



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**ELÉTRICA**

**DAVI FEITOSA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE GERAÇÃO ENTRE TECNOLOGIA DE  
MICROINVERSORES E INVERSOR STRING EM UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE LOCALIZADO EM  
FORTALEZA/CE**

**FORTALEZA**  
**2022**

DAVI FEITOSA

ANÁLISE COMPARATIVA DE GERAÇÃO ENTRE TECNOLOGIA DE  
MICROINVERSORES E INVERSOR STRING EM UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE LOCALIZADO EM  
FORTALEZA/CE

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar  
Marques de Carvalho

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F336a Feitosa, Davi.

Análise comparativa de geração entre tecnologia de microinversores e inversor string em um sistema fotovoltaico conectado à rede localizado em Fortaleza/CE / Davi Feitosa. – 2022.

65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

1. Energia Elétrica. 2. Geração Fotovoltaica. 3. Microinversores. 4. Inversor String. I. Título.

CDD 621.3

---

DAVI FEITOSA

ANÁLISE COMPARATIVA DE GERAÇÃO ENTRE TECNOLOGIA DE  
MICROINVERSORES E INVERSOR STRING EM UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE LOCALIZADO EM  
FORTALEZA/CE

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar  
Marques de Carvalho

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Raphael Amaral Da Câmara  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Ícaro Abreu de Vasconcelos  
Métrica Energia Solar

Aos meus pais, Tadeu e Silvia.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, em especial aos meus pais, que sempre me proporcionaram o melhor da vida, muito amor e carinho que foram fundamentais para minha trajetória até aqui.

À minha namorada Larissa, que compartilhou dessa caminhada e sempre me apoiou para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho, que se dispôs a me orientar, auxiliar e foi fundamental na elaboração desta monografia. Agradecimento também ao professor Dr. Raphael Amaral da Câmara e ao amigo e companheiro de trabalho Ícaro Abreu de Vasconcelos por aceitarem o convite de participar da minha banca.

À empresa Métrica Energia Solar e em especial aos meus chefes, Marcelo e Fábio, que me apoiaram dentro da empresa e na busca sempre por mais conhecimento no setor de Energia Solar.

Aos meus amigos da UFERSA, do Colégio Farias Brito e da UFC, que participaram comigo do processo de aprendizagem ao longo dos anos.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a minha formação e a elaboração deste trabalho, o meu muito obrigado.

*“A persistência é o menor caminho  
do êxito”*

*Charles Chaplin*

## RESUMO

Considerando o aumento do consumo de energia elétrica, os constantes reajustes nas tarifas de energia e a busca pela ampliação da matriz energética brasileira, a geração fotovoltaica (FV) surge como uma alternativa para essa expansão, ganhando cada vez mais notoriedade ao longo dos últimos anos. O presente trabalho realizou um estudo de caso e comparativo de geração elétrica de um sistema FV conectado à rede, utilizando microinversores e inversor string. O estudo se iniciou com uma breve revisão dos conceitos técnicos que contribuem para o entendimento sobre o tema, como o funcionamento do sistema FV, os elementos que o compõe, como os módulos FV, inversor, string box e medidor bidirecional, além disso, apresentação das regulamentações do setor, como a Resolução Normativa nº 482/2012 e a Lei Federal nº 14.300/2022. De natureza exploratória e de caráter analítico, o estudo de caso procedeu-se a partir da análise dos resultados de geração do sistema que já está operando com microinversores na localidade de Fortaleza-CE, a partir daí, utilizou-se o PVsyst e o Sketchup como softwares para realizar a simulação no mesmo local, utilizando a tecnologia de inversor string, onde foi possível obter os dados de geração. Com os resultados obtidos foi possível concluir que a tecnologia com microinversores é a que melhor atende às necessidades do local, devido as particularidades do local que serão apresentadas em seguida. Com isso, foi possível garantir uma melhor geração elétrica ao longo do ano de 2021, como consequência dessa maior geração, a escolha da tecnologia com microinversores gerou uma economia financeira para o cliente, relacionando geração e valor da tarifa da Enel/CE. Com o avanço tecnológico e o surgimento de novos equipamentos constantemente, torna-se indispensável uma análise detalhada do local e a compreensão de todos os aspectos técnicos dos equipamentos, para que a aplicação seja correta, extraindo o máximo de rendimento e evitando prejuízos técnicos e financeiros para o consumidor.

**Palavras-chave:** Energia Elétrica. Geração Fotovoltaica. Microinversores. Inversor String

## ABSTRACT

Considering the increase in electricity consumption, the constant readjustments in energy tariffs and the search for the expansion of the Brazilian energy matrix, photovoltaic generation (PV) appears as an alternative for this expansion, gaining more and more notoriety over the last few years. The present work carried out a case and comparative study of the electrical generation of a PV system connected to the grid, using microinverters and string inverter. The study began with a brief review of the technical concepts that contribute to the understanding of the subject, such as the functioning of the PV system, the elements that compose it, such as PV modules, inverter, string box and bidirectional meter, in addition, a presentation sector regulation, such as Normative Resolution No. 482/2012 and Federal Law No. 14,300/2022. Of an exploratory and analytical nature, the case study proceeded from the analysis of the results of the generation of the system that is already operating with microinverters in the locality of Fortaleza-CE, from there, PVsyst and Sketchup were used. as software to carry out the simulation in the same place, using the string inverter technology, where it was possible to obtain the generation data. With the results obtained, it was possible to conclude that the technology with microinverters is the one that best meets the needs of the place, due to the particularities of the place that will be presented next. With this, it was possible to ensure better electricity generation throughout 2021, as a result of this higher generation, the choice of technology with microinverters generated financial savings for the customer, relating generation and value of the Enel/CE tariff. With technological advances and the constant emergence of new equipment, a detailed analysis of the site and an understanding of all the technical aspects of the equipment are essential, so that the application is correct, extracting the maximum yield and avoiding technical and financial losses. for the consumer.

**Key words:** Electrical energy. Photovoltaic generation. Microinverters. String inverter

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz Elétrica brasileira.....	16
Figura 2 – Evolução Fotovoltaica no Brasil .....	17
Figura 3 – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede .....	26
Figura 4 – Célula Fotovoltaica .....	27
Figura 5 – Célula Monocristalina e Policristalina .....	28
Figura 6 – Curva I x V .....	30
Figura 7 – String Box .....	32
Figura 8 – Medidor de Energia Bidirecional .....	34
Figura 9 – Croqui de Localização do Empreendimento.....	37
Figura 10 – Instalação Finalizada .....	39
Figura 11 – Microinversor Apsystems QS1 .....	41
Figura 12 – Diagrama Unifilar.....	45
Figura 13 – ECU-R .....	46
Figura 14 – Tela de Monitoramento do Sistema .....	47
Figura 15 – Sistema no PVsyst.....	51
Figura 16 – Modelagem 3D .....	52
Figura 17 – Principais Resultados .....	53
Figura 18 – Balanço Geral.....	53
Figura 19 – Comparativo de Geração .....	55
Figura 20 – Comparativo Financeiro .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados Técnicos DAH Solar 330 W .....	39
Tabela 2 – Dados Técnicos QS1-BR .....	40
Tabela 3 – Capacidade de Condução de Corrente .....	43
Tabela 4 – Queda de Tensão .....	44
Tabela 5 – Indicadores de Desempenho com Microinversor .....	49
Tabela 6 – Dados Técnicos Growatt 7,0 kW .....	50
Tabela 7 – Indicadores de Desempenho com Inversor String .....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.a. – Ao ano

ABGD – Associação Brasileira de Geração Distribuída

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

BEN – Balanço Energético Nacional

BT – Baixa Tensão

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CE – Ceará

CRESESB – Centro de Referência das Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito

c-Si – Silício Cristalino

DPS – Dispositivo Protetor de Surtos

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

FV – Fotovoltaico

IEC - Comissão Eletrotécnica Internacional (Do inglês International Electrotechnical Commission)

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MLPE - Eletrônica de potência a nível modular ( Do inglês Module Level Power Electronics)

MPPT – Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (Do inglês Maximum Power Point Tracker)

m-Si – Silício Monocristalino

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NOCT – Temperatura Nominal de Operação da Célula (Do inglês Nominal Operating Cell Temperature)

O&M – Operação e Manutenção

PERS - Programa de Energia Renovável Social

p-Si – Silício Policristalino

PVC - Policloreto de Vinila

QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão

REN – Resolução Normativa

SCEE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Si – Silício

STC – Condições de Ensaio Padrão (Do inglês Standard Test Conditions)

UC – Unidade Consumidora

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objetivos	19
1.1.1. Objetivo Geral	19
1.1.2. Objetivos Específicos	19
1.2. Metodologia	19
1.3. Organização	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1. Terra Sol	21
2.2. Geração Fotovoltaica (FV)	23
2.3. Sistemas Fotovoltaicos	24
2.4. Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos (on-grid)	25
2.4.1. <i>Módulo Fotovoltaico</i>	26
2.4.2. <i>Inversor de Tensão CC-CA</i>	29
2.4.2.1. <i>Inversor String</i>	30
2.4.2.2. <i>Microinversor</i>	31
2.4.3. String Box	32
2.4.4. Medidor de Energia Bidirecional	33
2.5. Resolução Normativa nº482/2012	34
2.6. Lei 14.300/2022	35
3. ESTUDO DE CASO	37
3.1. Dados Gerais	37
3.2. Rede Local	38
3.3. Carga Instalada	38
3.4. Sistema Instalado	38
3.4.1. <i>Painéis Fotovoltaicos</i>	39
3.4.2. <i>Microinversores</i>	40
3.4.3. <i>Dispositivos de Proteção e Ponto de Conexão</i>	41
3.4.4. <i>Dimensionamento de Condutores</i>	42
3.4.4.1. <i>Capacidade de Condução de Corrente</i>	42
3.4.4.2. <i>Queda de Tensão</i>	43
3.4.5. <i>Diagrama Unifilar</i>	44
3.4.6. <i>Monitoramento e Dados de Geração</i>	45

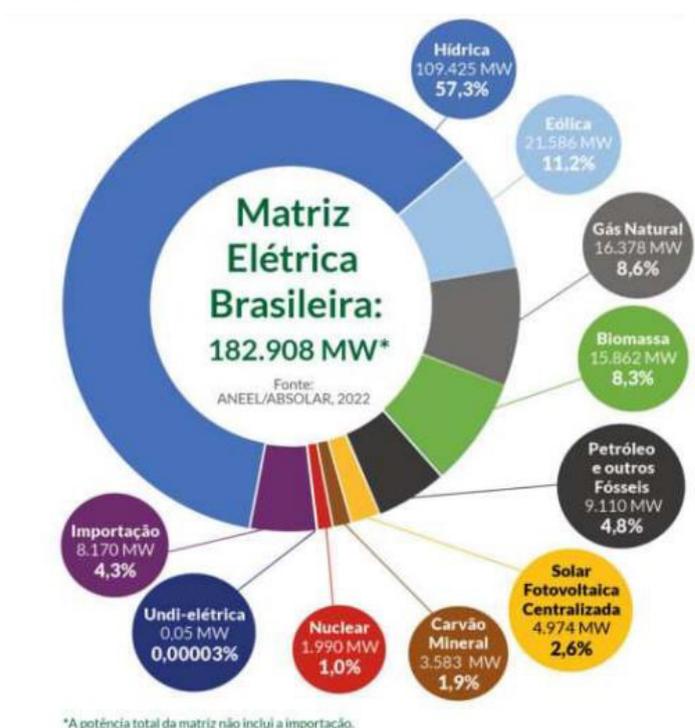
3.5. Simulação Utilizando Inversor String	49
3.5.1. Painéis Fotovoltaicos	50
3.5.2. Inversor	50
3.5.3. Modelagem 3D	51
3.5.4. Resultados de Simulação	52
3.6. Comparativo de Geração	54
3.7. Comparativo Financeiro	55
4. CONCLUSÃO	57
4.1. Sugestões para Trabalhos Futuros	58
REFERÊNCIAS	59
ANEXO A – Ficha Técnica Módulo DAH Solar DHP72 330 W	62
ANEXO B – Ficha Técnica Microinversor Apsystems QS1-BR	63
ANEXO C – Ficha Técnica Inversor Growatt 7000MTL-S	64
ANEXO D – Ficha Técnica String Box CLAMPER Solar SB 1000 1-2E/2S	65
ANEXO E – Ficha Técnica ECU-R APsystems	66

## 1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento do Brasil, somado com o aumento populacional, observa-se a mudança no padrão de consumo de energia elétrica, onde cada ano que se passa sua necessidade é maior. Para acompanhar essa demanda de energia, o setor elétrico brasileiro passa por constantes evoluções e busca por melhorias, com o intuito de fornecer um crescimento para o sistema elétrico brasileiro de forma sustentável, diminuindo os impactos ambientais e redução na emissão dos gases que contribuem com a poluição, as fontes alternativas de energia ganham força no cenário nacional. Dentro dessa busca por energia limpa, a geração fotovoltaica (FV) entra como uma alternativa e vem sendo cada vez mais utilizada, cumprindo as exigências técnicas e ambientais.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), através dos dados fornecidos pelo Balanço Energético Nacional (MATRIZ, 2022), o Brasil ainda possui a geração hidroelétrica como fonte principal da matriz energética do país, caracterizando até o mês de abril de 2022, 109.425 MW, o que representa 57,3% da matriz elétrica brasileira, na qual é apresentada no infográfico da Associação Brasileira de Energia Solar FV e ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira em Abril de 2022



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2022)

Devido aos períodos de escassez de chuvas no Brasil ao longo dos últimos anos, os níveis dos reservatórios das hidrelétricas chegaram à estágio crítico, e por representar a grande parcela da geração elétrica do país, essa diminuição na gerou comprometimento da matriz elétrica brasileira, fazendo com que os custos fossem elevados, provocando uma busca maior por fontes alternativas de energia, que diminuísse aos poucos a dependência dos recursos hídricos. (CORREIO BRAZILIENSE, 2021)

Com isso, uma série de fatores tem contribuído com que a geração FV conectada à rede tenha ganhado força nos últimos anos, dentre elas a redução do preço dos módulos FV no mercado internacional e a criação de marcos regulatórios para o setor, como a resolução normativa 482/2012, seguida pela lei 14.300, que foi sancionada e publicada no Diário Oficial da União em janeiro de 2022, representando o marco legal da geração distribuída. (ENERGIA TOTAL, 2022)

Essa evolução do setor, é apresentada na figura 2, de acordo com os dados apresentados no infográfico (PANORAMA, 2022), onde pode-se observar uma crescente considerável e atingindo em março de 2022, 15.001 MW de potência instalada, na qual 33% de geração centralizada e 67% de geração distribuída.

Figura 2 – Evolução Fotovoltaica no Brasil até Março de 2022



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2022)

De acordo com o Infográfico ABSOLAR, com sua última atualização em abril de 2022, o estado do Ceará ocupa a nona posição no ranking da potência instalada de Geração Distribuída dos estados brasileiros. Já a cidade de Fortaleza, capital do estado, está a quinta posição no ranking dos municípios do país, com uma potência instalada de 88,4 MW.

Os sistemas FV utilizados na geração distribuída, contribuem com o alívio das demandas energéticas. A geração FV tem como principais vantagens: longa vida útil dos módulos FV, baixo impacto ambiental, valorização do imóvel, energia limpa e renovável, com a energia do Sol fornecida de forma abundante no Brasil. Contudo, uma forte desvantagem ainda é o alto custo de aquisição e intermitência na geração de eletricidade. (Portal Solar, 2022)

Na instalação dos sistemas FV, torna-se necessário a utilização de um equipamento denominado inversor, item responsável por realizar a conversão da corrente elétrica contínua em alternada (CC/CA) e permitir a conexão dos módulos FV com a rede elétrica.

