

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

VICTOR HUGO DO NASCIMENTO PETRINI

**DIMENSIONAMENTO DE UM GERADOR FOTOVOLTAICO E ANÁLISE DE
VIABILIDADE ECONÔMICA PARA UM PEQUENO COMÉRCIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

VICTOR HUGO DO NASCIMENTO PETRINI

**DIMENSIONAMENTO DE UM GERADOR FOTOVOLTAICO E
ANALISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA UM PEQUENO COMÉRCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Josmar Ivanqui

PONTA GROSSA
2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Tecnologia em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

DIMENSIONAMENTO DE UM GERADOR FOTOVOLTAICO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA UM PEQUENO COMÉRCIO.

por

VICTOR HUGO DO NASCIMENTO PETRINI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 11 de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Tecnologia em Automação Industrial. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr. Josmar Ivanqui
Orientador(a)

Prof(a). Dr. Felipe Mezzadri
Membro Titular

Prof(a). M.Eng. José Jair Alves Mendes Jr.
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Felipe Mezzadri
Coordenador do Curso

Dedico este trabalho especialmente à minha família que sempre me apoiou para atingir meus objetivos. Dedico também a todos que de alguma maneira fizeram parte da minha vida acadêmica nesta instituição.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a sabedoria necessária para a realização deste trabalho.

Registro meu agradecimento a todas as pessoas que considero mais especiais, que são meus pais, meus irmãos e minha namorada, mesmo distante eles foram capazes de me dar o apoio emocional necessário para chegar até esta etapa.

Agradeço a todos os colegas de classe que me incentivaram.

Aos professores que contribuíram com seu conhecimento e ajudaram e me tornar uma pessoa mais sábia. E todos aqueles que se empenharam para me ajudar a concluir o curso no tempo determinado.

“Se você pensa que pode ou pensa que não pode, de qualquer forma você está certo.”

Henry Ford

RESUMO

PETRINI, Victor Hugo do Nascimento. **Dimensionamento de um gerador fotovoltaico e análise de viabilidade econômica para um pequeno comércio.** 2018. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

A busca por fontes alternativas de geração de energia elétrica é um assunto que está em debate por todo o globo a mais de uma década. Recentemente, uma tecnologia que ganhou bastante visibilidade é a geração fotovoltaica, devido a sua fonte – o sol - ser inesgotável e acessível de praticamente qualquer localização aliado ao fator sustentável. O presente trabalho busca projetar e avaliar um sistema fotovoltaico destinado a geração de energia elétrica para um açougue, modalidade de estabelecimento que costuma ter um alto consumo. Foram realizadas todas as etapas necessárias de projeto para um gerador fotovoltaico, bem como a análise de viabilidade financeira utilizando métodos da matemática financeira para determinar se a instalação deve ou não ser feita para este caso.

Palavras-chave: Energia solar. Fotovoltaico. Sustentabilidade. Gerador.

ABSTRACT

PETRINI, Victor Hugo do Nascimento. **Sizing of a photovoltaic generator and analysis of financial feasibility for a small trade.** 2018. 61 f. Work of Conclusion Course (Industrial Automation Technology) – Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2018.

The search for alternative sources of electric energy generation is a theme that is on discourse around the world for more than a decade. Recently, a technology that has grown its visibility is the photovoltaic, because its source of energy – the sun – is inexhaustible and accessible from almost anywhere and it is sustainable. The present work seeks to project and to evaluate a photovoltaic system for the generation of electric energy for a butchery, this kind of enterprise in general has a high consumption. Has been performed all the steps necessary of a project for a photovoltaic generator, as well as the analysis of financial feasibility using methods of financial mathematics for determinate if this system must be installed or not.

Keywords: Solar energy. Photovoltaic. Sustainable. Generator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão da matriz energética brasileira.	19
Figura 2 - Comprimentos de onda da radiação solar.	20
Figura 3 – Aplicações da energia solar.	20
Figura 4 – Placa solar.	21
Figura 5 – Concentrador solar.	21
Figura 6 - Primeiro sistema interligado à rede do Brasil.	22
Figura 7 - Tipos de radiação solar.	23
Figura 8 - Irradiação solar em diferentes tipos de clima.	24
Figura 9 - Pireliômetro.	24
Figura 10 – Piranômetro sombreado.	25
Figura 11 – Célula de referência.	25
Figura 12 - Piranômetro.	25
Figura 13 - Estação solarimétrica.	26
Figura 14 - Potencial para geração fotovoltaica na Alemanha.	27
Figura 15 - Potencial para geração fotovoltaica no Brasil.	27
Figura 16 - Orientação ideal do módulo.	28
Figura 17 - Inclinação ideal do módulo.	28
Figura 18 - Ábaco solar de Curitiba.	29
Figura 19 - Curva IxV.	30
Figura 20 - Tipo de sombreamento 1.	30
Figura 21 - Tipo de sombreamento 2.	30
Figura 22 - Composição da célula fotovoltaica.	32
Figura 23 - Dados técnicos da fatura de energia.	34
Figura 24 - Vista superior do telhado.	34
Figura 25 - AutoCAD.	35
Figura 26 - Desvio azimutal do telhado.	36
Figura 27 - Coordenadas.	36
Figura 28 - Dados de irradiação solar.	37
Figura 29 - Adicionar nova estação no programa Radiasol.	37
Figura 30 - Tela principal do programa Radiasol.	38
Figura 31 - Planilha do Excel.	38
Figura 32 - Captura de tela do SketchUp.	39

Figura 33 - Estudo de sombreamento.	40
Figura 34 – Leiaute de instalação.	40
Figura 35 - Levantamento de custo no site Neosolar.	47

LISTA DE ABREVIATURAS

°C	Grau Celsius
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
kV	Kilo Volt
kWh	Kilo Watt hora
m ²	Metro quadrado
mm	Milímetro
Ω	Ohm
W	Watt
Wh	Watt hora

LISTA DE SIGLAS

DPS	Dispositivo de proteção contra surtos
MPPT	<i>Maximum power point tracking</i>
STC	<i>Standart Test Conditions</i>
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade
UV	Ultravioleta
VPL	Valor presente líquido

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
-------	--------------------------------------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	TEMA DA PESQUISA	15
1.1.1	Delimitação do tema	15
1.2	PROBLEMA	16
1.3	HIPÓTESE	16
1.4	JUSTIFICATIVA	16
1.5	OBJETIVOS	17
1.5.1	Objetivo geral	17
1.5.2	Objetivos específicos	17
1.6	MÉTODO DA PESQUISA	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	RADIAÇÃO SOLAR	19
2.2	APLICAÇÕES DA RADIAÇÃO SOLAR	20
2.2.1	Sistemas de aquecimento solar	21
2.2.2	Sistemas fotovoltaicos	21
2.3	COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR	22
2.3.1	Instrumentos de medição de irradiância solar	24
2.4	COMPARAÇÃO ENTRE RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL E NA ALEMANHA	26
2.5	INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS	27
2.6	CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	29
2.6.1	Ligação dos módulos	29
2.6.2	Diodo de <i>by-pass</i>	30
2.6.3	Coeficiente de temperatura	31
2.7	EFEITO FOTOVOLTAICO	31
3	MÉTODOS	33
3.1	AVALIAÇÃO DA ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DO AÇOUGUE	33
3.2	DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR	36

3.3	ESTUDO DE SOMBREAMENTO.....	39
3.4	LEIAUTE DE MONTAGEM	40
3.5	DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO.....	41
3.5.1	Dimensionamento do inversor.....	43
3.5.2	Interligação dos módulos.....	44
3.5.3	Disjuntores e DPS para corrente contínua	44
3.5.4	Cabeamento CC.....	44
3.5.5	Disjuntores e DPS para corrente alternada	45
3.5.6	Cabeamento CA.....	46
3.5.7	Diagrama elétrico	46
4	RESULTADOS	47
4.1	ANÁLISE FINANCEIRA.....	47
5	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS.....	50
	APÊNDICE A – Planilha de cálculos.....	52
	APÊNDICE B – Diagrama elétrico.	55
	ANEXO A – <i>Datasheet</i> do módulo fotovoltaico.....	56
	ANEXO B – <i>Datasheet</i> do inversor.....	58

1 INTRODUÇÃO

É um fato que a eletricidade se tornou indispensável na vida dos seres humanos. Em um mundo cada vez mais globalizado, a energia elétrica é necessária em praticamente todos os setores, desde demandas básicas do dia a dia até em ambientes mais complexos e robustos como indústrias, os quais necessitam de uma grande demanda.

A rede de distribuição residencial nacional teve um aumento significativo desde os anos 2000. Segundo dados do Censo 2010, 97,80% dos domicílios brasileiros têm acesso a energia elétrica. Sendo que na região urbana são 99,1% dos domicílios e 89,7% na zona rural. A região Norte é a que sofre mais com a falta de distribuição, enquanto a região Sul possui acesso em mais localidades (IBGE, 2010).

Com o maior acesso a eletricidade dentre os consumidores brasileiros é notável um aumento na demanda por energia elétrica, que atualmente tem como principal fonte geradora as usinas hidroelétricas. Independentemente deste tipo de geração ser uma fonte renovável, há alguns pontos negativos. O principal empecilho é a dependência de chuva para que os reservatórios permaneçam cheios.

Quando a geração hidroelétrica não consegue atender à demanda dos consumidores são utilizadas fontes alternativas não renováveis, como as termoelétricas. Quando isso acontece tanto os consumidores, quanto o meio ambiente são afetados. Como a energia termoelétrica é mais cara que a geração através das hidroelétricas, esse custo é repassado para os consumidores através das bandeiras tarifárias.

Com este cenário, a demanda por fontes alternativas de energia aumentou. A geração fotovoltaica começou a ganhar força no Brasil a partir de 2012 quando foi lançada a resolução normativa 482 da ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica) no ano de 2012 que estabelece as condições gerais para o acesso a mini e micro geração distribuída e principalmente regulamenta o sistema de compensação de energia elétrica.

A partir do vigor desta normativa, as unidades consumidoras ligadas a uma concessionária de energia no Brasil começaram a poder participar do programa de compensação de energia, o qual estabelece as regras para a geração distribuída. Desse modo, é permitido que seja gerado a própria energia no telhado ou em qualquer área não sombreada dentro da propriedade da unidade consumidora, e essa energia

gerada é ligada ao sistema de distribuição da concessionária, o que não for consumido instantaneamente é injetado na rede e se converte créditos que poderão ser utilizados em outro momento (ANEEL, 2012).

A partir de então foi notado um alto crescimento no mercado de energia solar fotovoltaica no Brasil. De acordo com o planejamento do setor elétrico em 2050 18% das residências no Brasil irão gerar sua própria energia através de um sistema fotovoltaico. Recentemente foi atingido a marca de 1 GW de potência instalada, suficiente para atender cerca de 500 mil residências (ABSOLAR, 2018).

Além de residências, estes sistemas se mostram muito interessantes para o setor comercial, há muitos estabelecimentos que possuem um consumo relativamente alto de energia. Alguns exemplos são supermercados, açougues, padarias, serralherias, madeireiras, oficinas, etc. Para estes consumidores, é extremamente viável instalar um sistema de geração fotovoltaica, pois é possível fazer utilizando uma área que está ociosa, no caso o próprio telhado do estabelecimento.

Pensando neste público, o presente trabalho irá apresentar toda a fundamentação e aplicação de um projeto de uma micro usina fotovoltaica a ser instalada em um açougue que consome em média 4550 kWh/mês no município de Ponta Grossa. Para isso foram investigados diversos conceitos que fazem parte deste tipo de sistema, como irradiação e irradiância solar, atlas solarimétrico, desvio azimutal, entre outros.

1.1 TEMA DA PESQUISA

Estudo de caso sobre um sistema de geração fotovoltaica aplicado em um açougue e sua viabilidade econômica.

1.1.1 Delimitação do tema

A pesquisa será desenvolvida através do estudo detalhado de uma possível instalação fotovoltaica em um açougue no município de Ponta Grossa utilizando o ATLAS solarimétrico brasileiro como base de dados de irradiação solar no local.

1.2 PROBLEMA

Como uma micro usina fotovoltaica pode contribuir para um estabelecimento comercial reduzir custos?

1.3 HIPÓTESE

Acredita-se que com a implementação de uma micro usina fotovoltaica em um açougue é possível reduzir os custos do estabelecimento com energia elétrica, bem como contribuir com a sustentabilidade e a matriz energética brasileira.

1.4 JUSTIFICATIVA

No Brasil é disseminada uma cultura sobre a inviabilidade da instalação de sistemas de geração fotovoltaica na região Sul pela baixa incidência solar. Na verdade, isso é um equívoco, para demonstrar como o potencial solar do Brasil é gigantesco, pode-se fazer uma comparação com o recurso solar da Alemanha, que atualmente é o país que mais gera energia através dos sistemas fotovoltaicos.

No Paraná a concessionária responsável por distribuir energia elétrica por grande parte do Estado teve um reajuste da tarifa de 8,6% em média por ano nos últimos 10 anos, não muito diferente aconteceu em outros estados (COPEL, 2018). Se não bastasse os reajustes tarifários, a implementação das bandeiras tarifárias também impacta na conta dos consumidores.

Como a eletricidade hoje é uma dependência da civilização, não havia outra alternativa a não ser aceitar e arcar com os custos que só aumentam ano após ano. No entanto, essa realidade pode ser diferente, desde de 2012 aumento de forma acentuada o número de consumidores que optam por gerar sua própria energia através de sistemas fotovoltaicos, que além de trazer economia também contribuem com o meio ambiente e para a matriz energética brasileira (ABSOLAR, 2017)

Essa é uma tecnologia em plena expansão que está cada vez mais visível no Brasil, frequentemente é assunto em grandes mídias nacionais e o mercado cresce de forma acentuada.

