

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LEONARDO ARAÚJO DA SILVA

**APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE ZERO GRID EM UMA USINA DE
MICROGERAÇÃO VOLTADA A REDUÇÃO DO CONSUMO DIURNO**

NATAL/RN
2024

LEONARDO ARAÚJO DA SILVA

**APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE ZERO GRID EM UMA USINA DE
MICROGERAÇÃO VOLTADA A REDUÇÃO DO CONSUMO DIURNO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Max Chianca Pimentel Filho

NATAL/RN
2024

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Silva, Leonardo Araujo da.

Aplicação da estratégia de controle zero grid em uma usina de microgeração voltada a redução do consumo diurno / Leonardo Araujo da Silva. - 2024.

65 f.: il.

Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Engenharia elétrica, Natal, 2024.

Orientação: Dr. Max Chianca Pimentel Filho.

1. Estratégia de exportação zero grid - Monografia. 2. Microgeração distribuída - Monografia. 3. Consumo instantâneo de energia - Monografia. I. Pimentel Filho, Max Chianca. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 621.3

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA – DEE
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica – CCEE

**COMPROVANTE DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO –
TCC II**

Nome do aluno: LEONARDO ARAÚJO DA SILVA

Número da matrícula: 20170141662

Título do trabalho: **APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE ZERO GRID EM
UMA USINA DE MICROGERAÇÃO VOLTADA A REDUÇÃO DO CONSUMO
DIURNO**

Após a apresentação do trabalho e o exame pela banca, o aluno foi considerado **apro-
vado** (aprovado ou reprovado).

Membros da banca:

- | | |
|---|------------|
| 1. Prof. Max Chianca Pimentel Filho
Orientador | Assinatura |
| 2. Prof. Arrhenius Vinicius Da Costa Oliveira
Examinador | Assinatura |
| 3. Prof. José Luiz Da Silva Junior
Examinador | Assinatura |

Natal, 20 de agosto de 2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me dá forças, perseverança e capacidade para superar todos os obstáculos desde o momento da minha aprovação até o dia de hoje.

A toda minha família, desde os meus pais, minha irmã, meus tios, primos e entre outros que sempre me incentivaram e apoiaram independente de qualquer dificuldade. Sempre falando para continuar e seguir o meu sonho até se concretizar.

A todos os meus amigos que sempre me apoiaram e ajudavam inclusive alguns que compartilharam salas de aula comigo e sabem quais são as dificuldades enfrentadas.

Ao prof. Dr. Max Chianca Pimentel Filho, por aceitar ser meu orientador e está sempre a disposição para ajudar, acreditando e passando confiança para conclusão deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho é abordada a estratégia de controle de exportação zero grid em uma usina solar, onde esta estratégia se propõe a gerar energia de acordo com o consumo da carga em tempo real, sem que haja injeção na rede da concessionária. Para sua implementação é necessário que o inversor fotovoltaico tenha a capacidade de controlar a quantidade de energia que vai gerar e tenha conexões que possam receber informações e comandos de um medidor inteligente. Nesta aplicação o equipamento fica conectado à rede da concessionária para que possa ajustar os seus parâmetros para funcionar em paralelo com a rede.

Será realizada a análise da aplicação de uma usina de microgeração distribuída solar fotovoltaica que utiliza a estratégia de controle de exportação zero grid para diminuir o valor da fatura de energia de um consumidor. O consumidor apresentava uma usina fotovoltaica no local, mas planejava um aumento no seu consumo devido o parque aquático que iria instalar no empreendimento. No local existia apenas mais uma área para ser destinada a ampliação do sistema, e após análise do tamanho desta área foi detectado que para que fosse realizada uma ampliação *on-grid* tradicional seria necessário a troca do transformador particular, gerando assim custos a mais. Como opção para evitar este custo foi então sugerido que a ampliação fosse realizada utilizando a estratégia de exportação zero grid, pois o novo consumo seria maior durante o período do dia e assim seria possível a utilização da área total que ainda restava sem a necessidade de trocar o transformador. Para esta aplicação onde o consumo futuro será muito elevado o controle de exportação fará o sistema fotovoltaico gerar o seu máximo, mesmo assim podendo ocorrer da geração não ser capaz de suprir o consumo instantâneo de energia, quando isto ocorre a rede da concessionária funciona como “plano B” e fornece o restante da energia necessária gerando um consumo que é registrado pelo medidor de energia.

Este caso será observado para a partir dele se levantar algumas características deste tipo de aplicação e sua viabilidade.

Palavra-chave: Estratégia de exportação zero grid. Microgeração distribuída. Transformador. Inversor fotovoltaico. Consumo instantâneo de energia.

ABSTRACT

This paper addresses the zero grid export control strategy in a solar plant, where this strategy aims to generate energy according to the load consumption in real time, without any injection into the grid of the concessionaire. For its implementation, it is necessary that the photovoltaic inverter has the capacity to control the amount of energy it will generate and has connections that can receive information and commands from a smart meter. In this application, the equipment is connected to the grid of the concessionaire so that it can adjust its parameters to operate in parallel with the grid.

The analysis will be carried out of the application of a distributed solar photovoltaic microgeneration plant that uses the zero grid export control strategy to reduce the value of a consumer's energy bill. The consumer had a photovoltaic plant on site, but planned to increase its consumption due to the water park that was going to be installed in the project. There was only one more area on site to be used for the expansion of the system, and after analyzing the size of this area, it was detected that in order to carry out a traditional on-grid expansion, it would be necessary to replace the private transformer, thus generating additional costs. As an option to avoid this cost, it was suggested that the expansion be carried out using the zero grid export strategy, since the new consumption would be higher during the day and thus it would be possible to use the total area that was still remaining without the need to replace the transformer. For this application, where future consumption will be very high, the export control will make the photovoltaic inverter generate its maximum, although it may happen that the generation is not capable of meeting the instantaneous energy consumption. When this occurs, the utility grid acts as a "plan B" and supplies the remaining energy needed, generating consumption that is recorded by the energy meter.

This case will be observed to identify some characteristics of this type of application and its viability.

Key-words: Zero grid export strategy. Distributed microgeneration. Transformer. Photovoltaic inverter. Instant energy consumption.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Expansão da matriz elétrica brasileira	8
Figura 2 - Sistema solar <i>on-grid</i>	12
Figura 3 - Sistema solar <i>off-grid</i>	13
Figura 4 - Sistema solar híbrido	15
Figura 5 - Componentes da estratégia zero grid	16
Figura 6 - Índices de irradiação do local da instalação.....	29
Figura 7 - Simulação da quantidade de módulos	32
Figura 8 - Métodos de instalação	35
Figura 9 - Seções nominais dos cabos de cobre e suas correntes	36
Figura 10 - Diagrama unifilar básico do sistema	39
Figura 11 - Memorial descritivo do projeto	41
Figura 12 - Módulo LNVU-550M.....	42
Figura 13 - Inversor MID 25KTL3-X	44
Figura 14 - Certificado de conformidade do MID 25KTL3-X.....	47
Figura 15 - Local de instalação dos inversores	48
Figura 16 - Local de instalação do <i>Smart Energy Manager</i>	49
Figura 17 - TC's conectados ao <i>Smart Energy</i>	50
Figura 18 - Cabos conectados no <i>Smart Energy</i>	51
Figura 19 - Detalhes de um dia de funcionamento da usina	54

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumos do local da usina.....	27
Gráfico 2 - Consumos após ligação da usina.....	53

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensionamento do Ramal de entrada de BT até 300 kVA	37
Tabela 2 - Informações principais do módulo LNVU-550M	43
Tabela 3 - Informações principais inversor MID 25KTL3-X	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Corrente CC	Corrente continua
Corrente CA	Corrente alternada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
kW	Quilowatts. Unidade de medida de potência elétrica
MW	Megawatts. Unidade de medida de potência elétrica
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
EVA	Acetato-vinilo de etileno
Raios UV	Raios ultravioletas
ART	Anotação de responsabilidade técnica
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito.
DPS	Dispositivo de proteção contra surtos
Portal GD	Portal de geração distribuída da Cosern
STC	Condições padrões de teste para módulos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 CONTEXTO GERAL	7
1.2 OBJETIVOS	9
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	10
2.1 TIPOS DE USINAS FOTOVOLTAICAS	10
2.1.1 SISTEMA <i>ON-GRID</i> OU <i>GRID-TIE</i>	11
2.1.2 SISTEMA <i>OFF-GRID</i>	12
2.1.3 SISTEMA HÍBRIDO	13
2.1.4 ESTRATÉGIA DE CONTROLE ZERO GRID	15
2.2 COMPONENTES PARA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	16
2.2.1 INVERSOR FOTOVOLTAICO	16
2.2.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	17
2.2.3 <i>SMART METER</i>	18
2.2.4 QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO	19
2.2.5 MEDIDOR BIDIRECIONAL	19
2.2.6 CONTROLADORES DE CARGA	20
2.2.7 BATERIAS	20
3 METODOLOGIA	21
3.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA	21
3.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O LOCAL DA INSTALAÇÃO	22
3.3 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DE PROTEÇÃO E COMPLEMENTARES	24
3.4 COMO DEVE SER REALIZADO O PROCESSO DE HOMOLOGAÇÃO JUNTO A CONCESSIONARIA NEOENERGIA COSERN	24
3.5 ANÁLISE FINANCEIRA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA	27
4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O CONSUMO DO LOCAL DA INSTALAÇÃO	28
4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O LOCAL DA INSTALAÇÃO	31

4.4 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DE PROTEÇÃO E COMPLEMENTARES	34
4.5 COMO DEVE SER REALIZADO O PROCESSO DE HOMOLOGAÇÃO JUNTO A CONCESSIONARIA NEOENERGIA COSERN.....	37
4.5.1 ANOTAÇÃO OU TERMO DE RESPONSABILIDADE TECNICA	38
4.5.2 DIAGRAMA UNIFILAR BÁSICO DO SISTEMA	39
4.5.3 FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO	40
4.5.4 MEMORIAL DESCRITIVO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	40
4.5.5 AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE DOS INVERSORES.....	46
4.6 PROJETO FOTOVOLTAICO INSTALADO E CONFIGURADO	47
4.7 ANÁLISE FINANCEIRA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar uma visão geral do desenvolvimento da tecnologia solar fotovoltaica atualmente no Brasil. Além de abordar de forma sucinta os objetivos e descrever a estrutura deste trabalho.

