



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA



Talisson Werner Verão

**Estudo de Caso de um Sistema Fotovoltaico para Consumidor
Doméstico conectado à Rede Pública na Cidade de Dourados - MS**

DOURADOS/MS

2017

Talisson Werner Verão

Estudo de Caso de um Sistema Fotovoltaico para Consumidor Doméstico conectado à Rede Pública na Cidade de Dourados - MS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Bessa Gibelli

DOURADOS/MS

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

V475e Verao, Talisson Werner

Estudo de Caso de um Sistema Fotovoltaico para Consumidor doméstico conectado à rede pública na cidade de Dourados - MS / Talisson Werner Verao -- Dourados: UFGD, 2017.

69f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Gerson Bessa Gibelli

TCC (Graduação em Engenharia de Energia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Microgeração. 3. Energia Elétrica. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

TALISSON WERNER VERÃO

ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
CONSUMIDOR DOMÉSTICO CONECTADO À REDE PÚBLICA NA
CIDADE DE DOURADOS - MS

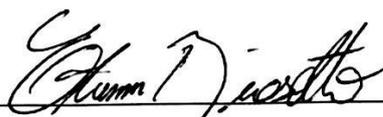
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora
da Faculdade de Engenharia da
Universidade Federal da Grande
Dourados para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de
Energia.

Aprovado em 24 de Agosto de 2017.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Gerson Bessa Gibelli – UFGD – Orientador



Prof. Dr. Etienne Biazetto – UFGD – Avaliador



Prof. Dr. Rogério da Silva Santos – UFGD – Avaliador

A meus pais Raul e Veneide pelo apoio e amor dedicados durante o trabalho realizado.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar, a DEUS, por ter dado saúde e uma família maravilhosa.

Meus pais, Raul e Veneide, e minhas irmãs, Tuana e Luana por sempre acreditarem em mim incentivando e apoiando nos meus estudos com muito amor e carinho.

Ao professor orientador Dr. Gerson Bessa Gibelli, que me deu o suporte necessário para a realização do trabalho, com paciência e amizade nos momentos que precisei.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo e me apoiaram em todos os momentos.

“Ninguém tem maior amor do que aquele que dá sua vida pelos que ama.”

(Jô, 22:28)

RESUMO

A busca de fontes alternativas para a geração de energia elétrica está em alta no Brasil e no mundo. A energia solar fotovoltaica é uma das principais tecnologias para a redução no uso de fontes de energia não renováveis. Desta forma, é apresentado neste trabalho o dimensionamento, a viabilidade econômica e a instalação de um Sistema Solar Fotovoltaica conectada à Rede Elétrica de uma residência na cidade de Dourados – MS. Esta aplicação é possível, devido ao Brasil ter um alto potencial energético solar, e a homologação das resoluções normativas nº 482/2014 e nº 687/2016 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), na qual inclui o sistema de compensação de crédito de energia elétrica para minigeração e microgeração de energia solar, tornando-se possível à instalação de sistemas geradores de energia fotovoltaica conectada à rede elétrica. O estudo de caso permitiu mostrar, que o projeto instalado é viável economicamente, por mais que seja uma tecnologia de alto custo, um alto investimento, o projeto tem como vantagem um retorno rápido, que no estudo de caso paga-se entre o quarto e quinto ano.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Microgeração, Energia Elétrica.

ABSTRACT

The search of alternative sources for energy generation is increasing in Brazil and in the world. Photovoltaic solar energy is one of the main technologies for reducing the use of non-renewable energy sources. Then, in this paper is presenting the measurements, economic viability and installation of a Photovoltaic Solar System connected to a residence grid, in Dourados – MS. This application is possible in Brazil because its high solar energy potential, and approval of normative resolutions such as nº 482/2014 and nº 687/2016 of ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), which includes the system of compensation of electric energy credit for solar energy minigeration and microgeneration, make it possible to install photovoltaic energy connected to the grid. The case showed that the Project is economically viable, although is an expensive technology, the Project has a quick payback, in this case between the fourth and fifth year.

Key-words: Photovoltaic Solar Energy, Microgeneration, Electrical Energy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	2
1.2. OBJETIVO	3
1.2.1. Objetivo geral.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. FUNDAMENTOS DA ENERGIA SOLAR	5
2.2. POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR BRASILEIRO.....	6
2.3. COMPONENTES BÁSICOS DE SFCR.....	7
2.3.1. Módulos fotovoltaicos	7
2.3.2. Inversor.....	11
2.3.3. Cabeamento Elétrico	11
2.3.4. Suporte para apoio dos módulos fotovoltaicos	12
2.3.5. Sistema de Proteção	13
2.4. MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	14
2.5. DIMENSIONAMENTO DE SFCR.....	15
2.6. MÉTODO DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL).....	17
3. METODOLOGIA	19
3.1. ESTUDO DE CASO	19
3.2. IRRADIAÇÃO LOCAL	19
3.3. ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS.....	20
3.4. DIMENSIONAMENTO DO PROJETO	20
3.5. ARRANJO ELÉTRICO DO SISTEMA	23
3.5.1. Aterramento do Sistema	25
3.6. ORÇAMENTO.....	26

3.6.1. Orçamento dos equipamentos	26
3.6.2. Frete.....	27
3.6.3. Mão de Obra	27
3.6.4. Orçamento Final.....	27
3.7. AVALIAÇÃO ECONÔMICA	27
3.7.1. Cálculo do consumo de energia.....	27
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	31
4.1. INSTALAÇÃO	31
5. CONCLUSÃO	37
5.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	38
REFERÊNCIAS	39
ANEXOS.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Radiação Solar.....	5
Figura 2: Radiação Solar no Plano Inclinado Média Anual.	6
Figura 3: Módulo fotovoltaico de silício monocristalino (mono-Si).....	8
Figura 4: Módulo fotovoltaico de silício policristalino (poli-Si).....	8
Figura 5: Módulo fotovoltaico de Silício amorfo.	9
Figura 6: Composição de um módulo fotovoltaico.....	9
Figura 7: Modelo da ENCE para módulo.....	10
Figura 8: Conector MC4 (Macho/Fêmea).....	12
Figura 9: Estrutura de sustentação K2 systems.	13
Figura 10: <i>String Box</i>	13
Figura 11: Procedimentos e etapas de acesso.	15
Figura 12: Fatura de energia elétrica.	19
Figura 13: Irradiação local na cidade de Dourados – MS.....	20
Figura 14: Histórico de consumo de Energia Elétrica.....	21
Figura 15: Diagrama Unifilar lado CC.....	25
Figura 16: Histórico de Metas para a Inflação do Brasil.	29
Figura 17: Quadro de distribuição.	31
Figura 18: Inversor e <i>String Box</i>	32
Figura 19: Estrutura metálica dos módulos.	33
Figura 20: Módulos fotovoltaicos instalados.....	33
Figura 21: Visão aérea da residência com o sistema instalado.....	34
Figura 22: Fatura com o sistema fotovoltaico instalado.	35
Figura 23: Geração de energia da planta fotovoltaica do mês de junho de 2017.....	36
Figura 24: Informações técnicas do módulo fotovoltaico.....	43
Figura 25: Curvas e dados elétricos do módulo fotovoltaico.	44
Figura 26: Informações técnicas do inversor.....	45
Figura 27: Dados elétricos do inversor.....	46
Figura 28: Diagrama de blocos do inversor.....	47
Figura 29: Diagrama Unifilar do Sistema Fotovoltaico.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de energia elétrica.	1
Tabela 2: Taxa de disponibilidade do Sistema Elétrico.	16
Tabela 3: Equipamentos conforme discriminado.	26
Tabela 4: Cálculo do consumo de energia mensal.....	28
Tabela 5: VPL do investimento por 25 anos.....	30
Tabela 6: Comparativo entre os valores de geração teórico e real do sistema.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIG	Banco de Informações de Geração
Coelce	Companhia Energética do Ceará
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
Fies	Fundo de Investimento de Energia Solar
GEDAE	Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
PDE	Plano Nacional de Energia Elétrica
PRODIST	Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
STC	<i>Standard Test conditions</i>
VPL	Valor Presente Líquido

1. INTRODUÇÃO

A matriz de energia elétrica no Brasil é formada por uma grande parcela de potência vinda dos recursos hídricos, em seguida dos fósseis e o restante em outras fontes de energia, sendo que a energia solar possui a menor capacidade instalada conforme observado na Tabela 1 (ANEEL, 2017). Estudos apontam que a geração de energia elétrica fotovoltaica poderá alcançar 7 mil megawatts (MW) no Brasil até 2024, mas atualmente é responsável apenas por 0,02% da potência elétrica gerada no País. Segundo o planejamento para a próxima década, a potência instalada de eletricidade a partir do sol representará quase 4% da potência total brasileira de 2024 (PORTAL BRASIL, 2016).

Tabela 1: Matriz de energia elétrica.

Fonte	Capacidade Instalada		
	Nº de usinas	(kW)	%
Biomassa	534	14.182.456	8,8804
Eólica	414	10.439.542	6,5369
Fóssil	2392	26.866.837	16,823
Hídrica	1245	98.028.979	61,382
Nuclear	2	1.990.000	1,246
Solar	42	23.008	0,0144
Importação		8.170.000	5,1158
Total	4629	159.700.722	100

Fonte: (ANEEL, 2017).

A energia solar no Brasil cresce constantemente devido aos seus benefícios econômicos e ambientais, onde o principal benefício econômico de uma instalação de sistema solar fotovoltaico é a geração da própria energia elétrica, livrando a conta de energia elétrica. Em geral, quanto maior a geração de energia solar no Brasil, menor será a necessidade da utilização das usinas termelétricas que é uma tecnologia cara, logo as condições serão melhores e a tarifação é cobrada em bandeira verde (ENERGISA, 2017).

Embora a energia solar seja uma das fontes de energia com mais benefícios, apresenta algumas desvantagens, como o alto custo na aquisição dos equipamentos

devido aos impostos e o simples fato de não poder gerar energia durante o período noturno.

A geração distribuída é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica. De forma geral, a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam menores perdas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética. Por outro lado, há algumas desvantagens associadas ao aumento da quantidade de pequenos geradores espalhados na rede de distribuição, tais como: o aumento da complexidade de operação da rede, a dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico, a eventual incidência de tributos e a necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes. A ANEEL promoveu a consulta pública as quais foram instauradas com o objetivo de debater os dispositivos legais que tratam da conexão de geração distribuída de pequeno porte na rede de distribuição (ANEEL, 2016).

Como resultado, foi criada a Resolução Normativa – REN nº 482, 17/04/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e a criação do sistema de compensação de energia elétrica, onde o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Mas no ano de 2016, a ANEEL altera alguns pontos da REN nº 482 e entra em vigor no dia 24/11/2016 a Resolução Normativa – REN nº 687, trazendo facilidades para a aquisição e melhores condições de instalação.

1.1. JUSTIFICATIVA

Este tema foi escolhido por se tratar de um assunto da atualidade e de grande importância para a educação ambiental da sociedade, empresas e governo quando da aplicação de fontes de energias alternativas e renováveis, sendo também imprescindível na profissão do Engenheiro de Energia.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. Objetivo geral

Realizar a instalação de um sistema gerador de energia fotovoltaico conectado à rede para atender a demanda de uma residência na cidade de Dourados – MS.