Uma grande vantagem dos sistemas fotovoltaicos do ponto de vista elétrico, é que estes contribuem para a matriz elétrica e também para a rede, diminuindo as distorções harmônicas (ALMEIDA, 2015).

A viabilidade deste trabalho consiste em investigar métodos e técnicas para a instalação de um sistema fotovoltaico, além de realizar um estudo da viabilidade econômica deste tipo de investimento.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo geral

Projetar e investigar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico de 21,60 kWp para um açougue no município de Ponta Grossa.

1.5.2 Objetivos específicos

- Investigar sobre a energia solar fotovoltaica na região em que se pretende aplicar;
- Estudar consumo anual da fatura de energia do estabelecimento do estudo;
- Realizar o levantamento do recurso solarimétrico do local;
- Dimensionar o sistema com base no telhado disponível;
- Consultar o valor de implementação do sistema;
- Realizar um estudo de viabilidade financeira detalhada;
- Analisar os resultados obtidos.

1.6 MÉTODO DA PESQUISA

Para concretizar esta pesquisa foi inicialmente realizado uma revisão bibliográfica através de fontes atualizadas sobre o assunto tratado. Esta investigação se deu com o objetivo de obter conhecimento para dimensionar e projetar um sistema de geração fotovoltaico no porte de micro usina, que são os sistemas até 75 kW segundo a norma da ANEEL. Não obstante, foram realizadas também pesquisas

relacionadas a matemática financeira necessária para a análise de viabilidade econômica do sistema. Após o levantamento dos conhecimentos necessários, estes foram aplicados em um projeto completo com base em informações obtidas de um estabelecimento real.

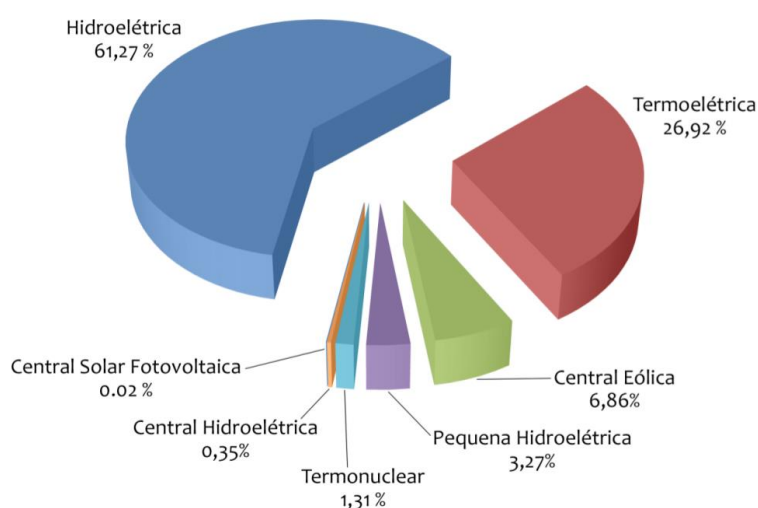
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contemplará a revisão bibliográfica sobre a energia solar fotovoltaica e dimensionamento de sistema fotovoltaico.

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

É importante ressaltar como se comporta a matriz energética brasileira antes de investigar o recurso solar disponível sobre o território nacional. O Brasil é um país com uma matriz elétrica predominantemente hidroelétrica, facilmente observado na Figura 1. Somados, as energias hidroelétrica e termoelétrica compõem 88,19% da oferta nacional (ATLAS, 2017).

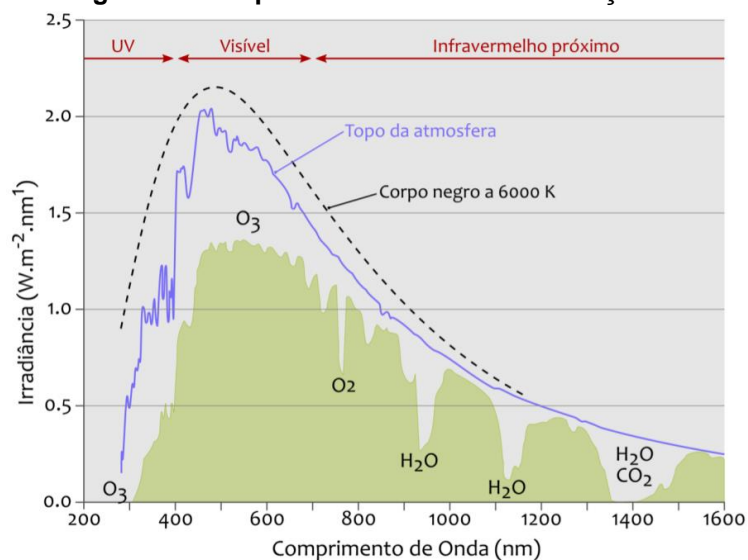
Figura 1 - Divisão da matriz energética brasileira.



Fonte: ATLAS, 2017.

A radiação solar incidida sobre o planeta é energia advinda do sol. Para o aproveitamento da energia solar as faixas mais interessantes são as de luz visível e infravermelho, que representam cerca de 81% da energia irradiada pelo sol. Na Figura 2 disponível no ATLAS é possível observar as faixas de comprimento de onda que incidem sobre a atmosfera, que após sofrerem atenuação por conta das partículas incidem sobre a superfície terrestre (área verde do gráfico).

Figura 2 - Comprimentos de onda da radiação solar.



Fonte: ATLAS, 2017.

Este conhecimento é importante para entender, afinal, qual é a fonte responsável pela energia gerada pelos módulos fotovoltaicos e de que maneira essa energia alcança o módulo.

2.2 APLICAÇÕES DA RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar como fonte de energia pode ser aplicada de diversas formas. Usualmente, sistemas de aquecimento solar são implementados para evitar os gastos com eletricidade por chuveiros elétricos (que possuem uma potência elevada) (ELEKTSOLAR, 2018). As aplicações podem ser melhor observadas na figura 3.

Figura 3 – Aplicações da energia solar.



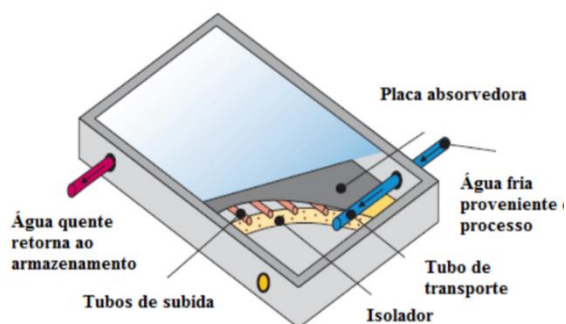
Fonte: ELEKTSOLAR, 2018.

2.2.1 Sistemas de aquecimento solar

O calor do sol pode ser utilizado para fins de aquecimento de água ou concentração de calor e geração de energia elétrica através do vapor. O primeiro caso é uma tecnologia já popular no Brasil, que basicamente faz a captação da radiação infravermelho por meio de placas (ELEKTSOLAR, 2018). Essa placa recebe através de uma tubulação a água fria em sua extremidade inferior, por meio da radiação esta água é aquecida e transportada por uma espécie de serpentina até a extremidade superior e posteriormente para o reservatório, representado pela Figura 4 (PRADO et al, 2014).

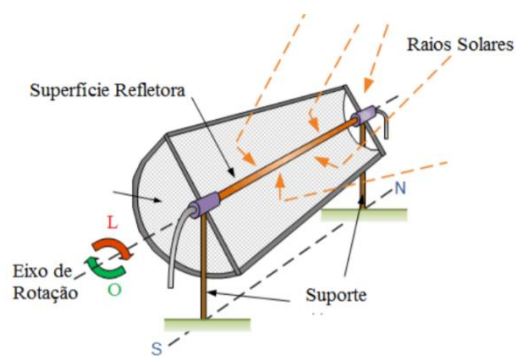
Além das placas, a radiação infravermelha também pode ser utilizada nos concentradores solares. Um modelo encontrado é o concentrador solar do tipo calha parabólica, que concentra a radiação solar em uma tubulação pelo qual passa o fluido a ser aquecido. A temperatura no interior desta tubulação alcança entre 100°C e 500°C, sendo utilizado para bombas de irrigação, em aquecimentos de água de caldeiras e em estações elétricas. Geralmente, este sistema possui um seguidor solar Leste-Oeste. O concentrador pode ser visualizado na Figura 5 (PRADO et al, 2014).

Figura 4 – Placa solar.



Fonte: PRADO, 2014.

Figura 5 – Concentrador solar.



Fonte: PRADO, 2014.

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos

Como foco principal deste trabalho, os sistemas fotovoltaicos possuem uma aplicação simples: conversão da luz advinda do sol em energia elétrica. Esta é feita através de processos que envolvem a incidência de fótons sobre uma célula fotovoltaica. Neste tópico, com o objetivo de citar apenas como uma das aplicações

da radiação solar, pode ser observado na Figura 6 o primeiro sistema fotovoltaico interligado à rede do Brasil (UFSC, 2006).

Este caso em específico é a chamada Casa Eficiente localizada em Florianópolis, SC. Este é um projeto de uma casa feita com materiais 100% recicláveis e que não agridem a natureza.

Figura 6 - Primeiro sistema interligado à rede do Brasil.



Fonte: UFSC. 2006.

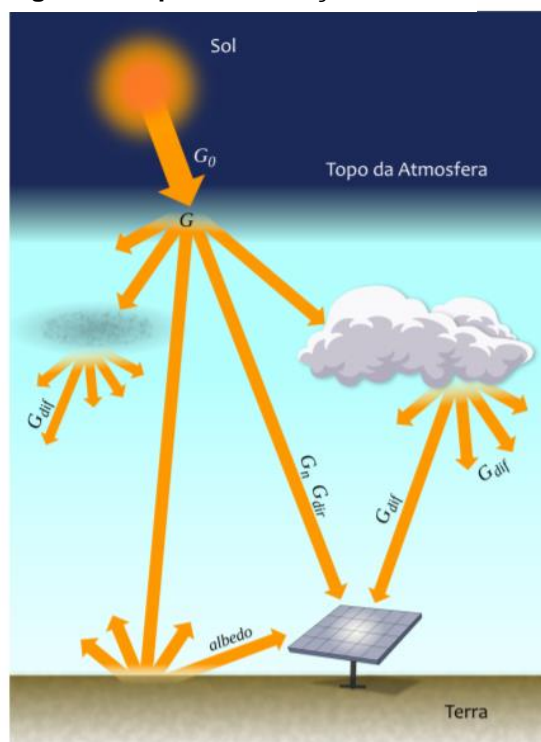
2.3 COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR

A energia solar quando incidida sobre a superfície do planeta sofre a influência por processos físicos, dessa maneira sua intensidade é afetada durante o percurso. Isso acontece, por exemplo, ao passar por uma nuvem ou ser refletida pela própria superfície terrestre. Os três componentes principais da radiação solar são: direta (G_{dir}), que é definida como uma linha reta entre o sol e a superfície da Terra, a difusa (G_{dif}) que é representado pelo espalhamento ocorrido na trajetória da radiação solar, e também o Albedo, que se trata da luz difundida a partir da superfície da Terra (ATLAS, 2017).

Para efetivar os cálculos de dimensionamento de um sistema fotovoltaico, é usado como referência irradiância global horizontal (G), que é dada pela soma das irradiâncias direta e difusa citadas anteriormente. No entanto, quando um sistema é dimensionado, é preciso trabalhar com estes dados de irradiância global horizontal,

visto que a irradiância que será incidida sobre o módulo fotovoltaico sofre influência de acordo com a inclinação e orientação deste. Para isso é utilizado um *software* que efetua os cálculos de acordo com o plano onde será instalado o arranjo fotovoltaico (Figura 7).

Figura 7 - Tipos de radiação solar.

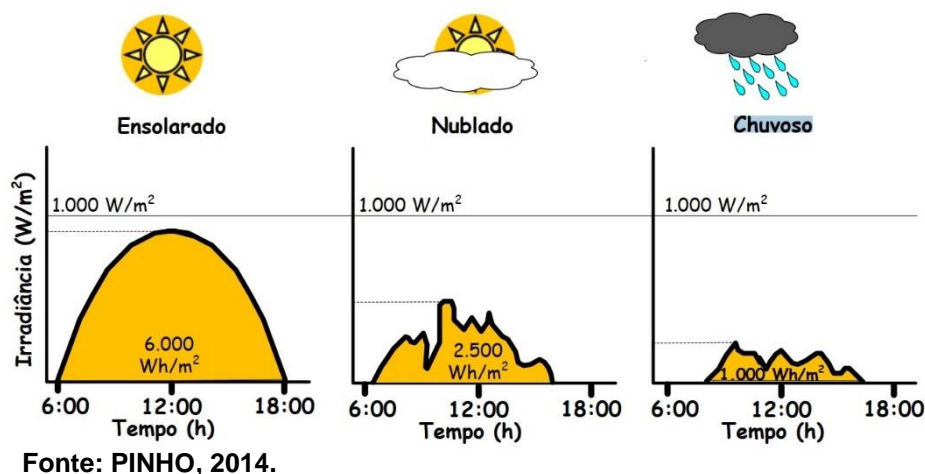


Fonte: ATLAS, 2017.

É importante citar também que há uma diferença entre irradiância e irradiação solar. A irradiância é considerada como a potência instantânea por unidade de área que incidida sobre determinado local (W/m^2). Já a irradiação é dada pela integral da irradiância no tempo (Wh/m^2).

Na Figura 8 é possível observar a irradiação durante um dia de céu aberto, um dia nublado e um dia chuvoso (PINHO, 2014).

Figura 8 - Irradiação solar em diferentes tipos de clima.



