos, ou seja, haveriam pelo menos mais 15 anos, em que o consumidor somente usufruiria da sua instalação.

Desta forma, esse sistema se mostra como uma alternativa eficaz para o problema de valores elevados de fatura de energia, mas não soluciona a intermitência da rede.

Assim, deve ser avaliado pela proprietária, se as faltas de energia são realmente quesitos problemáticos para a sua instalação.

4.3 GERADOR A DIESEL

Buscando alternativas para eliminar de maneira simultânea os dois problemas relatados pela proprietária do imóvel, fatura elevada e falta de energia, foi dimensionado um sistema com a geração fotovoltaica conectada à rede e com a utilização de um gerador a diesel, sendo que este gerador atuará automaticamente apenas nos momentos em que for percebida a falta de energia provinda da concessionária.

No dimensionamento deste gerador, foi levado em consideração que ele poderá atuar juntamente com o sistema fotovoltaico.

Como existirá um quadro de transferência automática com um relé capaz de perceber a falta de energia, depois de um determinado tempo para o acionamento do motor do gerador, a casa passará a ser alimentada pela energia provinda deste equipamento. Quando a energia provinda do gerador chegar ao barramento dentro de parâmetros pré-estabelecidos, o inversor permitirá a passagem de energia provinda dos painéis fotovoltaicos.

Desta forma, a casa não ficará sem energia elétrica, exceto por este curto período de tempo em que acontecerá o acionamento do gerador.

Como já mencionado no dimensionamento, o gerador especificado possui um consumo de diesel de aproximadamente 9 l/h, operando em plena carga, como existirá o sistema fotovoltaico conectado no mesmo barramento que o gerador, sempre que houver irradiação solar suficiente e conseqüentemente geração, esta energia será dissipada para este barramento, fazendo com que o gerador não precise operar em plena carga e que o consumo de diesel seja reduzido.

Como o gerador só será acionado no momento da falta, o consumo de diesel se restringirá a este período.

Comparando a utilização do sistema isolado e do sistema conectado à rede com o gerador, dois sistemas capazes de solucionar o problema de intermitência e de valores elevados da fatura de energia, observa-se primeiramente uma grande diferença no valor de aquisição do sistema. O que pode ser observado no preço dos painéis, que no sistema conectado à rede se apresenta 50% inferior.

No sistema isolado não existe a presença de rede da concessionária, a bateria é a responsável pelo fornecimento de energia no caso da ausência de energia fotovoltaica, operação semelhante acontece com o gerador, que cobrirá a falta de energia da concessionária. Ao comparar o preço de aquisição destes equipamentos, percebe-se que o valor do gerador se mostra muito inferior ao valor das baterias, sendo que para as baterias ainda é necessária a construção de um local para alojamento, enquanto o gerador já pode ser comprado com a opção de ser instalado ao tempo. Em questão de manutenção destes dois equipamentos, percebe-se que para o caso das baterias é necessário um reinvestimento periódico, já para o gerador é necessário apenas o agendamento de manutenção preventivas e o reabastecimento de diesel.

Desta forma, percebe-se que para solucionar os dois problemas de forma simultânea e com o menor valor de aquisição, o sistema fotovoltaico conectado à rede com a utilização de um gerador, se mostra como uma alternativa eficaz, pois além de garantir uma grande redução na fatura de energia e garantir que a casa não deixe de ser abastecida com energia elétrica, apresenta um baixo valor para aquisição e manutenibilidade.

Na Tabela 6 apresenta-se o comparativo entre os sistemas dimensionados.

Tabela 6 – Comparativo dos sistemas dimensionados

SISTEMA	ELEMENTO	VALOR	PRÓS	CONTRAS	CAPACIDADE DE SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS APRESENTADOS	
					REDUÇÃO DA FATURA DE ENERGIA	SOLUÇÃO PARA AS FALTAS DE ENERGIA DA CONCESSIONÁRIA
ISOLADO	SFV	R\$63.892,48	1) Geração de toda a energia necessária para a residência; 2) Desconexão da rede da concessionária deixando de ser vulnerável as tarifas de energia e a indisponibilidade da rede;	1) Área de telhado insuficiente; 2) Reinvestimento periódico em baterias; 3) Necessidade de área em solo para instalação dos módulos fotovoltaicos 4) Alto custo para aquisição.	Sim, a fatura de energia é eliminada.	Sim, pois a residência seria desconectada da rede de distribuição da concessionária.
	BATERIAS	R\$135.424,00				
CONECTADO À REDE	SFV	R\$28.066,00	1) Redução da fatura de energia; 2) Área de telhado suficiente ; 3) Geração de energia limpa, sem agressões ao meio ambiente;	1) Não soluciona o problema de falta de energia;	Sim, redução significativa na fatura de energia com a utilização da geração fotovoltaica e sistema de compensação.	Não, pois quando houver a falta de energia da concessionária, o sistema fotovoltaico conectado à rede também será desconectado.
CONECTADO À REDE COM GERADOR A DIESEL	SFV	R\$28.066,00	1) Redução da fatura de energia; 2) Área de telhado suficiente; 3) Eliminação das faltas de energia;	1) Emissão de gases poluentes com a utilização do gerador; 2) Nível de ruído alto, quando o gerador estiver em funcionamento.	Sim, redução significativa na fatura de energia com a utilização da geração fotovoltaica e sistema de compensação.	Sim, sempre que a rede da concessionária faltar o gerador a diesel será acionado e possibilitará o funcionamento do sistema fotovoltaico em paralelo com o gerador.
	GERADOR A DIESEL	R\$40.000,00				

Fonte: Autoria própria.