1.2.2. Objetivos específicos

Para a realização deste trabalho foi preciso analisar o potencial solar na região, dimensionar o sistema conforme o consumo anual de energia do consumidor, desenvolver o projeto elétrico, efetuar orçamentos dos materiais a serem instalados e a mão-de-obra a ser cobrado pelo serviço e comparar o desempenho real com os dados teórico da instalação.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: Este capítulo contém uma apresentação geral do segmento da tecnologia, com os fundamentos da energia solar, o potencial energético no Brasil, os componentes básicos do sistema, a legislação e normas técnicas que através delas foi possível à instalação de micro e minigeração distribuída e o estudo de caso.

Capítulo 3 – Metodologia: Este capítulo apresenta o dimensionamento do sistema na residência, os cálculos realizados para suprir o consumo de energia, a escolha dos equipamentos de acordo com o sistema e a avaliação econômica do projeto.

Capítulo 4 – Apresentação e Discussão dos Resultados: Este capítulo apresenta a instalação do sistema na residência e a comparação de desempenho teórico com o desempenho real.

Capítulo 5 – Conclusão: Este capítulo apresenta se o projeto instalado é viável economicamente e quão importante essa tecnologia de energia solar fotovoltaico é para a sociedade e para o futuro.

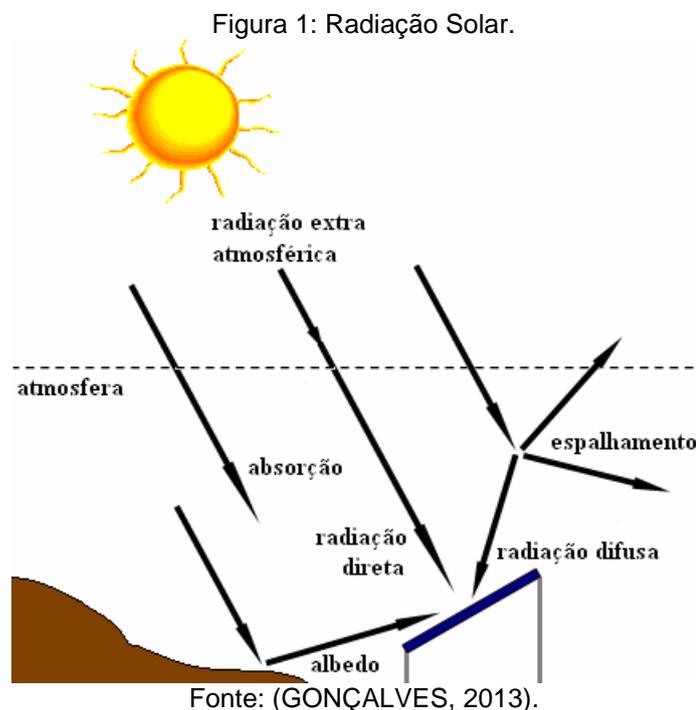
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta as informações dos sistemas geradores de energia solar fotovoltaica funcionando sob o conceito de geração distribuída, descreve cada equipamento que compõe o sistema, dimensionamento e o método utilizado para a viabilidade econômica do projeto.

2.1. FUNDAMENTOS DA ENERGIA SOLAR

O sol pode ser considerado como um perfeito emissor de radiação a uma temperatura aproximada de 5.800 K em sua superfície. Emite para a atmosfera terrestre uma potência média de $1,2 \times 10^{17} W$, potência esta que se pudesse ser completamente aproveitada ao longo de uma hora, seria capaz de satisfazer a demanda anual global do planeta (DIENSTMANN, 2009).

Existem três tipos de radiação solar: radiação direta, radiação difusa e a albedo, conforme apresentado na Figura 1.



Ao penetrar na atmosfera, uma parte da radiação solar atinge diretamente a superfície coletora, sem sofrer qualquer influência, sendo chamada de radiação direta. Outra parte é absorvida e/ou espalhada por partículas em suspensão, como moléculas de ar e gotículas de água. Da parcela espalhada, a que atinge a

superfície coletora é chamada de radiação difusa. Finalmente, a última parcela da radiação passível de aproveitamento é aquela que incide na superfície após ser refletida pelo solo, chamada de albedo (GONÇALVES, 2013).

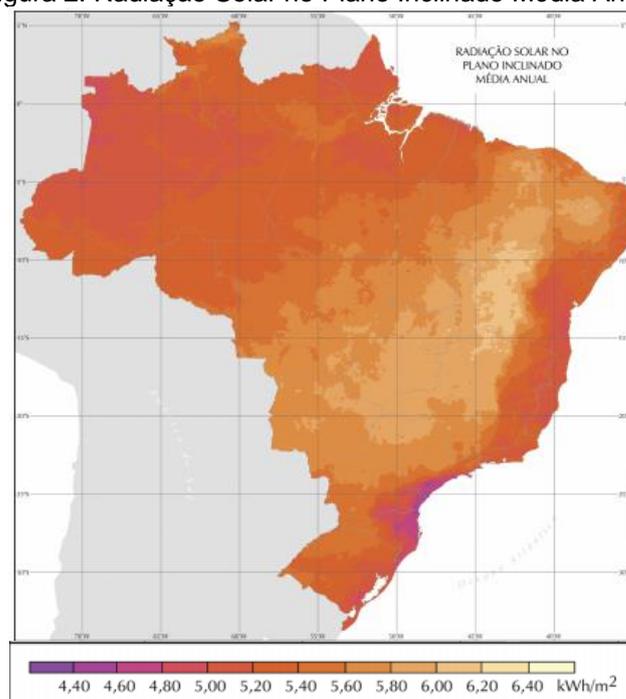
Geralmente, define-se potência por unidade de área pelo termo Irradiância (W/m^2) e energia por unidade de área pelo termo Irradiação (Wh/m^2).

2.2. POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR BRASILEIRO

O Brasil possui um grande potencial para gerar eletricidade a partir do sol e apesar das suas diferentes características climáticas possui uma média anual de irradiação global com boa uniformidade e médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação global é $6,5 kWh/m^2$, ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. A menor irradiação solar global é $4,25 kWh/m^2$, ocorre no litoral norte de Santa Catarina (ABREU, et. al., 2006).

A Figura 2 apresenta o mapa da média anual da irradiação solar diária incidente sobre um plano com inclinação igual à latitude. Essa configuração é a que possibilita a máxima captação da energia solar incidente. Os maiores níveis de irradiação no plano inclinado ocorrem na faixa que vai do Nordeste ao Sudeste (SCOLAR; MARTINS; ESCOBEDO, 2003).

Figura 2: Radiação Solar no Plano Inclinado Média Anual.



Fonte: (ABREU, et. al., 2006).

2.3. COMPONENTES BÁSICOS DE SFCR

Os componentes básicos de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) são:

- Módulos fotovoltaicos;
- Inversor CC/CA;
- Cabos de conexão;
- Suporte para apoio dos módulos fotovoltaicos;
- Dispositivos de conexão CC/CA.

2.3.1. Módulos fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é composta por varias células fotovoltaica, essas células são responsáveis pela conversão da luz incidente em eletricidade. Os materiais empregados na sua construção são elementos semicondutores, em escala comercial, a maioria fabricada de silício, devido a três fatores principais:

- O silício não é tóxico;
- É o segundo elemento mais abundante na natureza (sendo que o primeiro é o oxigênio);
- Possui uma tecnologia consolidada devido à sua utilização predominante no ramo da microeletrônica.

O silício é apresentado em três formas construtivas: monocristalino, policristalino ou multicristalino e amorfo.

A tecnologia monocristalina é a mais antiga e também a mais cara, por outro lado possui uma eficiência maior, em torno de 14 a 21 %. As células são facilmente reconhecidas, possuem uma cor uniforme indicando o silício puro como apresentado na Figura 3 (PORTAL SOLAR, 2016).

Figura 3: Módulo fotovoltaico de silício monocristalino (mono-Si).



Fonte: (PORTAL SOLAR, 2016).

O painel solar monocristalino apresenta a mais alta eficiência dentre as tecnologias do mercado, por ter uma maior eficiência, logo o módulo ocupa menos espaço para gerar a mesma quantidade de energia elétrica das demais, a vida útil é acima dos 30 anos e tem maior funcionalidade com pouca luz comparada com os policristalinos. A desvantagem do painel monocristalino é o alto custo.

Na tecnologia policristalino (Figura 4), os cristais de silício são fundidos em um bloco, preservando a formação de múltiplos cristais. A diferença entre policristalino e monocristalino é que o custo do policristalino é menor, porém sua eficiência também é menor, podendo variar a uma faixa de 13,9 a 15,8 % (NEOSOLAR, 2017).

Figura 4: Módulo fotovoltaico de silício policristalino (poli-Si).



Fonte: (NEOSOLAR, 2017).

A tecnologia silício amorfo (Figura 5), difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. Apresenta uma

absorção da radiação solar na faixa do visível e seu uso em sistemas fotovoltaicos tem vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de produção. O custo dessa tecnologia e o processo de fabricação são baixos (CRESESB, 2016).

Por ser uma tecnologia de baixo custo, o silício amorfo apresenta baixa eficiência de conversão (entre 5 % a 7 %) e há uma degradação nos primeiros meses de operação, afetando sua vida útil (NASCIMENTO, 2004).

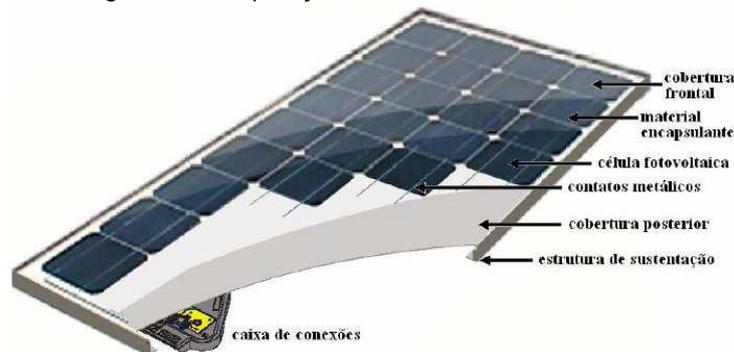
Figura 5: Módulo fotovoltaico de Silício amorfo.



Fonte: (CRESESB, 2016).

A Figura 6 apresenta a composição de um módulo fotovoltaico que possui uma cobertura frontal de vidro temperado que serve de proteção e mantém o desempenho da capacidade nominal do módulo durante sua vida útil. Os módulos estão sujeitos a suportarem mudanças cíclicas de temperatura, testes de impacto de granizo, exposição de raios ultravioleta, resistência contra ventos, calor úmido, resistência a sombras parciais, teste de isolamento elétrico, entre outros. O módulo é composto também por: célula fotovoltaica, cobertura posterior: que serve também como proteção, estrutura de sustentação e caixa de conexões.

Figura 6: Composição de um módulo fotovoltaico.



Fonte: (GEDAE, 2016).