2.3.1 Instrumentos de medição de irradiância solar

Existem diversas estações solarimétricas espalhadas pelo país, afim de manter os dados de radiação solar cada vez mais precisos. Atualmente, é possível calcular a irradiância solar através de métodos matemáticos ou até mesmo com o auxílio de *softwares* específicos, todavia as estações desempenham um papel muito importante de validação dos dados obtidos através desses cálculos matemáticos.

Para verificar a irradiância direta em um determinado local, é utilizado um instrumento chamado de pireliômetro (Figura 9). O seu princípio é facilmente observado em sua estrutura construtiva, que se dá por um orifício no centro com uma barreira em volta, permitindo apenas que a irradiância direta seja medida.

Figura 9 - Pireliômetro.



Fonte: Página da Wikiwand, 2018.

Outro instrumento utilizado é o piranômetro sombreado (Figura 10), que tem como sua aplicação a medição da irradiância difusa. Como é possível observar, a faixa

onde seria incidido radiação direta é sombreada com por cento do tempo através de um seguidor solar. Desse modo, o piranômetro capta apenas a radiação difusa.

Para a medição da irradiância global são utilizados piranômetros e células fotovoltaicas de referência. Nesse caso, o piranômetro não é sombreado, visto que tem a finalidade de medir toda a radiação incidente e não apenas a difusa, estes dois instrumentos são apresentados nas Figuras 11 e 12.

Figura 10 – Pirnômetro sombreado.



Fonte: Página da Wikiwand, 2018.

Figura 11 – Célula de referência.



Fonte: Página da Wikiwand, 2018.

Figura 12 - Piranômetro.



Fonte: Página da Wikiwand, 2018.

A estação solarimétrica com os instrumentos citados é representado na Figura 13.

Figura 13 - Estação solarimétrica.



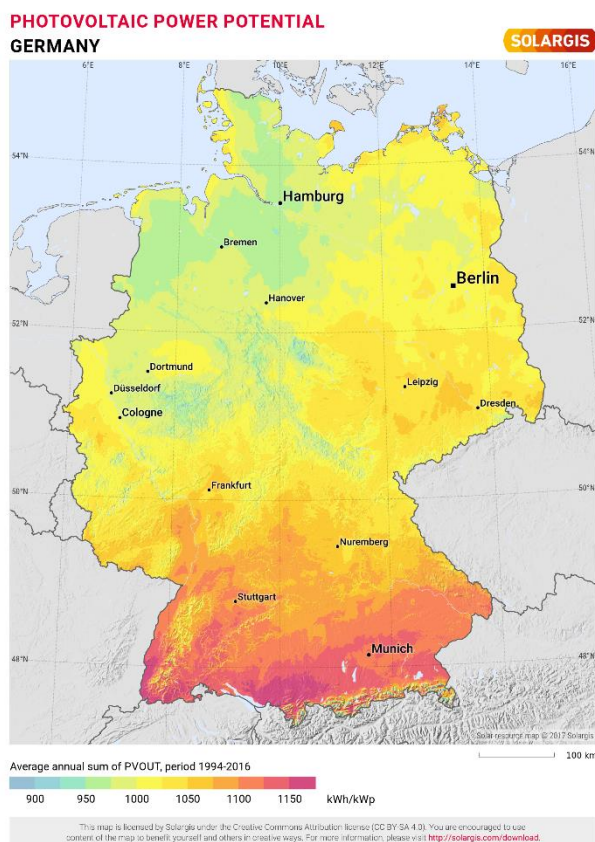
Fonte: Página da Doutorados Agora, 2018.

2.4 COMPARAÇÃO ENTRE RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL E NA ALEMANHA

O site SOLARGIS disponibiliza vários dados mundiais com relação ao potencial de geração através de sistemas fotovoltaicos. Na Figura 14 pode-se notar que a região Sul da Alemanha é a que possui o maior potencial de geração, que em seu ponto máximo atinge 1150 kWh/kWp/ano. Por outro lado, na Figura 15 fica claro na legenda que a localização com menor potencial de geração no território brasileiro é de 1387 kWh/kWp/ano. Isso demonstra com clareza que o Brasil tem um ótimo recurso solar para investir em geração fotovoltaica.

Este dado é importante visto que o a Alemanha é um dos países pioneiros no desenvolvimento da energia solar fotovoltaica. Segundo Stetz (2013), em 2012 haviam mais de 24 GWp de potência instalada em todo território alemão, em quase um milhão de instalações de potências variadas.

Figura 14 - Potencial para geração fotovoltaica na Alemanha.



Fonte: Página da Solargis, 2018.

Figura 15 - Potencial para geração fotovoltaica no Brasil.



Fonte: Página da Solargis, 2018.

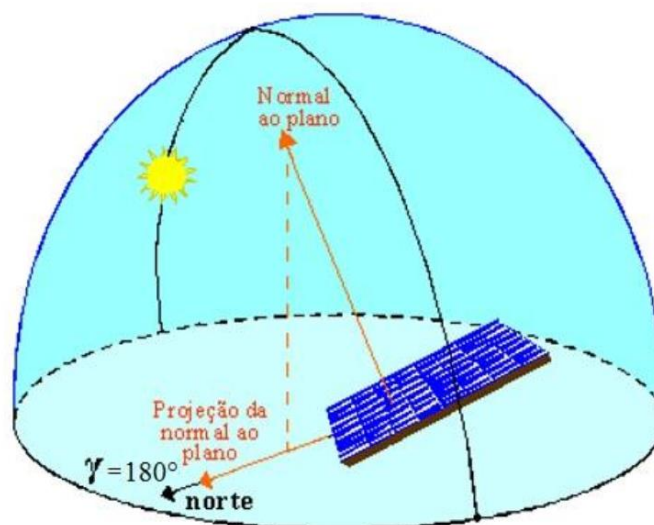
2.5 INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS

Segundo Pinho (2014), para o melhor aproveitamento do recurso solar disponível sobre a instalação do arranjo fotovoltaico, existem posições de orientação e inclinação específicos.

A operação do sistema se torna mais eficiente quando este está orientado para a linha do equador. Nesse sentido, os arranjos fotovoltaicos instalados no hemisfério Sul do globo devem ser orientados para o Norte geográfico. No entanto, quando um sistema for projetado é necessário levar em consideração o micro clima da região, visto que um local onde seja predominantemente nublado e chuvoso pela manhã e ensolarado no período da tarde, a tendência é compensar levemente com uma orientação para Oeste, de modo captar os raios solares da tarde de forma perpendicular à célula fotovoltaica. Quando o gerador for instalado no hemisfério

Norte, deve-se ser orientado para o Sul geográfico. Essa explicação pode ser observada na figura 16 (PINHO, 2014).

Figura 16 - Orientação ideal do módulo.

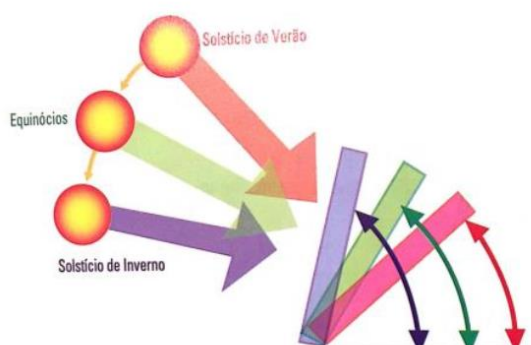


Fonte: PINHO, 2014.

O Norte geográfico (indicado nos mapas) não possui a mesma orientação do Norte magnético (o qual é indicado pela bússola), desvio este chamado de declinação magnética (VEIGA, 2007). Deste modo, é importante sempre se atentar em instalar o sistema com sua orientação para o Norte geográfico, afim de que não haja desperdício de recurso solar (ELEKTSOLAR, 2018).

Da mesma maneira que há uma orientação adequada, existe uma inclinação ideal para a instalação do arranjo fotovoltaico. Com o objetivo de aproveitar a radiação solar ao longo do ano, a inclinação ideal é igual à latitude do local. Por exemplo, em Ponta Grossa, que possui latitude em torno de -25° , a inclinação ideal é de 25° . Uma variação de 10% da latitude não causa grandes perdas de radiação. Para cada solstício é indicado uma inclinação de forma a captar a luz solar de maneira perpendicular ao módulo (Figura 17).

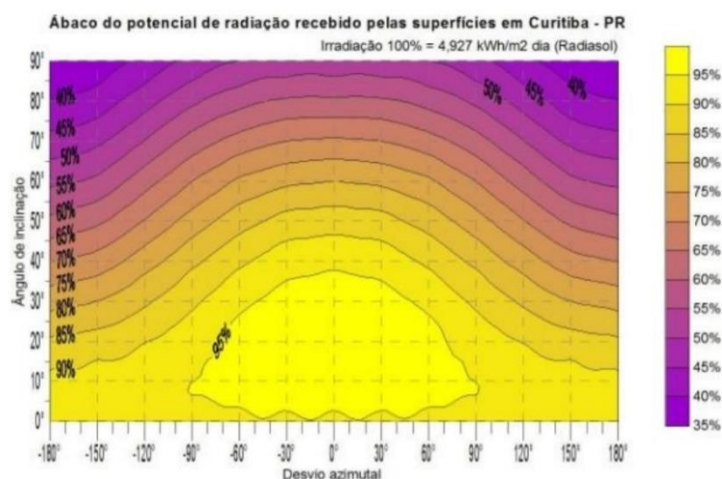
Figura 17 - Inclinação ideal do módulo.



Fonte: ELEKTSOLAR, 2018.

Como referência para a perda ocasionada pelo desvio azimutal (orientação desviada do Norte geográfico) a Universidade Federal de Santa Maria disponibiliza ábacos que podem ser utilizados para ter um conhecimento prévio de quanto será a perda do sistema por conta do deste desvio. A Figura 18 apresenta o ábaco para a capital do Paraná, Curitiba (SANTOS *et al*, 2012).

Figura 18 - Ábaco solar de Curitiba.



2.6 CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

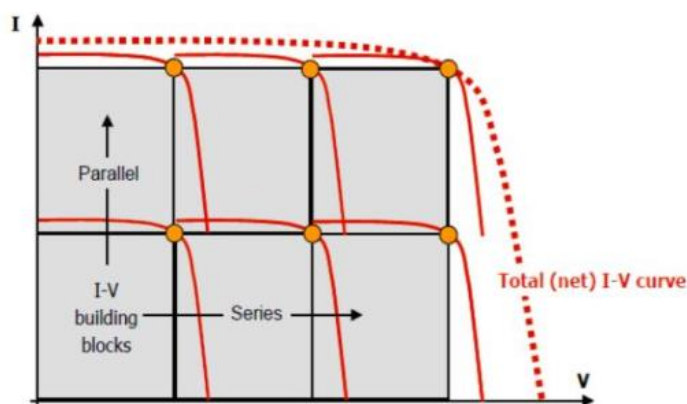
2.6.1 Ligação dos módulos

Um arranjo fotovoltaico de grandes proporções possui as chamadas fileiras ou em inglês *strings* que são um conjunto de módulos ligados em série. No entanto, um arranjo normalmente não é formado de apenas uma fileira. Para que o dimensionamento seja adequado ao inversor, é necessário dividir todo o arranjo em diversas fileiras (ELEKTSOLAR, 2018).

Um módulo fotovoltaico pode ser ligado a outro de forma série ou paralelo, sendo que, quando ligados em série, as tensões produzidas nos módulos se somam e, quando ligados em paralelo, as correntes se somam. A Figura 19 apresenta a ligação de seis módulos fotovoltaicos, sendo duas fileiras de três módulos ligados em série, e estas duas fileiras ligadas em paralelo entre si. Neste gráfico, o canto superior

direito identificado com um círculo laranja representa o ponto de máxima potência deste pequeno arranjo (PINHO, 2014).

Figura 19 - Curva IxV.

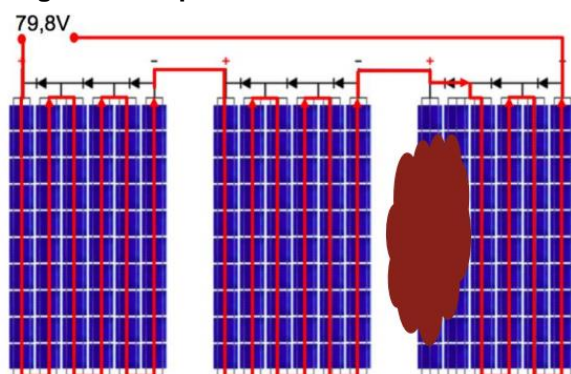


Fonte: PINHO, 2014.

2.6.2 Diodo de *by-pass*

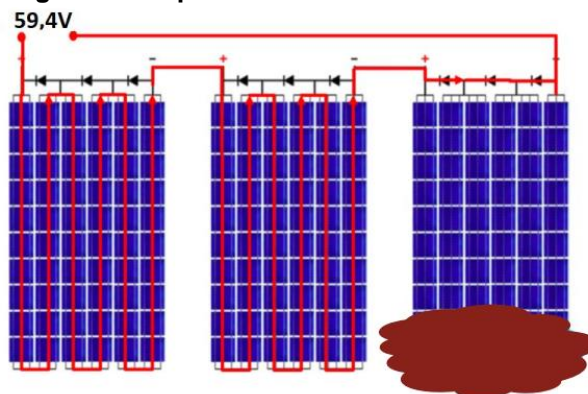
Os diodos de *by-pass* encontrados nos módulos fotovoltaicos têm como função enviar o máximo aproveitamento do sistema em casos de sombreamento e protegerem os módulos de sobreaquecimento. A Figura 20 apresenta a forma como estes diodos são dispostos no módulo fotovoltaico. Os módulos mais usuais de 72 células possuem três diodos de *by-pass*. Como é possível observar, quando uma ou duas fileiras de células do módulo estão sombreadas, o diodo permite a passagem da corrente diretamente para as outras fileiras, desta maneira evita que a parte sombreada restrinja a geração deste módulo. Por outro lado, é importante usar este recurso de forma estratégica, pois, como apresenta Figura 21, quando as células são sombreadas na parte inferior dos módulos, uma pequena sombra é capaz de ativar os três diodos, comprometendo toda a geração deste módulo (ELEKTOSOLAR, 2018).