Tendo em vista a importância deste equipamento para instalação e sabendo que os inversores se dividem em 4 grupos: inversores centrais, string, multi-string e microinversores, é fundamental uma análise completa para a escolha ideal do equipamento, analisando a faixa de potência de acordo com cada tecnologia, os dados técnicos fornecidos por cada fabricante, e com isso, fazer a escolha ideal de acordo com a necessidade da instalação e assim possa ser extraído o seu melhor rendimento.

Nesse contexto, esse trabalho de conclusão de curso aborda as características e funcionalidades de sistemas FV conectado à rede e tem como motivação a análise de um sistema FV e comparativo de geração entre a tecnologia de inversor string e microinversor, através de dados reais e via simulação por softwares. Por meio do estudo de caso, foi possível coletar os resultados e concluir qual tecnologia atende melhor ao local de análise, garantindo uma maior geração e rendimento financeiro.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo principal a análise dos dados de geração de um sistema FV conectado à rede, que está instalado e operando em Fortaleza-CE, utilizando microinversores e realizar o comparativo de geração, através de simulação, do mesmo sistema operando com o inversor string. O comparativo será feito baseado no ano de 2021, que foi o primeiro ano com geração completa do sistema.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Se tratando dos objetivos específicos, pode-se destacar os seguintes pontos:

- Assimilar o conteúdo técnico que serve como base para compreender o funcionamento do sistema FV conectado à rede;
- Analisar os dados de geração do sistema utilizando as duas tecnologias distintas e obter conclusões;
- Se familiarizar com os softwares de simulação para obter os resultados desejados;<sup>1</sup>
- Realizar um comparativo financeiro relacionado com a geração de cada sistema implementado.

## **1.2 Metodologia**

Esta pesquisa se caracteriza como de natureza exploratória, já que contou com a leitura dos conceitos e teorias relacionados ao tema aqui proposto e que se encontram na literatura especializada do campo científico onde o tema se encontra.

Muitas vezes as pesquisas exploratórias constituem a primeira etapa de uma investigação mais ampla. Quando o tema escolhido é bastante genérico, tornam-se necessários seu esclarecimento e delimitação, o que exige revisão da literatura, discussão com especialistas e outros procedimentos. (GIL, 2008)

Para a revisão de literatura, foi realizado uma revisão bibliográfica dos conceitos fundamentais para o entendimento do tema geral e, como desdobramento da investigação, fazer a leitura e os fichamentos das teorias, conceitos e métodos propostos pelos teóricos lidos para embasar a pesquisa. Dessa leitura, extraiu-se os principais conceitos que se aplicavam mais diretamente às questões levantadas pelos objetivos deste estudo e os ordenou conforme seriam usados nos capítulos

específicos e suas respectivas seções. Essa ordenação pode ser constatada na observação de como o referencial teórico é apresentado na sua seção.

A pesquisa é de natureza qualitativa, pois algumas das coisas feitas nesta pesquisa foi interpretar os dados empíricos com o objetivo de analisar as situações em que a geração FV é favorável ou desfavorável; em que consiste o uso dessa geração na atualidade; a avaliação dos custos-benefícios de quem instala esses sistemas FV.

Esta pesquisa também se caracteriza como um estudo de caso, já que se analisou duas tecnologias, com simulações através de softwares de onde se obteve os resultados que permitiram comparar e concluir qual tipo de tecnologia melhor se adequava ao estudo realizado.

### **1.3 Organização**

O presente trabalho é dividido por quatro capítulos, divididos da seguinte forma:

Capítulo 1: introdução acerca do tema a ser discutido e seu cenário atual no país, seguindo com a definição dos objetivos gerais e específicos do trabalho, sua metodologia e organização.

Capítulo 2: breve revisão bibliográfica dos principais conceitos abordados ao longo do estudo, definindo temas fundamentais para a compreensão dos capítulos seguintes.

Capítulo 3: apresentação do local do estudo de caso, apresentação do projeto instalado com sua geração atual, simulação via softwares e resultados obtidos, com uma análise técnica e financeira.

Capítulo 4: conclusão do estudo, baseado nos resultados analisados e coletados, e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a ciência, a pesquisa é o processo através do qual uma investigação é feita, com o objetivo de averiguar sobre qualquer fenômeno que exista. Essa investigação precisa ser feita com base em experimentos, cujos resultados vão produzindo teorias, conceitos e metodologias que passam a compor os caminhos científicos para desvendar investigações futuras.

Assim, a fundamentação teórica – que também é chamada de “aporte teórico” e de “revisão de literatura” ou “referencial teórico” – é o aporte de teorias que servem de chaves de leitura para identificarmos nos fenômenos coisas que pelo “senso comum” ou pela experiência comum não seria possível. (GIL, 2008).

Para efeito deste trabalho, a fim de pesquisar sobre o comparativo de geração FV entre a tecnologia de microinversores e inversor string, localizado em Fortaleza, trazemos um breve resumo das teorias e conceitos relativos a sistemas, equipamentos e componentes FV para geração, armazenamento e uso de energia solar.

### 2.1 Terra Sol

A terra tem na potencialidade do sol sua maior e principal fonte de energia, que garante a manutenção da vida. Dotado de uma enorme fonte energética para o nosso planeta, o sol também possibilita a captação de sua energia liberada a partir das suas reações termonucleares. (PINHO e GALDINO, 2014)

Nesta seção a irradiação solar é apresentada como a propagação de energia que chega à terra e que pode ser captada por recursos tecnológicos e armazenada com o fim de convertê-la em energia térmica ou elétrica. Assim, à luz de uma abordagem mais conceitual e teórica, usamos a citação abaixo para melhor esclarecimento:

O termo ‘radiação solar’ é usado de forma genérica e pode ser referenciado em termos de fluxo de potência, quando é especificamente denominado de irradiância solar, ou em termos de energia por unidade de área, denominado, então, de irradiação solar. (PINHO e GALDINO, 2014)

Propagada no vácuo como radiação eletromagnética, esse tipo de radiação tem uma complexidade de ondas, com frequências comprimentos diferentes. A radiação é o fluxo de energia e sua mediação é feita em potência de watts, geralmente incidida em um corpo numa área também medida em metro quadrado.

Segundo Vigola e outros (apud RELVA, 2017, p.37), “a irradiância extraterrestre varia em torno de 0,1% a 0,5% em função do aumento ou redução das atividades solares, ou seja, da quantidade e intensidade de fusão do Sol”.

Em sua dissertação de mestrado defendida na Universidade de São Paulo, Stefania Relva opta pelo esclarecimento conceitual da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e sua NBR 10899 para diferenciar os conceitos de radiação, irradiância e irradiação solares. Vejamos sua síntese:

Radiação solar: forma de transferência de energia advinda do Sol, através da propagação de ondas eletromagnéticas (ou fótons).

Irradiância solar: taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área dessa superfície, normalmente medida em watt por metro quadrado ( $W/m^2$ ).

Irradiação solar: irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, medida em watt hora por metro quadrado ( $Wh/m^2$ ) ou Joule por metro quadrado ( $J/m^2$ ). (RELVA, 2012, p. 37).

Mais específica para este trabalho é a diferença conceitual entre irradiação e irradiância solar, devido ao fato de estarmos abordando duas coisas correlatas no nosso estudo de caso: a irradiação medida por metro quadrado e intervalos de tempo no local onde se situa a instalação objeto desta pesquisa; e a irradiância, por ser ela a que mais diretamente afeta a superfície dos módulos solares instalados na edificação objeto da nossa análise.

A principal fonte de energia a partir da irradiação solar e considerada limpa e renovável é a gerada pelo sistema FV, que será apresentada na seção seguinte.

Assim, para efeito de maior esclarecimento desses conceitos para o nosso aporte teórico, faz-se necessário esclarecer os conceitos de irradiação direta, difusa, albedo, total ou global e suas influências nos sistemas FV.

Na radiação eletromagnética observam-se aspectos ondulatórios e corpusculares. Nos primeiros significa que as ondulações são desviadas ou mudam seu curso devido a obstáculos que encontram nele. No segundo, as partículas de luz seguem sem encontrar obstáculos, numa trajetória em linha reta.

Na irradiação direta, como a própria expressão diz, os raios solares vindos do Sol atravessam a atmosfera da Terra sem interrupções diretas. Nesse caso, a fração de irradiação (a chamada luz solar) atinge a superfície da terra de modo direto.

Na irradiação difusa, os raios solares sofrem alterações em suas direções e a fração da irradiação solar é difundida sob a interferência de alguns obstáculos. Nesses casos, a luz solar chega difusa à superfície da Terra porque encontrou na atmosfera

obstáculos decorrentes de nevoeiros, de poeiras em suspensão, entre outros.

Há ainda o albedo, que significa uma medida de radiação solar proveniente de uma superfície e refletida. Ou seja, é o que se pode medir de radiação refletida de um deserto, de um espelho d'água, das superfícies de florestas, geleiras entre outras capazes de refletir luz recebida. Albedo é, pois, segundo a maioria dos dicionários em língua portuguesa:

Do ponto de vista físico: relação entre a radiação solar refletida ou dispersada pela superfície da Terra e o total que nela incide.

Do ponto de vista astrofísico: relação entre a luz difundida pela superfície de um planeta ou de um satélite e a quantidade de luz incidente sobre ele. (MICHAELIS, 2022).

Vale destacar que essa relação pode e é alterada conforme sejam as superfícies e as variáveis do dia.

## **2.2 Geração Fotovoltaica (FV)**

A geração de energia solar FV ocorre por intermédio dos módulos FV, onde os painéis captam a incidência solar e geram a energia elétrica por meio das células FV, geralmente feitas de silício. (BlueSol Energia Solar, 2021)

No estudo feito pelos autores e nos demais existentes sobre o assunto na literatura especializada, são muitas as vantagens de se investir em pesquisas sobre a geração FV. Os efeitos positivos para o meio ambiente é um deles, “já que se trata de uma fonte renovável e limpa, sem impactos significativos no ecossistema local ou global” (IDEM). Outra vantagem é o fato de o investimento feito render em pouco tempo economia para os usuários, a partir do estoque de energia que estes podem fazer.

Mas, os sistemas FV também apresentam desvantagens e elas são apresentadas na literatura especializada segundo alguns aspectos, que escolhemos para este trabalho os econômicos e técnicos, levantados por Pereira (2019).

O autor realça os altos custos do sistema de geração distribuída, “apesar da queda gradativa ao longo dos anos”, devido, sobretudo, aos “atrasos das atualizações das normas e resoluções das agências que regulam o sistema de geração distribuída” (PEREIRA, 2019, p. 49).

Baseado em outros estudos, o mesmo autor diz que os custos da Rede Inteligente ainda é elevado e defende que “para que a tecnologia avance

principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, é necessário subsídios e incentivos do governo” (BARRETO apud PEREIRA, 2019, p. 49).

Quanto aos aspectos técnicos, também é sugerido uma “alteração dos procedimentos de rede”, com vistas a disponibilizar energia suficiente e com qualidade. “Para que isso ocorra é preciso flexibilidade das operadoras de rede no acesso a demanda de energia oriunda das usinas, para garantir ao consumidor o balanço necessário da energia produzida”. (PEREIRA, 2019, p. 49).

Outra desvantagem é denominada de “ilhamento”:

Esse fenômeno ocorre quando parte de um sistema elétrico de energia, que por algum problema técnico deveria estar desenergizado e recebe cargas do sistema de geração distribuído. Essa situação pode causar algumas consequências como: problemas relacionados ao religamento e à segurança de trabalhadores do sistema elétrico bem como aos consumidores a eles conectados (PALUDO apud PEREIRA, 2019, p. 51).

Enfim, mesmo apresentando vantagens e desvantagens, os sistemas FV vieram para ficar e suas características principais é o que veremos na seção seguinte.

### **2.3 Sistemas Fotovoltaicos**

É visível o papel da energia solar nos dias atuais. Além de contribuir com o planeta na distribuição de energia limpa, a transformação dessa energia em térmica ou elétrica amplia as potencialidades energéticas dos países e a melhoria da vida dos consumidores de energia, a partir de uma economia socialmente mais justa.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil já ultrapassa 10 gigawatts de “potência instalada” e sobre a geração FV afirma que a fonte mais utilizada “é a solar FV, com 910,6 mil micro e miniusinas e cerca de 9,9 gigawatts (GW) de potência instalada (99% do total)”. Atualizada em março de 2022, os dados estão apresentados no site oficial da empresa, como se segue:

O Brasil ultrapassou nesta quinta-feira (31/3) a marca de 10 gigawatts (GW) de potência instalada em micro e minigeração distribuída de energia elétrica, aquela que é gerada pelos próprios consumidores. Trata-se de um quantitativo suficiente para abastecer aproximadamente 5 milhões de unidades residenciais brasileiras, ou seja, para atender quase 20 milhões de pessoas. Os 10 GW em micro e minigeração são uma marca expressiva – ainda mais quando se considera que há menos de três anos, em junho de 2019, celebrava-se a marca de 1 GW de potência instalada de micro e minigeração (BRASIL, 2022).

Na visão (PEREIRA, et al, 2017 apud REN21, 2017, p.12), o uso de sistemas FV vem contribuindo com a geração distribuída de eletricidade para vários segmentos de consumidores, sendo adaptados em “edifícios residenciais e comerciais que produzem energia para consumo próprio e despacham o excedente para distribuição na rede do sistema elétrico”.

Índices elevados de irradiação solar direta na superfície ocorrem em grande parte do Nordeste Brasileiro e são o principal requisito para a viabilidade desta tecnologia de geração (...) a promoção de uma economia socialmente justa e menos vulnerável aos efeitos do clima, reduzindo assim uma assimetria regional secular de inclusão social e econômica. (IDEM, p.12).

Como se verá nas análises dos dados desta pesquisa, a geração de energia a partir dos sistemas FV vem crescendo e promovendo essa economia socialmente mais justa, como dito acima. O aumento de recursos energéticos como esse tem se tornado economicamente viável “para diversificar e descarbonizar a matriz elétrica a partir da inserção de uma fonte de energia limpa, renovável e com reduzida emissão de gases de efeito estufa na operação de sistemas FV” (ROVERSI e RAMPINELLI, 2020, p. 1).

#### **2.4 Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos (on-grid)**

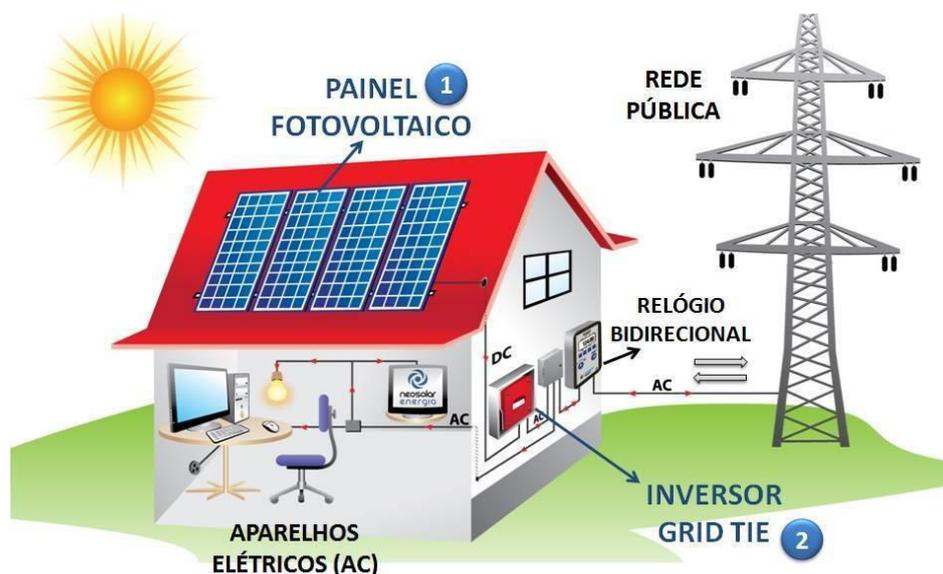
Nesta seção serão apresentados os componentes de um sistema FV conectado à rede, mostrando e detalhando alguns dos equipamentos, que são responsáveis pela captação da energia solar, conversão em energia elétrica, proteções do sistema e equipamento de medição.