1.1 CONTEXTO GERAL

Atualmente, a energia solar no Brasil representa mais de 17% de toda matriz elétrica, ultrapassando a marca de 39 gigawatts (GW) de potência instalada sendo a segunda maior fonte do país. A principal fonte é a energia proveniente das hidrelétricas, mas nos últimos anos os sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil vêm aumentando consideravelmente, principalmente, nas regiões Sudeste e Sul.¹

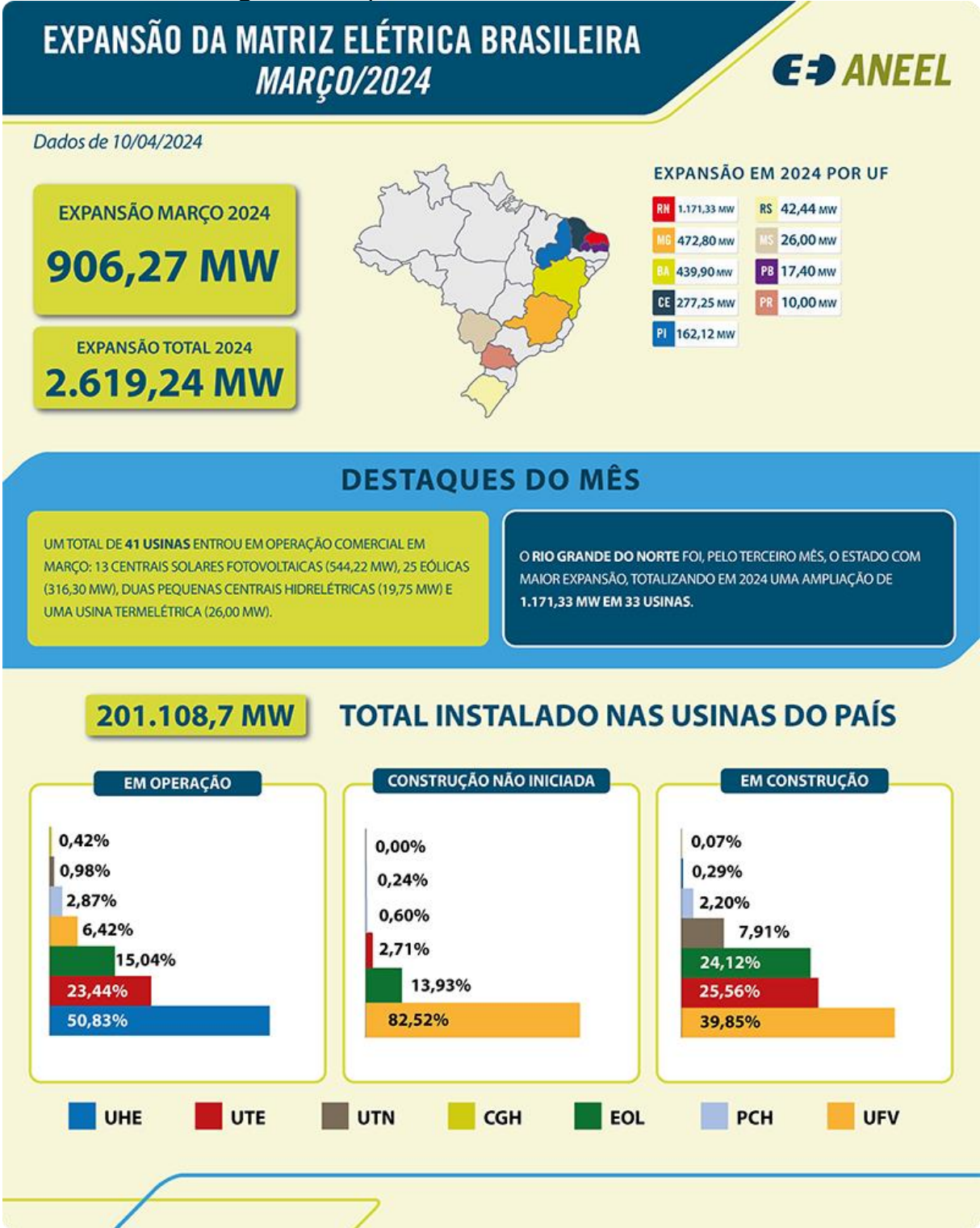
De acordo com a associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), desde 2012 esta fonte já trouxe cerca de R\$ 155,2 bilhões em novos investimentos, mais de R\$ 45,1 bilhões em arrecadação, gerou mais de 960 mil empregos e evitou a emissão de 40,6 milhões de toneladas de dióxido de carbono.²

Nos primeiros três meses de 2024, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), foram adicionadas 105 novas usinas de fontes fotovoltaicas, eólicas, termelétricas e pequenas centrais hidrelétricas que ocasionaram um incremento de 2,6 gigawatts (GW) na potência instalada.

¹ Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/matriz-energetica-brasileira-matriz-eletrica-brasileira>. Acessado em 26 de maio 2024.

² Disponível em: <https://exame.com/esg/brasil-atinge-32-gw-de-capacidade-instalada-em-energia-solar-fotovoltaica/>. Acessado em 26 de maio de 2024.

Figura 1 - Expansão da matriz elétrica brasileira



Fonte: ANEEL, 2024.

O Brasil em abril somou 201.108,7 MW de potência fiscalizada, de acordo com os dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA), que é atualizado diariamente com dados das usinas em operação e empreendimentos outorgados em fase de construção.³

Nos primeiros três meses de 2024, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), foram adicionadas 105 novas usinas de fontes fotovoltaicas, eólicas, termelétricas e pequenas centrais hidrelétricas que ocasionaram um incremento de 2,6 gigawatts (GW) na potência instalada.

Com esse aumento na instalação de usinas fotovoltaicas podendo ser conectadas a rede (*On-grid*), não conectadas com equipamentos para armazenamento (*Off-grid*) e as que podem funcionar utilizando as duas formas (Híbridas). Surgiu uma nova demanda mais direcionada para consumidores que não querem fazer um sistema *off-grid* e que não podem injetar energia na rede da concessionária. Este novo modelo é a estratégia de controle de geração chamada zero grid que consiste em utilizar um controlador de exportação para evitar a injeção na rede. E neste trabalho será abordado a utilização deste equipamento em um estudo de caso.

1.2 OBJETIVOS

Como a necessidade energética mundial é cada vez maior devido ao crescente desenvolvimento das tecnologias e ao consumo que isso ocasiona, se faz necessário novas formas de produção de energia, tendo em vista que as mais utilizadas atualmente são nocivas para o maior ambiente. Assim as energias de fontes renováveis que afetam menos o meio ambiente se tornam cada vez mais necessárias e procuradas como solução. Por este motivo a energia fotovoltaica vem ganhando força e se tornando uma opção muito explorada por ser considerada limpa e com boa eficiência a tornando viável.

Diante disto, este trabalho tem como objetivo principal apresentar um projeto de microgeração distribuída solar fotovoltaica que se conecta a rede da distribuidora, mas que não injeta energia nela, o projeto localizado na cidade de Martins, no estado do Rio Grande do Norte, visando gerar energia durante o dia para

³ Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/primeiro-trimestre-de-2024-tem-expansao-de-2-6-gw-na-matriz-eletrica>. Acessado em 27 de maio de 2024.

compensar de forma instantânea o consumo das cargas. O inversor solar funcionará sendo limitada sua geração pelo consumo da carga em tempo real, assim, mesmo que ele tenha capacidade de gerar mais energia naquele momento do que a que está sendo consumida, ele não irá. Este tipo de funcionamento se chama controle de exportação zero grid. Este sistema funcionará com o objetivo de contribuir para diminuição da fatura de energia, porque o consumo durante o dia será registrado em menor quantidade pelo medidor da concessionária.

Outros objetivos deste trabalho é mostrar a análise de consumo da fatura de energia, mostrar como obter os dados solarimétricos referentes ao local da instalação para auxiliar na projeção da geração de energia, como fazer a análise de viabilidade econômica do projeto e como dimensionar os equipamentos para o projeto no geral.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está separado em 4 capítulos principais, onde o primeiro é uma introdução do que será abordado, dando uma visão da energia solar fotovoltaica atualmente no Brasil.

O segundo capítulo será um desenvolvimento teórico, onde aborda as formas de geração de energia fotovoltaica, assim como os equipamentos necessários para sua produção e como eles funcionam.

O terceiro capítulo abordará a metodologia adotada para elaboração do trabalho, assim como para realizar o projeto do sistema solar fotovoltaico Grid Zero para o Hotel.