As especificações técnicas disponibilizadas por um fabricante sobre um módulo fotovoltaico são:

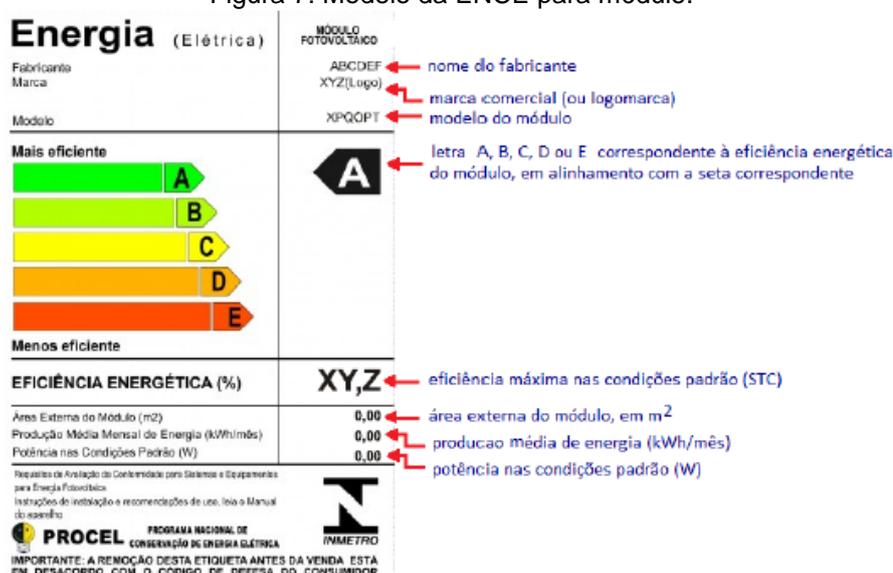
- Modelo do módulo;
- Potência máxima (P_{mp});
- Tensão no ponto de potência máxima (V_{mp});
- Intensidade no ponto de potência máxima (I_{mp});
- Corrente de curto-circuito (I_{sc});
- Tensão a circuito aberto (V_{oc}).

A orientação dos módulos deve estar sentido a linha do equador, isto é, no Brasil (hemisfério Sul), o módulo deve estar sentido hemisfério Norte. A inclinação vai de acordo com a latitude da região a ser instalada, porém, precisa ter um mínimo de inclinação de 15° , para autolimpeza. Na região de Dourados – MS, por exemplo, a sua latitude é de 23° , logo sua inclinação será de 23° para o Norte (PORTAL SOLAR, 2017).

2.3.1.1. Registro Inmetro

O modelo da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) para os módulos comercializados no Brasil devem ser ensaiados de acordo com o RAC (Requisitos de Avaliação da Conformidade) do Inmetro e apresentar o respectivo registro e a etiqueta conforme apresentado na Figura 7 (INMETRO, 2016).

Figura 7: Modelo da ENCE para módulo.



Fonte: (INMETRO, 2016).

2.3.2. Inversor

O inversor é um dispositivo eletrônico responsável pela conversão de tensão e corrente contínua para tensão e corrente alternada. A tensão e corrente contínua é proveniente dos módulos fotovoltaicos, e quando há a conversão para tensão e corrente alternada, passa a se configurar com a rede ao qual está conectada, geralmente 127/220 V_{CA} (dependendo da região) e 60 Hz.

Os inversores utilizados para SFCR possuem características específicas para atender as exigências das concessionárias de distribuição em termos de segurança e qualidade de energia injetada na rede. Sua principal característica é seu monitoramento para operar valores de frequência e tensão da rede e adequar o sistema conectado para esses valores regulando sua tensão através de um dispositivo chamado de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) que busca o melhor ponto de tensão e corrente para melhorar o máximo na geração de energia no sistema (PINHO; GAUDINO, 2014).

Outro ponto é em relação ao anti-ilhamento, pois há possibilidade de ocorrência de ilhamentos não intencionais. Esse fenômeno ocorre quando parte de um sistema elétrico de abastecimento de energia, que contém cargas e sistema de geração, é isolada do restante do sistema após detecção de um defeito na rede elétrica, e continua operando. Esta situação pode causar diversos problemas como: grandes excursões de tensão e frequência, problemas relacionados ao religamento e à segurança de trabalhadores do sistema elétrico. Logo, o anti-ilhamento tem esse papel de suma importância para a operação segura da planta solar fotovoltaica e deve ser incorporados ao sistema de controle do conversor CC-CA (ALMEIDA, 2011).

2.3.3. Cabeamento Elétrico

Nas instalações de sistemas fotovoltaicos a bitola do cabeamento está muitas vezes relacionada ao tipo de inversor utilizado, pois a tensão e a corrente variam de acordo com o comportamento dos módulos na parte da corrente contínua (parte exposta ao clima). É utilizado um cabo especial com isolamento dupla resistente à radiação Ultravioleta com recomendação de até 6 mm² de diâmetro, pois precisam estar preparados para suportar as mais diversas condições climáticas, intensa

radiação, calor, frio, chuva por um longo período de tempo, e o condutor mais utilizado é o de cobre, pois apresenta uma alta condutividade térmica e elétrica.

A conexão dos cabos para com os módulos fotovoltaicos e com o inversor utilizam conectores macho e fêmea, onde asseguram uma instalação mais segura e com longa vida útil. Como exemplo, a Figura 8 apresenta um par de conector macho/fêmea MC4 MC4X-B2.

Figura 8: Conector MC4 (Macho/Fêmea).



Fonte: Adaptado de (MULTI-CONTACT, 2016).

2.3.4. Suporte para apoio dos módulos fotovoltaicos

As estruturas metálicas são geralmente de alumínio para evitar a corrosão deste elemento por conta de intempéries. Essas estruturas apoiam os módulos fotovoltaicos e devem ser calculadas levando em consideração o peso da carga que irão suportar e também a carga de vento que devem suportar. Os pontos de fixação dos módulos são calculados para uma perfeita distribuição de peso na estrutura seguindo as recomendações do fabricante, onde podem ser instaladas nos mais diversos tipos de telhas e ainda em solo.

Os ganchos que fixarão os trilhos no telhado são especiais para cada tipo de telha. Essas estruturas possuem todo o sistema de aterramento da parte dos módulos, como cliques e malhas de aterramento para junções dos trilhos, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9: Estrutura de sustentação K2 systems.



Fonte: (K2 SYSTEMS, 2016).

2.3.5. Sistema de Proteção

A *String Box* é uma caixa de junção que reúne as proteções do sistema, onde protege os módulos fotovoltaicos e inversores contra risco de incêndio, conforme apresentado na Figura 10. No circuito de corrente contínua apresenta os elementos DPS (Dispositivos de Proteção Contra Surtos) e Chave seccionadora.

Figura 10: *String Box*.



Fonte: (SICES BRASIL, 2017).

O aterramento do sistema fotovoltaico é definido do lado CC dos condutores e interligado ao lado CA do sistema e conectado ao aterramento do quadro geral de distribuição, onde estará o SFCR (ASSAIFE, 2013).

2.4. MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Conforme a REN n° 482 – estabelece condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração ao sistema de distribuição de energia elétrica, com as seguintes definições.

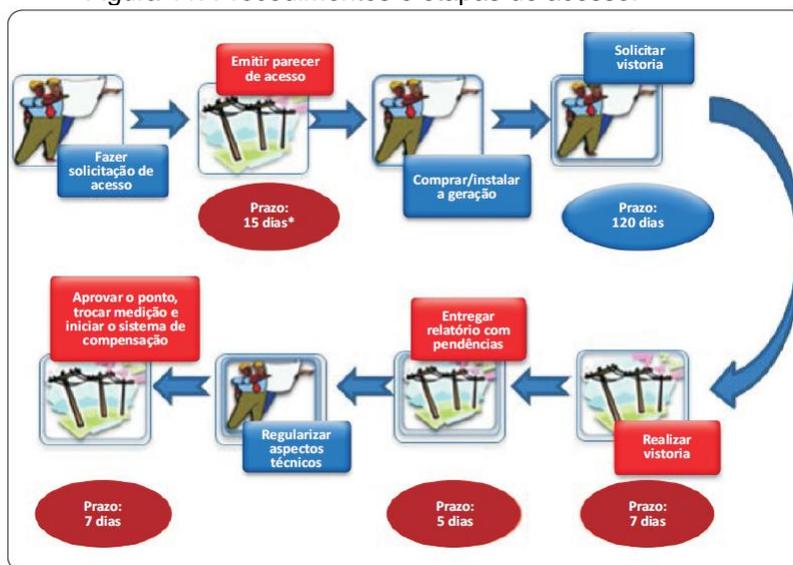
- Microgeração: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kWp.
- Minigeração: Potência instalada superior a 100 kWp e menor ou igual a 1 MWp.
- O sistema de compensação de energia elétrica: Sistema no qual a energia ativa injetada é cedida, por meio de um empréstimo gratuito à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa (Prazo de 36 meses).

Com a implantação da REN n° 482 e o acompanhamento realizado pela ANEEL nos últimos anos, foram possíveis identificar diversos pontos da regulamentação que necessitavam de melhorias, com o objetivo de reduzir custos e o tempo para a conexão da micro e minigeração. A ANEEL realizou a Audiência Pública que culminou com a publicação da Resolução Normativa – REN n° 687/2015, a qual revisou a REN n° 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (ANEEL, 2016).

Conforme a REN n° 687/2016 da ANEEL entrou em vigor em Março de 2016, as principais alterações previstas foram, Compensação de crédito entre matrizes e filiais, ampliação da potência máxima de 1 MWp para 5 MWp, redução dos prazos dos procedimentos para o acesso de micro e minigeração distribuída no sistema de distribuição, ampliação na duração dos créditos que passa de 36 meses para 60 meses, padronização dos formulários de pedido de acesso em todo o país (ANEEL, 2016).

A Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST, determina os procedimentos para o acesso de micro e minigeração distribuída no sistema de distribuição. É possível visualizar na Figura 11 as etapas do procedimento de acesso em conjunto com os prazos que devem ser seguidos, a parte em azul é o consumidor e a parte em vermelho é a distribuidora.

Figura 11: Procedimentos e etapas de acesso.



Fonte: (ANEEL, 2016).

Conforme apresentado na Figura 11, são listados os seguintes procedimentos:

- Solicitação de acesso, disponíveis nos anexos II, III e IV da seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST, em função da potência instalada da geração (CONSUMIDOR).
- Emitir parecer de acesso (DISTRIBUIDORA). (Prazo: 15 dias para microgeração e de 30 para minigeração).
- Comprar/Instalar a geração (CONSUMIDOR).
- Solicitar Vistoria (CONSUMIDOR). (Prazo: 120 dias).
- Realizar Vistoria (DISTRIBUIDORA). (Prazo: 7 dias).
- Entregar relatório com pendências (DISTRIBUIDORA). (Prazo: 5 dias).
- Regularizar aspectos técnicos (CONSUMIDOR).
- Aprovar o ponto, trocar medição e iniciar o sistema de compensação (DISTRIBUIDORA). (Prazo: 7 dias).