Nesta tabela é possível verificar um resumo do comparativo descrito no decorrer do capítulo

4.

5. CONCLUSÃO

O crescente aumento no consumo de energia elétrica tem demonstrando a fragilidade do sistema interligado nacional, concatenado a isto estão as crescentes tarifas de energia elétrica, que vem fazendo com que os consumidores procurem maneiras de não depender totalmente das concessionárias de energia. Assim, a energia fotovoltaica se mostra como uma alternativa eficiente, possibilitando a utilização de uma energia alternativa ao sistema interligado, gerada no próprio local de consumo e dependente apenas da irradiação incidente no local, fazendo com que o consumidor deixa de ser totalmente vulnerável as tarifas de energia.

Buscando maneiras de minimizar os crescentes gastos com energia elétrica na Casa Boa Vida e eliminar os constantes cortes de energia incidentes sobre a residência provenientes de uma rede pouco confiável, neste trabalho foram estudados três sistemas fotovoltaicos em geração distribuída.

Observou-se que em todos os dimensionamentos, o proprietário alcançaria benefícios, sendo o principal deles a redução ou eliminação da fatura de energia, porém, com valores de implantação bem distintos.

Ao avaliar a possibilidade de desconexão da casa do sistema de distribuição da concessionária, foi dimensionado um sistema isolado. Neste sistema a casa passaria a utilizar a energia gerada através dos painéis fotovoltaicos e a armazená-la em baterias para utilizá-la em momentos em que a geração não existisse. Percebeu-se que este sistema é capaz de solucionar os problemas apresentados, pois a casa passaria a ser dependente apenas da sua geração, mas o valor de implantação apresentou-se muito elevado, além dos constantes gastos com trocas de baterias.

Em um segundo momento dimensionou-se um sistema conectado à rede. Notou-se que a instalação deste modelo só traz benefícios aos moradores, pois a energia que está sendo gerada é totalmente limpa, sem danos a natureza e proporciona uma economia real na tarifa de energia além de um baixo custo para implantação. Ao instalar este sistema o proprietário deixaria de depender exclusivamente da rede da concessionária, passando a pagar a esta apenas o valor de disponibilidade, taxas e impostos incidentes. Porém, como no sistema conectado à rede, em caso de falta de energia no barramento principal, o sistema fotovoltaico é automaticamente desconectado, o morador ainda sentiria a falta de energia. Ou seja, percebeu-se que este é um ótimo modelo a ser utilizado, mas que não soluciona os dois problemas encontrados no local, desta forma, percebe-se a real viabilidade deste, no caso das faltas de energia não serem fatores realmente relevantes para os proprietários do imóvel.

Para solucionar o problema da falta de energia e de gastos elevados com a energia elétrica foi dimensionado um sistema com a geração fotovoltaica conectada à rede e gerador a diesel. Verificou-se que este sistema apresenta valores atrativos de instalação e traz grandes benefícios aos moradores. Com o sistema conectado à rede é possível a redução da fatura de energia a valores muito baixos com a utilização da compensação de energia, e com a implantação de um gerador a diesel é possível manter a casa com energia elétrica sempre que a rede deixe de fazê-lo.

Desta forma, o sistema mais indicado e capaz de resolver os problemas expostos de forma simultânea é o sistema fotovoltaico conectado à rede com o gerador a diesel. Porém ressalta-se que deve ser avaliado pelo proprietário se a intermitência é um fator relevante em sua instalação.

REFERÊNCIAS

AES ELETROPAULO, 2017. **Crédito ICMS**. Disponível em: <https://www.aeseletropaulo.com.br/poder-publico/sobre-energia/conteudo/credito-de-icms>.

Acesso em junho de 2017.

ANEEL -Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas da Energia Elétrica do Brasil, 3ª ed. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>. Acesso em setembro de 2016

ABSOLAR, 2017. **Energia solar fotovoltaica: panorama, oportunidades e desafios**. Disponível em: <http://viex-americas.com/2016/wp-content/uploads/2017/02/RODRIGO-LOPES-2017.02.08-ABSOLAR-Energia-Solar-Fotovoltaica-Dr.-Rodrigo-Lopes-Sauaia.pdf>.

Acesso em junho de 2017.

BENEDITO, Ricardo S. **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, No Brasil, Sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório**. São Paulo 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12082010-142848/ptbr.php>. Acesso em junho de 2017

BLEUSOL, 2017. **Energia Solar Fotovoltaica: 5 Informações de Como Funciona**. Disponível em: <http://blog.bluesol.com.br/energia-solar-5-informacoes-essenciais/>. Acesso em junho de 2017.