O quarto capítulo tem como objetivo apresentar os dados juntos com análises e discussões sobre o que era esperado e o resultado encontrado. Para assim se obter uma conclusão sobre este tipo de aplicação e a sua viabilidade.

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 TIPOS DE USINAS FOTOVOLTAICAS

As usinas fotovoltaicas são sistemas que produzem energia elétrica através da radiação solar. Elas podem ser classificadas em três principais, que são: O *on-grid* que consiste em uma usina que está conectado à rede da distribuidora, a *off-grid* que é quando o sistema não está conectado à rede, assim, não necessitando dela para funcionamento e por última a usina híbrida que funciona utilizando mais de uma fonte de energia, como por exemplo, recebendo de fonte solar e eólica ao mesmo tempo para injetar na rede, armazenar em baterias ou utilizar para suprir algum consumo instantâneo.

2.1.1 SISTEMA ON-GRID OU GRID-TIE

Sistemas *on-grid* ou *grid-tie*, tem como características a necessidade de estar conectado com a rede da concessionária para poderem se sincronizar e assim poderem injetar energia na mesma. São considerada uma fonte de energia complementar a matriz energética brasileira e em sua grande maioria são instalados em locais que não precisam de novas infraestruturas para receberem a conexão à rede. Como podem injetar energia na rede acabam gerando a possibilidade de poder aplicar créditos de energia com a utilização de medidores bidirecionais. (ALVES, 2019).

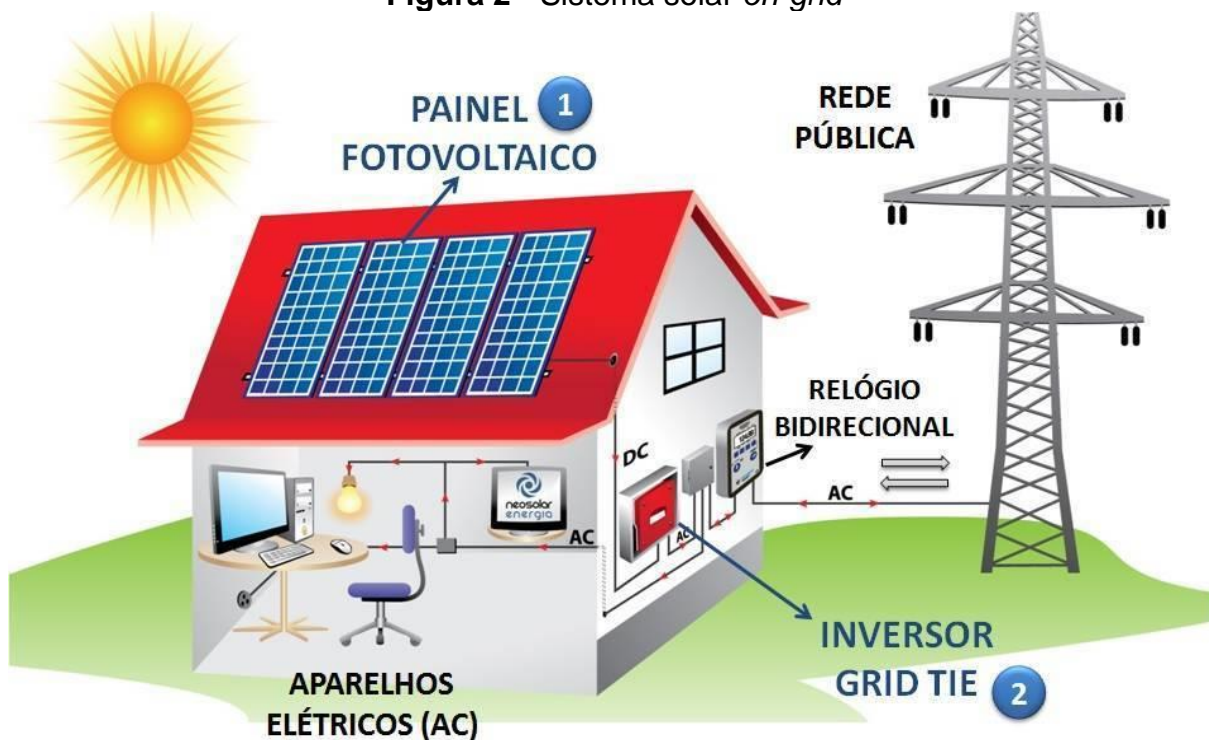
Os sistemas são compostos pelos módulos fotovoltaicos, por estruturas de fixação para diversas opções de instalação, por um ou mais inversores que são responsáveis pela conversão da corrente CC gerada pelos módulos em corrente CA e sincronização com a rede, dispositivos de proteção para a parte CC e CA e pelo medidor de energia bidirecional. (ROSA, 2017).

Foi instituída pela ANEEL na resolução normativa nº 482/2012 a diferenciação entre microgeração e minigeração de energia solar.⁴ Atualmente esta normativa foi substituída pela 1059 que aprimorou algumas das regras existentes e adicionou novas. Ela permaneceu com esta diferenciação que está relacionada a potência do sistema instalado. Assim, sistemas *on-grid* com potência menor ou igual a 75 quilowatts (kW) são chamados de sistemas de microgeração distribuída. Já os

⁴ Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/micro-e-minigeracao-de-energia-solar/#:~:text=A%20micro%20e%20minigera%C3%A7%C3%A3o%20de,transform%C3%A1%20la%20em%20energia%20el%C3%A9trica>. Acessado em: 09 de junho de 2024.

sistemas com potência entre 75 quilowatts (kW) e 3 megawatts (MW) são classificados como minigeração.

Figura 2 - Sistema solar *on-grid*



Fonte: Adaptado da NeoSolar.⁵

2.1.2 SISTEMA *OFF-GRID*

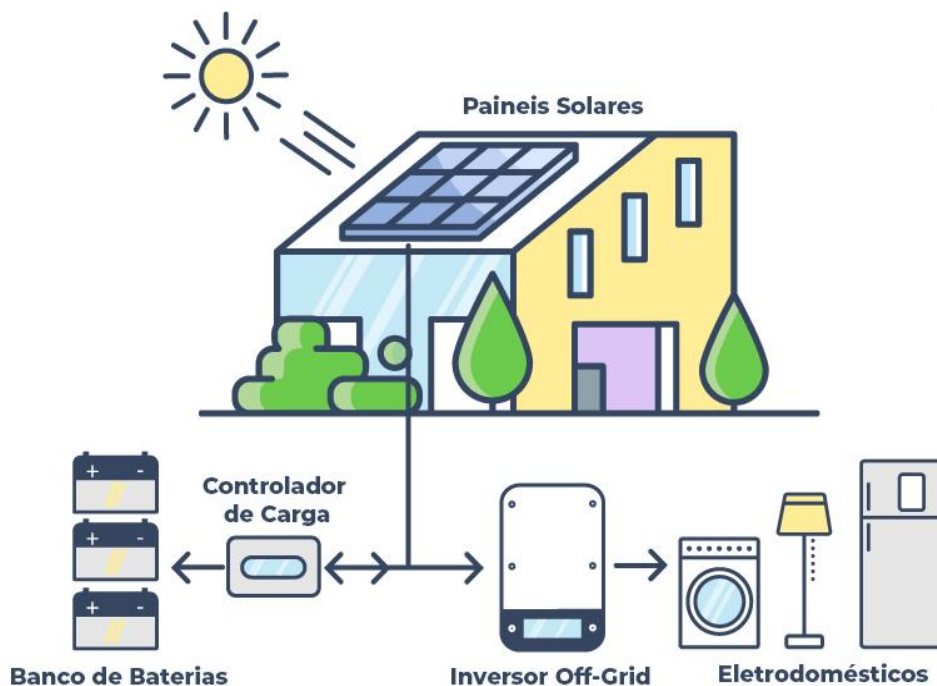
Os sistemas fotovoltaicos isolados ou popularmente conhecidos como *off-grid* são caracterizados por não possuírem conexão com a rede de energia da concessionária, normalmente serem instalados em locais sem acesso a rede elétrica, a sua energia ser armazenada em baterias, podem ser utilizados para atender um consumidor ou vários consumidores, podem alimentar cargas CC e cargas CA e devido a isso podem ser projetados para atender equipamentos específicos (MARIANO; JUNIOR, 2022).

O sistema *off-grid* é composto por módulos fotovoltaicos que convertem a irradiação solar em energia elétrica, injetando energia no controlador de cargas que

⁵ Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acessado em: 09 de jun. 2024.

funciona regulando de forma a prolongar a vida útil do banco de baterias, além de enviar ao inversor a tensão e corrente CC, onde ele utiliza a energia do banco de baterias para fazer a conversão para tensão e corrente CA de acordo com a demanda que as cargas estiverem necessitando no momento (VILLALVA, 2012).