2.5. DIMENSIONAMENTO DE SFCR

Para determinar a quantidade de módulos a serem instalados, calcula-se a potência gerada através da diferença da energia suprida sobre a Irradiância anual do local a ser instalado, conforme a equação 1.

$$Potência\ gerada = \frac{Energia\ suprida}{Irradiância\ anual} \quad (1)$$

A equação 2 apresenta o consumo anual calculado por meio da média dos últimos 12 meses do consumo apresentado na fatura do consumidor.

$$Consumo\ Anual = consumo\ médio\ mensal \times 12\ meses \quad (2)$$

Com o consumo anual calculado, é subtraído esse valor pela taxa de disponibilidade mensal do consumo anual. Essa taxa é a antiga taxa mínima que é um valor imposto pela concessionária por disponibilizar a energia elétrica no ponto de consumo, pois a concessionária tem um custo em infraestrutura elétrica para o fornecimento energético para o consumidor. Segundo o site da Energisa, é disponibilizada a tabela de tarifas, com os seguintes dados apresentados na Tabela 2:

Tabela 2: Taxa de disponibilidade do Sistema Elétrico.

IMÓVEL	Taxa de disponibilidade (kWh)
Monofásico	30
Bifásico	50
Trifásico	100

Fonte: (ENERGISA, 2017).

Com a subtração da taxa de disponibilidade, obtém-se a equação 3, sendo a quantidade de energia proveniente da planta fotovoltaica para que o consumidor pague a taxa mínima de energia elétrica.

A energia suprida pela planta será:

$$Consumo\ Anual - [12 \times taxa\ de\ disponibilidade] \quad (3)$$

O cálculo da Irradiância média anual é dado pela equação 4:

$$I = \left(\frac{Ir \times A_{mód} \times \eta_{mód} \times FPG \times 365}{P_{max}} \right) \quad (4)$$

Onde:

- I : Irradiância média anual $\left[\frac{kWh}{kWp}/ano\right]$
- I_r : irradiação, obtida através do software SWERA $[kWh/m^2/dia]$;
- $A_{mód}$: área do módulo utilizado $[m^2]$;
- $\eta_{mód}$: eficiência do módulo utilizado $[\%]$;
- FPG : fator de perdas gerais do sistema;
- 365: constante, que corresponde à quantidade de dias no ano;
- P_{max} : Potência Nominal do módulo $[kWp]$.

Como o cálculo da diferença entre as equações 3 e 4 resulta na potência gerada, pode-se assim estimar a quantidade de módulos fotovoltaicos que é necessário para suprir a demanda. A partir da equação 5, calcula-se a quantidade exata de módulos fotovoltaicos.

$$Quantidade\ de\ módulos = \frac{Potência\ gerada}{Potência\ do\ módulo} \quad (5)$$

2.6. MÉTODO DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Para a avaliação econômica do projeto (*payback*) será utilizado o método VPL (Valor Presente Líquido) sendo a soma dos valores de cada fluxo de caixa presente. Se o VPL for positivo quer dizer que o investimento é viável, e se o VPL for negativo quer dizer que o investimento é inviável, conforme apresentada na equação 6.

$$VPL = - Investimento\ Inicial + \frac{FC_0}{(1+i)^0} + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (6)$$

Onde:

- FC = Fluxo de caixa esperado;
- i = Taxa de atratividade mínima;
- n = Número de anos investido.

3. METODOLOGIA

3.1. ESTUDO DE CASO

O Projeto estudado neste trabalho é uma residência localizada na cidade de Dourados - MS, onde o primeiro passo para efetuar o dimensionamento do sistema fotovoltaico é analisar o histórico dos últimos 12 meses da fatura de energia elétrica do consumidor residencial, conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12: Fatura de energia elétrica.

Mês	Vencimento	Consumo Faturado kWh	Valor (R\$)
03/2017	27/03/2017	1.662	1.250,18

Dados da U.C. Classe: RESIDENCIAL SubClasse: RESIDENCIAL Tipo de Tarifa: CONVENCIONAL Grupo de Tensão: B Fase: TRIFASICO Local: 8010 Etapa / Livro / Seq: 09 / I1010X / 213 Perdas do Ramal: Fator de Potência:	Dados do Fornecimento Tensão nominal ou contratada (V): 127 / 220 Limites adequados de tensão (V): 117 a 133 / 202 a 231 Equipamento: Z90440 Perdas de Transformações (%): 0	Dados da Leitura Leitura Atual: 15/03/2017 Leitura Anterior: 13/02/2017 Próxima Leitura: 13/04/2017 Número de Dias Faturados: 30 Origem da Leitura Atual: Lida Consumo médio diário: 55,40 Média dos 12 últimos meses: 1.136,83 Emissão: 15/03/2017 Apresentação: 20/03/2017
---	---	--

Dados da Medição	Unidade Medida	Leitura Atual	Leitura Anterior	Constante de Faturamento	Medido	Faturado	Dados do Faturamento	Faturado	Tarifa (R\$)	Total (R\$)
Consumo	kWh	8869	7207	1,0000	1662,00	1662,00	Consumo	1.662	0,499250	829,75
							Adic Band Amarela			15,78
							Icms			300,58
							Cofins			46,21
							Pis			10,04
Tributos		Base de Cálculo (R\$)		Aliquota (%)		Valor (R\$)	Subtotal (R\$)			1.202,36
ICMS		1.202,36		25,00000		300,58				
COFINS		1.202,36		3,84360		46,21				
PIS		1.202,36		0,83450		10,04				
Composição do Preço (Art. 31, Resolução 166/2005)							Laçamentos e Serviços			
Distribuição	Enc. Setorial	Energia	Transmissão	Tributos	Soma (R\$)		Contr Custeio Serv ILPublica			47,82
240,35	168,10	410,07	26,01	356,83	1.202,36		Subtotal (R\$)			47,82

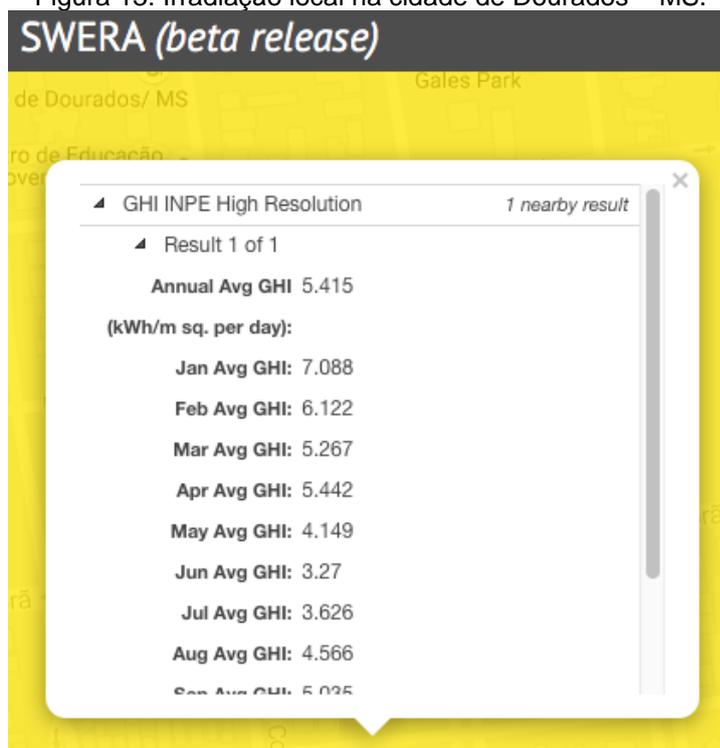
Fonte: (ENERGISA, 2016).

3.2. IRRADIAÇÃO LOCAL

Pelo software, SWERA (SWERA, 2017), a irradiação solar diária média mensal coletada na cidade de Dourados está de acordo com a Figura 13.

O software apresenta tanto a irradiação média anual, como a irradiação média mensal. A irradiação média utilizada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi à irradiação média anual 5,415 kWh/m²/dia, essa variação na irradiação será recompensada na época do inverno devido seu menor valor através do sistema de compensação de crédito visto nas REN n° 482 e REN n° 687 no item 2.5.

Figura 13: Irradiação local na cidade de Dourados – MS.



Fonte: (SWERA, 2017).

3.3. ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS

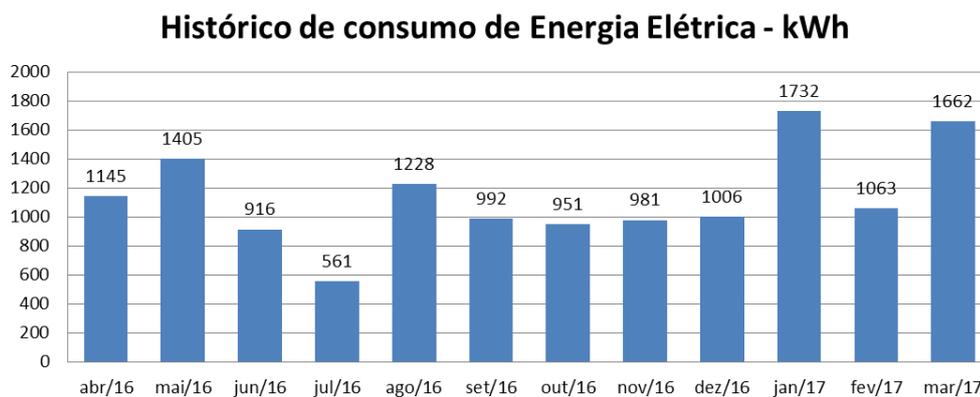
O kit foi adquirido pela SICES Brasil, com os seguintes equipamentos (SICES BRASIL, 2017):

- Módulo fotovoltaico Canadian Solar, modelo CS6X-315P (Anexo A);
- Inversor ABB, modelo PVI-6000-TL-OUTD-S (Anexo B);
- String Box ABB, duas entradas e uma saída.

3.4. DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

No estudo de caso como a residência é recém-construída, utilizou-se o consumo de energia real referente ao período de abril de 2016 até março de 2017, conforme apresentado na Figura 14. Deve-se levar em conta no histórico que no mês de fevereiro, o seu consumo é mais baixo devido à reforma na residência, o que afeta um pouco o cálculo do consumo médio. Logo, o cálculo do consumo médio anual de energia do consumidor foi de 1.136,83 kWh, onde se dimensionou uma planta geradora de energia fotovoltaica capaz de suprir esta demanda.

Figura 14: Histórico de consumo de Energia Elétrica.



Fonte: Adaptado de (ENERGISA, 2016).

Com a média entre os meses do histórico de consumo, calcula-se o consumo anual através da equação 2:

$$\text{Consumo anual} = 1.136,83 \left[\frac{kWh}{\text{mês}} \right] \times 12 \left[\frac{\text{mês}}{\text{ano}} \right]$$

$$\text{Consumo anual} = 13.641,96 \frac{kWh}{\text{ano}}$$

O consumidor é trifásico, logo possui uma taxa de disponibilidade de 100 kWh/mês, assim substituindo na equação 3, apresenta-se a energia a ser suprida pela planta:

$$\text{Energia suprida} = 13.641,96 \frac{kWh}{\text{ano}} - \left[12 \frac{\text{mês}}{\text{ano}} \times 100 \frac{kWh}{\text{mês}} \right]$$

$$\text{Energia suprida} = 12.441,96 \frac{kWh}{\text{ano}}$$

Para o cálculo da Irradiância média anual, é preciso das características mecânicas e elétricas do módulo escolhido, o Canadian Solar modelo CS6X-315P, encontrado no Anexo A.