Figura 20 - Tipo de sombreamento 1.



Fonte: ELEKTOSOLAR, 2018.

Figura 21 - Tipo de sombreamento 2.



Fonte: ELEKTOSOLAR, 2018.

2.6.3 Coeficiente de temperatura

Diversas características dos módulos são alteradas quando estes sofrem alteração de temperatura. Para efeito de testes, a célula (ou módulo) fotovoltaico é submetido a condições específicas, denominada *Standart Test Conditions* (STC). Estas características são: irradiância de 1000 W/m^2 e temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. No entanto, para efeito de influência devido a temperatura, as condições são consideradas com base na temperatura nominal fornecida pelo fabricante de cada módulo, e não da temperatura de teste padrão (PINHO, 2014).

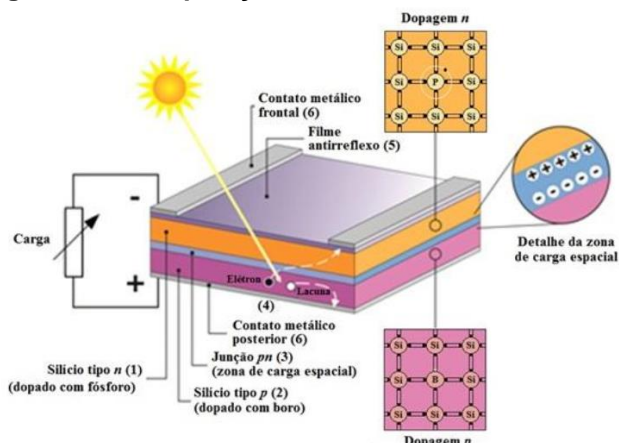
Para ilustrar, foi utilizado dados obtidos no *datasheet* de um módulo de 330 Wp da marca Jinko Solar, atualmente a maior fabricante de módulos do mundo (Energysage, 2018). Existem três tipos diferentes de influência devido à temperatura. A tensão de circuito aberto diminui enquanto a temperatura aumenta, já a corrente de curto circuito aumenta junto com o aumento da temperatura e a potência no ponto de máxima potência diminui, visto que o produto tensão vezes corrente se torna menor com o aumento da temperatura. Estes três itens são nomeados através das letras gregas alpha, beta e gama respectivamente.

No *datasheet* do módulo da Jinko informa que alpha vale $-0,31\%/^\circ\text{C}$, beta $0,06\%/^\circ\text{C}$ e gama $-0,41\%/^\circ\text{C}$. A temperatura nominal do módulo é de 45°C , ou seja, para um sistema contendo vários módulos é importante considerar os efeitos da temperatura, principalmente se o sistema for instalado em alguma região muito fria ou muito quente, haja vista que o descuido com este fator pode implicar em problemas com o inversor no futuro (JINKO, 2016).

2.7 EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico acontece quando uma diferença de potencial é gerada através da emissão de luz (fótons) sobre um material semicondutor. Segundo Pinho (2014), quando a energia do fóton incidido sobre a superfície do material semicondutor de junção do tipo PN é maior que a energia do material, o efeito ocasiona o deslocamento dos elétrons fotogerados para a junção N (-) e as lacunas para a junção P (+) (Figura 22).

Figura 22 - Composição da célula fotovoltaica.



Fonte: MOEHLECKE, 2005.

Como ilustrado na imagem anterior, a diferença de potencial gerada pelos materiais semicondutores atravessa por materiais condutores ligados à célula e pode ser utilizada na ao ligar em uma carga. Usualmente a ligação é feita em um inversor para que este transforme a energia gerada, que é em corrente contínua, para corrente alternada, visto que é a forma de trabalho da maioria dos equipamentos ligados a rede.

3 MÉTODOS

Para iniciar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico foi necessário avaliar os dados físicos como: sombreamento, orientação e inclinação do telhado, área disponível e estrutura de sustentação. Como mencionado no capítulo anterior, é muito importante que a área onde será instalada o gerador não seja sombreada continuamente, visto que a função de diodo *by-pass* faz que o módulo fique totalmente sem operação, ou seja, não gere energia.

A orientação e inclinação do telhado também é muito importante, uma instalação ideal acontece quando os módulos estão orientados para o Norte geográfico (em instalações no hemisfério Sul, o contrário acontece em instalações no hemisfério Norte, nas quais a orientação deve ser para o Sul geográfico) e com inclinação igual à da latitude do local, que neste estudo de caso é 25°.

A avaliação da inclinação e orientação dará a viabilidade do sistema, de maneira que este não tenha um baixo rendimento e acabe gerando um tempo de retorno do investimento muito longo. Após aprovação das etapas anteriores, que pode ser feita sem comparecer ao local, é necessário investigar se a estrutura do telhado na qual o gerador será instalado comporta a carga que será gerada pelos módulos.

3.1 AVALIAÇÃO DA ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DO AÇOUGUE

Boa parte da informação para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico se encontra na fatura de energia (Figura 23) da unidade consumidora. Nela é possível obter o histórico de consumo dos últimos 12 meses, tarifa homologada pela ANEEL e endereço (que será utilizado para encontrar a vista superior do telhado no Google® mapas).

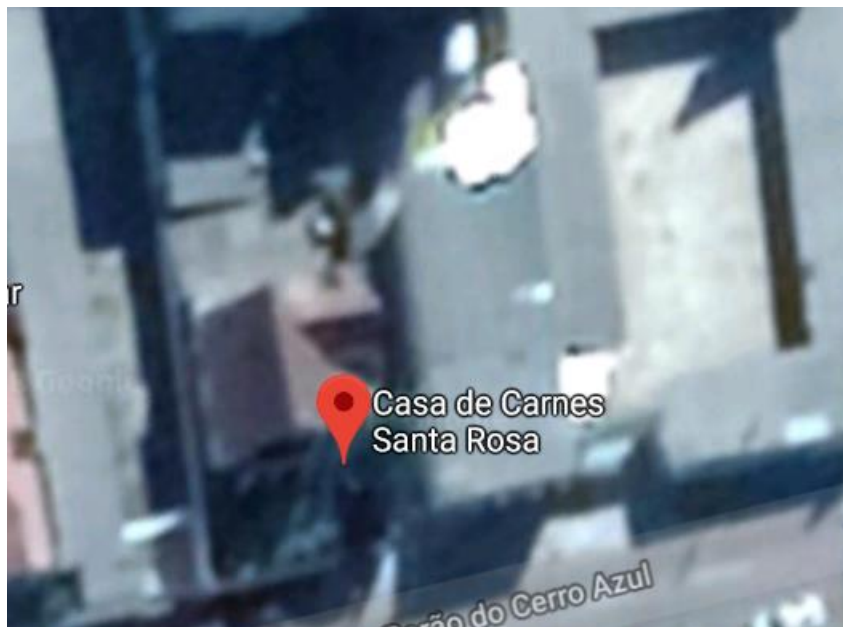
Figura 23 - Dados técnicos da fatura de energia.

Informações Técnicas											
No. Medidor:	TRIFASICO			Mes Referência: 09/2018							
Leitura Anterior:	Leitura Atual:	Medida:	Constante de	Total	Consumo	Data					
10/09/2018	11/09/2018	32 dias	Multiplicação:	Faturado	Médio/Dia	Apresentação					
10771	14677	3906 kWh	1,00	3906 kWh	122,96 kWh	11/09/2018					
Proxima Leitura Prevista:		10/10/2018		COMERCIO COM VAREJ DE CARNES - ACOUGUES							
Indicadores de Qualidade											
Conjunto: UVARANAS			Mes: 07/2018		Tensão Contratada:						
	DIC	FIC	DMIC	EUSD (R\$)	127 / 220 volts						
Realizado Mensal:	0,00 h	0,00	0,00 h	782,22	Limite faixa adequada de Tensão:						
Limite Mensal:	4,47 h	3,05	2,43 h		117 - 133 / 202 - 231 volts						
Limite Trimestral:	9,95 h	6,10									
Limite Anual:	17,91 h	12,20									
Histórico de Consumo e Pagamento											
						Media 3 meses: 3880 kWh					
MES	06/18	07/18	08/18	09/18	04/18	03/18	02/18	01/18	12/17	10/17	09/17
CONS	2910	3769	3971	4893	5322	4576	4567	5148	5554	4324	4570
PGTO	10/08	10/07	11/06	10/05	10/04	12/03	14/02	10/01	11/12	10/11	10/10
Valores Faturados											
NOTA FISCAL CONTA DE ENERGIA ELETRICA no. 37156693 Serie B											
Emitida em 11/09/2018											
Produto	Descricao	Un.	Consumo	Valor Unitario	Valor Total	Base de Calculo	Aliq. ICMS				
01	ENERGIA ELETRICA CONSUMO	kWh	3906	0,778760	3041,84	3041,84	29,00%				
02	ENERGIA CONS. B VERMELHA P2	kWh		299,67	-299,67		29,00%				
03	CONT. ILLUMIN. PUBLICA MUNICIPI			47,96							
Base de Calculo do ICMS:		3.341,51	Valor ICMS:		969,03	Valor Total da Nota Fiscal:					

Fonte: Autoria própria, 2018.

Para obter os dados de orientação do telhado do açougue foi necessário pesquisar pelo endereço no Google® mapas, de maneira a obter a vista superior do estabelecimento (Figura 24) e com o auxílio do *software* AutoCAD® mensurar o desvio azimutal do telhado (ângulo de desvio da orientação do telhado em relação ao Norte geográfico).

Figura 24 - Vista superior do telhado.



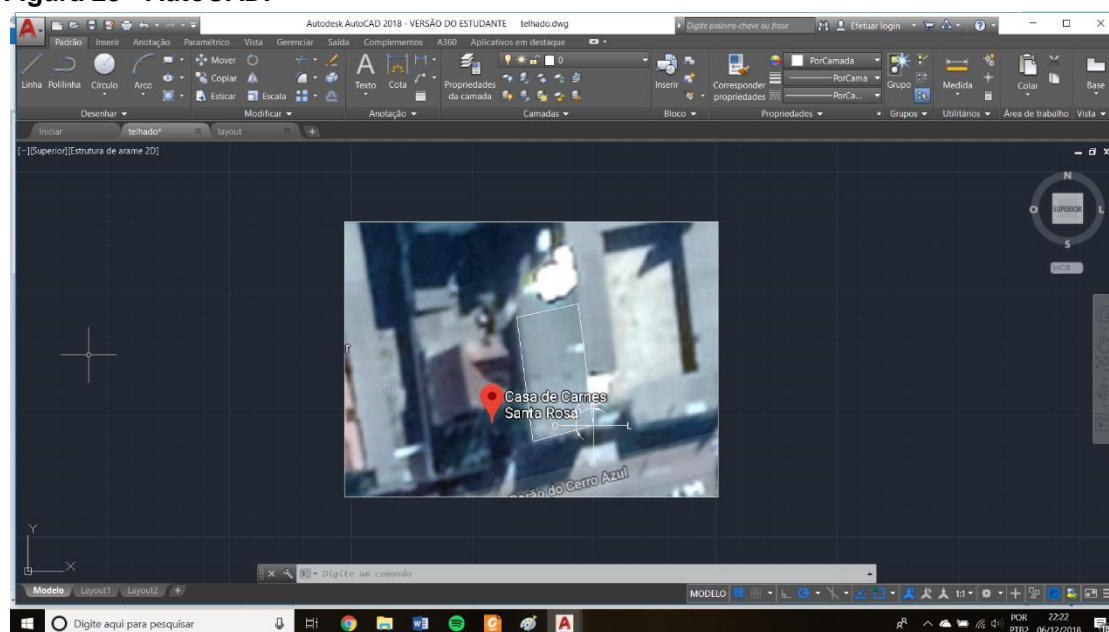
Fonte: Autoria própria, 2018.

A vista via satélite do Google® mapas exibe uma imagem que de maneira padrão está orientada para o Norte geográfico (geográfico). Desse modo, com uma captura de tela da imagem projetada pelo google é possível construir uma rosa dos ventos no AutoCAD.

Para realizar esta medição, foi preciso criar uma linha na vertical e outra perpendicular à esta na horizontal cruzando em seu ponto central. É possível obter este resultado com a ferramenta através do comando linha. A sequência da operação segue: selecionar o comando linha; definir um tamanho par que seja suficiente para ser visualizado em conjunto com o telhado do da captura de tela; selecionar o modo de indicação de ângulo; definir o ângulo de 90° na primeira reta; com o comando ainda ativo escolher o valor equivalente à metade do primeiro; definir o ângulo -90° e com os mesmos passos em ângulos diferentes (0° e 180°) criar a linha horizontal.

Na sequência foram criadas linhas no perímetro do telhado e posicionado o desenho anterior no nó inferior direito, visto que a orientação do telhado era para a esquerda, o contrário aconteceria se a orientação fosse para a direita. A Figura 25 ilustra a ferramenta após ser realizado os passos anteriormente citados.

Figura 25 - AutoCAD.



Fonte: Autoria própria. 2018.

Com a realização dos passos necessários no AutoCAD foi encontrado o valor de 105° para Oeste de desvio em relação ao Norte (Figura 26). Segundo a informação contida no ábaco apresentado na revisão bibliográfica, devido à baixa inclinação do sistema, o seu alto desvio azimutal não ocasiona um excessivo valor de perda, sendo que, para este caso, a perna seria inferior a dez por cento.