Figura 3 - Sistema solar *off-grid*



Fonte: Adaptado da Minha Casa Solar⁶

2.1.3 SISTEMA HÍBRIDO

O sistema híbrido de energia solar é uma junção entre o *on-grid* e o *off-grid*. Desta forma ele consegue funcionar combinando a energia solar fotovoltaica com outra fonte de energia que pode ser a própria rede elétrica convencional, um sistema eólico ou qualquer outra fonte e ao mesmo tempo apresentando a capacidade de armazenar energia, como por exemplo, em um banco de baterias. A principal função deste sistema é maximizar a eficiência e confiabilidade do fornecimento de energia,

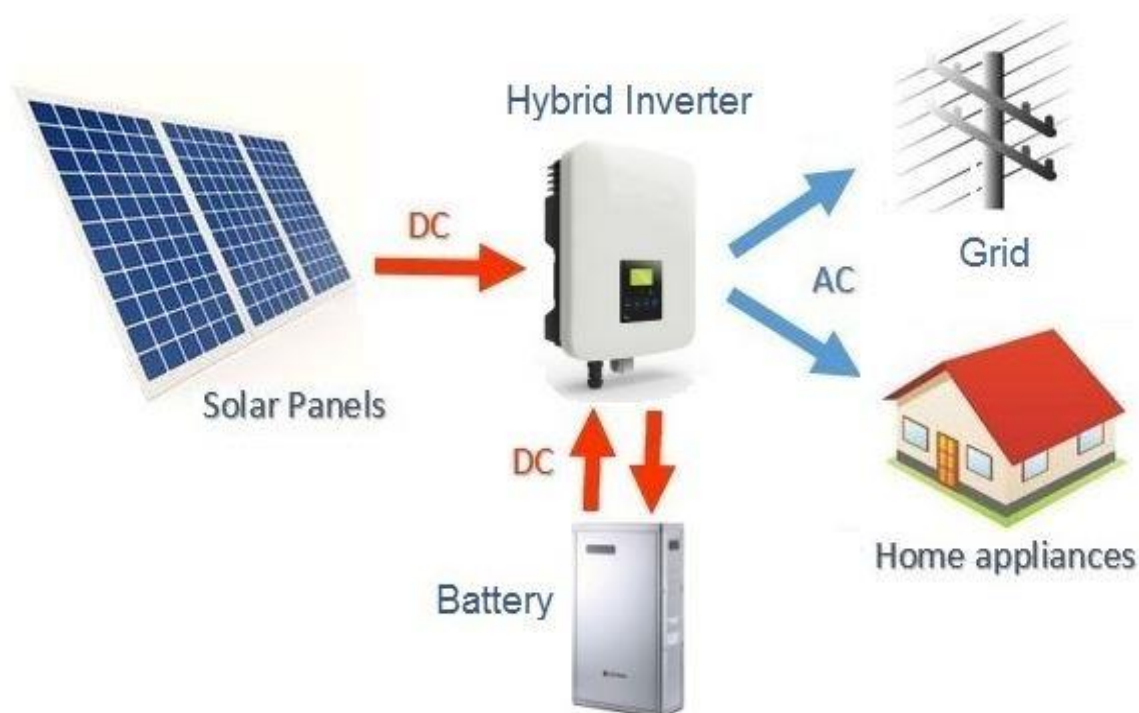
⁶ Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/dimensione-seu-sistema-off-grid>. Acessado em: 09 de jun. 2024.

garantindo o funcionamento e energia para o local até em casos de interrupção do fornecimento da rede.⁷

Existem dois tipos de sistemas híbridos, o primeiro é o *All in one* que é composto por módulos solares, inversores, baterias para armazenamento e controlador de carga. Esse sistema permite que a energia seja armazenada para utilizar durante a noite e pode ser conectado à rede para funcionar como energia de backup. E o segunda que é *Bi-modal* que funcionam utilizando de forma separada os módulos e outra fonte de energia convencional. Neste sistema os módulos abastecem o local durante o dia e a segunda fonte abastece durante a noite.⁷

Devido a essas características se tornam compatíveis para aplicações em locais que precisam que o funcionamento de energia ocorra sem nenhuma interrupção, como por exemplo, hospitais, centrais de controle de grande e médio porte e empreendimento com produtos que sejam sensíveis a variação de temperatura (PINHO, et. al, 2008).

⁷ Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-hibrido-de-energia-solar>. Acessado em: 09 de jun. 2024.

Figura 4 - Sistema solar híbrido

Fonte: Adaptado de *DS New Energy*⁸

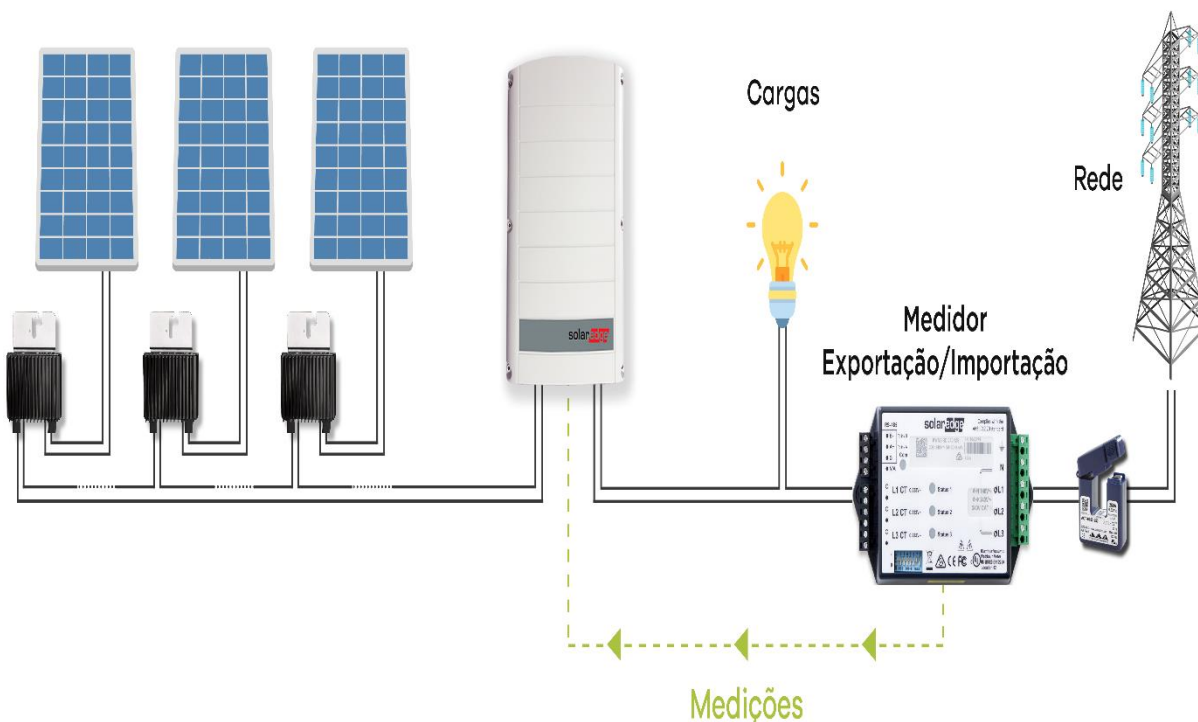
2.1.4 ESTRATÉGIA DE CONTROLE ZERO GRID

O zero grid é uma estratégia de controle de exportação de energia para a rede elétrica. Devido a isso, ele necessita estar conectado à rede da concessionária. Para que essa alternativa seja utilizada é necessário que o inversor tenha a capacidade de controlar a quantidade de energia que deve gerar e que consiga receber a informação da quantidade de energia que está sendo consumida no momento pelas cargas do local.⁹

Os componentes necessários para essa aplicação são os módulos fotovoltaicos, inversores com capacidade de ajustar a sua geração e receber dados, um medidor inteligente (*Smart meter*) que seja capaz de medir o consumo atual das cargas e enviar para o inversor e os equipamentos de proteção do sistema.⁹

⁸ Disponível em: <https://pt.dsisolar.com/info/introduction-to-hybrid-solar-system-36644506.html>. Acessado em: 09 de jun. 2024.

Figura 5 - Componentes da estratégia zero grid



Fonte: Adaptado de Ecori Energia Solar⁹

A figura 5 apresenta um sistema conectado à rede elétrica com a utilização da estratégia de controle de exportação de energia. Neste caso para que o sistema funcione sem injetar energia na rede é necessário apenas a configuração do inversor para gerar apenas o que as cargas do sistema estiverem consumindo de forma instantânea. Em casos em que a geração está baixa e o consumo instantâneo está maior do que pode ser gerado, como em períodos de chuva, o inversor irá gerar o que for possível e o restante será fornecido pela rede da concessionária.

2.2 COMPONENTES PARA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

2.2.1 INVERSOR FOTOVOLTAICO

O inversor é o dispositivo eletrônico capaz de converter a energia elétrica CC em energia elétrica CA. A fonte CC pode ser de diversas origens, como módulos

⁹ Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/grid-zero---como-funciona---suas-aplicacoes-e-homologacao-na-distribuidora-de-energia-eletrica>. Acessado em: 09 de jun. 2024

fotovoltaicos e baterias. Já em relação a sua saída, deve apresentar amplitude, frequência, conteúdo harmônico e tensão compatíveis com a rede e/ou com as cargas alimentadas. Outra característica deste equipamento é que deve possuir a proteção anti-ilhamento que confere segurança no momento de operação. As normas IEEE-519, IEE-929, IEC-62116 e NBR IEC 62116 regulamentam e em todas há um consenso que o tempo máximo de desconexão do inversor é equivalente a 2 segundos após a detecção do desligamento da rede elétrica (MARIANO; JUNIOR, 2022).

De acordo com Oliveira (2022) o INMETRO estabeleceu que para os inversores sejam validados para instalação em sistemas fotovoltaicos precisam apresentar forma de onda senoidal pura, eficiência superior a 85% na faixa entre 50% e 100% da potência nominal e distorção harmônica total menor que 5%, em qualquer potência de operação. Devem apresentar ampla faixa de operação de tensão na entrada CC, boa regulação na saída CA, tolerância aos surtos de partida de cargas a serem alimentadas, grau de proteção IP adequados e garantia de fabricação de pelo menos dois anos.