Módulo fotovoltaico Canadian Solar, Modelo CS6X-315P:

- Dimensões: 1954 x 982 x 40 mm ($A_{mód} = 1954 \times 982 = 1,918828 \text{ m}^2$);
- Eficiência: 16,42%;
- Potência: 315 Wp, ou seja, $315 \times 10^{-3} \text{ kWp}$.

Para o fator de perdas gerais do sistema, como perdas no inversor, no cabeamento, entre outros, deve-se considerar essas perdas em 20 % (fator 0,8) (ARAÚJO, et. al. 2016). Substituindo esses valores na equação 4, tem-se:

$$I = \left(\frac{5,415 \times 1,918828 \times 0,1642 \times 0,8 \times 365}{315 \times 10^{-3}} \right)$$

$$I = 1.581,54 \frac{kWh}{kWp/ano}$$

Substituindo os valores da energia a ser suprida pela planta e a Irradiância anual na equação 1, chega-se a potência gerada necessária para esta instalação:

$$Potência\ gerada = \frac{12.441,96\ kWh/ano}{1.581,54\ kWh/kWp/ano} = 7,87\ kWp$$

Para dimensionar a quantidade de módulos a ser instalado, é calculada a diferença através da equação 5 substituindo os valores da potência gerada calculada na equação 1 e a potência do módulo (modelo CS6X-315P).

$$Quantidade\ de\ módulos = \frac{7,87\ kWp}{315 \times 10^{-3}\ kWp}$$

$$Quantidade\ de\ módulos = 24,98 \approx 25\ módulos$$

Para suprir 100% da demanda, é necessária uma instalação de 25 módulos no sistema. Porém, a metragem do telhado do consumidor impede de instalar essa quantidade de módulos. A alternativa foi reduzir pela capacidade máxima que o telhado suporta de módulos, e chegou a um total de 24 módulos. A demanda não vai ser suprida totalmente, com a ciência do consumidor.

Com a instalação de 24 módulos, sua nova potência fica:

$$Potência\ gerada = 24 \times 315\ Wp = 7,56\ kWp$$

Devido as circunstâncias da metragem do telhado, tem-se um novo projeto com potência instalada de 7,56 kWp, que gera em média de 1.096,56 kWh/mês,

sendo aproximadamente de 96 % da demanda do consumo médio de energia elétrica.

Com essas características de instalação, a SICES Brasil apresenta um kit com 24 módulos Canadian Solar CS6X-315P e inversor ABB modelo PVI-6000-TL-OUTD-S, com potência de 7,56 kWp e uma geração de energia de 11.956,44 kWh/ano.

3.5. ARRANJO ELÉTRICO DO SISTEMA

Os 24 módulos estão associados em série com duas *strings*, 12 módulos para cada *string*, dentro da *string* operam em paralelo. É recomendado que as *strings* tenha a mesma quantidade de módulos, para que a *string* com menos módulos (menor tensão) funcione como carga para a outra *string* com mais módulos. Logo, para cada entrada da *string* de 12 módulos em série, a tensão de cada módulo é somada e sua corrente é a mesma, isso para cada entrada. Já na saída quando estão em paralelo, a corrente de cada *string* é somada e a tensão é constante.

Deve ser verificado se as *strings* estão dentro dos valores de entrada do inversor.

Características do inversor ABB modelo PVI-6000-TL-OUTD-S:

- Tensão máxima de entrada ($V_{max,abs}$): 600 V;
- Tensão de operação (V_{dcmin} e V_{dcmax}): 140 até 580 V;
- Tensão de partida (V_{start}): 200 V.
- Corrente máxima de entrada (I_{dcmax}): 18 A.

Características do módulo Canadian Solar CS6X-315P:

- Tensão de circuito aberto (V_{oc}): 45,1 V;
- Tensão de operação (V_{mp}): 36,6 V;
- Corrente de operação (I_{mp}): 8,61 A.

A equação 7 apresenta a tensão da *string*:

$$V_{string} = N_{mód} \times V_{oc} \quad (7)$$

Substituindo os valores na equação 7, verifica-se o valor da tensão da *string* com o valor de entrada do inversor:

$$V_{string} = 12 \times 45,1$$

$$V_{string} = 541,2 \text{ V}$$

A equação 8 apresenta a tensão de operação da *string*:

$$V_{op} = N_{mód} \times V_{mp} \quad (8)$$

Substituindo os valores na equação 8, verifica-se o valor da tensão de operação da *string* com o valor de entrada do inversor:

$$V_{op} = 12 \times 36,6$$

$$V_{op} = 439,2 \text{ V}$$

Nota-se que a tensão da *string* é maior que a tensão de partida e abaixo da tensão máxima de entrada do inversor, e a tensão de operação da *string* está dentro da faixa da tensão de operação do inversor.

A equação 9 apresenta a corrente de operação da *string*:

$$I_{opstring} = N_{mód_{paral}} \times I_{mp} \quad (9)$$

Onde:

- $N_{mód_{paral}}$ = Número de paralelos dos módulos.

Substituindo os valores na equação 9, verifica-se a corrente de operação da *string*:

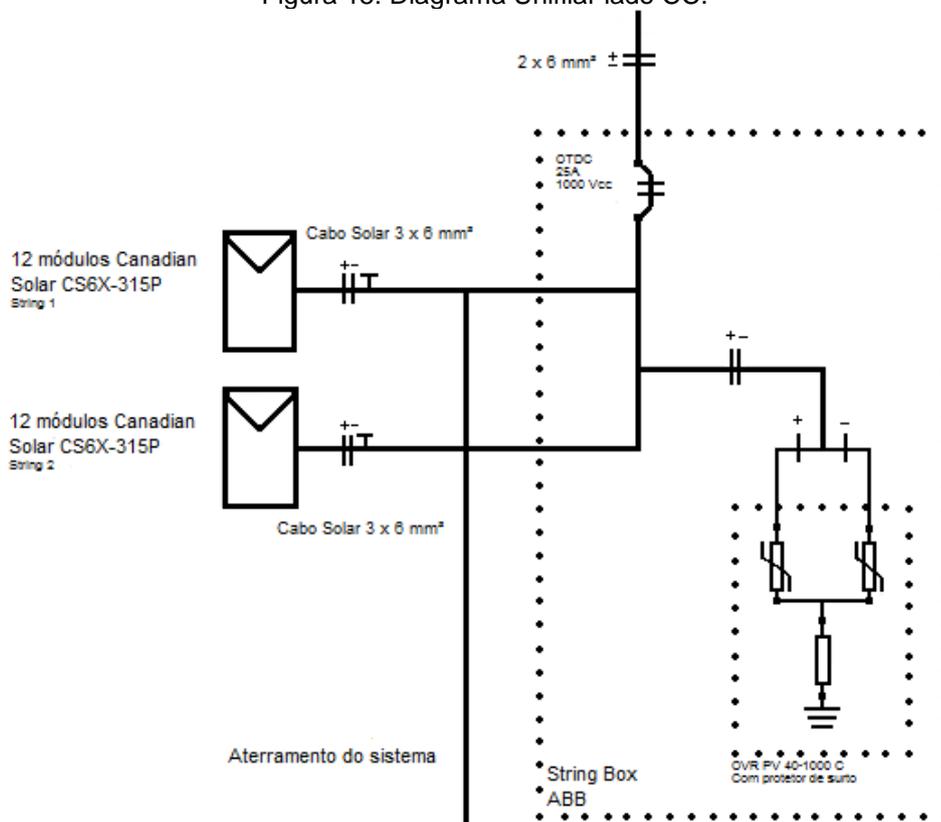
$$I_{opstring} = 2 \times 8,61$$

$$I_{opstring} = 17,22 \text{ A}$$

Nota-se que a corrente de operação da *string* na entrada do inversor é menor que a corrente de operação.

O diagrama Unifilar no lado CC apresentado na Figura 15, apresenta o sistema fotovoltaico com duas entradas da *string Box* recebendo cada uma 12 módulos fotovoltaicos em série e uma saída que vai para o inversor.

Figura 15: Diagrama Unifilar lado CC.



Fonte: Próprio autor.

3.5.1. Aterramento do Sistema

O sistema apresenta CC e CA que são divididas pelo o inversor. Os dois lados devem estar aterrados para que não ocorram riscos de choque elétrico para uma possível manutenção do eletricitista ou do consumidor.

Do lado CC, é importante o aterramento, pois o apoio para os módulos estão em contato direto com os mesmos, e por isso podem ficar energizados. No projeto foi utilizado cabos solares de 6 mm² para fazer o aterramento, sendo conectados em furos presentes na moldura dos painéis e interligados. O aterramento dos módulos é conectado ao barramento de terra do quadro de distribuição do prédio.

3.6. ORÇAMENTO

O orçamento final é a somatória dos itens: Orçamento dos equipamentos, Frete e Mão de obra.

3.6.1. Orçamento dos equipamentos

Os equipamentos foram adquiridos na SICES Brasil, o custo do sistema gerador fotovoltaico de 7,56 kWp foi de R\$ 27.895,44, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Equipamentos conforme discriminado.

Item	Código	Produto	Quantidade
1	CS6X315P	CANADIAN SOLAR 72CELLS 315W P-SI	24
2	ABB3G03990S000A	Inversor ABB PVI-6000-TL-OUTD-S	1
3	1SLM300101A0790	STRING BOX ABB 1 CORDA 1 SAIDA - no porta fusíveis e fusíveis	1
4	K2010019293MT	K2 System_PERFIL ALUMINIO ULTRALIGHT 3,05MT	12
5	K2010019292MT	K2 System_PERFIL ALUMINIO ULTRALIGHT 2,03MT	6
6	K201004107	K2 System_JUNÇÃO PARA PERFIL EM ALUMINIO K2	12
7	K21005170	K2 System_TERMINAL FINAL 39..41MM for CAN	12
8	K22001586	K2 System_TERMINAL INTERMEDIARIO 39..44MM for CAN/AVP	42
9	K2P1000041	K2 System_PARAFUSO CABEÇA MARTELO M10 28/15	30
10	K2P1000042	K2 System_PORCA M10 INOX A2	30
11	CABOGM26434	CABO SOLAR 6MM<1000V_PRETO_NXS_PRY_BAL	100
12	CABOGM54203	CABO SOLAR 6MM<1000V_VERMELHO_NXS_PRY_BAL	100
13	C1344960000	CONECTORES FEMEA/MACHO WEID_CABUR_MC4_ou compativel	22
14	SSS_2016_2017	SEGURO SOLAR RISCO ENGENHARIA, PROJETO E INSTALAÇÃO.	1
15	ABBN16001000A	Placa CI p/ Registro de Dados e monitoramento (VSN300 WiFi Logger Card)	1
		R\$ 27.895,44	394

Fonte: (SICES Brasil, 2017).