Assim como os demais sistemas que existem para levar energia elétrica a lugares distantes de zonas urbanas, com usos de baterias a gerarem energia alimentadas por placas solares, existem sistemas FV que são ligados a rede de energia elétrica existente.

Essa ligação consiste no fato de que os aparelhos que convertem corrente contínua em alternada ligam os painéis solares à rede pública de energia elétrica. Esse modelo tem a facilidade de se operar e fazer manutenção no sistema apenas ligando-o ou desligando-o da rede elétrica à qual está ligada. Há sistemas desse tipo também monitorados eletronicamente por meio de meios computadorizados, que gerenciam automaticamente o sistema FV *on-grid*.

A figura 3 representa de forma geral, um sistema FV conectado à rede, desde a sua geração, conversão, consumo instantâneo, medição e conexão com a rede pública

Figura 3 – Sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: NeoSolar

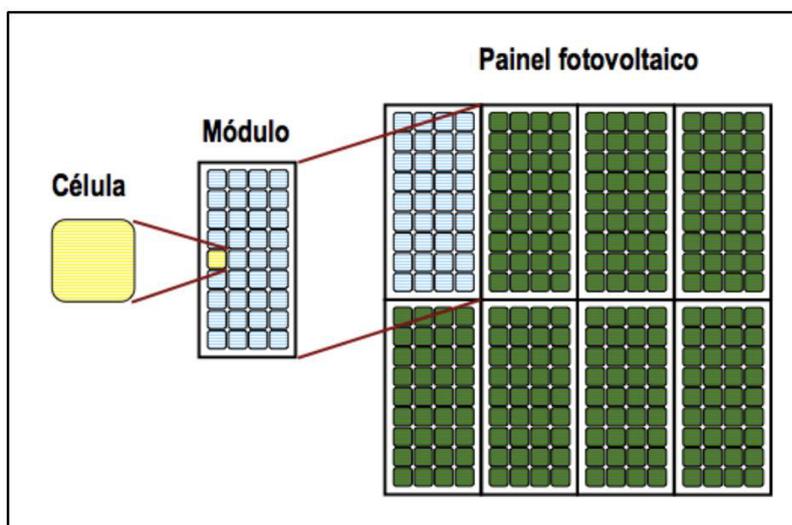
### 2.4.1 Módulo Fotovoltaico

Segundo a NBR 16.690, “módulo FV é uma unidade formada por um conjunto de células FV, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica”. Portanto, são as células FV que garantem a transformação da radiação solar em energia elétrica. Uma energia possibilitada pelo que é chamado de “efeito fotovoltaico”, que é o efeito de um processo que gera tensão ou corrente elétrica a partir dessas células exposta à luz solar.

Ou seja, quando a luz solar incide sobre a superfície da célula, se esta se encontra conectada a uma carga, será produzida uma diferença de potencial nesta carga, proporcionando uma circulação de corrente do terminal positivo ao terminal negativo da célula. (ENERGÊS, 2020, s.p.).

Como pode ser visto na figura 4, essas células são agrupadas para formar o módulo e a junção desses módulos é que produz o painel FV.

Figura 4 – Célula Fotovoltaica



Fonte: extraída de CARNEIRO, 2010, p.5

Esse painel é responsável pela geração de eletricidade a partir da interconexão das células FV, como demonstrados na figura acima. Observe-se que esse sistema possibilita o aumento do dimensionamento com outros “conjunto de painéis para produzir uma determinada quantidade de energia, existindo a hipótese de se poder aumentar o número de painéis caso seja necessário”. (VALENTE, 2011, p. 3).

Qualquer menção a módulo FV implica realçar os tipos de células que eles usam. Esse realce implica mostrar que há vários tipos de células FV e são elas que compõem o módulo FV. Para efeito desta pesquisa apresentaremos apenas as de primeira geração, por serem mais comuns no mercado.

Na maioria da literatura especializada consultada o silício cristalino é o mais usado na construção dessas células, que também são “chamadas de células solares convencionais” (PORTAL SOLAR, 2022). Chama-se cristalino porque sua estrutura é cristalina e contínua e é composto por um único cristal de silício. Em relação ao tipo de célula FV mais utilizada no mercado atual, entende-se:

O tipo de célula fotovoltaica mais comum utiliza em sua fabricação o silício cristalino (C-Si), também conhecido como silício de grau solar. Se você tem um painel solar em sua casa, há 99% de chance de que ele utilize o silício cristalino como base para as suas células. (PORTAL SOLAR, 2022)

Para produzir energia elétrica com a luz do sol, o silício precisa ser purificado. Só após essa purificação ele pode ser usado em sistemas FV de produção de energia elétrica.

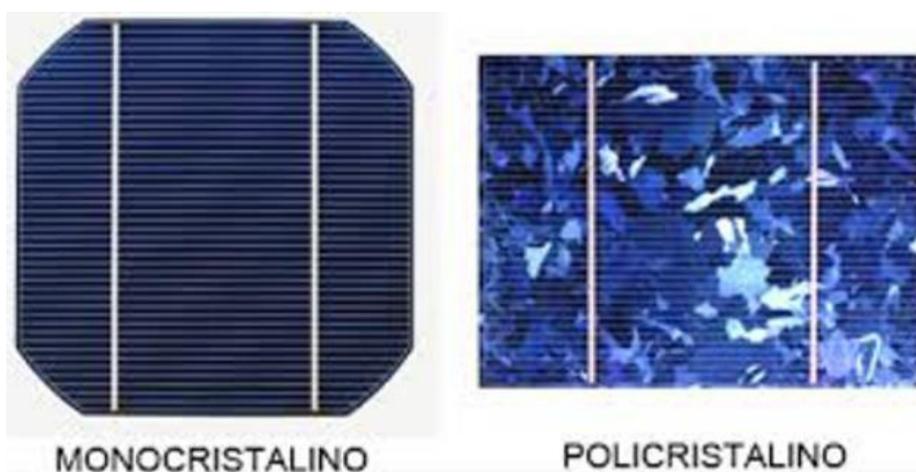
As células solares de silício cristalino absorvem os raios de luz em uma faixa estreita do espectro de radiação, pois a energia dos fótons com frequências mais altas ou mais baixas da utilizada no efeito fotovoltaico não consegue ser aproveitada e é convertida em calor, o qual diminui a eficiência da célula. (IDEM).

Ainda segundo o Portal Solar (2022), da radiação solar recebida por essas células, só 13% são aproveitadas para a produção de energia elétrica.

Outro tipo de célula FV é a de silício monocristalino, mais eficiente porque “feitas a partir de um único cristal de silício”, também purificado. As células desse tipo costumam ser eficientes na produção de energia numa porcentagem entre 15% a 18%.

Já as células FV de silício policristalino – como o próprio radical poli indica – é o caracterizado por vários cristais. Esses “múltiplos cristais fazem com que os elétrons dos átomos se recombinem mais facilmente, aumentando a perda por recombinação” (IDEM). No entanto, essas células possuem custos mais baixos, pois têm processos mais simples de fabricação. A figura 5 ilustra os tipos de células citadas.

Figura 5 – Célula Monocristalina e Policristalina



Fonte: Ecori Energia Solar

### 2.4.2 Inversor de Tensão CC-CA

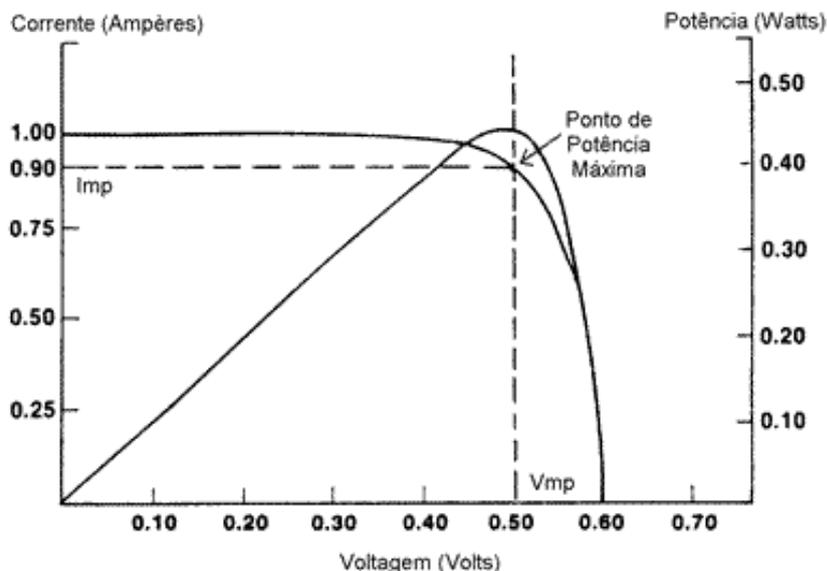
Para controle da geração de energia e sua distribuição compatível com o uso doméstico ou não, é necessário um processo de inversão, que é feito por um inversor, que é um aparelho que converte a energia gerada em corrente e tensões contínuas (CC) em tensões e corrente alternadas (CA). Assim, a energia gerada pelos painéis FV é convertida em energia consumível porque tem a sua tensão ou corrente controlada para uso doméstico, por exemplo.

A eletrônica de potência está presente com os conversores CA-CC (retificadores), CC-CC (choppers), CC-CA (inversores) e CA-CA (gradadores ou conversores direto de frequência) para processar a energia de maneira adequada, otimizada e segura. (LAZZARIN, 2010, p.1)

Ainda conforme Lazzarin (2010), essa conversão é feita por um conversor (ou inversor), que é conectado a uma rede Wi-Fi e ligado a um servidor que processa os dados recebidos do sistema. Esses dados de geração de energia são processados e recebidos em tempo real pelo usuário do sistema, a partir de um computador. O acompanhamento e monitoramento dessa geração de energia também chega remotamente ao usuário por aparelhos celulares.

Em qualquer desses conversores se pode rastrear pontos de máxima potência (MPPT). Esses dispositivos de rastreamento precisam que algoritmos sejam implementados em um conversor CC-CC, tendo como objetivo, sempre converter a maior quantidade possível de energia luminosa disponível, em energia elétrica. Estes pontos de máximo são localizados nas curvas de corrente elétrica em função da tensão dos módulos, conforme ilustrado na figura 6.

Figura 6 – Curva I x V



Fonte: Sharenergy

#### 2.4.2.1 Inversor String

A literatura científica especializada em sistemas FV conectados à rede classifica os inversores em quatro grupos: o inversor central, para sistemas de grande porte; o inversor string, geralmente de menor potência; o inversor multi-string, “geralmente utilizados para sistemas que tem várias *Strings* com diferentes orientações, por consequência acabam sendo submetidos a diferentes condições de irradiância e temperatura”; e o inversor com módulos integrado ou módulo C.A, “considerado os menores SFCR que podem ser implementados”. (GODOI, 2018).

Sendo de menor potência, são geralmente usados em residências, a depender das potências usadas nelas. Esses inversores são conectados a *string*, ligados a outros inversores em paralelo, apresentando, segundo Godoi, vantagens e desvantagens:

Vantagens: realizam MPPT separadamente para cada fileira, otimizando o processo de extração de energia, permitindo uma maior flexibilidade com diferentes orientações de cada *string*, além de possibilitar uma maior confiabilidade para o sistema, pois se algum inversor falhar não prejudicará todo o sistema. A desvantagem é o aumento do número de inversores, que gera aumento no custo. (GODOI, 2018, p. 36).

Recomenda-se que o inversor *string* seja instalado dentro da residência, em local apropriado.

### 2.4.2.2 Microinversor

Os microinversores apresentam mais vantagens em relação aos inversores *strings* e são uma escolha do mercado que, segundo Godói, “nos Estados Unidos já atingem 40% das instalações residenciais, ganhando a confiança do público”. Entre as vantagens está o fato de da “instalação de sistemas FV em locais nos quais os sistemas com uso dos inversores tradicionais teriam pouca eficiência”.

Devido ao fato dos microinversores serem independentes, tem-se uma série de vantagens sobre os sistemas com inversores *string*, as principais são: inexistência de *mismatch* de módulos, que ocorre quando se tem módulos com diferentes curvas características ligadas em série, o que pode reduzir a corrente gerada pela *string*. (GODOI, 2018, p. 43).

Pelos mesmos estudos e com base em relatório do Laboratório Nacional de Energia Renovável EUA (NREL), Godói (2018, p. 43) afirma que “pode se ter uma produção de até 12% a mais na energia gerada anualmente com o uso dos microinversores”. (IDEM).

No âmbito dos microinversores, é necessário mostrar as tecnologias que ajudam na otimização dos diversos aspectos dos sistemas FV. Nesse sentido, é prudente apresentar ainda que sinteticamente a *Module-Level Power Electronics* (MLPE). Numa tradução livre, significa “Eletrônica de potência a nível modular” é uma tecnologia considerada pela engenharia como sendo de muita eficiência e segurança. É ainda considerada uma das tecnologias mais preferidas em projetos FV. Trata-se de um sistema que transforma energia solar em energia elétrica, só que a partir da “divisão da produção e monitoramento de energia módulo a módulo”. De modo prático, “o inversor realiza a conversão da energia gerada pelos módulos (em corrente contínua – CC) para o padrão utilizado em uma rede de distribuição (corrente alternada – CA)”. (Sirius Energia, 2021)

Uma das vantagens do MLPE é que em momentos de falhas ou adversidades outras do sistema ele garante a potência máxima, sem redução no rendimento de energia. Sua ausência, resultaria no comprometimento da produção do sistema, o que o torna uma considerável vantagem desse tipo de tecnologia.

Ainda segundo a Sirius Energia (2021), são vários estudos e exemplos de experiências em sistemas FV e enumera na citação abaixo as principais vantagens dessa tecnologia:

**Segurança:** como os painéis funcionam de forma individual, não há um acúmulo de energia, o que evita a entrada de uma alta voltagem na instalação  
**Eficiência:** a ligação individual dos painéis faz com que não haja um

nivelamento por baixo da produção de energia, como ocorre com a tecnologia string. O sistema MLPE extrai o melhor de cada painel

**Tolerância à sombra:** em um sistema tradicional, uma falha de um inversor string central por falta de luz do sol geralmente resulta em uma falha completa do sistema. Isso não ocorre com a MLPE

**Garantia:** no sistema MLPE, a garantia pode ser até cinco vezes maior que no sistema tradicional

**Expansão:** é possível ampliar o sistema fotovoltaico de forma mais simples em relação ao uso do string, que precisaria ser trocado por completo para ampliar, além de não possuir maiores custos adicionais.

Como se percebe, as bases sobre as quais a tecnologia MLPE vem ganhando notoriedade a cada dia que passa, estão nesse conjunto de vantagens citadas acima.