Existem dois tipos principais de inversores fotovoltaicos, o *on-grid* e *off grid*. Onde o primeiro pode ser inversor *string* que tem uma potência reduzida e tem uma variação chamada de microinversor que é menor e fica instalado abaixo dos módulos direto no telhado, diferente dos convencionais. Este também apresenta a diferença de poder ser colocado módulos diferentes nas suas entradas. O segundo funciona como um inversor *string*, mas não precisa se conectar com a rede elétrica da distribuidora.

2.2.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo fotovoltaico, mais conhecido como placa solar é composto por células solares que são utilizadas para captação de luz solar, que apresentam a função de converter a luz solar em energia elétrica. As células são responsáveis pela geração da energia porque são responsáveis pelo efeito fotovoltaico que é uma reação físico-química que absorve a energia da luz solar para gerar a corrente elétrica CC.¹⁰

¹⁰ Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/modulo-fotovoltaico>. Acessado em: 10 de jun. 2024.

Os módulos são compostos por elementos construtivos que são distribuídos como camadas. Essas camadas são: a moldura, vidro fotovoltaico, filme encapsulante, células fotovoltaicas, filme encapsulante novamente, *backsheet* e por fim a caixa de junção. Onde a moldura é produzida a partir de um alumínio ionizado e é colocado no painel para dar uma camada de proteção ao módulo. Já o filme encapsulante que também é conhecido como EVA tem a função de proteger as células fotovoltaicas dos raios UV, de temperaturas extremas e da umidade. As células fotovoltaicas são constituídas por cristais de silício ultrapuros, que tem cerca de 2 milímetros de espessura e ela em si tem a função de gerar o efeito fotovoltaico. Em seguida vem o *backsheet* que é um filme branco que fica na parte traseira e tem a função de proteger todos os componentes internos da estrutura e atua como isolante térmico. E por último a caixa de junção que é responsável por distribuir os cabos e conectores do módulo, tornando possível que o painel seja interconectado com os outros.¹¹

De acordo com Mariano e Junior (2022), é possível fabricar conjuntos de células fotovoltaicas a partir de diferentes componentes químicos, onde o mais tradicional é o silício cristalino, mas também existe a tecnologia de filmes finos que são aplicados em substratos mais rígidos. Algumas das variações com silício são os módulos com silício monocristalino (m-Si) e módulos de silício policristalino (poli-Si), onde o monocristalino se destaca por ser mais eficiente. Em relação as variações da tecnologia de filmes finos se têm silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe), Disseleneto de cobre e índio (CIS), Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS), silício micro-morfo ($\mu\text{cSi/a-Si}$), Arsenito de gálio (GaAs) e célula fotovoltaica orgânica.

2.2.3 SMART METER

O *smart meter* é conhecido também como medidor inteligente. Isso porque consegue desempenhar um papel fundamental principalmente para o controle de sistemas fotovoltaicos. Eles são capazes de fornecer dados da produção de energia em tempo real, como o consumo das cargas, a quantidade de energia excedente, a demanda de potência, corrente, tensão, fator de potência entre outros dados que podem ser enviados para diversos dispositivos gerando a possibilidade de uma infinidade de

¹¹ Disponível em: <https://blog.solfacil.com.br/energia-solar/elementos-construtivos-do-modulo-fotovoltaico/>. Acessado em: 10 de jun. 2024.

aplicações. Sendo uma das aplicações mais interessantes o envio dos dados para um inversor fotovoltaico que os utiliza para fazer ajustes na geração.¹²

2.2.4 QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO

Este componente é considerado o principal elemento da parte elétrica de um local que utiliza energia. Isso porque toda a distribuição de energia de uma instalação passa por ele. Dessa forma nele se encontra todos os dispositivos de proteção, proporcionando mais segurança e evitando acidentes. Existem os quadros de embutir, que ficam instalados dentro da parede e existem os de sobrepor, que ficam parafusados na parede e com uma parte exposta (FRUGES; LIMA, 2021).

O quadro para um sistema fotovoltaico onde o inversor está conectado com suas proteções nele e não diretamente no padrão de entrada vai funcionar recebendo a energia que é convertida pelo inversor e distribuindo-a para as cargas. Quando isso acontece ele vai contribuir para o que é chamado de consumo instantâneo da instalação. Quando este consumo é menor que a geração do inversor, o quadro vai funcionar enviando o excedente para o padrão de entrada do domicílio, onde este irá passar pelo medidor bidirecional que registrará esta quantidade de energia que é chamada pela concessionária de energia injetada, onde essa se tornará créditos de energia.

2.2.5 MEDIDOR BIDIRECIONAL

O medidor bidirecional é um equipamento capaz de realizar a medição da energia que é consumida e injetada por uma residência na rede da concessionária. Este equipamento é instalado pela própria distribuidora no momento que é realizada a vistoria para aprovação da usina de micro ou minigeração. Ele é instalado para que a unidade consumidora consiga participar do sistema de compensação de créditos, onde irá existir no equipamento duas leituras principais que são registradas pelos códigos 003 e 103, onde respectivamente se referem a energia consumida e energia injetada.

¹² Disponível em: <https://solarview.com.br/blog/voce-ouviu-falar-smart-meter/#:~:text=O%20Smart%20Meter%20%C3%A9%20capaz,detalhado%20do%20desempenho%20do%20sistema>. Acessado em: 11 de jun. 2024.

A concessionaria utiliza estes valores para que na realização da leitura do medidor seja efetuado o abatimento do que é consumido pelo que foi injetado, em casos que ocorrem excedente, este se tornará créditos que tem validade de 60 meses a partir do dia em que foram gerados.

Uma particularidade sobre este equipamento é que o valor registrado no injetado na maioria dos casos dá um valor menor do que é registrado pelos dispositivos de monitoramento dos inversores fotovoltaicos. Muitos consumidores ficam confusos, mas isso ocorre porque a energia gerada pela usina é utilizada primeiro nas cargas e só o excedente é injetado na rede, o que gera essa diferença. Assim em casos que o consumo da residência durante o dia é elevado, o injetado registrado pelo medidor bidirecional é baixo.

2.2.6 CONTROLADORES DE CARGA

Segundo Oliveira (2022), os controladores de carga são equipamentos responsáveis pelo controle do banco de baterias e do fluxo de potência CC, atuando na proteção das baterias contra descargas e sobrecargas. Eles são cruciais para o funcionamento dos sistemas *off-grid* e híbridos, em casos de mal funcionamento podem gerar até a perda total de equipamentos.

Alguns dos tipos de controladores de cargas presentes no mercado são os *on/off* que funciona abrindo ou fechando uma chave quando a tensão dos bancos de baterias chega a valores pré-definidos. Em seguida tem os *PWM* que são bastante utilizados e tem o seu funcionamento baseado no controle de modulação por largura de pulso, assim as baterias são alimentadas por correntes pulsadas. E por último tem os controladores por *MPPT*, que são considerados os mais eficientes atualmente. Eles funcionam buscando o ponto de máxima potência do sistema, devido a isso a sua eficiência maior (MARIANO; JUNIOR, 2022).

2.2.7 BATERIAS

As baterias são equipamentos responsáveis por armazenar energia e já estão disponíveis a décadas no mercado. Mas em 2015, quando a Tesla anunciou que começaria a comercializar baterias específicas para armazenamento de energia,

o chamado *Powerwall* que fez com que o mercado se abrisse para essa utilização para trabalhar em conjunto com equipamentos de geração. Assim a bateria solar se tornou um equipamento capaz de armazenar a energia solar gerada por sistemas fotovoltaicas *off-grid* ou híbridos. Em sistemas *off-grid* é utilizada para dar total autonomia para o consumidor, assim ele não necessita da rede da concessionária. Já nos sistemas híbridos é utilizado para compor dias com pouca geração e para suprir a residência durante o período da noite. Geralmente nos projetos de banco de baterias é escolhido um tempo de autonomia em que as baterias vão conseguir manter a residência mesmo que não esteja ocorrendo uma boa geração de energia para recarregá-las. E em sistemas híbridos pode ocorrer a utilização da própria rede da distribuidora para armazenar as baterias em casos que a geração está muito abaixo devido às chuvas ou problemas técnicos.¹³

3 METODOLOGIA

3.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA

Geralmente para se iniciar o projeto de uma usina solar fotovoltaica é necessário ter acesso aos dados da fatura de energia, porque com eles é possível observar algumas características da unidade consumidora, como o seu tipo de fornecimento que no Rio Grande do Norte pode ser monofásico e trifásico, a classificação tarifária que influencia diretamente no valor da conta, por isso a importância de colocar a mais adequada para o tipo de consumidor e por último o consumo em kWh que vai servir como o fator principal para se calcular a potência de placas e inversores que serão utilizados.

Para fazer esta análise é utilizado o histórico de consumo dos últimos 12 meses do cliente e partir dele é feita uma média do consumo mensal, este valor é a base para a produção desejada da usina. Existe alguns casos em que os clientes tiveram um aumento considerado nos últimos seis meses, quando isso ocorre é feita uma média apenas utilizando estes meses para que assim a geração do projeto seja

¹³ Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/bateria-solar.html>. Acessado em: 12 de jun. de 2024.

capaz de atender esse novo perfil de consumo e não o antigo que correspondia ao último ano completo.