Os equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólico, conforme o convênio CONFAZ 101/97, concede a isenção de impostos ICMS e IPI, e PIS de 1,65 % e CONFINS 7,6 %.

Sobre as garantias do equipamento, o inversor ABB tem 5 anos, sendo que os primeiros 24 meses direto com a SICES Brasil e o restante com o fabricante; o módulo FV Canadian tem 10 anos, sendo que os primeiros 12 meses direto com a SICES Brasil e o restante com o fabricante (SICES Brasil, 2017).

3.6.2. Frete

O frete é calculado pelo seu volume e peso da carga e também a distância do fornecedor até o local da empresa. A empresa que efetuou o serviço foi a Brasil logística e custou R\$ 500,00.

3.6.3. Mão de Obra

A mão de obra é calculada através da capacidade de instalação. Em plantas de até 10 KWp, o valor da mão de obra no mercado fica em torno de R\$1,50 a 3,00/W instalado. Logo neste projeto foi cobrado o valor de R\$ 1,50/W instalado, totalizando assim um custo de R\$ 11.340,00.

3.6.4. Orçamento Final

O orçamento final é a soma dos três itens 3.6.1.à 3.6.3., o que resulta em um valor total de R\$ 39.735,44.

3.7. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para a avaliação econômica, segundo o item 2.6., será utilizado o método valor presente líquido para verificar se o investimento é viável ou não.

3.7.1. Cálculo do consumo de energia

O consumo médio do consumidor é de 1.096,56 kWh/mês. Com base na fatura do consumidor na Figura 12, o preço da tarifa do kWh é de R\$ 0,49925, e os

tributos cobrados são: ICMS (25 %), COFINS (3,8436 %) e PIS (0,8346 %). Na Tabela 4 é apresentado o cálculo do consumo de energia mensal do consumidor e a fórmula da alíquota é apresentada na equação 10 (CAVALCANTE; ZEPPELINI, 2017).

$$\text{Formula da Alíquota} = \left[\frac{1}{(1 - ICMS - PIS - COFINS)} \right] \quad (10)$$

Tabela 4: Cálculo do consumo de energia mensal.

	Faturado	Tarifa (\$)	Total (\$)	
Consumo	1.096,56	0,49925	547,4576	
	Alíquota (%)			Fórmula da Alíquota
PIS	25,00%			1,422032112
Cofins	3,84%			
ICMS	0,83%			
Total	R\$ 778,50			

Fonte: Próprio autor.

O valor total da Tabela 4 de R\$ 778,50 é o preço médio que o consumidor estava sujeito a pagar caso não houvesse um sistema fotovoltaico instalado. Com esse valor o consumidor economiza anualmente R\$ 9.342,00, sendo este o fluxo de caixa esperado no primeiro ano (FC_1).

A taxa de inflação posta para o custo de energia elétrica ao longo dos anos foi à média dos últimos 10 anos como apresentada na Figura 16.

Figura 16: Histórico de Metas para a Inflação do Brasil.

Histórico de Metas para a Inflação no Brasil

Ano	Norma	Data	Meta (%)	Banda (p.p.)	Limites Inferior e Superior (%)	Inflação Efetiva (IPCA % a.a.)
1999			8	2	6-10	8,94
2000	Resolução 2.615	30/6/1999	6	2	4-8	5,97
2001			4	2	2-6	7,67
2002	Resolução 2.744	28/6/2000	3,5	2	1,5-5,5	12,53
2003 ^{iv}	Resolução 2.842	28/6/2001	3,25	2	1,25-5,25	
	Resolução 2.972	27/6/2002	4	2,5	1,5-6,5	9,30
2004 ^{iv}	Resolução 2.972	27/6/2002	3,75	2,5	1,25-6,25	
	Resolução 3.108	25/6/2003	5,5	2,5	3-8	7,60
2005	Resolução 3.108	25/6/2003	4,5	2,5	2-7	5,69
2006	Resolução 3.210	30/6/2004	4,5	2	2,5-6,5	3,14
2007	Resolução 3.291	23/6/2005	4,5	2	2,5-6,5	4,46
2008	Resolução 3.378	29/6/2006	4,5	2	2,5-6,5	5,90
2009	Resolução 3.463	26/6/2007	4,5	2	2,5-6,5	4,31
2010	Resolução 3.584	1/7/2008	4,5	2	2,5-6,5	5,91
2011	Resolução 3.748	30/6/2009	4,5	2	2,5-6,5	6,50
2012	Resolução 3.880	22/6/2010	4,5	2	2,5-6,5	5,84
2013	Resolução 3.991	30/6/2011	4,5	2	2,5-6,5	5,91
2014	Resolução 4.095	28/6/2012	4,5	2	2,5-6,5	6,41
2015	Resolução 4.237	28/6/2013	4,5	2	2,5-6,5	10,67
2016	Resolução 4.345	25/6/2014	4,5	2	2,5-6,5	6,29
2017	Resolução 4.419	25/6/2015	4,5	1,5	3,0-6,0	
2018	Resolução 4.499	30/6/2016	4,5	1,5	3,0-6,0	

^{iv} A Carta Aberta, de 21/11/2003, estabeleceu metas ajustadas de 8,5% para 2003 e de 5,5% para 2004.

Fonte: (BANCO CENTRAL, 2017).

Na Figura 16 pode ser verificado o histórico de metas para a inflação junto com a inflação efetiva, onde foi utilizada a média dos últimos 10 anos de inflação efetiva, entre 2007 a 2017, obtendo uma taxa de inflação média de 6,22 %.

No primeiro ano de instalação o consumidor irá economizar R\$ 9.923,07 já com a taxa de inflação imposta nela, na equação 6 apresenta a equação geral da VPL com os valores e na Tabela 5 é apresentado o valor da VPL em torno dos 25 anos, que é a vida útil de um módulo fotovoltaico operando nos seus 80 % de rendimento.

$$VPL = - 39.735,44 + \frac{9.342,00}{(1 + 0,0622)^1} + \frac{9923,07}{(1 + 0,0622)^2} + \dots + \frac{42.227,69}{(1 + 0,0622)^{25}}$$

Tabela 5: VPL do investimento por 25 anos.

VPL	Fluxo de entrada	Ano	Taxa de Inflação
-R\$ 39.735,44	R\$ 9.342,00	0	-
-R\$ 30.393,44	R\$ 9.923,07	1	6,22%
-R\$ 21.051,44	R\$ 10.540,29	2	6,22%
-R\$ 11.709,44	R\$ 11.195,89	3	6,22%
-R\$ 2.367,44	R\$ 11.892,28	4	6,22%
R\$ 6.974,56	R\$ 12.631,98	5	6,22%
R\$ 16.316,56	R\$ 13.417,69	6	6,22%
R\$ 25.658,56	R\$ 14.252,27	7	6,22%
R\$ 35.000,56	R\$ 15.138,76	8	6,22%
R\$ 44.342,56	R\$ 16.080,39	9	6,22%
R\$ 53.684,56	R\$ 17.080,59	10	6,22%
R\$ 63.026,56	R\$ 18.143,00	11	6,22%
R\$ 72.368,56	R\$ 19.271,50	12	6,22%
R\$ 81.710,56	R\$ 20.470,18	13	6,22%
R\$ 91.052,56	R\$ 21.743,43	14	6,22%
R\$ 100.394,56	R\$ 23.095,87	15	6,22%
R\$ 109.736,56	R\$ 24.532,43	16	6,22%
R\$ 119.078,56	R\$ 26.058,35	17	6,22%
R\$ 128.420,56	R\$ 27.679,18	18	6,22%
R\$ 137.762,56	R\$ 29.400,82	19	6,22%
R\$ 147.104,56	R\$ 31.229,56	20	6,22%
R\$ 156.446,56	R\$ 33.172,03	21	6,22%
R\$ 165.788,56	R\$ 35.235,33	22	6,22%
R\$ 175.130,56	R\$ 37.426,97	23	6,22%
R\$ 184.472,56	R\$ 39.754,93	24	6,22%
R\$ 193.814,56	R\$ 42.227,69	25	6,22%

Fonte: Próprio autor.

Pode-se notar na Tabela 5, que no ano zero o valor da VPL é o valor do investimento do projeto e o fluxo de entrada é o valor da economia através da geração de energia sem contar com a taxa de inflação, que só começa a contar no ano 1. Foi visto que o sistema se pagaria entre os anos 4 e 5, sendo que no final do ano 5 o consumidor já teria um lucro de R\$ 6.974,56, tornando o investimento bem viável. No ano 25 em que os módulos operam com um rendimento de 80 %, nota-se que a VPL chegou a R\$ 193.814,56, isso quer dizer que o consumidor deixou de pagar esse valor em energia elétrica, acumulado.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

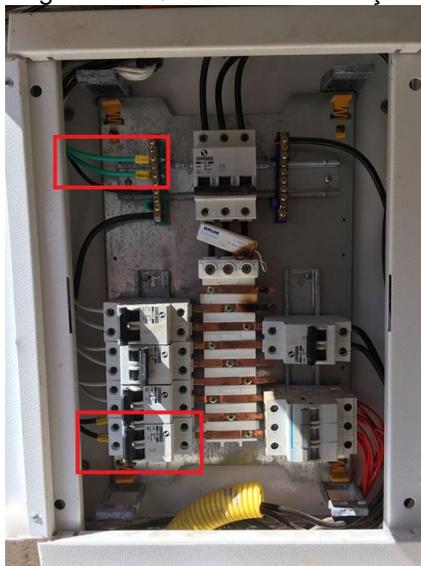
O projeto foi dimensionado para suprir o consumo de energia da residência do consumidor com uma capacidade de geração de 1.136,83 kWh/mês (13.641,96 kWh/ano). Porém, como o telhado não favoreceu muito o espaço e a instalação dos módulos, fez com que o dimensionamento do projeto fosse diminuída do seu ideal, faltando assim 1 (um) módulo. Com isso a capacidade de geração chegou a 1.096,56 kWh/mês (13.158,72 kWh/ano), que equivale a 96,45 % da demanda pedida pelo consumidor.

4.1. INSTALAÇÃO

A instalação foi dividida em três etapas: parte elétrica, apoio dos módulos e os módulos.

Na primeira etapa, foi iniciada a procura de um espaço adequado para a instalação do inversor e *String Box*. A residência possui uma casa de máquinas própria para esse tipo de instalação, um lugar protegido e arejado, próximo do quadro de energia da residência. Em seguida, foi instalado um disjuntor no quadro de distribuição para introduzir a energia do sistema, apresentado na Figura 17. Feito isso, instalou-se o inversor e a *String Box* próximos um do outro e do quadro de distribuição para facilitar as ligações entre eles, como mostra na Figura 18. Essa etapa teve duração de 2 (dois) dias, com duas pessoas na mão-de-obra.

Figura 17: Quadro de distribuição.



Fonte: Próprio autor.

Figura 18: Inversor e *String Box*.

Fonte: Próprio autor.

Os dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS) presente na *String Box*, também é aterrado junto ao aterramento do quadro de distribuição. Na Figura 18 apresenta a *String Box* com DPS e o cabo de aterramento (verde) saindo da caixa para o quadro de distribuição para ser aterrado. Do lado CA, na saída do inversor há também proteção DPS e o aterramento é interligado ao aterramento do quadro de distribuição, protegendo todo o sistema.