Figura 26 - Desvio azimutal do telhado.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Para este trabalho, o telhado utilizado é do tipo fibrocimento, que possui uma inclinação padrão de 8° , ao medir o telhado foi constatado que a área total disponível é de 140 metros quadrados para a instalação. Com estes dados, é possível iniciar o projeto de dimensionamento do gerador fotovoltaico.

3.2 DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR

Para encontrar a exata radiação anual incidente sobre a superfície do telhado é necessário também conhecer a latitude e longitude local, de maneira a filtrar esses

Figura 27 - Coordenadas.



Fonte: Autoria própria, 2018.

dados na planilha do atlas solarimétrico e calcular as perdas com o auxílio do *software* gratuito Radasol. Os dados de latitude e longitude também são obtidos através do google mapas (Figura 27).

O ATLAS solarimétrico fornece uma planilha com os dados HROR (irradiação global horizontal) para todo o território nacional dividido em áreas de dez mil metros quadrados (um hectare). Utilizando a ferramenta filtro do Excel (Figura 28) é possível encontrar a coordenada mais próxima da fornecida pelo google mapas. Esta planilha fornece o valor médio diário mensal da irradiação global horizontal, que posteriormente será utilizado no *software*. Radasol

Figura 28 - Dados de irradiação solar.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Coordenadas		Irradiação global horizontal (média diária mensal) - H _{HOR} - kWh/m ² /dia												
2	LONGITUDE	LATITUDE	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	MÉDIA ANUAL
4610	-50,18	-25,09	6,19	5,77	5,27	4,36	3,52	3,22	3,53	4,33	4,74	5,54	6,44	6,31	4,94
87226															

Fonte: Autoria própria, 2018.

O programa Radasol faz os cálculos para obter a HTOT (irradiação total) com a utilização dos dados fornecidos pelo ATLAS solarimétrico e também pelos dados de inclinação e orientação do telhado. O primeiro passo após abrir o programa é criar uma nova estação (Figura 29), os dados devem ser preenchidos conforme foram obtidos.

Figura 29 - Adicionar nova estação no programa Radasol.

Banco de Dados

País: Estação:

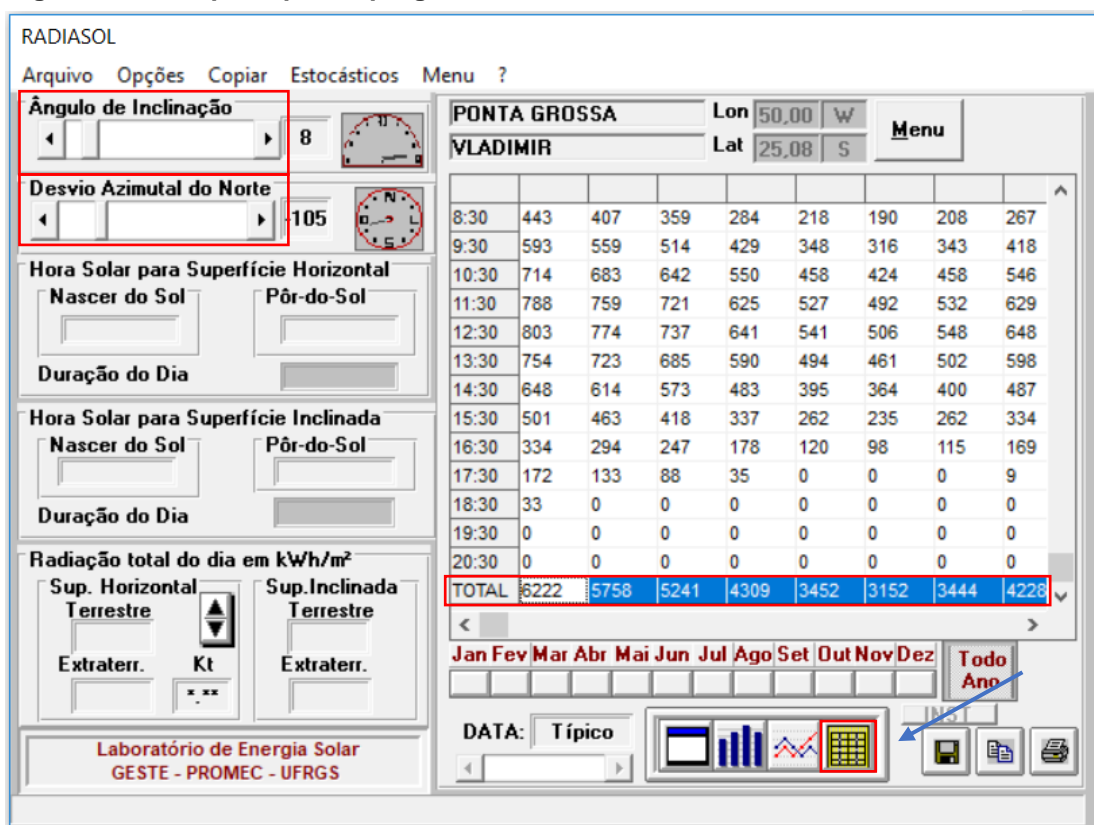
Latitude: N/S: Longitude: E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
6,19	5,77	5,27	4,36	3,52	3,22	3,53	4,33	4,74	5,54	6,44	6,31

Fonte: Autoria própria, 2018.

Ao prosseguir para a tela principal do programa, é necessário incluir os dados de inclinação e orientação do telhado, e clicar no botão destacado na Figura 30. O programa irá gerar uma tabela que na sua última linha contém a média do valor em kWh/m²/dia (kilo watt hora por metro quadrado por dia) que será incidido sobre a superfície do telhado em cada mês.

Figura 30 - Tela principal do programa Radiasol.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Para obter o valor mensal, o dado diário obtido é multiplicado pelo número de dias de cada mês – sistemas dimensionados mês a mês e não através da média anual apresentam um resultado mais preciso em relação à realidade. Para janeiro, ao multiplicar o valor 6,22 kWh/m²/dia ou 6,222 kWh/m²/dia por 31 dias obtém-se o valor 192,88 kWh/m². O *software* Excel pode ser utilizado para calcular todos os meses de forma rápida (Figura 31).

Figura 31 - Planilha do Excel.

	Irradiação mensal (kWh/m ²)												
Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Soma Anual
Quantidade de dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Htot = kWh/m ²	192,88	161,22	162,47	129,27	107,01	94,56	106,76	131,07	141,18	171,21	193,17	196,94	1.787,76

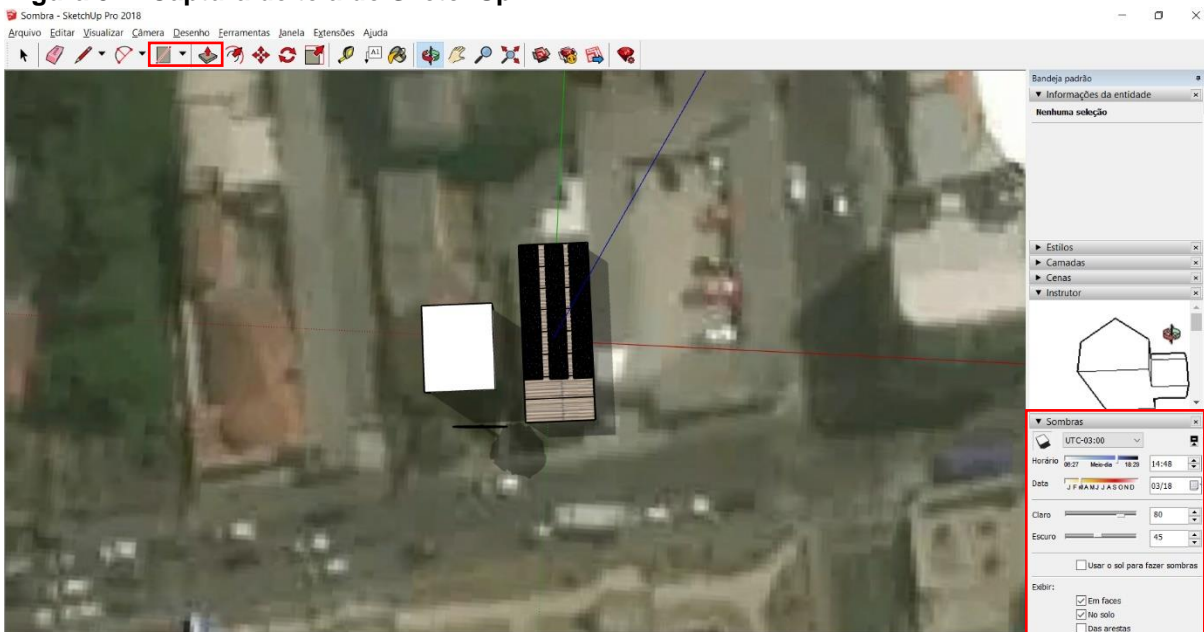
Fonte: Autoria própria, 2018.

3.3 ESTUDO DE SOMBREAMENTO

Para verificar se a localização é propícia para instalação do sistema, foi elaborado uma simulação de sombreamento com o auxílio do *software* SketchUp®. Para esta simulação, foi utilizada a mesma captura de tela utilizada no AutoCAD®.

Foi realizado um desenho tridimensional utilizando as ferramentas formas e empurrar/puxar do *software*, indicadas com uma marcação em vermelho (Figura 32). O *software* possui uma função para simulação de sombras, na qual é possível escolher qualquer data do ano e o horário desejado para projetar a sombra dos objetos desenhados. Por padrão o *software* adota uma linha verde indicando o norte geográfico.

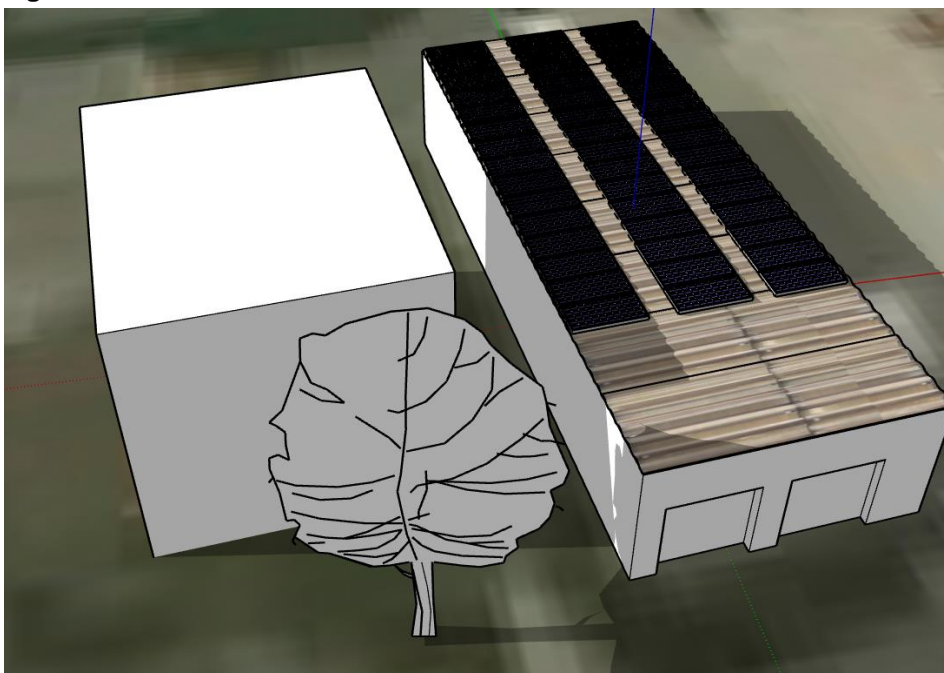
Figura 32 - Captura de tela do SketchUp.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Com esta avaliação, a conclusão foi que o ambiente é favorável, haja vista que o gerador aproveita a energia durante o horário de sol a pico, que está entre 10h e 15h aproximadamente, (Atlas, 2017). Ao considerar a data de 15 de outubro às 16h para efeito de simulação, a sombra projetada pode ser observada na Figura 33.

Figura 33 - Estudo de sombreamento.



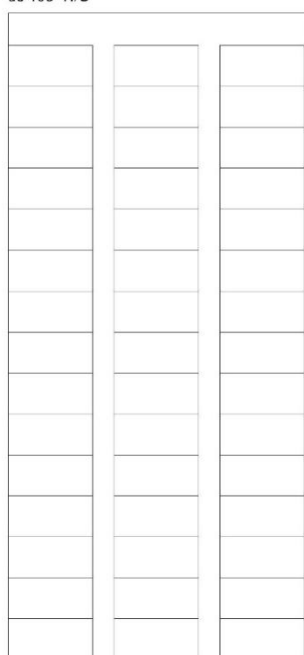
Fonte: Autoria própria, 2018.

3.4 LEIAUTE DE MONTAGEM

Para a melhor acomodação dos módulos sobre o telhado, ficou definido que o ideal seriam 3 fileiras de 20 módulos (Figura 34).

Figura 34 – Leiaute de instalação.

Inclinação aproximada de 8° com orientação de 105° N/O



Frente virada para a rua

Fonte: Autoria própria, 2018.

3.5 DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO

Para dimensionar um gerador fotovoltaico são utilizados o consumo anual e a porcentagem que se deseja obter deste consumo ou respeitar a área de telhado disponível. A Equação 1 demonstra a matemática empregada para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico com base na energia desejada em um período de tempo em kWh (PINHO, 2014).

$$P_{fv} = E * \frac{G_{stc}}{H_{tot} * TD} \quad (1)$$

Onde:

P_{fv} – Potência do gerador fotovoltaico [kWp];

E – Energia gerada [kWh];

H_{tot} – Irradiação total [Wh/m²/dia];

TD – Taxa de desempenho [adimensional];

G_{stc} – Condições padrão de teste dos módulos [1 kW/m²].