Neste trabalho é abordado o caso de um consumidor que deseja adotar a estratégia de controle de exportação zero grid e para este caso pode ser feita a mesma análise utilizando apenas os consumos, onde é perdido um pouco da sua eficiência porque existe o consumo a noite que não vai ser compensado. Mas também existe a possibilidade de fazer uma análise mais detalhada colocando equipamentos como analisadores de energia para ver a média mensal da energia que é consumida durante o período do dia. Mas devido ao valor do equipamento e o tempo necessário para análise o método tradicional ainda é o mais utilizado. Apresentando uma boa eficiência principalmente para pontos comerciais com funcionamento maior durante o dia, que é o caso deste trabalho.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O LOCAL DA INSTALAÇÃO

Este tipo de dimensionamento é bastante utilizado para consumidores que não apresentam um local com área suficiente para instalação de uma usina para suprir todo seu consumo, mas que ainda assim querem ter alguma economia de energia. Nesses casos são analisadas as áreas produtivas do local e utiliza-se o auxílio de softwares para estipular a quantidade de módulos que podem ser instalados. A partir desta primeira análise que é possível estimar uma quantidade de geração para o consumidor e mostrar o quanto isso equivale em relação ao seu consumo.

Neste trabalho o consumidor tinha a instalação de novas cargas planejadas para uma área de parque aquático no seu estabelecimento e por causa disso se planejava um aumento considerável do seu consumo. Como ele já tinha uma usina, ele pensou em fazer uma ampliação na área que ainda restava de telhado para ajudar a diminuir este consumo que estava por vim.

Após observação da área do telhado, foi abordado uma análise na qual mostra a quantidade de módulos que ainda cabiam e a quantidade que poderia ser colocada se fosse realizar uma ampliação mantendo o seu transformador particular atual. Junto é dimensionado o quanto cada uma das quantidades de módulos poderiam gerar.

Para realizar o dimensionamento da geração é necessário saber alguns parâmetros como a potência do módulo, o índice de irradiação do local da instalação e o fator de eficiência que será utilizado. Com estes dados é possível calcular a energia que será gerada por cada módulo por mês com a equação a seguir:

$$Energia_{Ger.Mês} = Pot_{Mód} \times Fat_{Efi} \times Ind_{Irra} \times 30(Dias) \quad (1)$$

Onde $Energia_{Ger.Mês}$ corresponde à energia média gerada por mês por módulo fotovoltaico, a $Pot_{Mód}$ é a potência do módulo em kW, o Fat_{Efi} é o fator de eficiência utilizado para considerar as perdas ocorridas durante o processo de geração, utiliza-se uma faixa entre 70 e 80% para condições normais, o Ind_{Irra} corresponde ao índice de irradiação do local da instalação e o número 30 corresponde a quantidade de dias do mês.

Em seguida para encontrar os valores de geração de uma certa quantidade de módulos é utilizada a equação a seguir que relaciona o número de módulos com a energia média gerada por mês por um único módulo de determinada potência:

$$Energia_{Total Ger.Mês} = Quant.módulos \times Energia_{Ger.Mês} \quad (2)$$

A quantidade geral de energia é encontrada através desta equação, onde $Energia_{Total Ger.Mês}$ é a energia média total gerada no mês, a $Quant.módulos$ é quantidade de módulos utilizados e $Energia_{Ger.Mês}$ é a quantidade média de energia em kW gerada por mês por um módulo. A manipulação desta equação também pode ser utilizada para casos em que já se sabe a quantidade que necessita ser gerada de energia e precisa ser encontrada a quantidade de módulos para esta geração. A seguir a esta variação da equação:

$$Quant.módulos = \frac{Energia_{Total Ger.Mês}}{Energia_{Ger.Mês}} \quad (3)$$

Onde nesta equação é encontrada a quantidade de módulos para um sistema através da divisão entre a energia total gerada no mês e a quantidade média de

energia gerada por um módulo de potência específica. A partir deste valor encontrado é possível calcular a potência do sistema fotovoltaico, basta multiplicar a quantidade de módulos pela potência escolhida para eles. A seguir a equação para a potência do sistema fotovoltaico:

$$Potência_{Sist.Fot} = Quant. \text{módulos} \times Pot_{Mód} \quad (4)$$

É utilizada a unidade kWp para a potência total das placas de um sistema fotovoltaico.

3.3 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DE PROTEÇÃO E COMPLEMENTARES

Os componentes de proteção serão os disjuntores de corrente alternada que são dimensionados de acordo com as normas da concessionária e as proteções da parte de corrente contínua que nos inversores atuais já vem dimensionadas e embutidas na parte eletrônica do próprio equipamento, também engloba o DPS que funciona na proteção contra surtos, protegendo assim o equipamento e o circuito do local. Já os componentes complementares são os cabos de corrente contínua que já podem ser obtidos no momento da compra do equipamento, geralmente aparecem nas variações de 4 e 6 mm² com tensão máxima de 1,8kV o que é mais que suficiente para maiorias das aplicações. Os cabos de corrente alternada precisam ser dimensionados de acordo com as normas da concessionária e da NBR-5410 – Instalações elétricas de baixa tensão. Por fim, é necessário dimensionar o aterramento que deve ser realizado em malha, conectado a todos os módulos e as partes metálicas do sistema.

3.4 COMO DEVE SER REALIZADO O PROCESSO DE HOMOLOGAÇÃO JUNTO A CONCESSIONARIA NEOENERGIA COSERN

Para realizar a homologação de um sistema zero grid junto a concessionária Neoenergia Cosern é necessário primeiro realizar um cadastro no Portal de Geração Distribuída, a partir deste cadastro é dado o acesso para fazer solicitações de

micro e minigeração. Neste portal é preenchido um formulário com diversas informações a respeito do titular, do local da instalação, do sistema que será instalado e dos equipamentos.

Após este formulário será necessário ajustar documentos que são criados automaticamente pelo sistema e assiná-los, em caso de não ser o titular da unidade é necessário anexar uma procuração. Os documentos gerados são o formulário de solicitação de acesso, o diagrama unifilar básico, memorial descritivo de geração distribuída, dados para geradora solar fotovoltaica e a lista das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação para casos com beneficiárias da usina. Além destes documentos é solicitado documento de identidade para pessoa física e contrato social mais identidade para pessoa jurídica, avaliação de conformidade do inversor que atenda a IEC 61727:2004 e a IEC 62116:2014 ou Inmetro e a ART do projeto.

Depois de enviado os documentos acima devidamente preenchidos são dados os prazos para aprovação do parecer de acesso ou orçamento de conexão de 15 dias corridos para projetos de microgeração que são para potência de inversores até 75kW e de 45 dias corridos para projetos de minigeração que são para sistemas com potência de inversores acima de 75kW.

3.5 ANÁLISE FINANCEIRA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para realização desta análise foi necessário escolher o sistema que seria instalado, assim determinando a marca dos módulos e inversores que seriam utilizados. Para este tipo de escolha é necessário fazer uma varredura no mercado pelas principais distribuidoras de equipamentos fotovoltaicos do país e assim encontrar o material que apresente o melhor custo-benefício alinhado com a qualidade. Além de considerar pontos importantes como garantia oferecida, boa assistência técnica, de preferência que tenha no país para agilizar os tramites que podem ocorrer, além da opinião de pessoas da área em relação aos equipamentos já instalados. Para chegar ao valor final oferecido ao consumidor geralmente as empresas oferecem margens em cima do valor do material comprado, onde elas variam em sua maioria entre 50 e 80%, mas podem ser maiores ou menores a depender de outros fatores como distância do local da instalação. Essas margens são utilizadas para comprar o restante do

material para instalação, que são a parte de proteção de corrente alternada, além da mão de obra dos instaladores.

Para determinar a viabilidade simplificada de um projeto é necessário fazer uma relação entre o que foi investido para sua realização e em quanto tempo este valor será recuperado com a sua utilização. Neste caso se considera a garantia dos equipamentos como ponto importante, porque se o tempo de retorno do investimento for maior que o tempo de garantia de equipamento, pode ocorrer o risco de o equipamento parar de funcionar depois do tempo da garantia e ser necessário investir para seu conserto antes de obter o retorno total do investimento realizado inicialmente. Nesse tipo de situação o sistema não é viável. Mas em casos que apresenta o retorno em um tempo menor se torna viável a sua aplicação.

Para uma usina solar a forma de obter este tempo de retorno do investimento simplificado é calculando o valor investido em relação ao que será obtido de retorno por ano. Para encontrar o retorno simplificado de uma usina por ano é utilizada a equação a seguir:

$$Ret.Fin.Usina_{Ano} = Energia_{Total\ Ger.Mês} \times Valor_{kWh} \times 12 (Meses) \quad (5)$$

Onde $Ret.Fin.Usina_{Ano}$ é o retorno financeiro da usina por ano em real, a $Energia_{Total\ Ger.Mês}$ é a energia média total gerada no mês, o $Valor_{kWh}$ é o valor do kWh em real estabelecido pela concessionária e $12 (Meses)$ é a quantidade de meses por ano. Este cálculo é considerado simplificado porque para um cálculo mais preciso deve-se considerar outros fatores como reajustes das alíquotas de energia realizados pelas concessionárias anualmente, o tipo de pagamento do cliente, como por exemplo, se foi realizado a vista ou via financiamento de forma que seriam acrescentados juros que aumentariam o valor do investimento, além das taxas de inflações e aumento de impostos estabelecidos pelo governo.