Na segunda etapa, na parte do apoio dos módulos, com um estudo realizado anteriormente do telhado e sua metragem, instalou com a ajuda de um soldador as estruturas metálicas para o assentamento das placas fotovoltaicas, conforme apresentado na Figura 19. As estruturas respeitam a orientação do ângulo que o sistema deve ser instalado. O telhado tem o caimento para o sul, por isso a angulação das estruturas deve ser maior para suprir esse caimento. Esse processo teve uma duração de 3 (três) dias com 4 pessoas trabalhando nele, sendo um o soldador.

Figura 19: Estrutura metálica dos módulos.



Fonte: Próprio autor.

Na terceira e última etapa, já com a parte elétrica instalada e as estruturas prontas, vem à parte de instalar os módulos, encaixou-se os trilhos e interligou os cabos solares, positivo e negativo, e conectou-se a *String Box*, conforme mostrado na Figura 20.

Figura 20: Módulos fotovoltaicos instalados.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 21, apresentam-se os 24 módulos instalados, já com as interconexões e o aterramento finalizado. Pode-se notar que o telhado tem o formato em “L” e há diversos sistemas instalados nele, como por exemplo, sistema de ar-condicionado e sistema tubular de aquecimento de água, dificultando no espaço e

na instalação dos módulos. Há alguns módulos sombreados, como por exemplo, os módulos da direita, mas deve ser levado em conta que a foto foi tirada no final de tarde por volta das 17 horas, horário em que está para acontecer o pôr-do-sol.

Figura 21: Visão aérea da residência com o sistema instalado.



Fonte: Próprio autor.

O projeto inicial foi dimensionado para abater o consumo anual do consumidor, porém, devido à falta de espaço no telhado, o projeto foi redimensionado de acordo com a área disponível, chegando numa instalação com 1 módulo a menos (24 módulos) gerando em torno de 96 % da demanda exigida pelo consumidor. A Figura 22 apresenta a fatura do cliente após a instalação do projeto em sua residência.

Figura 22: Fatura com o sistema fotovoltaico instalado.

Mês	Vencimento	Consumo Faturado kWh	Valor (R\$)
06/2017	29/06/2017	60	96,99

Dados da U.C. Classe: RESIDENCIAL SubClasse: RESIDENCIAL Tipo de Tarifa: CONVENCIONAL Grupo de Tensão: B Fase: TRIFASICO Local: 8010 Etapa / Livro / Seq: 09 / I1010X / 164 Perdas do Ramal: Fator de Potência: 0,75	Dados do Fornecimento Tensão nominal ou contratada (V): 127 / 220 Limites adequados de tensão (V): 117 a 133 / 202 a 231 Equipamento: Z84741 Perdas de Transformações (%): 0	Dados da Leitura Leitura Atual: 16/06/2017 Leitura Anterior: 16/05/2017 Próxima Leitura: 17/07/2017 Número de Dias Faturados: 31 Origem da Leitura Atual: Lida Consumo médio diário: 10,32 Média dos 12 últimos meses: 981,08 Emissão: 16/06/2017 Apresentação: 22/06/2017
--	---	--

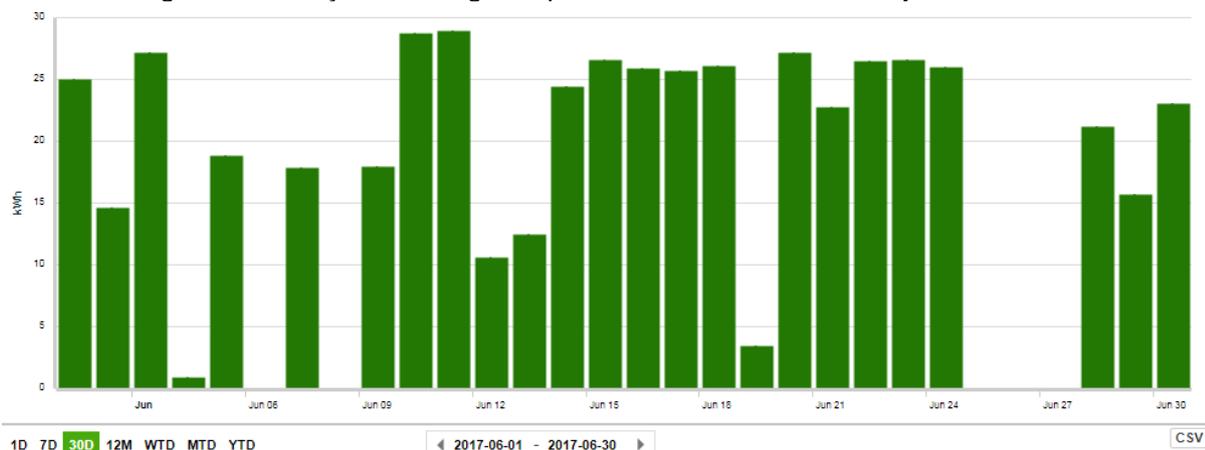
Dados da Medição	Unidade Medida	Leitura Atual	Leitura Anterior	Constante de Faturamento	Medido	Faturado	Dados do Faturamento	Faturado	Tarifa (R\$)	Total (R\$)
Consumo	kWh	15	7	40,0000	320,00	320,00	Consumo	320	0,492080	157,46
Ener.Reat.Indutiv	kvarh	11	4	40,0000	280,00	280,00	Consumo	60	0,492080	29,52
Energia Injetada	kWh	10	3	40,0000	280,00	280,00	Adic Band Vermelha			4,84
							Icms			52,52
							Cofins			15,18
							Pis			3,30
							Subtotal (R\$)			262,62
Tributos		Base de Cálculo (R\$)		Alíquota (%)		Valor (R\$)				
ICMS		262,62		20,00000		52,52				
COFINS		262,60		5,78050		15,18				
PIS		262,60		1,25580		3,30				
Composição do Preço (Art. 31, Resolução 166/2005)										
	Distribuição	Ene. Seletores	Energia	Transmissão	Tributos	Soma (R\$)				
	56,50	25,61	96,51	11,00	71,00	262,62				
Incidência sobre a conta paga após o vencimento multa de 2%, juros de mora de 0,0333% ao dia (conf. Lei 10.438/02) e atualização monetária com base no IGP-M a serem incluídos na próxima conta.										
Notificação de Suspensão do Fornecimento										
Até a presente data não registramos o pagamento da(s) seguinte(s) fatura(s):										
Mês	Valor R\$	Vencimento								

Fonte: (ENERGISA, 2017).

Nota-se que o valor da fatura apresentada na Figura 22 decaiu de R\$ 1.250,18 para R\$ 96,99 em relação à fatura antes da instalação do SFCR. Esse valor equivale a taxa de disponibilidade de 100 kWh mais o restante que a instalação não suporta da demanda.

O inversor ABB modelo PVI-6000-TL-OUTD-S instalado no sistema possui um programa na internet no qual o consumidor pode acessar e acompanhar o sistema solar fotovoltaico instalado com dados de interesse do consumidor como exemplo, a quantidade de energia que o sistema está gerando no dia, na semana, no mês, ou desde sua instalação; a quantidade de gases nocivos que o sistema evita para o meio ambiente (CO_2 , NO_x e SO_2), entre outros. Com essa ferramenta, é possível fazer um comparativo entre os valores teóricos e os valores reais do sistema instalado, sendo apresentado na Tabela 6. A Figura 23 apresenta a geração referente ao mês de junho de 2017 no valor de 653,64 kWh.

Figura 23: Geração de energia da planta fotovoltaica do mês de junho de 2017.



Fonte: (AURORA VISION, 2017).

Por ser um mês de inverno, houve dias em que o sistema não conseguiu gerar nada por ausência de luz solar.

Tabela 6: Comparativo entre os valores de geração teórica e real do sistema.

Mês	Geração teórica (kWh)	Geração real (kWh)	Diferença (%)
Junho	617,77	653,64	5,48
Julho	685,03	738,17	7,19

Fonte: Próprio autor.

Com os dados teóricos já realizados no item 3.4., no mês de junho e com uma irradiação mensal, segundo o software *SWERA*, utilizada de 3,27 kWh/m²/dia a geração teórica é de 617,77 kWh, mas na prática o sistema gerou mais que o esperado, segundo o programa *AURORA VISION*, a geração real no mês de junho foi de 653,64 kWh, ou seja, gerou 5,48 % a mais que o teórico. No mês de julho com uma irradiação mensal de 3,626 kWh/m²/dia um pouco maior que no mês de junho, obteve-se uma geração teórica de 685,03 kWh, já o sistema gerou 738,17 kWh, sendo 7,19 % acima do esperado.

5. CONCLUSÃO

Atualmente, o mundo busca por novas fontes de energia renovável e a chegada da energia solar fotovoltaica, tornou-se mais interessante à aplicação dela no Brasil, pois o país possui um grande potencial energético solar em todo seu território, e uma baixa variabilidade durante o ano. Deve-se levar em conta também, que a atualização da nova resolução normativa N° 687, permite ao consumidor residencial que seja utilizado o sistema de compensação de crédito de energia elétrica de Micro e Minigeração distribuída.

Essa busca de energia renovável necessita de um alto investimento inicial, porém é muito efetiva, pois tem um retorno financeiro consideravelmente rápido, através da diminuição do gasto de energia elétrica. No caso do projeto apresentado neste trabalho, foi dimensionada uma instalação fotovoltaica para atender a demanda da residência do consumidor. Os cálculos dimensionados resultaram numa instalação de 25 módulos fotovoltaicos de 315 Wp, gerando 7,87 kWp, entretanto a metragem do telhado não suportou os 25 módulos instalados. Assim, houve um novo estudo visando à capacidade de módulos instalados em cima do telhado, e chegou-se num total de 24 módulos, gerando 7,56 kWp (96% da demanda total), arranjados em duas *Strings* de 12 módulos conectados em série, utilizando a entrada do inversor ABB modelo PVI-6000-TL-OUTD-S, o qual foi aprovado pelo consumidor e instalado.

O projeto com 24 módulos foi orçado em R\$ 39.735,44, contando com equipamentos, frete e mão-de-obra. O retorno de investimento levando em conta uma taxa de inflação de 6,22% (média dos últimos 10 anos) será de 5 anos, com um saldo positivo de R\$ 6.974,56, valor esse que o consumidor deixa de pagar na fatura de energia elétrica. E para os 25 anos, que equivale à vida útil de um módulo operando com uma eficiência mínima de 80%, chegará a economizar um total de R\$ 198.814,56.

Já fazendo um comparativo nos primeiros meses de instalação concluída, nota-se que a geração real é maior que a geração teórica mostrado no trabalho, com uma diferença de aproximadamente 5%, sem contar que o sistema não foi projetado para suprir 100% do consumo anual da residência, pois o valor da geração real iria ser maior. Com isso, pode-se concluir que a instalação do sistema fotovoltaico é viável, pois possui um retorno econômico rápido quando comparado com a sua vida

útil, é uma fonte de energia abundante e renovável, não emite gases como CO_2 e por sua fácil manutenção.