### 2.4.3 String Box

Com o intuito de garantir a proteção do sistema instalado, evitar acidentes e prejuízos, o projeto de um sistema FV geralmente precisa contemplar a instalação de uma string box, termo do inglês que se refere à caixa de junção, no qual segundo o item 3.1.7 da NBR 16690 tem como significado um “Invólucro no qual subarranjos FV, séries FV ou módulos FV são conectados em paralelo, e que pode alojar dispositivos de proteção e/ou de manobra”.

A string box é o componente de proteção da parte CC do sistema FV e é conectada entre os módulos e o inversor e tem como elementos básicos o invólucro, disjuntor CC ou chave seccionadora e os DPS CC. A figura 7 ilustra o equipamento descrito.

Figura 7 – String Box



Fonte: Clamper Solar

Como citado no tópico anterior, uma instalação com microinversores é mais simples, onde são fixados na própria estrutura dos módulos e a conexão do lado CC fica junto com a conexão do lado CA, permitindo uma conversão segura da corrente CC em corrente CA, com isso, não necessitam da proteção descrita, já que os microinversores possuem esse sistema de proteção interno. A utilização da string box é mais utilizada em instalações com inversores string, dependendo do modelo escolhido.

#### **2.4.4 Medidor de Energia Bidirecional**

Após o projeto ser aprovado e a instalação do sistema FV ser concluída, a concessionária de energia local realiza uma vistoria para realizar a troca do medidor de energia convencional para o medidor de energia bidirecional. Também conhecido como relógio medidor, o equipamento bidirecional mede, além da energia elétrica consumida por uma instalação, a quantidade da sua energia elétrica injetada na rede elétrica.

O equipamento é digital, mede o fluxo de potência que o atravessa e é possível o cliente acompanhar sua leitura em tempo real. Nota-se que o medidor apresenta duas leituras que se alternam e que geralmente são identificadas pelos seguintes códigos:

- 003: código que indica a leitura da energia elétrica consumida em kWh;
- 103: código que indica a leitura da energia elétrica injetada na rede elétrica em kWh.

Importante salientar que a leitura do código 103, de energia injetada na rede elétrica, é diferente do valor da geração do sistema, devido ao fato do consumo instantâneo, ou seja, ao longo do dia quando as placas estão gerando e existem cargas em funcionamento no local, essa energia já é abatida instantaneamente e o seu excedente é injetado na rede elétrica, justamente esse excedente que é mostrado no visor do medidor bidirecional. A figura 8 ilustra o equipamento descrito:

Figura 8 – Medidor de Energia Bidirecional



Fonte: Eletra Energy

Ao término do período do faturamento mensal, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- $003 > 103$  foi consumido mais energia elétrica na UC do que o injetado na rede, gerando um débito a ser pago, ou utilização de saldos anteriores;
- $003 = 103$ , foi consumida a mesma quantidade de energia elétrica injetada pelo sistema FV;
- $003 < 103$ , foi injetada energia elétrica excedente na rede, gerando créditos para consumo futuro.

## 2.5 Resolução Normativa nº482/2012

Criada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012, é uma iniciativa que estabelece regras para a geração e uso de energia solar, tornando possível o seu uso pelos brasileiros.

Trata-se de regulação nacional que permite a usuários de energia as condições gerais para o “acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica”. (ANEEL, 2012).

No Artigo 6º da resolução estabelece que “podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores responsáveis por unidade consumidora”: (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.), o que lhes garante a geração de energia solar e sua conexão ao já existente sistema de distribuição em rede, gerando créditos que são compensados do valor das tarifas de energia elétrica.

No entanto, a resolução ainda era restrita em sua abrangência e quanto aos poderes legais que poderia dar aos usuários do serviço de captação de energia solar. Apenas no início deste ano de 2022, é que o marco legal se instaura a partir da Lei 14.300/2022.

## **2.6 Lei 14.300/2022**

Publicada na quinta edição, seção 1, do Diário Oficial da União, de 06 de janeiro de 2022, a Lei Nº. 14.300/2022 amplia os contextos de uso; os tipos de consumidores, individuais e coletivos, de pessoa física ou jurídica; as tipologias de consumo e as respectivas compensações da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS).

Na avaliação do Informativo Energia Elétrica, publicação da Tauil & Chequer Advogados (2022, p.3), esta lei “traz maior clareza, previsibilidade e segurança jurídica para o mercado de geração distribuída, representando uma importante inovação legislativa”. Para sua aplicação, a Agência Nacional de Energia Elétrica e as distribuidoras terão 180 dias, contados da data da lei para se adaptarem à nova legislação federal.

As unidades consumidoras que já estavam conectadas à rede elétrica na data da publicação da lei, e todas as demais que protocolarem solicitação de acesso em até 12 meses da publicação da lei, possuem o direito adquirido e tem como principais inovações os seguintes aspectos que o Marco Legal da GD disponibiliza:

- Instalações de iluminação pública poderão aderir ao SCEE;
- Diminuição do limite de potência para 3 MW para fontes não despacháveis (Ex: Solar);
- Opção de ser faturado como Grupo B, unidades consumidoras com geração local cuja potência nominal dos transformadores seja de até

112,5 Kva;

- Fim do pagamento do custo mínimo de disponibilidade em duplicidade;
- Possibilidade de transferência de excedentes de energia elétrica para outras unidades participantes de EMUC e/ou modalidades de geração compartilhada;
- Bandeiras tarifárias se aplicam apenas sobre o consumo de energia, e não sobre a energia excedente que foi compensada.

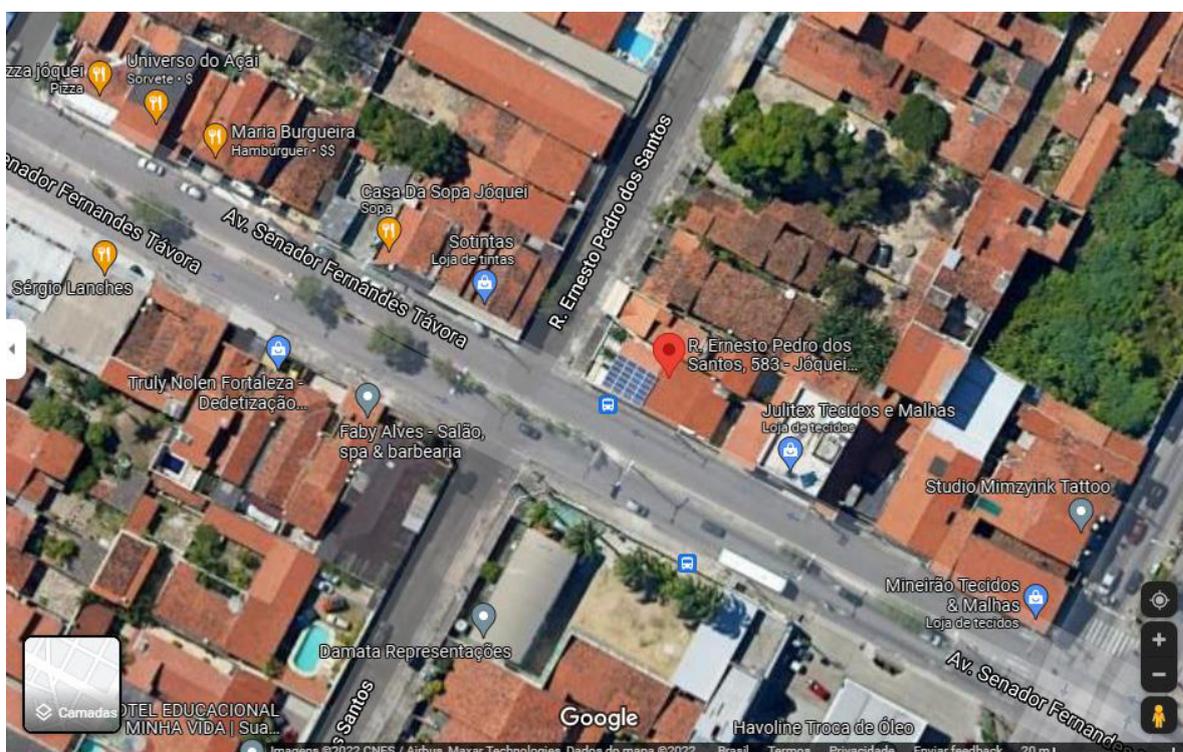
Com a publicação da Lei 14.300/2022, não significa dizer que a Resolução Normativa 482/2012 foi revogada, com isso, a resolução permanece vigente, porém, com seus artigos sendo limitados a tudo que contrarie a Lei recém publicada. O Marco Legal da GD garante uma estabilidade para o setor, diminuem ou interrompem alguns problemas que eram recorrentes em relação à concessionárias de energia e consumidores, e com essa garantia, segundo os dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), deverá ter cerca de 4 milhões de consumidores com GD e 34 GW instalados, até o ano de 2030.

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Dados Gerais

O estudo se baseia em uma residência particular, localizada na rua Ernesto Pedro dos Santos, no bairro Jôquei Clube, na cidade de Fortaleza, capital do Ceará, com latitude e longitude -3.7646647145991277, -38.57729694812521, respectivamente. A figura 9 ilustra a localização da propriedade privada em relação à sua vizinhança, com destaque para os limites do terreno e vias de acesso, como a foto foi retirada do google maps, não mostra a orientação da bússola, mas sabe-se que segue o padrão de orientação, com o norte indicado para cima.

Figura 9 – Croqui de localização do empreendimento



Fonte: Google Maps (2022)

Fortaleza está localizado em uma área de clima tropical, apresentando chuvas de maior intensidade no período do verão do que no inverno e uma temperatura média anual de 26,7° C. (CLIMATE, 2022).

### **3.2 Rede Local**

A residência está conectada à rede de baixa tensão da Enel Ceará, fazendo parte do Grupo B tarifário, classe B1 (Residencial Pleno), com ligação do tipo monofásica, e tensão de alimentação 220 V.

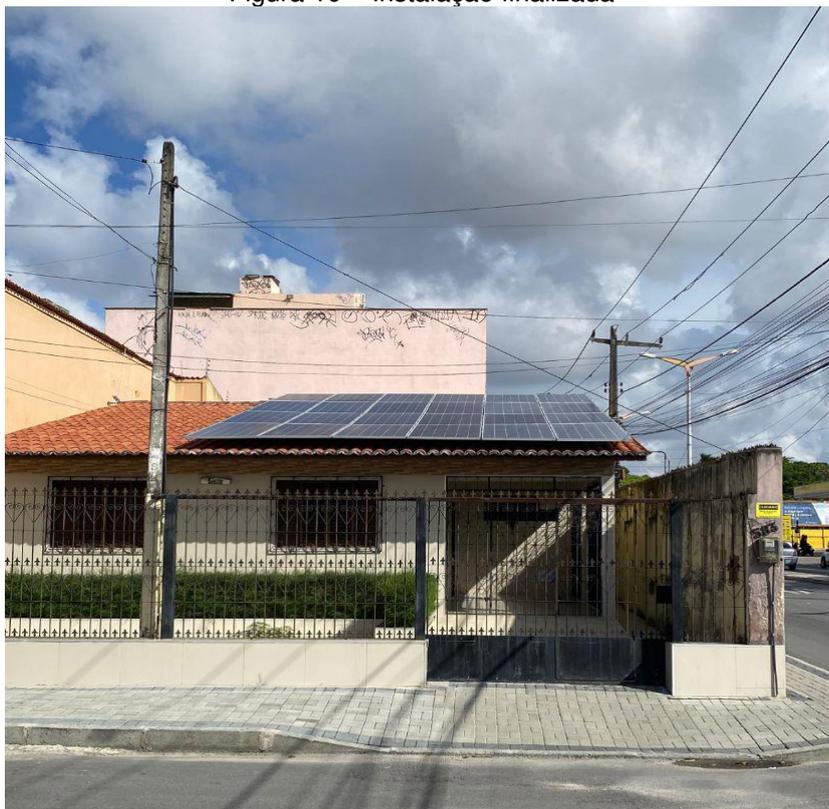
### **3.3 Carga Instalada**

Conforme exigência da Norma Técnica Enel-CE CNC-OMBR-MAT-18-0122-EDBR para Conexão de Microgeradores à Rede, foi feito o cálculo atualizado da carga total instalada, com relação e potência de todos os equipamentos existentes na unidade consumidora. A carga instalada total foi de 8,09 kW, estando instalado no padrão de entrada do consumidor disjuntor geral de proteção monofásico de corrente nominal 40 A.

### **3.4 Sistema Instalado**

A topologia proposta para o empreendimento foi da colocação de módulos FV sobre o telhado da residência. A instalação foi concluída em março de 2020, o telhado apresentou boas condições de madeiramento, o que não resultou em dificuldades para a fixação das estruturas. O local não apresenta grandes obstáculos para sombreamentos, o layout de arranjo dos módulos FV deixaram todos os painéis com a mesma orientação e ocuparam uma área de aproximadamente 50 m<sup>2</sup>. A descrição da instalação e equipamentos utilizados será mostrada nos tópicos seguintes. A figura 10 ilustra a instalação concluída.

Figura 10 – Instalação finalizada



Fonte: do Autor em visita técnica, 2022

### 3.4.1 Painéis Fotovoltaicos

Como o intuito do estudo é realizar o comparativo de geração, não será detalhado o dimensionamento do sistema, mas atendendo as necessidades de consumo do cliente e a solicitação de um sistema que atendesse uma expansão de consumo em breve, chegou-se na escolha do módulo FV da marca DAH SOLAR e modelo DHP72-330. As principais características do painel são mostradas na tabela 1 e a folha de dados técnicos (datasheet) está anexado a este trabalho. No total, o arranjo se compõe de 24 (vinte e quatro) desses módulos, fornecendo uma potência total de 7,92 kWp e que serão conectados ao respectivo MPPT do microinversor diretamente por seu conector.

Tabela 1 – Dados Técnicos DAH Solar 330W

<b>Características elétricas (STC)</b>	<b>Valor</b>
<b>Potência Máxima (P<sub>máx</sub>)</b>	<b>330 W</b>
<b>Tensão de Circuito Aberto (V<sub>oc</sub>)</b>	<b>46,1 V</b>
<b>Tensão de Potência Máxima (V<sub>mp</sub>)</b>	<b>37,3 V</b>
<b>Corrente de Curto Circuito (I<sub>sc</sub>)</b>	<b>9,29 A</b>
<b>Corrente de Potência Máxima (I<sub>mp</sub>)</b>	<b>8,85 A</b>
<b>Eficiência do Módulo</b>	<b>17,02 %</b>

Fonte: DAH solar

### 3.4.2 Microinversores

O microinversor a ser utilizado é da marca APsystems, modelo QS1-BR, com potência nominal de saída de 1200 W. Foram utilizados ao todo 6 (seis) microinversores deste modelo, fornecendo uma potência instalada de geração de 7,2 kW. As principais características do microinversor são apresentadas na tabela 2 e a folha de dados técnicos (datasheet) encontra-se anexado a este trabalho.