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. **Faculdade de ciências da Universidade de Lisboa**, 2006.

CÂMARA, CARLOS FERNANDO. Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica. **Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG**, 2011.

CASTRO, Rui MG. Introdução à energia fotovoltaica. **DEEC/Secção de Energia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa**, 2007.

CEEE – Companhia Nacional de Energia elétrica, 2017. **Geradores de energia elétrica.** Disponível em: www.ceeel.com.br/portal/ceeel/Component/Controller.aspx?CC=3332. Acesso novembro de 2017.

CONFEA - Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, 2016. **Matriz energética.** Disponível em: http://www.confed.org.br/media/preliminaraguas_augustowanderley.pdf. Acesso em junho de 2017.

DE OLIVEIRA GAMA, Jaqueline. **PAINEL FOTOVOLTAICO DE BAIXO CUSTO.** 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CELESC, 2017. **Tarifas.** Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>. Acesso em junho de 2017.

CELESC, 2016. **Celesc oferece bônus de 60% para mil painéis fotovoltaicos.** Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/index.php/noticias/1875-celesc-oferece-bonus-de-60-para-mil-paineis-fotovoltaicos>. Acesso em junho de 2017.

DIAS, Marcos Vinícius Xavier; BORTONI, Edson da Costa; HADDAD, Jamil. Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.** Brasília: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2006.

DE MARTINO JANNUZZI, Gilberto; VARELLA, Fabiana KOM; GOMES, Rodolfo Dourado Maia. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação. **International Energy Initiative para an América Latina (IEI-LA) e Universidade Estadual de Campinas (Unicamp),** 2009.

DO NASCIMENTO, Cássio Araújo. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** 2004. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras.

EDP, 2017. **ICMS.** Disponível em: <http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/comerciais/ICMS/Paginas/default.aspx>. Acesso em junho de 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário estatístico de energia elétrica 2015: ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf>. Acesso em setembro de 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2016: ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf. Acesso em junho de 2017.

FREITAS, Susana Sofia Alves. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão.

GALDINO, Jean Carlos da Silva. **Grupo Motor gerador – curso de eletrotécnica II – IFPR**, 2011.

GAZOLI, J. R.; VILLALVA, M. G.; GUERRA, J. Energia solar fotovoltaica - Introdução. **Revista O Setor Elétrico**, São Paulo, n. 81, p. 48-59, out. 2012.

GOOGLE MAPS, 2013. Disponível em: [https://www.google.com.br/maps/place/R.Amoreira-Canto Grande, Bombinhas – SC, 88215-000](https://www.google.com.br/maps/place/R.Amoreira-Canto+Grande,+Bombinhas+-SC,+88215-000). Acesso em junho de 2017.

IEA, “International Energy Agency”, 2017, Disponível em http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf. Acesso em junho de 2017.

LEMOS, Alexandre Correia. Estudo de carga tributária sobre o setor elétrico brasileiro: o caso CHESF. 2005.

LOPES, Juarez Castrillon. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA . “Energia solar no Brasil e no mundo: ano base 2015.” 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;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>. Acesso em junho 2017.

NT-Solar – PUCRS, 2017. **Energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.pucrs.br/cbsolar/>, acesso em junho de 2017.

PEREIRA, Osvaldo LS; GONÇALVES, Felipe F. Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica: Estudo de caso do Sistema de Tubarão-SC. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.

PEREIRA, Enicio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. INPE, 2017.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A.; Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPTEL - GTES. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.

REN21, “Renewable 2016 – Global Status Report”, 2016, Disponível em <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>, Acessado em Setembro 2016.

REN21, “Renewable 2017 – Global Status Report”, 2017, Disponível em <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>. Acessado em Junho 2017.

ROCHA, Davidson Andreoni; DE CARVALHO, Gilson Lemos. Estudo de Caso do Dimensionamento de um Sistema Solar Fotovoltaico no Campus João Pinheiro II do Centro Universitário UNA.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC, 2004.

RUTHER, R. et al. Programa de telhados solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública no Brasil. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 12, 2008.

SEGUEL, Julio Igor López. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais.

TIEPOLO, G. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. Tese de Doutorado. Tese (doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas-PPGEPS, Curitiba.

SOLARTERRA, 2017. **Energia Solar Fotovoltaica** – Guia Prático. Disponível em: <<https://permacoletivo.files.wordpress.com/2008/05/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf>> Acesso em junho de 2017

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.

UFRGS. Programa RADIASOL”, Laboratório de Energia Solar, 2012.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbana: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade**. 2010. 189 p. 2010. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)-Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos – Curso de especialização em energias renováveis**. UTFPR, 2017.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Método prático para dimensionamento de sistemas FV isolados – Curso de especialização em energias renováveis**. UTFPR, 2017.

VALADARES, Eduardo de Campos; ALVES, Esdras Garcia; CHAVES, Alaor. **Aplicações da Física Quântica do Trans. à Nano**. Editora Livraria da Física, 2005.

WEG, 2017. **Características e especificações de geradores**. Disponível em: <<https://cdn.hackaday.io/files/12202522050368/geradorweg.pdf>>, acesso em novembro de 2017.