5.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para um estudo mais profundo no sistema de geração solar fotovoltaico são sugeridos estudos em locais rurais, onde o acesso à energia elétrica é baixo, instalações marítimas como represas, lagos, entre outros. Estudo no comportamento dos equipamentos, procurando melhorar eficiência e vida útil.

Estudo sobre mecanismos dos módulos fotovoltaicos, em que o módulo acompanhe a luz solar em um ângulo de 90° e assim obter o dia inteiro 100% da radiação solar.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; RUTHER, R.; **“Atlas Brasileiro de Energia Solar”**. São José dos Campos, SP: INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 1ª ed., 2006.
- ALMEIDA, P. M.; **“Modelagem e Controle de Conversores Estáticos Fonte de Tensão utilizados em Sistemas de Geração Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica de Distribuição”**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2011.
- ANEEL. **“Operação Capacidade do Brasil”**. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2017.
- ANEEL. **“Micro e Minigeração distribuída”**. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2ª ed., 2016.
- ANEEL. **“Resolução Normativa N° 687”**. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2015.
- ARAÚJO, A. J. N.; BUENO, T. B. A., RANK, N. I. **“Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba”**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.
- ASSAIFE, B. M. **“Aterramento e proteção de sistemas fotovoltaicos”**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2013.
- BANCO CENTRAL. **“Histórico de metas para a inflação do Brasil”**. Brasília, DF: Banco Central do Brasil, 2017.
- CAVALCANTE, F., ZEPPELINI, P., D. **“A montagem da equação para determinação do preço de venda”**. São Paulo, SP: Cavalcante Consultores – Soluções de Treinamento e Consultoria, 2017.
- CRESESB. **“Energia solar princípios e aplicações”**. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB, 2017.
- DIENSTMANN, G. **“Energia Solar”**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, 2009.
- ENERGISA. **Extrato e segunda via da conta**. Dourados, MS, 2017. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/casa/segunda-via>>. Acesso em: 18.05.2017.
- SCOLAR, J.; MARTINS, D.; ESCOBEDO, J. F.. **“Estimativa da irradiação total sobre uma superfície inclinada a partir da irradiação global na horizontal”**. Revista Brasileira de Geofísica: Vol. 21 (3), 2003.

GONÇALVES, F. A. V. S.; “**Avaliação técnica e econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos no aeroporto internacional de Belém**”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, 2013.

GEDAE. “**Introdução às energias renováveis**”. Belém, PA. Grupo de estudos e desenvolvimento de alternativas energéticas – GEDAE, 2016.

INMETRO. “**Sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica – Módulos**”. Portaria nº 004. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, Rio de Janeiro, 2009.

K2 SYSTEMS. “**Mounting systems for solar technology**”. Disponível em: <<https://k2-systems.com/files/Content/Products/>>. Acesso em: 14.05.2017.

KRANNICH. “**Estruturas fotovoltaicas para montagem de painéis solares**”. Disponível em: <<http://pt.krannich-solar.com/pt/produtos/>>. Acesso em: 05.01.2017.

MULTI-CONTACT. “**Female and male cable coupler MC4**”. Disponível em: <http://www.mc-pv-portal.com/pages/connectors/>. Acesso em: 14.05.2017.

NASCIMENTO, C. A.; “**Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**”. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal de Lavras – UFLA, 2004.

NEOSOLAR. “**Módulo Fotovoltaico Policristalino S 140P**”. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/>>. Acesso em: 05.01.2017.

NETO, A. B. M.; NUNES, G. B.; SILVA, M A.; “**Uso de painéis solares e sua contribuição para preservação do meio ambiente**”. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras/IF Fluminense, 2011.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. “**Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**”. Rio de Janeiro: CRESESB, 2015.

PORTAL BRASIL. “**Energia Solar representará 4% da potência total até 2024**”. MME: 2013. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/10/energia-solar-representara-4-da-potencia-total-ate-2024>>. Acesso em: 18.11.2016.

PORTAL SOLAR. “**Tipos de painel solar fotovoltaico**”. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 15.12.2016.

PORTAL SOLAR. “**A melhor direção do painel solar fotovoltaico**”. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br>>. Acesso em: 06.01.2017.

SICES BRASIL. **Energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.sicesbrasil.com.br>>. Acesso em: 14.05.2017.

SUNFLOWER. “**Qual a diferença entre policristalino e monocristalino célula firme amorfo fino solar?**”. Disponível em: <<http://www.sunflower-solar.com>>. Acesso em: 15.12.2016.

SUN HOME. “**Conector MC4 MC4X-B2 Par (Macho/Fêmea)**”. Disponível em: <<http://www.sunhome.com.br>>. Acesso em: 05.01.2017.

SWERA. **National Renewable Energy Laboratory**. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov/swera>>. Acesso em: 07.06.2017.

ANEXOS

Anexo A - Módulo fotovoltaico Canadian Solar, modelo CS6X-315P

Figura 24: Informações técnicas do módulo fotovoltaico.



MAXPOWER
CS6X-310 | 315 | 320 | 325 P

The high quality and reliability of Canadian Solar's modules is ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency of up to 16.94 %
-  Outstanding low irradiance performance of up to 96.0 %
-  High PTC rating of up to 91.97%
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

25 years linear power output warranty

10 years product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*
ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

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

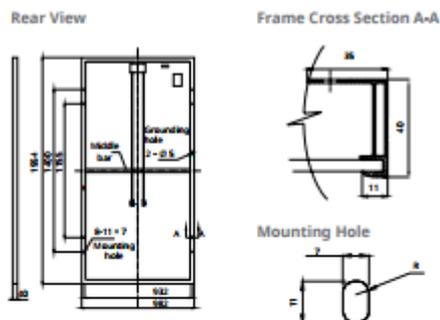


* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

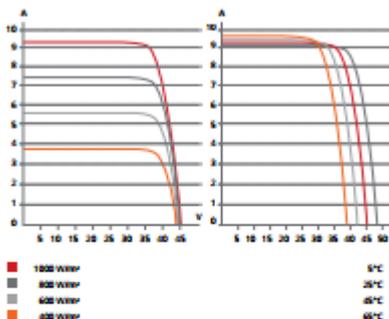
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 17 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

Figura 25: Curvas e dados elétricos do módulo fotovoltaico.

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6X-320P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6X	310P	315P	320P	325P
Nominal Max. Power (Pmax)	310 W	315 W	320 W	325 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.4 V	36.6 V	36.8 V	37.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.52 A	8.61 A	8.69 A	8.78 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.9 V	45.1 V	45.3 V	45.5 V
Short Circuit Current (Isc)	9.08 A	9.18 A	9.26 A	9.34 A
Module Efficiency	16.16%	16.42%	16.68%	16.94%
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.

ELECTRICAL DATA | NOCT*

CS6X	310P	315P	320P	325P
Nominal Max. Power (Pmax)	225 W	228 W	232 W	236 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.2 V	33.4 V	33.6 V	33.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.77 A	6.84 A	6.91 A	6.98 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.3 V	41.5 V	41.6 V	41.8 V
Short Circuit Current (Isc)	7.36 A	7.44 A	7.50 A	7.57 A

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

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

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

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

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

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1954 × 982 × 40 mm (76.9 × 38.7 × 1.57 in)
Weight	22 kg (48.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000V (UL), 1150 mm
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 620 kg (1366.9 lbs)
Per Container (40' HQ)	624 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

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

PARTNER SECTION



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



Anexo B - Inversor ABB, modelo PVI-6000-TL-OUTD-S

Figura 26: Informações técnicas do inversor.



Designed for residential and small commercial photovoltaic installations, this inverter fills a specific niche in the product line to cater for those installations producing between 5kW and 20kW.

This inverter has a dual input section to process two strings with independent Maximum Power Point Tracking (MPPT), high speed and precise MPPT algorithm for real-time power tracking and energy harvesting, as well as transformerless operation for high performance efficiencies of up to 97.0%.

Suitable for low power installations with reduced string size

The wide input voltage range makes the inverter suitable for low power installations with reduced string size. Flat efficiency curves ensure high efficiency at all output levels ensuring consistent and stable performance across the entire input voltage and output power range.

This outdoor inverter has been designed as a completely sealed unit to withstand the harshest environmental conditions.

Highlights

- Single-phase output
- Transformerless topology
- Each inverter is set on specific grid codes which can be selected in the field
- Dual input section with independent MPPT, allows optimal energy harvesting from two sub-arrays oriented in different directions

Figura 27: Dados elétricos do inversor.

Additional highlights

- Wide input voltage range
- Natural convection cooling for maximum reliability
- Outdoor enclosure for unrestricted use under any environmental conditions
- RS-485 communication interface (for connection to laptop or datalogger)

**Technical data and types**

Type code	PVI-5000-TL-OUTD	PVI-6000-TL-OUTD
Input side		
Absolute maximum DC input voltage (V_{DCmax})	600 V	
Start-up DC input voltage (V_{DCst})	200 V (adj. 120...350 V)	
Operating DC input voltage range ($V_{DCmin}...V_{DCmax}$)	$0,7 \times V_{DCmax}...580$ V (min 90 V)	
Rated DC input voltage (V_{DC})	380 V	
Rated DC input power (P_{DC})	5150 W	6200 W
Number of independent MPPT	2	
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPTmax}$)	4000 W	
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{DC}	150...530 V	180...530 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null [530 V V_{DCmax} 580 V]	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at P_{DC} max unbalance example	4000 W [220 V V_{DCmax} 530 V] the other channel: P_{DC} -4000 W [20 V V_{DCmin} 530 V]	4000 W [220 V V_{DCmax} 530 V] the other channel: P_{DC} -4000 W [120 V V_{DCmin} 530 V]
Maximum DC input current (I_{DCmax}) / for each MPPT ($I_{MPPTmax}$)	36,0 A / 18,0 A	
Maximum input short circuit current for each MPPT	22,0 A	
Number of DC inputs pairs for each MPPT	2	
DC connection type	PV quick fit connector *	
Input protection		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - variator	Yes	
Photovoltaic array isolation control	According to local standard	
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	25 A / 600 V	
Output side		
AC grid connection type	Single-phase	
Rated AC power (P_{AC} @cosφ=1)	5000 W *	6000 W
Rated AC power (P_{AC} @cosφ=0,9)	5000 W *	6000 W
Maximum AC output power (P_{ACmax} @cosφ=1)	5000 W *	6000 W
Maximum apparent power (S_{ACmax})	5560 VA	6670 VA
Rated AC grid voltage (V_{AC})	230 V	
AC voltage range	180...264 V *	
Maximum AC output current (I_{ACmax})	25,0 A	30,0 A
Contributory fault current	32,0 A	40,0 A
Rated output frequency (Hz)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	47...53 Hz / 57...63 Hz *	
Nominal power factor and adjustable range	> 0,995, adj. 0,8 inductive to 0,8 capacitive	
Total current harmonic distortion	< 3,5%	
AC connection type	Terminal block, cable gland M32	

Anexo C – Diagrama Unifilar da instalação

Figura 29: Diagrama Unifilar do Sistema Fotovoltaico.