Com a aplicação dos valores deste estudo de caso é obtido a Equação 2.

$$P_{fv} = \frac{54.307 * 1000}{1.786,76 * 0,75} \quad (2)$$

Neste cálculo, 54.307 kWh é a energia consumida anualmente pelo estabelecimento, 1000 W/m² representa a condição STC. No denominador, 1.786,76 kWh/m² equivale ao valor de energia que será projetada sobre o telhado no período de um ano – dado obtido após realizar as devidas especificações de orientação e inclinação com o auxílio do *software* Radasol.

O valor 0,75 demonstra a taxa de desempenho do sistema. Este valor existe devido a diversas perdas que uma instalação fotovoltaica está submetida. Pode-se citar: reflexão – 4%; variações na qualidade do módulo – 0,5%; sujeira – 2 a 5%; sombreamento – 1 a 5%; temperatura – 4 a 11%; cabeamento CC – 1 a 2%; MPP tracker – 0,5% e cabeamento CA – 1 a 2% (ELEKTSOLAR, 2018). A taxa de desempenho de um sistema costuma ser entre 75 e 80%, a qualidade da instalação e dimensionamento é um fator que influencia de forma significativa neste valor.

Ao efetuar o cálculo obtém-se o valor de 40.525 kWp, que é a potência do gerador para suprir todo o consumo anual do estabelecimento. Com este valor, a próxima etapa foi calcular quantos módulos seriam necessários serem instalados para avaliar se o telhado comportaria. O modelo de módulo considerado é o Q.PEAK L-

54.2 360-370 (*datasheet* se encontra no ANEXO A) da marca QCELLS, que possui uma eficiência elevada, a potência do módulo é 360 kWp. A seguinte equação foi utilizada:

$$\text{Módulos: } \frac{40.525}{360} \quad (3)$$

A Equação 3 apresenta o cálculo que resulta na quantidade de módulos necessários para atender ao sistema previamente dimensionado, neste caso seriam necessários 113 módulos de 360 Wp. Considerando que cada módulo possui 2 metros quadrados de área, o espaço necessário seriam 226 metros quadrados. O telhado possui 140 metros quadrados de área, o que inviabiliza a instalação de um sistema para suprir 100% da demanda.

Após a constatação anterior, foi considerado respeitar um limite de 120 metros quadrados para a instalação do sistema, assim, sobraria espaço para caminhar entre as fileiras de módulos. Nesse sentido, 60 módulos de dois metros quadrados poderiam ser instalados, ao considerar o modelo citado de 360 Wp, o resultado é um sistema de 21,6 kWp. Ao modular a Equação 1 é possível encontrar a Equação 4, que resulta na quantidade de energia gerada para um dado sistema.

$$E = Pfv \cdot \frac{H_{tot} \cdot TD}{G_{stc}} \quad (4)$$

Onde:

E – Energia gerada [kWh];

Pfv – Potência do gerador fotovoltaico [kWp];

Htot – Irradiação total [Wh/m²/dia];

TD – Taxa de desempenho [adimensional];

Gstc – Condições padrão de teste dos módulos [1 kW/m²].

Ao efetuar o cálculo, o resultado é um total de 28.961 kWh/ano de energia a ser gerada. Como o consumo total é 54.307 kWh, este gerador será capaz de atender à 53,32% da energia consumida. Este resultado é obtido ao efetuar o cálculo apresenta na Equação 5.

$$E = 21,6k * \frac{1.786,76 * 0,75}{1000} \quad (5)$$

3.5.1 Dimensionamento do inversor

Com o valor referente a potência do sistema já calculado, é preciso dimensionar os componentes que farão parte do gerador. São eles: módulos fotovoltaicos, que já foram definidos anteriormente, inversor, cabos e dispositivos de proteção.

Para escolher o inversor a ser utilizado, é possível que este seja com uma potência de saída menor do que a do conjunto gerador, devido às perdas. Para este caso foi selecionado o inversor ABB TRIO 20.0/27.6-TL-OUTD (*datasheet* ANEXO B). Algumas características do gerador devem ser respeitadas para seu bom funcionamento. São elas: tensão de circuito aberto, corrente de curto circuito e potência máxima.

Segundo o *datasheet* do inversor escolhido, este modelo possui dois MPPTs (*Maximum power point tracking* ou seguidor de máxima potência em português), isto significa que podem ser ligados circuitos com número de módulos distintos em cada MPPT. Para a aplicação deste trabalho isso não se faz necessário, visto que todos os módulos estarão com a mesma disposição de inclinação e orientação.

Os dados de tensão de circuito aberto, corrente de curto circuito e potência máxima para cada MPPT deste inversor são respectivamente 880 V, 30 A e 12000 W. Estes serão os dados a serem levados em consideração para o esquema elétrico de ligação do arranjo fotovoltaico.

Para efeito de otimização, os inversores fotovoltaicos são interligados logo após o disjuntor geral, de maneira que sempre a energia gerada será injetada na rede, a menos que o disjuntor geral seja desligado ou a rede fique fora de operação (ELEKTSOLAR, 2018).

O motivo pelo qual os inversores fotovoltaicos desligam em consonância com a rede elétrica é porque estes possuem uma função chamada anti-ilhamento, que se a norma da IEEE 1547. O anti-ilhamento tem como objetivo proteger o sistema de geração distribuída contra eventuais danos.

3.5.2 Interligação dos módulos

Para otimizar a instalação e respeitar as características do inversor foi determinado um arranjo de 15 módulos em série com duas séries em paralelo para cada MPPT.

Assim, como a tensão de circuito aberto de cada módulo informada pelo *datasheet* é de 44,52 V, obtém-se 667,8 V de tensão de circuito aberto máximo com 15 módulos em série. A corrente máxima de curto circuito de cada módulo é 7,97 A, com duas associações em paralelo a corrente chega a 15,95 A, também dentro da tolerância do inversor. A potência máxima entre ao gerador será de 10800 W.

Sabendo-se a disposição dos módulos fotovoltaicos e com o inversor definido, a próxima etapa são os dispositivos de proteção.

3.5.3 Disjuntores e DPS para corrente contínua

Para este projeto, não se faz necessário a utilização de chave seccionadora, visto que o próprio inversor de frequência escolhido possui uma chave eletrônica integrada utilizada para desconectar a tensão CC de sua entrada.

Foi dimensionado a utilização de dois disjuntores bifásicos de 20 A para o seccionamento e proteção dos condutores CC (corrente contínua), visto que a corrente de curto circuito dos arranjos de 15 módulos ligados em paralelo é 15,95 A.

Para os dispositivos de proteção contra surtos (DPS), foi considerado o modelo da CLAMPER Solar, será utilizado um DPS para cada fase como de acordo com a norma ABNT NBR 5410 de 2014 e estes deverão serem ligados ao aterramento. Este modelo, classe II, suporta tensão nominal até 1 kV e possui uma corrente de descarga total de 40 kA para surtos atmosféricos com onda de 8/20us.

3.5.4 Cabeamento CC

Os cabos utilizados em instalações de geradores fotovoltaicos devem possuir dupla isolamento (1kV) e proteção contra raios UV (Ultravioleta). Segundo Creder (2016) é possível obter a seção transversal do condutor em através da Equação 6.

$$S = \frac{2 * \rho * \sum I * l}{u} \quad (6)$$

Onde:

S – Seção do condutor [mm²];

ρ – Resistividade do cobre [0,0178 ohm.mm²/m];

I – Corrente aparente nominal [A];

L – Comprimento em metro [m];

U – Queda de tensão absoluta [V].

Para este trabalho, a Equação 6 foi adaptada, de modo que fosse possível utilizar os dados do projeto de forma simplificada para calcular a seção transversal. A Equação 7 demonstra o resultado da adaptação.

$$S = \frac{2 * \rho * \sum I * n * l}{a * u} \quad (7)$$

Onde:

S – Seção do condutor [mm²];

ρ – Resistividade do cobre [0,0178 ohm.mm²/m];

I – Corrente aparente nominal do módulo [A];

n – Número de fileiras em paralelo [adimensional];

L – Comprimento em metro [m];

a – Quantidade de módulos em série [adimensional];

U – Queda de tensão absoluta nos condutores [V].

Após efetuar o cálculo da Equação 8 foi obtido o valor 1,30 (mm²). Para efeito de dimensionamento foi considerado o cabo de 4 mm², visto que são os mais comumente encontrados no mercado com proteção UV para sistemas fotovoltaicos.

$$S = \frac{2 * 0,0178 * 8,14 * 2 * 30}{15 * 0,89} \quad (8)$$

3.5.5 Disjuntores e DPS para corrente alternada

O disjuntor adotado para ser ligado à saída do inversor antes de conectar à rede elétrica é de 40 A, haja vista que a corrente de saída máxima do inversor é de

40 A. Da mesma maneira que o circuito CC, para este foram considerados um DPS para cada fase. O modelo de DPS a ser utilizado será da Schneider, modelo PRD1 25R 25KA 3P CL I+, para CA, classe II, que suporta tensão nominal CA entre 230 V e 400 V e possui corrente máxima de descarga de 40 kA. O tempo de resposta é $\leq 25\text{ns}$.

3.5.6 Cabeamento CA

Para a ligação dos cabos de corrente alternada são considerados condutores com proteção para 750V. A seção transversal mínima utilizada é $2,5\text{mm}^2$ (ABNT, 2004). A Equação 9 foi adaptada para ser utilizada para determinar a seção transversal mínima para o condutor a ser ligado entre a saída do inversor e a rede no circuito trifásico (CREDER, 2016).

$$S = \sqrt{3} * \rho * \frac{\sum I * l}{a * u} \quad (9)$$

Onde:

S – Seção do condutor [mm^2];

ρ – Resistividade do cobre [$0,0178 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$];

I – Corrente aparente nominal do módulo [A];

L – Comprimento em metro [m];

a – Quantidade de módulos em série [adimensional];

U – Queda de tensão absoluta nos condutores [V].

Através do resultado obtido com a Equação 10, a seção mínima é de $4,61 \text{ mm}^2$. Devido aos padrões dos fabricantes, foi considerado um condutor com seção de 6mm^2 .

$$S = \frac{\sqrt{3} * 0,0178 * 33 * 30}{220 * 0,01 * 3} \quad (10)$$

3.5.7 Diagrama elétrico

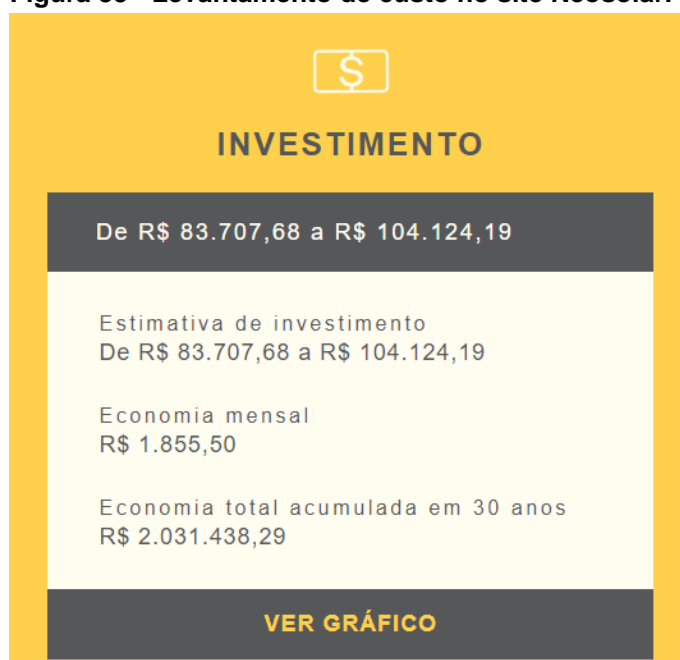
De modo a respeitar as especificações do inversor e manter a homogeneidade do sistema foi determinado que o ideal seria um arranjo de 15 módulos em série com duas séries ligadas em paralelo para cada MPPT (APÊNDICE B).

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE FINANCEIRA

Para realizar a análise financeira de um gerador fotovoltaico de 21,6 kWp foi utilizado o valor de investimento encontrado no simulador solar do site Neosolar. O site informou um valor entre R\$ 83.707,68 e R\$ 104.124,19 (Figura 35) para a instalação do sistema, esta variação ocorre devido a diferença de valores entre as diferentes marcas de produtos. Foi considerado para a pesquisa o valor de R\$ 104.124,19.

Figura 35 - Levantamento de custo no site Neosolar.



Fonte: Captura de tela da página Neosolar. 2018.

Foram utilizados métodos da matemática financeira para obter a viabilidade financeira do sistema. A planilha de cálculos está disponível no APÊNDICE A. O gerador dimensionado é capaz de gerar 28.961 kWh/ano para o local onde foi especificado, considerando a tarifa vigente para consumidor da classe B3 (estabelecimentos comerciais) no site da COPEL, isso representa uma economia no primeiro ano de aproximadamente R\$ 22.300,00. A vida útil de um sistema pode ultrapassar 35 anos, porém como a garantia dos módulos é de 25 anos, foi utilizado esse valor para os cálculos de retorno do investimento.

Naturalmente o sistema tem perdas por degradação, nos cálculos realizados foram consideradas as seguintes perdas na geração: 2,5% no primeiro ano, 0,7% ao

ano após o primeiro ano. O CAPEX é o valor aportado no sistema de R\$ 104.124,20, foi considerado um OPEX de 0,5% do CAPEX com reajuste de 10% ao ano.

A taxa mínima de atratividade (TMA) considerada é de 6,5% ao ano, este seria o valor de rendimento em uma aplicação no tesouro SELIC sem descontar os impostos. Após efetuar os cálculos foram obtidos resultados satisfatórios. O valor presente líquido (VPL) no ano 25 é R\$ 528.968,12, a taxa interna de retorno (TIR) registrou 29,99% ao ano no ano 25. O investimento leva um tempo total de quatro anos e oito meses para ser liquidado, abaixo de 5 anos que é o prazo que muitas empresas estipulam.