Tabela 2 – Dados Técnicos QS1-BR

<b>Dados de Entrada (DC)</b>	<b>Valor</b>
<b>Faixa de Potência do Módulo (STC)</b>	<b>250 W<sub>p</sub> ~ 450 W<sub>p</sub></b>
<b>Faixa de Tensão do MPPT</b>	<b>22 V ~ 48 V</b>
<b>Tensão Máxima de Entrada</b>	<b>60 V</b>
<b>Corrente Máxima de Operação</b>	<b>14 A x 4</b>
<b>Dados de Saída (AC)</b>	<b>Valor</b>
<b>Potência Nominal de Saída</b>	<b>1200 W</b>
<b>Faixa de Tensão Ajustável de Saída</b>	<b>150 V ~ 280 V</b>
<b>Corrente Máxima de Saída</b>	<b>5,45 A</b>

Fonte: APsystems

Os microinversores foram instalados abaixo das placas, com cada microinversor se conectando a quatro painéis FV, conforme orientação do fabricante, onde cada entrada é uma MPPT diferente, possibilitando maior eficiência para o sistema como um todo, os equipamentos são conectados em paralelo. As recomendações de instalação do fabricante foram seguidas. A figura 11 ilustra o equipamento utilizado.

Figura 11 – Microinversor APsystems QS1



- Microinversor para 4 módulos com MPPT independente por canal
- Monitoramento
- Potência nominal de saída de 1200VA
- Interatividade com a rede e com controle de Potência Reativa (RPC)

Fonte: APsystems

### 3.4.3 Dispositivos de Proteção e Ponto de Conexão

O conjunto de geração e conexão está dotado de proteção integrada contemplando:

- Elemento de interrupção;
- Sub e sobretensão (inversor);
- Sub e sobrefrequência (inversor);
- Sincronismo (inversor);
- Anti-ilhamento (inversor);
- Curto-circuito (inversor)
- Sobrecarga (inversor).

Os microinversores foram convenientemente configurados durante o processo de instalação, para atendimento aos parâmetros mínimos de segurança e confiabilidade definidos pela Enel/CE na sua CNC-OMBR-MAT-18-0122-EDBR. O aterramento dos módulos, estruturas metálicas, microinversores, quadros CC e CA foram feitos com cabo de cobre de seção mínima 4 mm<sup>2</sup> e interligado ao sistema de

aterramento da residência, promovendo a equipotencialização global da instalação.

A proteção CC dimensionada para este projeto inclui dispositivo de proteção contra surtos (DPS) e chave seccionadora CC, todos instalados sobre trilho DIN no interior de caixa elétrica adequada (cf. IEC 61439-1/-2:2016).

Os DPS Classe II (cf. EN 50539-11:2012), ligados em Y, possuem tensão nominal de 1.000 Vcc e correntes de descarga nominal de 20 kA e máxima de 40 kA por polo, com visualização da vida útil na parte frontal ou através de contato auxiliar.

A chave seccionadora CC (cf. IEC 60947-3:2008) não tem partes metálicas expostas, não é sensível à polaridade, permitindo secção a plena carga (e em falta), e a interrupção simultânea de ambos os pólos positivo e negativo.

A proteção CA, localizada em caixa de montagem elétrica adequada (cf. IEC 61439-1/- 2:2016) e distinta daquela destinada à proteção CC (cf. item "4.2.5.7" da ABNT NBR 5410:2010), inclui dois disjuntores CA unipolar de 20 A, 230 Vca para os microinversores, acompanhado de DPS CA, Classe II, com tensão nominal de 275 Vca e corrente de descarga nominal/máxima de 12,5/40 kA por polo, com visualização da vida útil na parte frontal ou através de contato auxiliar.

Todas as proteções estão detalhadas também no Diagrama Unifilar que será apresentado nos tópicos seguintes.

O ponto de conexão do sistema FV foi feito no quadro de distribuição interno, sendo este localizado dentro da edificação, não havendo modificação do ponto de conexão (padrão de entrada) da unidade consumidora. O fornecimento e medição de energia são feitos através de um padrão de entrada monofásico, em 220 V.

#### **3.4.4 Dimensionamento de Condutores**

Com o intuito de garantir a segurança da instalação elétrica e garantir a integridade de pessoas e animais, é realizado o dimensionamento dos condutores, baseado nas considerações da norma brasileira de instalações elétricas de de baixa tensão ( *ABNT NBR 5410*). Existem diversos tipos de realizar o dimensionamento dos condutores, neste trabalho foi realizado pelo critério da capacidade de condução de corrente e o da queda de tensão. Foi considerado as condições de instalação dos condutores a uma temperatura de operação de 70 °C, a inclusão de um fator de segurança de 5% no comprimento de cada condutor; e a avaliação geral da queda de tensão sempre pelo pior caso.

### 3.4.4.1 Capacidade de Condução de Corrente

O critério da capacidade da condução de corrente é um método abordado da NBR 5410 para dimensionar os condutores, cuja principal função é garantir uma vida satisfatória a condutores e isolações submetidos aos efeitos térmicos produzidos pela circulação de correntes equivalentes às suas capacidades de condução de corrente durante períodos prolongados em serviço normal. (NBR 5410:2004)

O método de referência utilizados foi o B1 (Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha ou perfilado suspenso). Analisando o datasheet do microinversor e observando uma corrente máxima de saída de 5,45 A, foi possível realizar a separação de circuitos, aplicar o fator de segurança e dimensionar a seção e tipo de condutor pelo método da capacidade de condução de corrente, tendo como referência a tabela 36 da NBR 5410, a tabela 3 mostra o detalhamento:

Tabela 3 – Capacidade de condução de corrente

CIRCUITO	TIPO	IB	TIPO DE CONDUTOR	MÉT. INST.*	CAP. COND. CORRENTE
INV01~INV03	CA 220V	16,35 A	1/N/PE 3x 4,0 mm <sup>2</sup> Cu, PVC, 70°, 750 V	3 (B1) **	32,0 A
INV04~INV06	CA 220V	16,35 A	1/N/PE 3x 4,0 mm <sup>2</sup> Cu, PVC, 70°, 750 V	3 (B1) **	32,0 A

Fonte: NBR 5410

### 3.4.4.2 Queda de Tensão

Para realizar o dimensionamento pelo critério da queda de tensão, foi utilizado a equação 1, obtida na NBR 5410 e utilizada para o sistema em estudo, que é do tipo com ligação monofásica.

$$\Delta V\% = \frac{100}{V} \times 2 \times \frac{\rho \times L}{S} \times I \quad (1)$$

Onde:

- $\Delta V\%$  é a queda de tensão percentual;
- $V$  é a tensão nominal do circuito, em V;
- $\rho$  é a resistividade do condutor, em  $\Omega \cdot m$ ;
- $L$  é o comprimento do condutor, em m;
- $S$  é a seção circular do condutor, em mm<sup>2</sup>;
- $I$  é a corrente nominal do circuito, em A.

Segundo o item 6.2.7.2 da NBR 5410, em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%. Considerando a distância dos circuitos, saindo dos microinversores ao QGBT, e utilizando a fórmula apresentada, a queda de tensão ficou abaixo dos 4%, ou seja, o critério foi atendido e a seção do condutor que foi adotada poderá ser mantida. A tabela 4 mostra o resumo do critério:

Tabela 4 – Queda de tensão

INV.	QUADRO	Pac (W)	Vac (V)	Iac (A)	DIST. (m)	+5%	CABO	mm <sup>2</sup>	T. (°C)	$\Delta V$ (V)	$\Delta V\%$
INV01~ INV03	QGBT	3.600	220	16,35	10	10,5	Cu	4,0	90	5,49	1,65%
INV04~ INV06	QGBT	3.600	220	16,35	10	10,5	Cu	4,0	90	5,49	1,65%

Fonte: NBR 5410

### 3.4.5 Diagrama Unifilar

Todo e qualquer projeto de instalação elétrica exige procedimentos e regulações aos quais todas as ações em engenharia precisam se ater. Entre outras medidas do tipo, a Norma Regulamentadora número 10, de 2004 (NR 10 2004) estabelece os princípios de “Segurança em instalações e serviços em eletricidade”, título desta NR. Nela podemos encontrar o Prontuário de Instalações Elétricas, que estabelece e enumera procedimentos, documentação de inspeções e medições, equipamentos de proteção, testes de isolamento elétrica, entre tantos outros, todos contidos em 10.2.4 da referida NR.

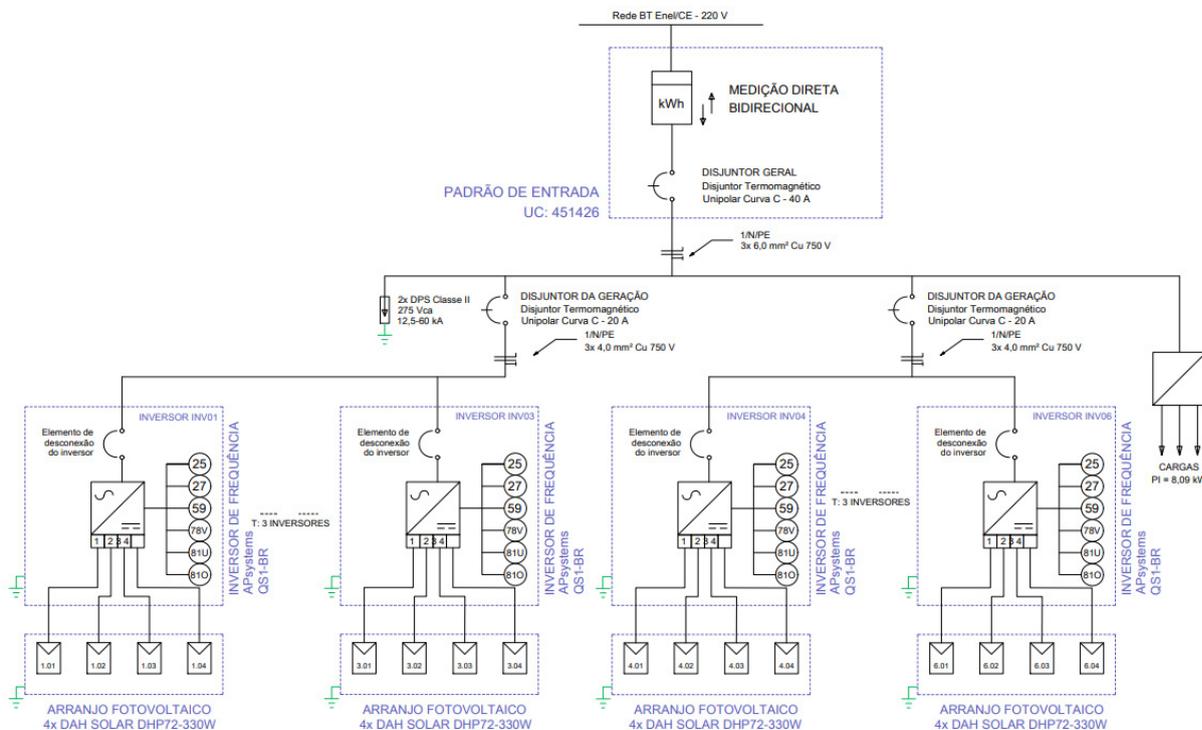
Componente dessas determinações, encontramos o Diagrama Unifilar, documentos de referência para engenheiros e seus assistentes. Trata-se de um “prontuário” descrito como na citação abaixo:

O diagrama unifilar é um componente do projeto de uma instalação elétrica, o qual representa graficamente uma instalação elétrica. Indicando a entrada de serviços, os quadros de distribuição, a divisão dos circuitos, a caracterização dos condutores e dos dispositivos de proteção. O diagrama unifilar é peça fundamental para o profissional que está realizando as instalações e/ou manutenção da infraestrutura elétrica. É no diagrama unifilar que o profissional vai encontrar as especificações e divisões dos circuitos, encontrara ainda as especificações de seção dos condutores de cada circuito. (MORASKI, et al, 2018, p.2)

O diagrama unifilar a seguir é uma reprodução do projeto elaborado pelos colaboradores da Métrica Energia Solar e mostra claramente como os principais

componentes do sistema elétrico estão conectados, com os devidos equipamentos e proteções. Observa-se que junto ao medidor bidirecional existe a proteção geral com um disjuntor termomagnético unipolar de 40 A, onde ao chegar no quadro geral do cliente, são separados dois circuitos, onde cada um atende três (03) microinversores e são protegidos por um disjuntor de 20 A. O fato dos microinversores estarem conectados junto ao quadro das cargas faz com que durante o período de geração, uma parte dessa energia seja consumida instantaneamente, antes de passar pelo medidor bidirecional e ser contabilizado como crédito de energia. A figura 12 mostra o esquemático completo.

Figura 12 – Diagrama Unifilar



Fonte: Métrica Energia Solar

### 3.4.6 Monitoramento e Dados de Geração

Ao finalizar a instalação, foi criado o cadastro do sistema do cliente na plataforma da Apsystems, onde são colocadas as informações do local, número de série dos microinversores e o arranjo dos módulos conforme estão no telhado da residência.

Para acompanhar os dados de geração, monitoramento do sistema e análise de energia, foi utilizado o software APsystems EMA, que é disponibilizado o acesso pelo fabricante para a Métrica Energia Solar, onde a mesma faz o acompanhamento e as configurações necessárias através do login de empresa instaladora. O cliente final pode utilizar o software e aplicativo e tem como principal recurso os seguintes pontos:

- Monitora e permite a análise individual de cada painel FV e microinversor;
- Comunicação em tempo real;
- Gráficos de geração do sistema e parâmetros elétricos;
- Mostra problemas de desempenho e alerta o usuário sobre eventos no sistema.

O aparelho responsável por realizar essa comunicação entre módulos, microinversores e plataforma, é o ECU-R (Energy Communication Unit), este equipamento é a porta de entrada das informações, onde os dados são coletados de forma individual e transferido para um banco de dados da internet em tempo real, a comunicação é realizada através de 2.4 GHz. O dispositivo é conectado à rede wifi local, para ter acesso à internet e os dados serem transmitidos entre equipamentos e plataforma, outra forma de conexão é através de cabo de rede. A figura 13 mostra o equipamento descrito:

Figura 13 – ECU-R



Fonte: Apsystems

Através da plataforma, foi possível acompanhar a geração do sistema diariamente, para estudo deste trabalho, será levado em consideração a geração no ano de 2021. A figura 14 mostra o monitoramento em tempo real e a nível de módulo do sistema descrito, onde são mostrados os 24 módulos na mesma sequência de instalação, o que facilitaria bastante no momento de identificar problemas, realizar testes e acionar garantia de equipamento.

Figura 14 – Tela de monitoramento do sistema



Fonte: APsystems

Com o intuito de analisar os resultados da usina instalada, coletou-se os dados de geração no ano de 2021 e através dele, foi possível obter mais dois indicadores de desempenho, sendo eles:

- Fator de capacidade: razão entre a energia produzida por uma usina num dado período de tempo, e a energia máxima que ela pode produzir com sua plena potência nesse mesmo período de tempo. Pode ser representada através da equação 2.

$$Fc = \frac{Et}{Pt \cdot T} \quad (2)$$

Onde:

Fc = Fator de capacidade (%);

Et = Eletricidade gerada no período de tempo t (kWh);

Pt = Potência nominal instalada (kW);

T = Período de tempo (h).

- Produtividade: relação entre a energia gerada e a potência pico do sistema, sendo representada pela equação 3.

$$P = \frac{Et}{Pt} \quad (3)$$

Onde:

P = Produtividade (kWh/kWp);

Et = Eletricidade gerada no período de tempo t (kWh);

Pt = Potência instalada (kWp).

Para obter o fator de capacidade e a produtividade nos meses, foi considerado o período em horas multiplicando a quantidade de dias de cada mês por 24 e para o valor total, considerou-se o período de tempo de 8760 horas, que são 365 dias no ano de 2021, multiplicado por 24 horas. Os resultados obtidos para indicar o desempenho do sistema é apresentado na tabela 5.