Em seguida para obter o tempo de retorno de investimento simplificado de uma usina por ano é utilizada a equação a seguir:

$$Tempo\ Retorno\ Usina_{Ano} = \frac{Valor\ investido\ no\ projeto\ da\ usina}{Ret.Fin.Usina_{Ano}} \quad (6)$$

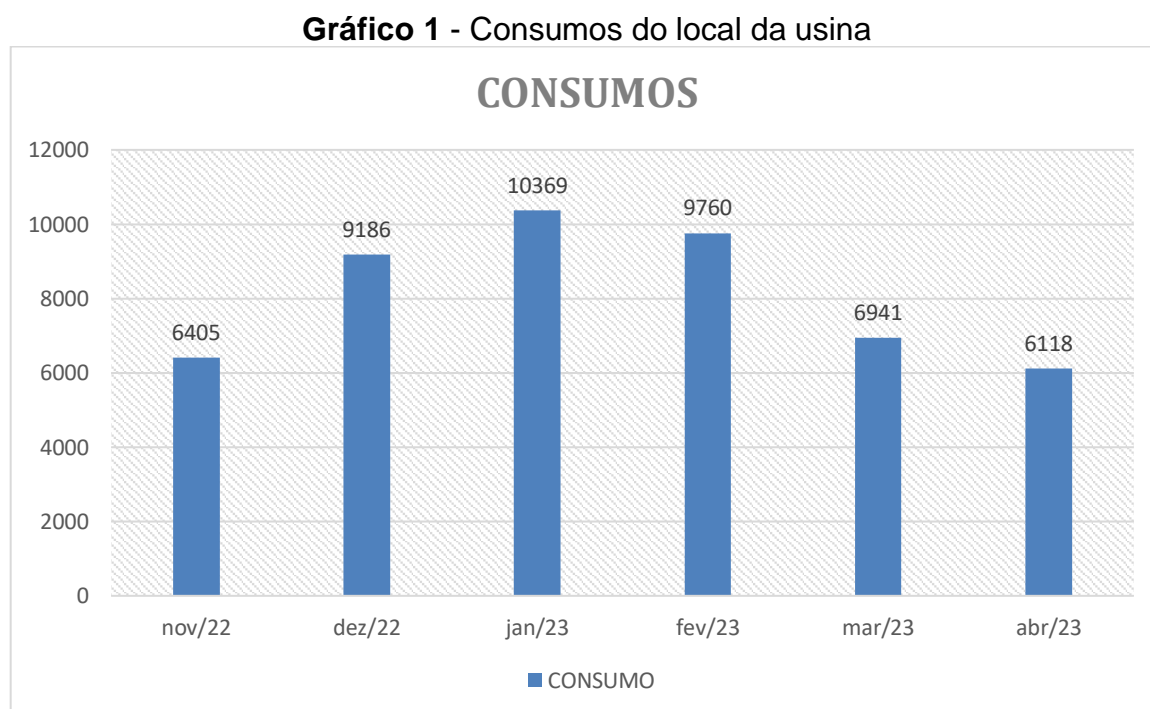
Onde $Tempo\ Retorno\ Usina_{Ano}$ é o tempo de retorno financeiro simplificado da usina em anos, o *Valor investido no projeto da usina* é o valor inicialmente investido para realização da usina em real e o $Ret.\ Fin.\ Usina_{Ano}$ é o retorno financeiro simplificado da usina por ano em real.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA

Podem ser adotadas algumas estratégias na hora de se analisar uma fatura de energia, entre elas está a de se observar apenas os últimos meses de consumo, principalmente se for notado um aumento elevado em relação ao anteriores.

Neste caso foi realizada a análise dos consumos do local referentes aos meses de novembro de 2022 a abril de 2023. Chegando ao total de 6 meses que são exibidos no gráfico a seguir:



Fonte: Autoria própria (Adaptado Cosern, 2024).

Analisando o gráfico 1 observa-se algumas características do consumo do local. Entre elas a discrepância que há entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro em relação aos outros, e isto se dá devido o estabelecimento ser um hotel que tem como característica a maior circulação de pessoal em períodos festivos como Natal, Ano Novo e Carnaval, o que causa conseqüentemente um maior consumo de energia elétrica.

Outro ponto que se deve observar é que estes consumos já estavam sendo menores por causa da usina fotovoltaica existente no local.

Utilizando esses dados como base é calculada a sua média utilizando a equação a seguir:

$$Média_{Consumo} = \frac{\sum_{i=1}^6 Consumo(i)}{6} \quad (7)$$

Onde $Média_{Consumo}$ é a média do consumo, o $\sum_{i=1}^6 Consumo(i)$ é o somatório dos consumos dos 6 meses e 6 é o valor exato de meses utilizados para análise. Com a utilização desta equação se encontra o valor médio de consumo a seguir:

$$Média_{Consumo} = \frac{48779}{6} = 8129,83 \text{ kWh}$$

Esta média de consumo corresponde a geração média mensal que seria necessária para suprir o consumo atual do estabelecimento. Em seguida é calculada a usina necessária para obter esta geração.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O CONSUMO DO LOCAL DA INSTALAÇÃO

A partir da geração média mensal é calculada a potência da usina. Para que seja realizado este cálculo é necessário escolher uma potência de placa, que para este caso é de 550W. Em seguida é necessário obter o índice de irradiação do local da instalação, para isso basta acessar o site da CRESESB¹⁴, na aba de potencial energético e potencial solar onde vai ser necessário colocar apenas as coordenadas

¹⁴ Site CRESESB, disponível em: <https://cresesb.cepel.br/>. Acessado em 19 de jun. de 2024.

geográficas do local. Para obter estas coordenadas é utilizado o *Google Maps* fazendo a pesquisa do endereço do local.

Para este caso a localização é na cidade de Martins, no Rio Grande do Norte. A latitude encontrada foi 6,08849° S e a longitude foi 37,917452° O, com esta informação foi obtido os índices de irradiação da figura a seguir:

Figura 6 - Índices de irradiação do local da instalação

Latitude: 6,08847° S
Longitude: 37,917471° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]													Média	Delta			
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez	
<input checked="" type="checkbox"/>	Serrinha dos Pintos	Serrinha dos Pintos	RN	BRASIL	6,101° S	37,949° O	3,8	6,10	6,01	6,03	5,76	5,32	5,06	5,42	6,10	6,52	6,68	6,71	6,19	5,99	1,66	
<input type="checkbox"/>	Lucrecia	Lucrecia	RN	BRASIL	6,101° S	37,849° O		7,7	6,11	6,01	6,05	5,81	5,33	5,02	5,38	6,08	6,51	6,66	6,67	6,15	5,98	1,65
<input type="checkbox"/>	Vicosa	Vicosa	RN	BRASIL	6,001° S	37,949° O		10,3	6,05	6,12	6,14	5,85	5,40	5,11	5,43	6,10	6,50	6,67	6,70	6,15	6,02	1,59

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

6,08847° S; 37,917471° O



Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Serrinha dos Pintos
Município: Serrinha dos Pintos, RN - BRASIL
Latitude: 6,101° S
Longitude: 37,949° O
Distância do ponto de ref. (6,08847° S; 37,917471° O): 3,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez			
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,10	6,01	6,03	5,76	5,32	5,06	5,42	6,10	6,52	6,68	6,71	6,19	5,99	1,66	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	6° N	5,87	5,88	6,02	5,90	5,55	5,34	5,70	6,31	6,58	6,57	6,47	5,92	6,01	1,24	
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	5° N	5,91	5,90	6,03	5,88	5,52	5,29	5,66	6,28	6,57	6,59	6,52	5,97	6,01	1,30	
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	12° N	5,60	5,70	5,97	5,98	5,74	5,57	5,93	6,47	6,58	6,41	6,18	5,62	5,98	1,01	

Fonte: Autoria própria (Adaptado CRESESB, 2024).

Pode-se observar na figura 6 que os índices são da cidade de Serrinha dos Pintos, isso ocorre devido à proximidade entre as cidades. Assim mesmo utilizando as coordenadas do local, o banco de dados da CRESESB identifica a localização mais próxima e os índices correspondentes. Na tabela superior presente na figura é possível observar a distância indicada do local das coordenadas de 3,8 km, no qual é um valor aceitável considerando uma tolerância de no máximo 10 km, onde os dados ficam bem próximos.

Os índices que são utilizados estão na tabela na parte inferior da figura, na linha ângulo igual a latitude, isso porque os módulos são instalados com a mesma inclinação. O valor utilizado será o da média, que corresponde a $6,01 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$.

Depois de escolhida a potência do módulo e encontrado o índice de irradiação do local, o próximo dado necessário é o fator de eficiência, que é considerado devido as perdas no sistema durante o processo de conversão da energia solar em elétrica. Para este cálculo foi considerado 80% de eficiência para o sistema, onde este valor é muito aceito e utilizado para esta finalidade.