O custo nivelado com o sistema fotovoltaico foi R\$ 0,237 por kWh, uma diferença de R\$ 0,53 por kWh a menos do valor cobrado pela concessionária. Após realizar a análise financeira foi constatado que a instalação do sistema para este caso se torna extremamente viável do ponto de vista financeiro, além de ser uma alternativa a fontes não renováveis e contribuir com o sistema da concessionária, tendo em vista que o inversor possui tensão de saída estabilizada.

5 CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos, concluiu-se que a instalação de um sistema fotovoltaico neste açougue é uma alternativa física e financeiramente viável.

Após realizar o estudo do potencial de geração de energia elétrica advinda do sol no local, ficou constatado que há radiação suficiente para um bom desempenho. Foi feito um comparativo entre o local da instalação e a Alemanha – país que atende a maior porcentagem da matriz energética através de geração fotovoltaica no mundo – e constatado que o local possui melhor radiação solar em comparação com o melhor local de radiação da Alemanha.

Após determinado a dimensão do sistema, que ficou restrito pela área disponível no telhado, foi feita uma pesquisa para levantar qual seria o investimento necessário para aquisição. Foi utilizado como base a informação obtida no site Neosolar. Uma análise financeira foi feita com esse dado e então concluído que o sistema se pagaria em quatro anos e oito meses.

Este trabalho dá a oportunidade para futuros alunos que desejam envolverem-se com energia solar. A base para o projeto de um sistema está contida neste trabalho e um estudo mais detalhado com o emprego de técnicas mais modernas pode ser realizado em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABNT, 2004. Instalações elétricas de baixa tensão.

IBGE, 2010. Censo de 2010. Disponível em <https://censo2010.ibge.gov.br/>.

ANEEL, 2012. Resolução Normativa 482 de 2012. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.

ABSOLAR, 2018. Energia solar fotovoltaica, primeiro gigawatt no Brasil. Disponível em <http://absolar.org.br/energia-solar-fotovoltaica-atinge-primeiro-gigawatt-no-brasil.html>.

COPEL, 2018. Reajuste das tarifas em cada ano. Disponível em <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F04afb43850ca33c503257488005939b7>.

ALMEIDA et al, 2015. Estudo técnico: integração de uma usina FV de 550 kWp ao sistema elétrico isolado da ilha de Fernando de Noronha. Relatório IEE/IES-ET-8, 2015.

ATLAS, 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar. Disponível em [http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas Brasileiro Energia Solar 2a Edicao.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf).

ELEKTSOLAR, 2018. Informações obtidas durante o curso de Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.

PRADO, G. O.; ULHOA, T. F.; DAMASCENO, J. J.; VIEIRA, L. G. Estado Da Arte Em Tecnologias De Captação Da Energia Solar Para Fins Térmicos, 2014.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.

Santos, Ísis & Ruther, Ricardo & Nascimento, Lucas & Carlos Pereira Junior, Luis., 2012. ÁBACOS PARA ANÁLISE SIMPLIFICADA DE ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS A EDIFICAÇÕES.

ABSOLAR, 2017. O crescimento da energia solar. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/o-crescimento-da-energia-solar-fotovoltaica.html>.

STETZ, T.; MARTEN, F.; BRAUN, M., 2013. *Improved Low Voltage Grid-Integration of Photovoltaic Systems in Germany*, in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 4, no. 2, pp. 534-542.

ENERGYSAGE, 2018. *The top 10 list of solar panel manufacturers (Global)*. Disponível em: <https://news.energysage.com/best-solar-panel-manufacturers-usa/>.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L., 2007. Fundamento de topografia.

CREDER, H., 2016. Instalações Elétricas, ed. 16.

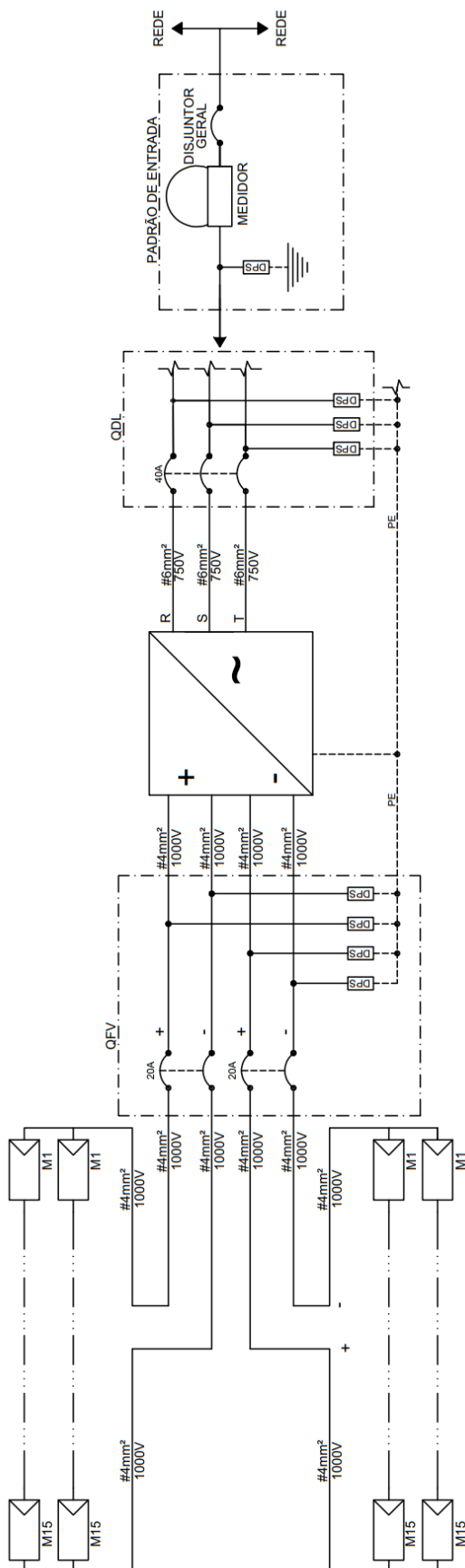
APÊNDICE A – Planilha de cálculos.

Geração			Receitas	
Ano	Geração útil	Tarifa	Reembolso	Financeira
0	-	0,77	-	-
1	28.961,66	0,84	24.218,32	-
2	28.237,62	0,91	25.643,57	-
3	28.039,96	0,99	27.653,98	-
4	27.843,68	1,07	29.821,99	-
5	27.648,77	1,16	32.159,98	-
6	27.455,23	1,26	34.681,25	-
7	27.263,04	1,37	37.400,19	-
8	27.072,20	1,49	40.332,30	-
9	26.882,70	1,62	43.494,27	-
10	26.694,52	1,76	46.904,13	-
11	26.507,66	1,91	50.581,32	-
12	26.322,10	2,07	54.546,79	-
13	26.137,85	2,25	58.823,15	-
14	25.954,88	2,44	63.434,77	-
15	25.773,20	2,65	68.407,93	-
16	25.592,79	2,88	73.770,98	-
17	25.413,64	3,13	79.554,47	-
18	25.235,74	3,40	85.791,38	-
19	25.059,09	3,69	92.517,26	-
20	24.883,68	4,01	99.770,42	-
21	24.709,49	4,35	107.592,23	-
22	24.536,53	4,73	116.027,24	-
23	24.364,77	5,14	125.123,55	-
24	24.194,22	5,58	134.932,98	-
25	24.024,86	6,06	145.511,46	-

Despesas				
CAPEX	OPEX	ICMS	Financeira	TOTAL
(104.124,20)	-	-	-	(104.124,20)
-	(520,62)	-	-	(520,62)
-	(572,68)	-	-	(572,68)
-	(629,95)	-	-	(629,95)
-	(692,95)	-	-	(692,95)
-	(762,24)	-	-	(762,24)
-	(838,47)	-	-	(838,47)
-	(922,31)	-	-	(922,31)
-	(1.014,54)	-	-	(1.014,54)
-	(1.116,00)	-	-	(1.116,00)
-	(1.227,60)	-	-	(1.227,60)
-	(1.350,36)	-	-	(1.350,36)
-	(1.485,39)	-	-	(1.485,39)
-	(1.633,93)	-	-	(1.633,93)
-	(1.797,32)	-	-	(1.797,32)
-	(1.977,06)	-	-	(1.977,06)
-	(2.174,76)	-	-	(2.174,76)
-	(2.392,24)	-	-	(2.392,24)
-	(2.631,46)	-	-	(2.631,46)
-	(2.894,61)	-	-	(2.894,61)
-	(3.184,07)	-	-	(3.184,07)
-	(3.502,48)	-	-	(3.502,48)
-	(3.852,73)	-	-	(3.852,73)
-	(4.238,00)	-	-	(4.238,00)
-	(4.661,80)	-	-	(4.661,80)
-	(5.127,98)	-	-	(5.127,98)

Fluxo de Caixa		
FC anual	FC Descontado	FC Acumulado
(104.124,20)	(104.124,20)	(104.124,20)
23.697,70	22.251,36	(81.872,84)
25.070,89	22.103,98	(59.768,86)
27.024,02	22.371,81	(37.397,05)
29.129,04	22.642,68	(14.754,37)
31.397,73	22.916,60	8.162,24
33.842,79	23.193,62	31.355,85
36.477,88	23.473,74	54.829,60
39.317,75	23.757,01	78.586,61
42.378,27	24.043,45	102.630,06
45.676,53	24.333,08	126.963,14
49.230,96	24.625,93	151.589,07
53.061,40	24.922,03	176.511,10
57.189,22	25.221,41	201.732,50
61.637,45	25.524,08	227.256,58
66.430,87	25.830,09	253.086,67
71.596,21	26.139,44	279.226,11
77.162,23	26.452,18	305.678,29
83.159,92	26.768,32	332.446,61
89.622,65	27.087,89	359.534,50
96.586,35	27.410,92	386.945,42
104.089,75	27.737,43	414.682,85
112.174,52	28.067,44	442.750,30
120.885,55	28.400,98	471.151,28
130.271,18	28.738,08	499.889,36
140.383,48	29.078,75	528.968,12

APÊNDICE B – Diagrama elétrico.



ANEXO A – Datasheet do módulo fotovoltaico.



The Q.ANTUM solar module Q.PEAK L-G4.2 with power classes up to 370 Wp is the strongest module of its type on the market globally. Powered by 72 Q.ANTUM solar cells Q.PEAK L-G4.2 was specially designed for large solar power plants to reduce BOS costs. Only Q CELLS offers German engineering quality with our unique Q CELLS Yield Security.



LOW ELECTRICITY GENERATION COSTS

Higher yield per surface area and lower BOS costs thanks to higher power classes and an efficiency rate of up to 18.8%.



INNOVATIVE ALL-WEATHER TECHNOLOGY

Optimal yields, whatever the weather with excellent low-light and temperature behavior.



ENDURING HIGH PERFORMANCE

Long-term yield security with Anti PID Technology¹, Hot-Spot Protect and Traceable Quality Tra.Q™.



EXTREME WEATHER RATING

High-tech aluminum alloy frame, certified for high snow (5400 Pa) and wind loads (2400 Pa).



A RELIABLE INVESTMENT

Inclusive 12-year product warranty and 25-year linear performance guarantee².



¹ APT test conditions according to IEC/TS 62804-1:2015, method B (-1500V, 168h)

² See data sheet on rear for further information.

THE IDEAL SOLUTION FOR:

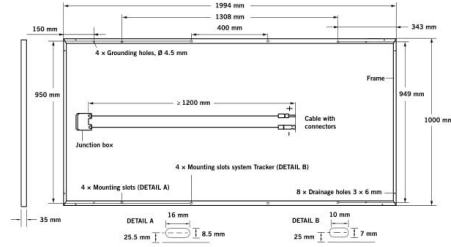


Ground-mounted solar power plants

Engineered in **Germany**

Q CELLS

MECHANICAL SPECIFICATION	
Format	1994 mm × 1000 mm × 35 mm (including frame)
Weight	23 kg
Front Cover	3.2 mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Anodised aluminium
Cell	6 × 12 monocrystalline Q.ANTUM solar cells
Junction box	85-115 × 60-80 × 15-19 mm, Protection class ≥ IP67, with bypass diodes
Cable	4 mm ² Solar cable; (+) ≥ 1200 mm, (–) ≥ 1200 mm
Connector	Multi-Contact MC4-EVO 2 or Amphenol UTX; IP68



ELECTRICAL CHARACTERISTICS		360	365	370	
POWER CLASS					
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC ¹ (POWER TOLERANCE +5 W / -0 W)					
Minimum	Power at MPP¹	P_{MPP}	360	365	370
	Short Circuit Current¹	I_{SC}	9.82	9.88	9.94
	Open Circuit Voltage¹	V_{OC}	47.32	47.60	47.89
	Current at MPP	I_{MPP}	9.29	9.36	9.44
	Voltage at MPP	V_{MPP}	38.76	38.98	39.19
	Efficiency¹	η	≥ 18.1	≥ 18.3	≥ 18.6
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NMOT ²					
Minimum	Power at MPP	P_{MPP}	268.7	272.4	276.1
	Short Circuit Current	I_{SC}	7.91	7.96	8.01
	Open Circuit Voltage	V_{OC}	44.52	44.79	45.06
	Current at MPP	I_{MPP}	7.30	7.36	7.43
	Voltage at MPP	V_{MPP}	36.82	37.00	37.18

¹Measurement tolerances P_{MPP} ± 3%; I_{SC}, V_{OC} ± 5% at STC: 1000 W/m², 25 ± 2 °C, AM 1.5 G according to IEC 60904-3 · 2800 W/m², NMOT, spectrum AM 1.5 G

Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY	PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE
<p>At least 98% of nominal power during first year. Thereafter max. 0.6% degradation per year. At least 92.6% of nominal power up to 10 years. At least 83.6% of nominal power up to 25 years.</p> <p>All data within measurement tolerances. Full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organisation of your respective country.</p> <p><small>Standard terms of guarantee for the 10 PV companies with the highest production capacity in 2014 (as at September 2014)</small></p>	<p>Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25 °C, 1000 W/m²).</p>

TEMPERATURE COEFFICIENTS					
Temperature Coefficient of I_{SC}	α [%/K]	+0.04	Temperature Coefficient of V_{OC}	β [%/K]	-0.28
Temperature Coefficient of P_{MPP}	γ [%/K]	-0.39	Normal Module Operating Temperature	NMOT [°C]	43 ± 3 °C

PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN				
Maximum System Voltage	V_{sys} [V]	1500	Safety Class	II
Maximum Reverse Current	I_r [A]	20	Fire Rating	C/TYP 1
Max. Design Load, Push / Pull	[Pa]	3600/1600	Permitted Module Temperature on Continuous Duty	-40 °C up to +85 °C
Max. Test Load, Push / Pull	[Pa]	5400/2400		

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES	PACKAGING INFORMATION	
IEC 61215:2016; IEC 61730:2016, Application class A This data sheet complies with DIN EN 50380.	Number of Modules per Pallet	29
	Number of Pallets per 40' High Cube Container	22
	Number of Modules per 40' High Cube Container	638

NOTE: Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Hanwha Q CELLS Australia Pty Ltd
1402, 20 Berry St., North Sydney NSW 2060, Australia | TEL +61 (0) 29016 3033 | FAX +61 (0) 29016 3032 | EMAIL q-cells-australia@q-cells.com | WEB www.q-cells.com.au

Engineered in Germany



Specifications subject to technical changes © Hanwha Q CELLS Q.PEAK.LG4-2_360-370_2018-03_Rev02_AU

ANEXO B – Datasheet do inversor.