Tabela 5 – Indicadores de desempenho com microinversor

Mês	Et (kWh)	Fc (%)	P (kWh/kWp)
Janeiro	1108,25	20,69	153,92
Fevereiro	999,38	20,66	138,80
Março	958,33	17,89	133,10
Abril	1107,63	21,37	153,84
Mai	985,73	18,40	136,91
Junho	1089,48	21,02	151,32
Julho	1178,24	22,00	163,64
Agosto	1313,51	24,52	182,43
Setembro	1236,78	23,86	171,78
Outubro	1232,12	23,00	171,13
Novembro	1159,05	22,36	160,98
Dezembro	1155,75	21,58	160,52
Total	13524,25	21,44	1878,37

Segundo o boletim mensal de geração solar FV, disponibilizado em agosto de 2021 pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a usinas Conjunto Sol do Futuro, localizada em Aquiraz, possuía no momento um fator de capacidade médio de 22%. O exemplo citado, se caracteriza como uma minigeração, com potência nominal de 81 MW, com isso, pegando como base o estudo em Fortaleza, e se tratando de um sistema de microgeração residencial, pode-se concluir que a média anual de 21,44% para o fator de capacidade, está com um geração acima do esperado, com meses atingindo até 24,52%.

### **3.5 Simulação Utilizando Inversor String**

Como o intuito do estudo é comparar os dados de geração entre as duas tecnologias citadas, e os resultados reais utilizando microinversores já foram apresentados, a etapa atual simula o sistema operando com a tecnologia de inversor string. Para realizar a simulação e obter os resultados de geração, utilizou-se o software PVsyst, utilizando a versão gratuita.

Através deste software é possível obter os dados meteorológicos com precisão, cálculo de perdas por sombreamento, eficiência de cada equipamento e viabilidade econômica de projetos, ou seja, é uma ferramenta confiável para simulação, onde pode se obter com precisão a estimativa de produção de energia solar FV.

Alguns procedimentos adotados e os resultados obtidos são apresentados nos tópicos seguintes.

#### **3.5.1 Painéis Fotovoltaicos**

No software, foi utilizado o mesmo painel FV da instalação de campo, sendo ele da marca DAH Solar, modelo DHP72-330W, utilizando os mesmos 24 (vinte e quatro) módulos. Na versão 7.2 do PVsyst, não tinha esse modelo de módulo no seu banco de dados, com o intuito de deixar a simulação o mais próximo do comparativo ideal, o mesmo foi inserido no software através do arquivo com a extensão PAN (Panorama Database Format), formato permite acessar todas as informações técnicas do módulo FV, de acordo com o datasheet. Para ter acesso a esse arquivo na extensão citada, foi extraído gratuitamente do site da Ecori Energia Solar, através do repositório de arquivos para download.

### 3.5.2 Inversor

O inversor string utilizado na simulação é da marca Growatt, modelo 7000MTL, com potência nominal de saída de 7 kW, se aproximando da potência instalada de 7,2 Kw com os microinversores. Foi utilizado apenas 1 (um) inversor desse modelo. As principais características do inversor são apresentadas na tabela 6 e a folha de dados técnicos (datasheet) encontra-se anexado a este trabalho.

Tabela 6 – Dados Técnicos Growatt 7,0 kW

<b>Dados de Entrada (DC)</b>	<b>Valor</b>
<b>Tensão Máxima de Entrada</b>	<b>550 V</b>
<b>Máxima Potência de Entrada</b>	<b>9100 W</b>
<b>Número de MPPT Independentes</b>	<b>2</b>
<b>Corrente Máxima de Entrada por MPPT</b>	<b>2 * 12,5 A</b>
<b>Dados de Saída (AC)</b>	<b>Valor</b>
<b>Potência Nominal de Saída</b>	<b>7000 W</b>
<b>Faixa de Tensão de saída</b>	<b>180 V ~ 280 V</b>
<b>Corrente Máxima de Saída</b>	<b>33,5 A</b>

Fonte: Growatt

A figura 15 ilustra a simulação na etapa da escolha dos equipamentos e definição do sistema, na plataforma do PVsyst.

Figura 15 – Sistema no PVsyst

**Sub-grupo**

**Nome e orientação do sub-grupo**  
 Nome: Grupo FV  
 Inclinação: 13°  
 Oriente: Plano inclinado fixo  
 Azimute: 62°

**Ajuda para o dimensionamento**  
 Sem pré dim. Introduza Pnom desejado: 0.0 kWp  
 ... ou superfície disponível(módulos): 0 m²

**Seleção do módulo FV**  
 Disponíveis: Filtro: Todos os módulos FV  
 DAH Solar 330 Wp 31V Si-poly DAH 330W Manufacturer  
 Utilizar otimizador  
 Dimens. das tensões: Vmpp (62°C) 33.2 V  
 Vco (22°C) 46.5 V

**Seleção do inversor**  
 Disponíveis: Tensão de saída 400 V Tri 50Hz  
 Growatt New Energy 7.0 kW 140 - 1000 V TL 50/60 Hz MOD 7000TL3-X Desde 2021  
 Número de entradas N: 2 Tensão de funcionamento: 140-1000 V Potência do inversor utilizada 7.0 kWca  
 Utilize multi-MPPT Tensão máxima entrada: 1100 V Inversor com 2 MPPT

**Dimensionamento do grupo**  
 Número de módulos e strings  
 Mod. em série: 12 entre 5 et 21  
 Nr. strings: 2  
 Perdas sobre-pot.: 0.1 %  
 Rácio Pnom: 1.13  
 Nº de módulos: 24 Superfície: 47 m²  
 Ver dimension.

**Condições de funcionamento**  
 Vmpp (62°C) 399 V  
 Vmpp (52°C) 416 V  
 Vco (22°C) 558 V  
 Irradiã. no plano 1000 W/m²  
 Impo (STC) 17.3 A  
 Isc (STC) 18.6 A  
 Potênc. Máx. em funcionamento (em 1000 W/m² e 50°C) 7.2 kW  
 Potência nom. grupo (STC) 7.9 kWp

**Lista dos sub-grupos**

Nome	#Mód #Inv.	#String #MPPT
Grupo FV		
DAH Solar - DAH 330W	12	2
Growatt New Energy - MOD 70...	1	2

**Resumo do sistema global**

Número de módulos	24
Superfície módulos	47 m²
N.º de inversores	1
Potência nominal FV	7.9 kWp
Potência máxima FV	7.8 kWDC
Potência AC nominal	7.0 kWAC
Rácio Pnom	1.131

Esquema simplificado Anular OK

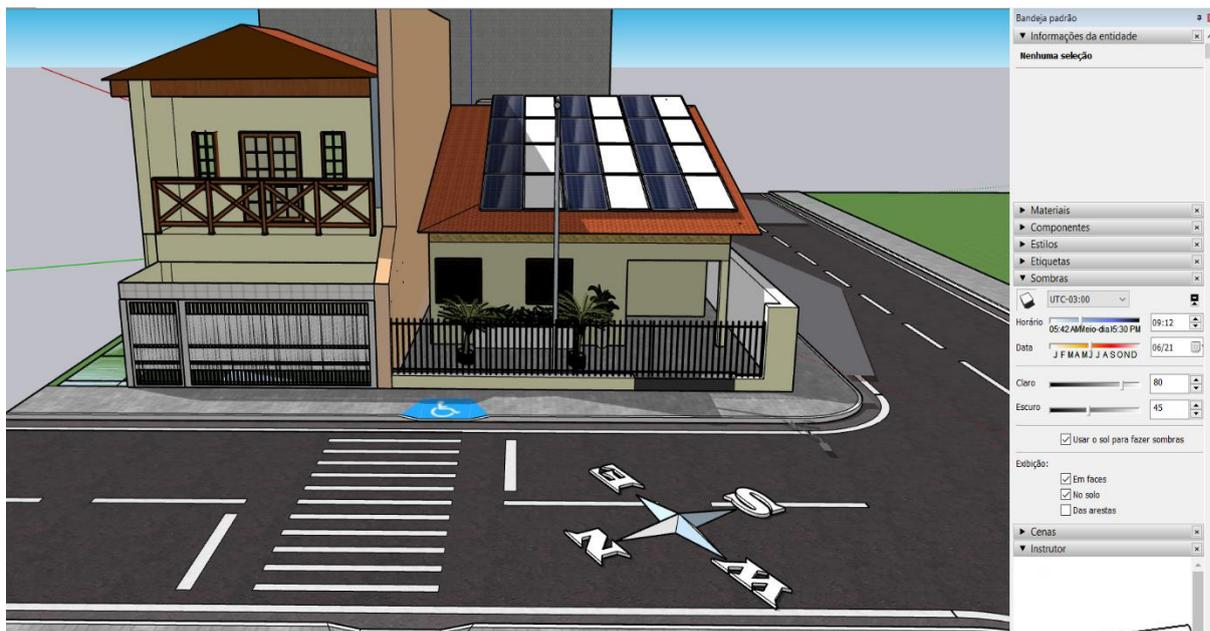
Fonte: PVsyst

### 3.5.3 Modelagem 3D

Com a finalidade de realizar um estudo e modelagem 3D do local da instalação, foi escolhido o software Sketchup, através da versão gratuita. A ferramenta citada é um software para criação e desenvolvimento de modelos 3D, uma de suas vantagens e diferencial é em relação a geolocalização, no qual é possível realizar o projeto com a sua localização exata, através da latitude e longitude. O Sketchup foi escolhido para desenvolver o projeto 3D e ser exportado para o PVsyst, proporcionando uma simulação mais precisa dos sombreamentos e a visualização do local mais próxima com a realidade do local de estudo.

Através da figura 16 é possível ter uma representação dos possíveis sombreamentos do local, inclinação do telhado e layout dos módulos de acordo com a instalação finalizada, com todos para a mesma orientação. A imagem mostra a simulação referente ao mês de junho do ano de 2021, às 9h12min e é apresentada a bússola para orientação. Como citado, esta modelagem foi importada para o software PVsyst e utilizado na etapa de modelagem 3D, isso fez com que os dados de geração de energia fossem coletados e analisados o mais próximo da realidade possível.

Figura 16 – Modelagem 3D



Fonte: Elaborado pelo autor com base no software Sketchup.

### 3.5.4 Resultados de Simulação

Na análise realizada com a tecnologia de inversor string, foi utilizada apenas um único cenário já descrito anteriormente, com os possíveis sombreamentos da residência ao redor e o poste da concessionária de energia, simulados no Sketchup, com todos os módulos FV na mesma queda d'água do telhado. A geração de energia foi simulada levando em consideração todas as estações do ano de 2021, e os resultados são apresentados no PVSyst como geração anual na unidade de MWh/ano. Os principais resultados são apresentados nas figuras 17 e 18, com destaque para um índice de performance (PR) de 66,24%, uma geração anual de 10,34 MW/ano e uma irradiação horizontal total de 1994,8 kWh/m<sup>2</sup>.

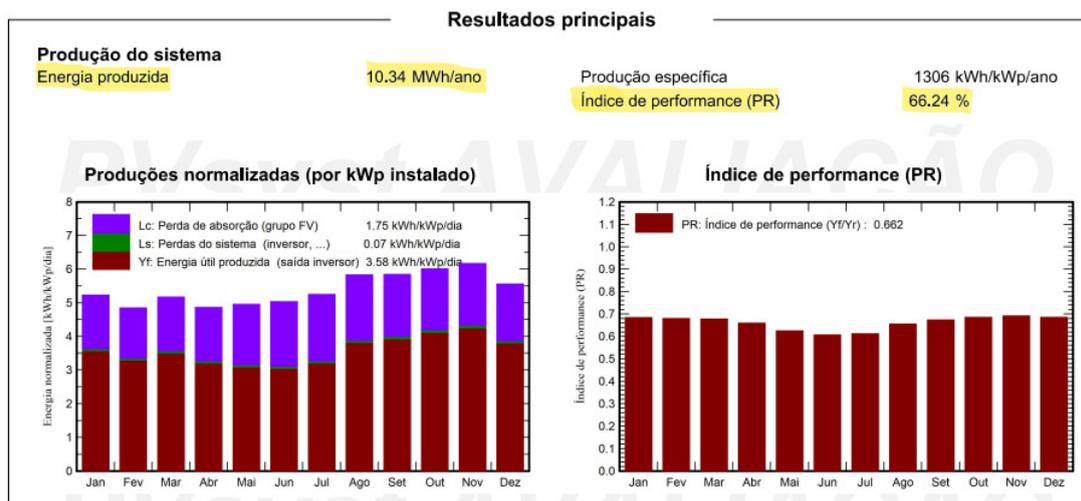
Figura 17 – Principais resultados



Projeto: Lisieux jóquei clube

Variante: Simulação com growatt

PVsyst V7.2.12

VC1, Data da simulação: 22/03/22 18:46  
com v7.2.12

Fonte: Extraído do PVsyst (2022)

Figura 18 – Balanço geral

**Balanços e resultados principais**

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	rácio
Janeiro	171.9	82.31	27.51	162.1	153.1	0.895	0.877	0.684
Fevereiro	139.7	76.80	27.35	135.8	128.3	0.746	0.731	0.680
Março	163.0	74.78	27.29	160.3	151.8	0.878	0.861	0.678
Abril	145.4	77.55	26.68	146.0	137.1	0.778	0.762	0.660
Mai	150.2	73.92	27.18	153.5	142.7	0.776	0.760	0.625
Junho	145.5	61.96	26.40	151.0	139.7	0.741	0.726	0.607
Julho	157.8	66.17	26.59	162.7	151.1	0.805	0.789	0.612
Agosto	178.0	73.61	26.83	180.8	170.5	0.957	0.939	0.655
Setembro	177.8	70.37	26.65	175.3	166.2	0.952	0.934	0.673
Outubro	190.7	83.55	27.39	186.3	176.9	1.031	1.012	0.686
Novembro	192.5	70.99	27.24	185.0	176.0	1.032	1.013	0.691
Dezembro	182.4	76.97	27.80	172.2	162.9	0.953	0.935	0.685
<b>Ano</b>	<b>1994.8</b>	<b>888.97</b>	<b>27.08</b>	<b>1971.1</b>	<b>1856.3</b>	<b>10.544</b>	<b>10.340</b>	<b>0.662</b>

**Legendas**

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		

Fonte: Extraído do PVsyst (2022)

Conforme foi apresentado na seção 4.4.6 e com os dados de geração coletados, foi possível obter os indicadores de desempenho do sistema operando com

o inversor string, os resultados são apresentados na tabela 7, mostrando o fator de capacidade e produção do sistema.