SOLAR INVERTERS

ABB string inverters

TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD

20 to 27.6 kW



01

—
01
TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD
outdoor string inverter

The dual input section containing two independent Maximum Power Point Tracking (MPPT), allows optimal energy harvesting from two sub-arrays oriented in different directions.

The TRIO features a high speed and precise MPPT algorithm for real power tracking and improved energy harvesting.

High efficiency at all output levels

Flat efficiency curves ensure high efficiency at all output levels guaranteeing consistent and stable performance across the entire input voltage and output power range.

This device has an efficiency rating of up to 98.2%.

The very wide input voltage range makes the inverter suitable for installations with reduced string size.

The TRIO 20.0/27.6 commercial inverter offers more flexibility and control to installers who have large installations with varying aspects or orientations.

Highlights

- True three-phase bridge topology for DC/AC output converter
- Transformerless topology
- Each inverter is set on specific grid codes which can be selected in the field
- Detachable wiring box to allow an easy installation
- Wide input voltage range
- Integrated string combiner with different options of configuration which include DC and AC disconnect switch in compliance with international standards (S2, S1J, -S2J, -S2F and -S2X versions)
- Natural convection cooling for maximum reliability
- Outdoor enclosure for unrestricted use under any environmental conditions
- Capability to connect external sensors for monitoring environmental conditions
- Availability of auxiliary DC output voltage (24 V, 300 mA)

PRODUCT FLYER FOR TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD ABB SOLAR INVERTERS

ABB string inverters

TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD

20 to 27.6 kW

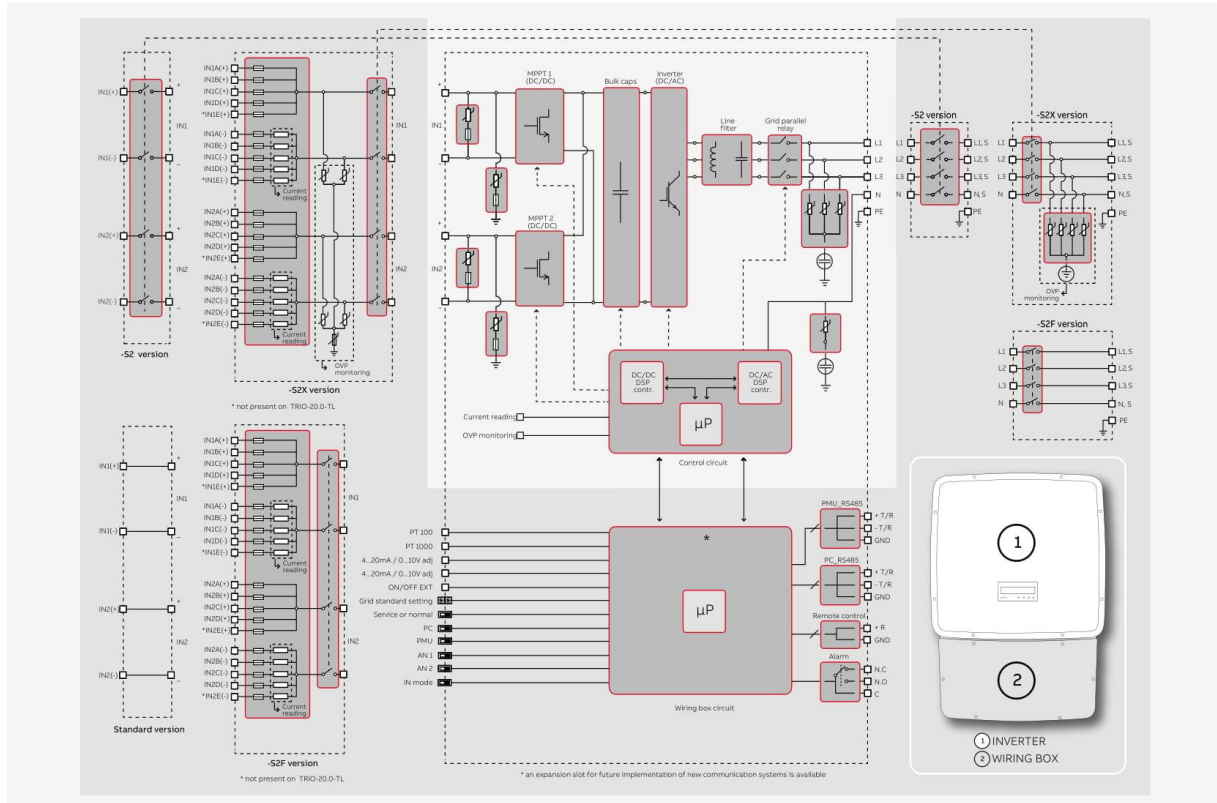


Technical data and types

Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Input side		
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,abs}$)	1000 V	
Start-up DC input voltage (V_{start})	430 V (adj. 250...500 V)	
Operating DC input voltage range ($V_{dcmin}...V_{dcmax}$)	0.7 x $V_{start}...950$ V (min 200 V)	
Rated DC input voltage (V_{dc})	620 V	
Rated DC input power (P_{dc})	20750 W	28600 W
Number of independent MPPT	2	
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPTmax}$)	12000 W	16000 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{dc}	440...800 V	500...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null [800 V ≤ V_{MPPT} ≤ 950 V]	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at P_{dc} , max unbalance example	12000 W [480 V ≤ V_{MPPT} ≤ 800 V] the other channel: P_{dc} -12000 W [350 V ≤ V_{MPPT} ≤ 800 V]	16000 W [500 V ≤ V_{MPPT} ≤ 800 V] the other channel: P_{dc} -16000 W [400 V ≤ V_{MPPT} ≤ 800 V]
Maximum DC input current (I_{dcmax}) / for each MPPT ($I_{MPPTmax}$)	50.0 A / 25.0 A	64.0 A / 32.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	30.0 A	40.0 A
Number of DC input pairs for each MPPT	1 (4 in -S2X, -S2F, -S1J, -S2J versions)	1 (5 in -S2X and -S2F versions, 4 in -S1J and -S2J)
DC connection type	PV quick fit connector ³⁾ / Screw terminal block on Standard and -S2 versions	
Input protection		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes, 4	
Input over voltage protection for each MPPT - plug in modular surge arrester (-S2X, -S1J and -S2J versions)	-S2X: Type 2; -S1J, -S1J: Type 1+2	
Photovoltaic array isolation control	According to local standard	
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	40 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V	
Output side		
AC grid connection type	Three-phase 3W+PE or 4W+PE	
Rated AC power ($P_{acr} @ \cos\phi=1$)	20000 W	27600 W
Maximum AC output power ($P_{acmax} @ \cos\phi=1$)	22000 W ⁴⁾	30000 W ⁵⁾
Maximum apparent power (S_{max})	22200 VA	30670 VA
Rated AC grid voltage (V_{acr})	400 V	
AC voltage range	320...480 V ¹⁾	
Maximum AC output current ($I_{ac,max}$)	33.0 A	45.0 A
Contributory fault current	35.0 A	46.0 A
Rated output frequency (f_r)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	47...53 Hz / 57...63 Hz ²⁾	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. ± 0.9 with $P_{acr}=20.0$ kW, ± 0.8 with max 22.2 kVA	> 0.995, adj. ± 0.9 with $P_{acr}=27.6$ kW, ± 0.8 with max 30 kVA
Total current harmonic distortion	< 3%	
AC connection type	Screw terminal block, cable gland PG36	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum external AC overcurrent protection	50.0 A	63.0 A
Output overvoltage protection - varistor	4	
Output overvoltage protection - plug in modular surge arrester (-S2X version)	4 (Type 2)	
Operating performance		
Maximum efficiency (η_{max})	98.2%	
Weighted efficiency (EURO/CEC)	98.0% / 98.0%	
Feed in power threshold	40 W	
Night consumption	< 0.6 W	
Communication		
Wired local monitoring	PVI-USB-RS232_485 (opt.)	
Remote monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.), VSN700 Data Logger (opt.)	
Wireless local monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.)	
User interface	Graphic display	

PRODUCT FLYER FOR TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD ABB SOLAR INVERTERS

ABB TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD string inverter block diagram



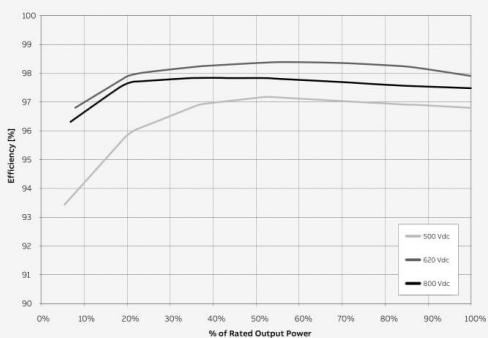
Technical data and types

Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Environmental		
Ambient temperature range	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 45°C/113°F	
Relative humidity	0...100% condensing	
Sound pressure level, typical	50 dBA @ 1 m	
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft	
Physical		
Environmental protection rating	IP65	
Cooling	Natural	
Dimension (H x W x D)	1061 mm x 702 mm x 292 mm / 41.7" x 27.6" x 11.5"	
Weight	< 70.0 kg / 154.3 lbs (Standard version)	< 75.0 kg / 165.4 lbs (Standard version)
Mounting system	Wall bracket	
Safety		
Isolation level	Transformerless	
Marking	CE (50 Hz only), RCM	
Safety and EMC standard	EN 50178, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, AS/NZS 3100, AS/NZS 60950.1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, CEI 0-21, CEI 0-16, DIN V VDE V 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G59/3, C10/11, EN 50438 (not for all national appendices), RD 1699, RD 413, RD 661, P.O. 12.3, AS 4777, BDEW, NRS-097-2-1, MEA, IEC 61727, IEC 62116, Ordinal 30/2013, VFR 2014	
Grid standard (check your sales channel for availability)	EN 50438 (not for all national appendices), RD 1699, RD 413, RD 661, P.O. 12.3, AS 4777, BDEW, NRS-097-2-1, MEA, IEC 61727, IEC 62116, Ordinal 30/2013, VFR 2014	
Available products variants		
Standard	TRIO-20.0-TL-OUTD-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-400
With DC+AC switch	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2-400
With DC+AC switch and fuse	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2F-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2F-400
With DC+AC switch, fuse and surge arrester	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2X-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2X-400
With DC+AC switch, fuse and 1 DC surge arrester Type 1 + 2	TRIO-20.0-TL-OUTD-S13-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S13-400
With DC+AC switch, fuse and 2 DC surge arrester Type 1 + 2	TRIO-20.0-TL-OUTD-S23-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S23-400

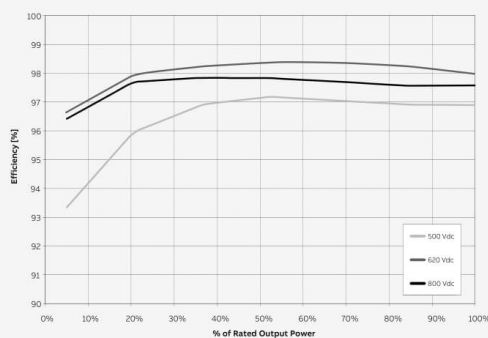
¹⁾ The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard
²⁾ The Frequency range may vary depending on specific country grid standard
³⁾ Please refer to the document "String inverters – Product manual appendix" available at www.abb.com/solarinverters for information on the quick-fit connector brand and model used in the inverter
⁴⁾ Limited to 20000 W for Germany
⁵⁾ Limited to 27600 W for Germany
 Remark. Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product



Efficiency curves of TRIO-20.0-TL-OUTD



Efficiency curves of TRIO-27.6-TL-OUTD



For more information please contact your local ABB representative or visit:

www.abb.com/solarinverters
www.abb.com

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB AG does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in parts – is forbidden without prior written consent of ABB AG. Copyright © 2017 ABB. All rights reserved.