Tabela 7 – Indicadores de desempenho com inversor string

Mês	Et (kWh)	Fc (%)	P (kWh/kWp)
Janeiro	895	16,71	124,31
Fevereiro	746	15,42	103,61
Março	878	16,39	121,94
Abril	778	15,01	108,06
Maio	776	14,49	107,78
Junho	741	14,29	102,92
Julho	805	15,03	111,81
Agosto	957	17,87	132,92
Setembro	952	18,36	132,22
Outubro	1031	19,25	143,19
Novembro	1032	19,91	143,33
Dezembro	953	17,79	132,36
<b>Total</b>	<b>10544</b>	<b>16,72</b>	<b>1464,44</b>

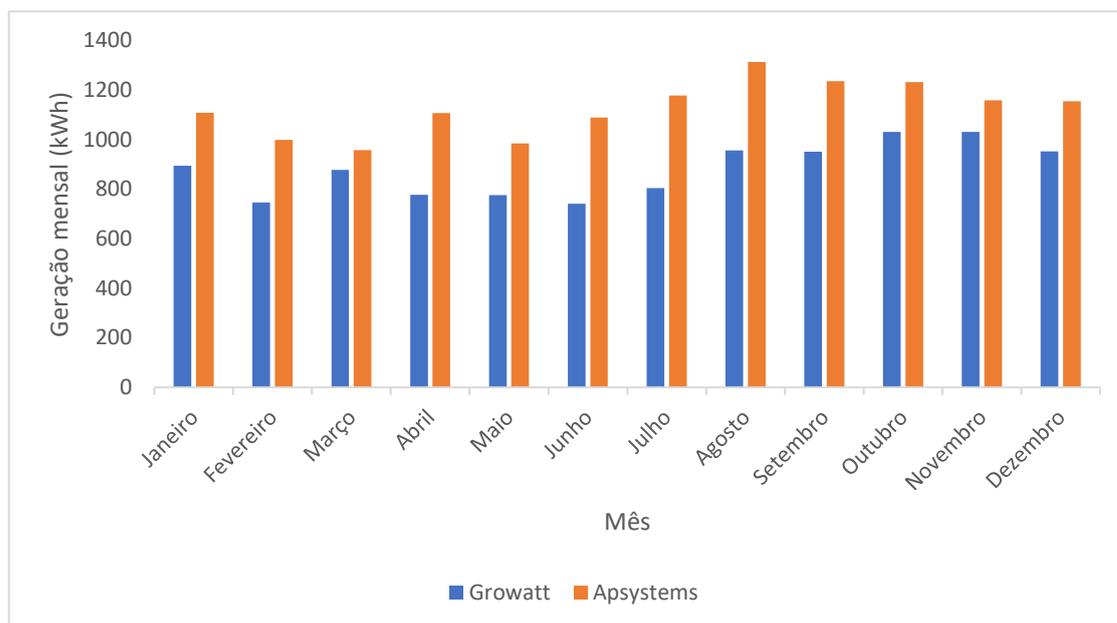
Fonte: do Autor, 2022

### 3.6 Comparativo de Geração

Através dos resultados de simulação da seção anterior e dos dados de geração do sistema instalado, foi possível comparar a geração entre os microinversores e inversor string ao longo de 2021. Desde a instalação concluída e a partir da troca para o medidor bidirecional, o sistema com microinversores teve uma geração anual de 13524,25 kWh, já a simulação com o inversor string, gerou aproximadamente 10544 kWh.

Como esperado e comentado na seção 3.4.2.2, o sistema com microinversores teve uma geração superior em relação à geração do inversor string, principalmente pelo fato das perdas por *mismatch*. Foi encontrado uma diferença de geração em 2980,25 kWh/ano, representando em 28% a mais para o sistema operando com microinversores. A figura 19 ilustra o comparativo de geração entres as duas tecnologias, analisando cada mês ao longo do ano de 2021.

Figura 19 – Comparativo de Geração



Fonte: do Autor, baseado no PVsyst (2022)

### 3.7 Comparativo Financeiro

Para ter uma análise geral do comparativo financeiro, dos diferentes sistemas operando, foi levado em consideração a tarifa do ano de 2021 em aproximadamente R\$ 0,78 reais, já com os tributos aplicados e com o cliente sendo atendido na rede de baixa tensão para a concessionária Enel do estado do Ceará. A receita em reais pode ser calculada pela equação 4:

$$R = E \times T \quad (4)$$

Onde:

R = Receita (R\$);

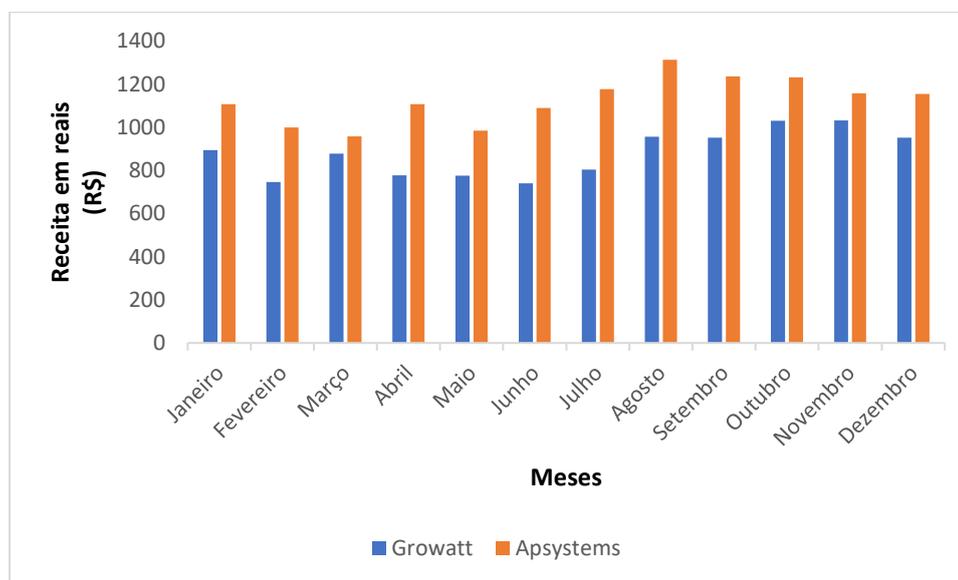
E = Energia gerada (kWh);

T = Tarifa (R\$/kWh).

Como já foi mostrado na seção anterior a energia anual gerada de cada sistema e já foi adotado o valor médio da tarifa, pode-se obter o valor financeiro que a energia solar pode proporcionar para o sistema descrito. Com isso, pode-se concluir que em

2021, o sistema com microinversores teve um benefício de aproximadamente R\$ 10.548,92, já a tecnologia de inversor string, geraria em torno de R\$ 8.224,32. A figura 20 ilustra o comparativo ao longo dos meses:

Figura 20 – Comparativo financeiro



Fonte: do Autor (2022)

Em relação ao comparativo entre as duas tecnologias, o sistema instalado com microinversores, geraria uma economia de R\$ 2.324,60 ao cliente, apenas no primeiro ano. Levando esta economia ao longo dos 25 anos, que é o prazo da garantia de geração de energia dos módulos, a economia ficaria em torno de R\$ 58.115,00. Vale salientar que esses cálculos não consideram análises de fluxo de caixa em função do tempo e não podem ser considerados para retorno de investimento, apenas para conhecimento geral.

#### 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um referencial teórico, com a definição de conceitos básicos e fundamentais para a compreensão dos sistemas FV. Com isso, foram apresentados os dois tipos de tecnologias analisadas para o estudo de caso, o método de simulação através de softwares e o comparativo entre suas gerações, podendo ser possível concluir qual melhor atenderia às necessidades da instalação localizada em Fortaleza, capital do Ceará.

Os primeiros resultados foram coletados através da instalação concluída, um sistema de 7,92 kWp, utilizando microinversores, no qual através da plataforma do fabricante Apsystems, foi possível coletar os dados reais de geração de eletricidade ao longo do ano de 2021.

Para o estudo em questão e o comparativo ser realizado, foram utilizados os softwares PVsyst e Sketchup, onde foi realizada a simulação para o mesmo local, seguindo as mesmas características de projeto, realizando a simulação com inversor string da marca Growatt, e através disso, saber qual tecnologia melhor se aplicaria ao local.

Com as análises realizadas e resultados obtidos, foi possível concluir que a escolha pela utilização de microinversores na instalação, foi feita da forma correta, tendo em vista que o sistema com Apsystems, utilizando 6 microinversores do modelo QS1-BR, apresentou uma geração de eletricidade superior em 2.980,25 kWh ao longo do ano de 2021, com uma média acima dos 240 kWh mensais, superando o sistema com o inversor da string da Growatt, modelo 7000MTL, em aproximadamente 28%. Utilizando como referência o valor da tarifa da concessionária Enel do estado do Ceará, essa geração superior com a tecnologia de microinversores promoveu uma economia de R\$ 2.324,60 apenas no primeiro ano.

Diante do exposto, o estudo concluído pode ser considerado satisfatório, mostrando a importância da escolha e aplicação correta da tecnologia que deve ser utilizada em cada situação, e que devido aos sombreamentos e mais algumas vantagens que foram apresentadas no tópico 2.4.2.2, o microinversor apresentou vantagem em relação ao inversor string, atendendo a todos os requisitos técnicos.

#### **4.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Ainda em relação ao tema deste trabalho, alguns estudos podem ser desenvolvidos e outras análises serem realizadas, dentre eles, algumas sugestões estão listadas abaixo:

- Estudo de viabilidade de expansão do sistema para a outra queda d'água do telhado e analisar qual tecnologia implementar;
- Estudo detalhado sobre perdas e qual sombreamento impactou mais no rendimento do inversor string;
- Comparativo de geração entre dois sistemas de mesmo kWp e tecnologia, mas em localidades diferentes.
- Estudo de viabilidade financeira de sistema com microinversores com potência instalada acima de 75 kW.

## REFERÊNCIAS

ABASTECIMENTO. Entenda a crise hídrica que ameaça o fornecimento de energia no Brasil. *Jornal Correio Brasiliense*, Brasília, 15/06/2021. Disponível em: <https://www.correiobrasiliense.com.br/brasil/2021/06/4931467-entenda-a-crise-hidrica-que-ameaca-o-fornecimento-de-energia.html>. Acessado em 12/08/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: instalações elétricas de baixa pressão. 2. ed. Versão corrigida. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/CB-003 NBR 16690**: instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos. 2º projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). **Diário oficial da união**, seção 1, Brasília, DF, n.5, p. 4, 6 jan. 2022. Extraído de <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821> em 05/02/2022, às 11h15min.

**BRASIL** ultrapassa marca de 10 GW em micro e minigeração distribuída. Site da ANEEL, 2022. Disponível em <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acessado em 19/04/2022, às 17h22min.

CARNEIRO, Joaquim. Eletromagnetismo B módulos fotovoltaicos: características e associações. Departamento de física, Universidade do Minho: Guimarães, Portugal, 2010, p.5. Extraído de: <http://repositorium.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos%20Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf>. Acessado em 22/02/2022, às 9h24min.

CLIMA Fortaleza. Site do CLIMATE-DATA-ORG. Extraído de: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/ceara/fortaleza-2031/>. Acessado em 17/04/22.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 16.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

DIAGRAMA unifilar. Site do IFELL Engenharia. Extraído de: <https://www.ifell.com.br/diagrama-unifilar/>. Acessado em 17/04/22.

ENERGÊS A linguagem da energia. **Guia completo do módulo fotovoltaico**. Comunidade Energês, 17/mar/2020. Extraído de <https://energes.com.br/guia-completo-modulos-fotovoltaicos/>. Acessado em 22/02/2022, às 9h07min.

GERAÇÃO de energia solar: três modalidades que você talvez não conheça. Site do Blue Sol. Extraído de: <https://blog.bluesol.com.br/geracao-de-energia-solar-3-modalidades/>. Acessado em 24/04/22.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GODOI, Rodolfo Rodrigues de. **Análise Comparativa de Desempenho de Inversor *String* e Microinversor**. Uberlândia: UFU, 2018. (Tese).

JENSEN, Leonardo Henrique. **Sistema fotovoltaico de fornecimento off-grid: metodologia para o dimensionamento de sistema residencial isolado**. Palhoça, SC: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2021. (Monografia). Extraído de <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/19115/1/TCC%20Leonardo%20Jensen.pdf>. Acessado em 23/02/2022, à 12h14min.

LAZZARIN, Telles Brunelli. **Paralelismo de inversores de tensão**. Florianópolis, UFSC, 2010. (Tese).

MARTINS João Gabriel de Araujo et al. Comparação das eficiências entre sistemas fotovoltaicos instalados na UECE. In: **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020.

MATRIZ energética e elétrica. Site da Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Extraído de: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acessado em 23/04/22.

MICHAELIS Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. São Paulo: Melhoramentos, 2022. Extraído de <https://michaelis.uol.com.br/>. Acessado em 30/03/2022, às 16h29min.

**MLPE**: a tecnologia dos sistemas de energia solar fotovoltaica. Site da SIRIUS, 2021. Disponível em <https://energiasirius.com/mlpe/>. Acessado em 02/02/2022, às 10h20min.

MORAES, Juliano Ferreira, LAGE, Eduardo Gouveia Santiago. Estudo, coleta de dados e informações específicas de um inversor *offgrid* fotovoltaico. **Revista Engineering Sciences**, v.9, n.1, dez 2020 a mar 2021. Extraído de <http://www.sustenere.co/index.php/engineeringsciences/article/view/CBPC2318-3055.2021.001.0010/2665>. Acessado em 23/02/2022.

MORASKI, Mateus Eichkoff et alii. **A obrigatoriedade do diagrama unifilar**. Ijuí – RS: XIX Jornada de Extensão, 2018.

PANORAMA da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Site da ABSOLAR, N.42, 07/04/22. Extraído de: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acessado em 10/04/22.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA, Narlton Xavier. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil**: geração distribuída versus geração centralizada. Sorocaba: UNESP, 2019. (Dissertação de mestrado). Extraído de <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/181288> e acessado em 19/04/2022, às 15h35min.

PERSPECTIVAS de crescimento da energia solar em 2022. Energia total, energia solar. 2022. Disponível em [https://www.energiatotal.com.br/as-perspectivas-para-energia-solar-em-2022#:~:text=2022%20ser%C3%A1%20o%20ano%20da,International%20Energy%20Agency%20\(IEA\)](https://www.energiatotal.com.br/as-perspectivas-para-energia-solar-em-2022#:~:text=2022%20ser%C3%A1%20o%20ano%20da,International%20Energy%20Agency%20(IEA).). Acessado em 18/05/2022.

PINHO, João Tavares, GALDINO, Marco Antonio (org). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, CRESESB, 2014.

RELVA, Stefania Gomes. **Método de caracterização da irradiação para geração fotovoltaica**: uma análise sistêmica da modelagem da energia primária. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2017. (Dissertação de mestrado).

ROVERSI, Karoline, RAMPINELLI, Giuliano Arns. Análise do fator de dimensionamento do inversor em um sistema fotovoltaico conectado à rede. In: **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020.

TAUIL & CHEQUER ADVOGADOS ASSOCIADO A MAYER BROWN. Lei nº 14.300/2022: marco legal da geração distribuída. **Informativo Energia Elétrica**, v.8, n.63, 13/01/22, p.1-3. Extraído de <https://www.mayerbrown.com/-/media/files/perspectives-events/publications/2022/01/informativo-do-setor-eletrico--lei-n-14300-de-2022--marco-legal-da-gd.pdf>. Acessado em 05/02/2022, às 15h56min.

TRIBUCI, Einar. Marco legal da geração distribuída. **Revista 3S**, São Leopoldo, RS, n. 6, p.34-36. Extraído de [https://energia3s.com.br/wp-content/uploads/2022/02/3S-6a-EDICAO\\_VF.pdf](https://energia3s.com.br/wp-content/uploads/2022/02/3S-6a-EDICAO_VF.pdf). Acessado em 10/04/2022.

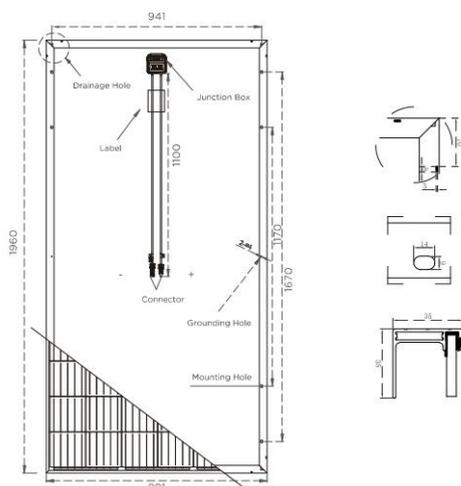
VALENTE, Miguel Ângelo Silveiro. **Caracterização automática de um painel fotovoltaico**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2011. (Dissertação de Mestrado). Extraído de: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/6110/1/Valente\\_2011.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/6110/1/Valente_2011.pdf). Acessado em 22/02/2022.

VANTAGENS e desvantagens da energia solar fotovoltaica. Site da Portal Solar. Extraído de: <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>. Acessado em 17/04/22.

## ANEXO A – Ficha Técnica Módulo DAH Solar DHP72 330 W

### Poly PV Module DHP72 330W-335W

#### Projeto



#### Especificação Mecânica

Tipo de célula	Poly 156,75x156,75mm
Peso	22.5kg
Dimensão (LxWxT)	1960x991x35mm
Cabos de saída	TUV, Length 1100mm, 4.0mm <sup>2</sup>
Número de células	72 (6x12)
Vidro	3.2mm High Transmission, Antireflection Coating
Caixa de Junção	IP68, 3 Bypass Diodes
Conector	QC4
Embalagem	30pcs/pallet, 300pcs/20GP, 7920pcs/40HQ

#### Parâmetros operacionais

Tensão máxima do sistema	1000V/1500V DC
Temperatura de operação	-40 - +85°C
Classificação máxima de fusíveis em série	20A
Carga de neve, frente	5400Pa
Carga de vento, parte traseira	2400Pa
Temperatura nominal da célula operacional	45°C±2°C
Nível de aplicação	Class A

#### Características Elétricas | STC

Tipo de módulo	DHP72-330W	DHP72-335W
Potência máxima (Pmax)	330W	335W
Tensão de circuito aberto (Voc)	46.1V	46.3V
Tensão de potência máxima (Vmp)	37.3V	37.6V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9.29A	9.39A
Corrente de potência máxima (Imp)	8.85A	8.91A
Eficiência do módulo (%)	17.02%	17.28%
Tolerância de Potência	0-+5W	
Coefficiente de temperatura de Isc	0.05%/°C	
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.32%/°C	
Coefficiente de potência de Pmax	-0.41%/°C	
Ambiente de teste padrão	Irradiância 1000W/m <sup>2</sup> , temperatura da célula 25°C, Espectro AM1.5	

#### Características Elétricas | NOCT

Tipo de módulo	DHP72-330W	DHP72-335W
Potência máxima (Pmax)	246W	249W
Tensão de circuito aberto (Voc)	42.7V	42.9V
Tensão de potência máxima (Vmp)	34.6V	34.9V
Corrente de curto-circuito (Isc)	7.57A	7.58A
Corrente de potência máxima (Imp)	7.11A	7.14A
Ambiente de teste padrão	Irradiância 800W/m <sup>2</sup> , Temperatura da célula 20°C Espectro AM1.5, Velocidade do vento 1m/s	

**DAH solar**

Top Runner of Smart PV Module

Endereço da Fábrica: Nº.358 Tianhe Road, Luyang Industrial Park, Hefei City, Anhui, China

Endereço do Escritório: Andar 1-3, 6#A, Gongtou Xinglu Industrial Park, Hefei City, Anhui, China

Email: sales@dh-solar.cn Tel: +86-0551-65655842

## ANEXO B – Ficha Técnica Microinversor Apsystems QS1-BR

### Datasheet do Microinversor QS1

Região	Brasil
<b>Dados de Entrada (DC)</b>	
Faixa recomendada de potência do módulo fotovoltaico (STC)	250Wp-450Wp+
Faixa de tensão do MPPT	22V-48V
Faixa de tensão de operação	16V-55V
Tensão máxima de entrada	60V
Tensão de partida	20V
Corrente máxima de operação	14A x 4
Corrente máxima de curto-circuito DC	16A x 4
<b>Dados de Saída (AC)</b>	
Potência nominal de saída	1200VA
Potência máxima de saída	1250VA
Tensão nominal de saída	220V/ 176V-242V
Faixa de tensão ajustável de saída	150V-280V
Corrente máxima de saída	5.45A
Número máximo por segmento	3 unidades por disjuntor CA 25A
Frequência nominal de saída	60Hz/ 57.5Hz-62Hz
Faixa de frequência ajustável de saída	55Hz-65Hz
Fator de potência	>0.99 (-0.8 - 0.8 ajustável)
Distorção harmônica total	<3%
Corrente máxima de falha (AC) e duração	137 Ap, 0.78 ms de duração
Proteção de sobrecorrente máxima de saída	10A
<b>Eficiência</b>	
Eficiência máxima	96.5%
Eficiência nominal MPPT	99.5%
Consumo de energia noturno	30mW
<b>Dados Mecânicos</b>	
Faixa de temperatura ambiente de operação	-40°F a +149°F (-40 °C a +65 °C )
Faixa de temperatura de armazenamento	-40°F a +185°F (-40 °C a +85 °C )
Dimensões (L x A x C)	11.1" x 9.1" x 1.6" (281mm x 231mm x 41.3mm)
Peso	9.9lbs (4.5kg)
Corrente máxima do cabo tronco	25A
Tipo de conector	Tipo MC4
Classificação de proteção	IP67
Refrigeração	Convecção natural; Sem ventoinhas
<b>Características</b>	
Comunicação (Inversor com ECU)	Wireless
Tipo de transformadores	Transformadores de alta frequência, galvanicamente isolado
Monitoramento	Via EMA* Portal Online
<b>Certificado e Conformidade</b>	
Conformidade	ABNT NBR 16149:2013; ABNT NBR 16150:2013; ABNT NBR IEC 62116: 2012

\* Plataforma online de Gerenciamento e Análise de Energia da (EMA).



Especificações sujeitas a alterações sem aviso prévio - certifique-se de que você está usando a última atualização está na latam. Apsystems.com

© Todos os Direitos Reservados

Apsystems en Guadalajara:

AV. Lazaro Cardenas 2850-5o Piso, Colonia Jardines del Bosque C.P. 44520, Guadalajara, Jalisco  
+52 (33) 3188 4604 | info.latam@apsystems.com

## ANEXO C – Ficha Técnica Inversor Growatt 7000MTL-S

Ficha de dados	7000MTL-S	8000MTL-S
<b>Dados de entrada</b>		
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	9100W	10500W
Máxima tensão CC	550V	550V
Tensão de partida	100V	100V
Tensão nominal	360V	360V
Faixa de tensão de MPP	80-550V	80-550V
Número de MPPT	2	2
Número de strings fotovoltaicos por MPPT	2/1	2/1
Corrente máxima de entrada por MPPT	2*12.5A/12.5A	2*12.5A/12.5A
Máx. corrente de curto-circuito por MPPT	32A/16A	32A/16A
Categoria de sobretensão CC	Categoria II	Categoria II
<b>Saída (CA)</b>		
Potência nominal de saída CA	7kW	8.2kW
Potência aparente máxima de CA	7kVA	8.2kVA
Tensão nominal de saída(Faixa)	220V(180–280V)	220V(180–280V)
Frequência de rede CA(Faixa)	50/60Hz(44-55Hz;54-65Hz)	50/60Hz(44-55Hz;54-65Hz)
Corrente máxima de saída	33.5A	35.7A
Fator de potência (@potência nominal)	>0.99	>0.99
Fator de potência ajustável	0.8i-0.8c	0.8i-0.8c
THDI	<3%	<3%
Tipo de conexão da rede CA	Fase única	Fase única
Categoria de sobretensão CA	Categoria III	Categoria III
<b>Eficiência</b>		
Máxima eficiência	98.4%	98.4%
Eficiência europeia	97.9%	97.9%
<b>Dispositivos de proteção</b>		
Proteção de polaridade reversa de CC	sim	sim
Interruptor CC	sim	sim
Proteção sobretensão CC	TipIII	TipIII
Monitoramento de resistência de isolamento	sim	sim
Proteção de sobretensão CA	TipIII	TipIII
Proteção contra curto-circuito CA	sim	sim
Monitoramento de falta à terra	sim	sim
Monitoramento de grade	sim	sim
Proteção anti-ilhamento	sim	sim
Unidade de monitoramento de corrente residual	sim	sim
<b>Dados Gerais</b>		
Dimensões (L/A/P)	419/355/185mm	419/355/185mm
Peso	16.8 kg	16.8 kg
Faixa de temperatura operacional	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Emissão de ruído (típico)	≤ 25 dB(A)	≤ 25 dB(A)
Altitude	3000m	3000m
Auto-consumo à noite	<0.5W	<0.5W
Topologia	Sem transformador	Sem transformador
Resfriamento	Natural	Natural
Grau de proteção ambiental	IP65	IP65
Humidade relativa	0–100%	0–100%
Conexão CC	VP-D4/MC4(Opcional)	VP-D4/MC4(Opcional)
Conexão CA	Conector CA	Conector CA
<b>Características</b>		
Exibição	LCD+LED	LCD+LED
RS485/RS232	Integrado	Integrado
WiFi/GPRS/4G/LAN/ RF	Opcional	Opcional
Garantia: 5 anos / 10 anos	Sim /Opcional	Sim /Opcional
INMETRO,AS/NZS 4777.2,IEC62109-1,IEC62109-2		

## ANEXO D – Ficha Técnica String Box CLAMPER Solar SB 1000 1-2E/2S



### CLAMPER Solar SB 1000 1-2E/2S

Especialista na proteção contra raios e surtos elétricos

#### Descrição

Caixa de junção (String Box), equipada com Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) CLAMPER Solar. Possui dispositivo de seccionamento do circuito entre o módulo fotovoltaico e o inversor.

#### Características gerais

- Possibilidade de conexão de até dois arranjos fotovoltaicos (Strings);
- Duas saídas comutadas;
- Adequado para uso externo.

#### Características do DPS

- Classe II (IEC 61643-31);
- Tecnologia de proteção através de Varistor de Óxido Metálico (MOV);
- Tensão máxima de operação contínua de  $1040 V_{oc}$  e corrente de descarga máxima de 20 kA.

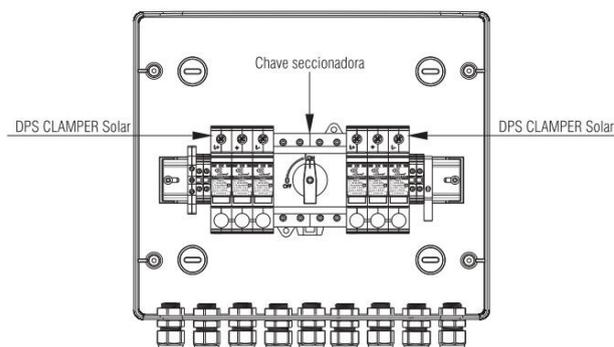
#### Aplicação

Proteção e seccionamento de sistemas fotovoltaicos.



Características técnicas	Unid.	CLAMPER Solar SB
Código CLAMPER	-	014194
Norma aplicável	-	IEC 61643-31
Nº de entradas	-	1 ou 2
Nº de saídas	-	2
Seção dos condutores internos	mm <sup>2</sup>	4
Tensão máxima de operação por string - $U_L$	$V_{oc}$	1.040
Corrente de carga máxima por string - $I_L$	A	10
Potência máxima por string - $W_{max}$	W	10.040
Temperatura de operação	°C	-40 ... +70
Involúcro	-	Material com características de não propagação e auto-extinção do fogo
Grau de proteção	-	IP65
Peso aproximado	kg	2,5
Dimensões máximas	mm	300 x 260 x 140 (C x A x P)

#### Estrutura do produto





## CLAMPER Solar SB 1000 1-2E/2S

Especialista na proteção contra raios e surtos elétricos

### Características técnicas do dispositivo de proteção - DPS CLAMPER Solar

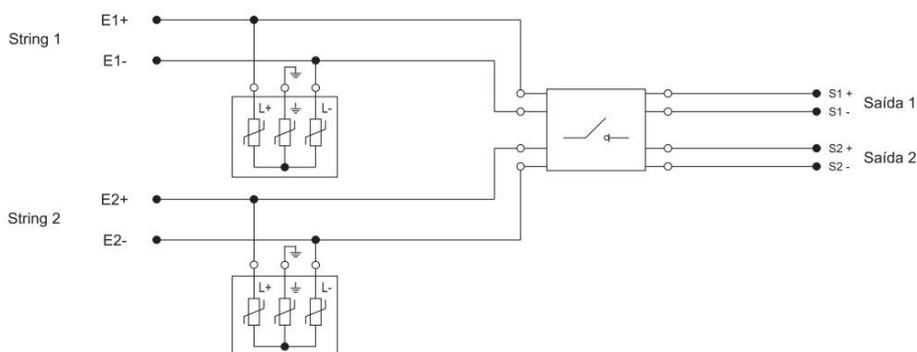
Código CLAMPER	-	012311 (L+/L-)   012312 (PE)
Norma aplicável	-	IEC 61643-31
Classe de proteção	-	II
Tecnologia de proteção	-	Varistor de Óxido Metálico (MOV)
Modos de proteção	-	L+/PE, L-/PE (modo comum), L+/L- (modo diferencial)
Nível de proteção - $U_p$	kV	5,0
Tempo de resposta típico	ns	< 25
Tensão máxima de operação contínua - $U_{cny}$	V <sub>DC</sub>	1.040
Corrente de descarga nominal @ 8/20 $\mu$ s - $I_n$	kA	10
Corrente de descarga máxima @ 8/20 $\mu$ s - $I_{max}$	kA	20
Corrente de descarga total @ 8/20 $\mu$ s - $I_{TOT}$	kA	40
Indicação de proteção em serviço*	-	Local, através de bandeirola (Verde - SERVIÇO; Vermelho - DEFEITO)

### Características técnicas da chave seccionadora

Norma aplicável	-	IEC 60947-3
Número de pólos	-	4
Corrente máxima por string @ $U_c = 1.000$ V	A	13
Tensão nominal de isolamento - $U_i$	V <sub>DC</sub>	1.200
Tensão nominal de pulso - $U_{imp}$	kV	8
Conexões	-	M4
Grau de proteção	-	IP20

\*Produto com sinalização remota sob consulta.

### Diagrama elétrico



## ANEXO E – Ficha Técnica ECU-R APsystems

### ECU-R Datasheet

#### Communication Interface

Integrated Wi-Fi	802.11g/n
Communication	ZigBee 2.4 GHz
Ethernet	10/100M Auto-sensing, Auto-negotiation
Wireless Security	WEP, WPA2-PSK
USB Port (North America ONLY)	4G cellular communication (external APsystems dongle needed)

#### Power Data

Power Supply	5V, 2A
Power Consumption	1.7 W
Maximum Communicating Inverter Qty(*)	100

#### Mechanical Data

Dimensions (W×H×D)	4.8" x 3.4" x 0.98" (122 mm x 87 mm x 25 mm)
Weight	0.33lbs (150g)
Ambient Temperature Range	-4°F to +149°F (-20°C to +65°C)
Cooling	Nature Convection; No Fans
Enclosure Environmental Rating	Indoor - NEMA 1 (IP20)

#### Features

Compliance	IEC 60950-1, EN60950-1, IEC 60529, EN 60529, ANSI/UL 60950-1, CAN/CSA C22.2 No.60950-1, UL50E, FCC part 15, EN61000-6-1, EN61000-6-3, ICES-003, AS NZS 60950-1, GB/T17799
------------	--

(\*): Maximum number of microinverters per ECU may vary depending on the PV array size and layout, maximum distance between ECU and microinverters in the array, obstacles (thick concrete wall, metallic roof top).