Após a obtenção dos dados é calculada a energia média gerada por mês por um módulo de 550W no local da instalação através da equação 1, a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Energia}_{Ger.Mês} &= \text{Pot}_{Mód} \times \text{Fat}_{Efi} \times \text{Ind}_{Irra} \times 30(\text{Dias}) \\ \text{Energia}_{Ger.Mês} &= 0,550 \times 0,80 \times 6,01 \times 30 \\ \text{Energia}_{Ger.Mês} &= 79,33 \text{ kWh/mês} \end{aligned}$$

Em seguida utilizando a equação 3 é encontrada a quantidade de módulos de 550W necessários para suprir a geração média de 8129,83 kWh:

$$\begin{aligned} \text{Quant. módulos} &= \frac{\text{Energia}_{Total \text{ Ger.Mês}}}{\text{Energia}_{Ger.Mês}} \\ \text{Quant. módulos} &= \frac{8129,83}{79,33} \\ \text{Quant. módulos} &= 102,48 \text{ und} \end{aligned}$$

A quantidade encontrada foi em forma de número decimal, nesses casos o valor é arredondado para cima. Desta forma a quantidade de módulos necessários para o sistema suprir a média de consumo atual do estabelecimento é de 103 unidades. Utilizando a equação 4 é encontrada a potência total do sistema em kWp:

$$\begin{aligned} \text{Potência}_{Sist.Fot} &= \text{Quant. módulos} \times \text{Pot}_{Mód} \\ \text{Potência}_{Sist.Fot} &= 103 \times 550 \\ \text{Potência}_{Sist.Fot} &= 56,65 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Assim a usina capaz de suprir a média de consumo dos seis meses da figura 6 teria a potência de 56,65 kWp, com capacidade de geração de aproximadamente 8170 kWh/mês. Esta potência funciona de comparativo, já que a verdadeira potência que o consumidor vai instalar depende principalmente da área que ele tem disponível para os novos módulos.

4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ACORDO COM O LOCAL DA INSTALAÇÃO

Para dimensionamento do sistema através da área foi utilizado o *Google Maps* para a obtenção das coordenadas do local, além da plataforma online chamada *SolarEdge Designer*. Através dessa plataforma é possível obter a área aproximada da real, desenhar a estrutura do local onde vai ser instalado o sistema, além de simular a aplicação de uma enorme variedade de módulos presentes no seu banco de dados.

Portanto com as coordenadas e a potência dos módulos já conhecidos foi observado que havia dois espaços com área para instalação dos módulos, o primeiro com aproximadamente 200 m² e o segundo com aproximadamente 100 m².

Para a simulação foi selecionado o módulo de 550W de potência, do modelo SS-550-72MDH, da marca Sunova Solar que apresenta as dimensões de 2,278 m de comprimento e 1,134 m de largura. Utilizando essas informações foi realizada a simulação a seguir:

Figura 7 - Simulação da quantidade de módulos



Fonte: Autoria própria (Adaptado SolarEdge Designer, 2024).

Na figura 7 pode-se observar que na simulação foi possível posicionar 104 módulos de 550W, totalizando uma potência de 57,20 kWp. Utilizando a equação 2, considerando a energia média gerada por módulo já encontrada e a quantidade de módulos da simulação, é obtida a energia média total gerada por mês por essa usina:

$$Energia_{Total\ Ger.Mês} = Quant.módulos \times Energia_{Ger.Mês}$$

$$Energia_{Total\ Ger.Mês} = 104 \times 79,33$$

$$Energia_{Total\ Ger.Mês} = 8250,32\ kWh/mês$$

Multiplicando este valor por 12 meses é encontrada a energia média total gerada no ano, que é igual a 99,004 MWh/ano. Comparando este valor com o da simulação nota-se que a plataforma considera um valor de eficiência um pouco acima dos 83%, enquanto o da aplicação deste trabalho considera 80%.

Nota-se que a usina encontrada através da área do telhado é de potência muito aproximada da que é necessária para suprir o consumo da média dos seis meses. Portanto a ideia de realizar uma ampliação para além do consumo já existente conseguir comportar também o consumo de um parque aquático não teria como ser realizado devido a área utilizável existente. Com tudo, ainda poderia ser aplicada a ampliação para diminuir uma parte do consumo gerando uma economia.

Após essa análise surgiram três opções, a primeira foi a instalação deste sistema de forma *on-grid* tradicional na qual precisaria comprar o equipamento e um transformador de pelo menos 112,5 kVA. Isso porque a potência de inversores instalados ficaria maior que 75kW que é a potência máxima suportada pelo transformador existente no local, deixando assim a aplicação mais onerosa.

A segunda opção foi a instalação de um inversor de 15kW que chegaria nos 75kW suportados pela rede atual. Porém, além de não gerar o suficiente ainda não usaria toda a área disponível do telhado para instalação dos módulos.

Já a terceira opção foi a implementação do sistema de controle de exportação zero grid, porque com ele é possível utilizar toda a área do telhado disponível, inversores maiores para suportar todos os módulos e não precisaria realizar a troca do transformador. Mas em compensação ao sistema *on-grid* tradicional este não injetaria energia na rede, de forma que não geraria créditos para serem abatidos todo mês do valor da fatura. Só utilizaria a energia gerada em tempo real para abater o consumo naquele instante, funcionando apenas no período diurno.

Para o momento em que foi realizada a análise e o consumo médio dos seis meses encontrados a partir da figura 6, a terceira opção não seria a mais atrativa porque com o *on-grid* todo o consumo seria compensado, com o zero grid não, porque teria o consumo do período da noite para pagar. Entretanto, fazendo uma análise a longo prazo se torna viável devido ao grande consumo de energia no período diurno que o parque aquático iria trazer. Porque a usina já existente não seria capaz de suprir e ainda começaria a injetar menos ou quase nada durante o dia, assim não gerando créditos para compensar o consumo a noite. Já no caso de instalar o zero grid, com o consumo novo ela conseguiria diminuir um valor bem próximo dos 8250 kWh/mês que foi projetada para gerar, além de fazer com que o outro inversor existente que continuaria *on-grid* consiga ainda injetar energia na rede, mesmo que em quantidade menor, o que ocasionaria em créditos para abater do consumo durante a noite.



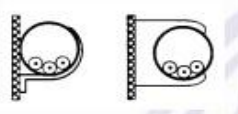
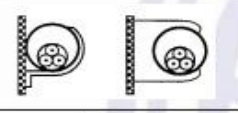
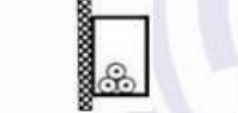
Devido as vantagens a longo prazo a terceira opção foi a escolhida para ser realizada. Desta forma para suportar a quantidade de potência dos 104 módulos foram escolhidos dois inversores de 25kW, formando assim 50kW que seriam capazes de suportar os 57,20 kWp com folga de dimensionamento, ajudando no funcionamento melhor a longo prazo pelo fato de trabalharem com uma potência inferior ao seu limite máximo aceitável.

4.4 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DE PROTEÇÃO E COMPLEMENTARES

A proteção do lado de corrente contínua do inversor é realizada de forma embutida ao equipamento que já vem com esta função de fábrica, essas proteções são: proteção contra polaridade reversa, um interruptor CC, proteção de sobretensão de corrente contínua do tipo II, monitoramento de falta de terra, proteção contra curto-circuito de saída, monitoramento de falha de *string* e proteção contra falhas de arco elétrico chamado de AFCI. Em relação aos cabos utilizados no lado CC são todos de acordo com os recomendados pelos fabricantes dos módulos, que em sua maioria são cabos de 6mm² de cobre, que tenham proteção contra os raios UV e revestimento para suportar elevadas temperaturas. Geralmente nas distribuidoras são vendidos juntos com o kit cabos de 4 ou 6mm² de cobre que suportam até 1,8kV, que são os cabos XLPE.

A proteção do lado de corrente alternada se inicia com a análise da corrente de saída CA máxima dos inversores, que nesse caso são equipamentos trifásicos. O valor da corrente pode ser encontrado no *datasheet* do equipamento, a dos inversores selecionados é de 36,2A, desta forma o disjuntor de proteção CA recomendado para eles é de 40A tripolar, um para cada. Os cabos CA do inversor até o padrão de entrada são dimensionados de acordo com a norma NBR 5410:2004. A seguir a imagem da tabela 33 da norma para que seja realizada a escolha do método de instalação:

Figura 8 - Métodos de instalação

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1

Fonte: Autoria própria (Adaptado da NBR 5410:2004, 2024).

Na figura 8 estão alguns os métodos de instalação e de acordo com ela para esta instalação o método utilizado foi o número 3, com condutores isolados em eletroduto aparente, assim tomando como método de referência B1. Com esta informação é utilizada a tabela 36 para dimensionamento do cabo. A seguir a imagem da tabela:

Figura 9 - Seções nominais dos cabos de cobre e suas correntes

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151

Fonte: Autoria própria (Adaptado da NBR 5410:2004, 2024).

Na figura 9 estão as seções nominais dos cabos e suas respectivas correntes suportadas. Utilizando o método de referência B1 encontrado anteriormente e com a informação de que o equipamento é trifásico se encontra a seção do cabo em mm² localizando na tabela o método de referência na parte superior, abaixo dela escolhe-se a coluna com o número 3 que corresponde ao número de condutores carregados. Descendo nesta coluna é necessário localizar o valor de corrente superior aos 36,2A da saída dos inversores. Com isso é localizado que o cabo de 10 mm² é o ideal devido suportar uma corrente de até 50A que é superior a corrente máxima planejada para o circuito, além de ser maior que a corrente do disjuntor escolhido para proteção deste circuito.

Estes cabos e disjuntores vão para o quadro de distribuição do local da instalação. Neste quadro está o disjuntor geral de 125A tripolar que é dimensionado de acordo com a DIS-NOR-036 da Neoenergia Cosern, que leva em consideração o transformador que está instalado no local, onde neste caso é um de 75 kVA. A seguir a tabela 14 da DIS-NOR-036:

Tabela 1 - Dimensionamento do Ramal de entrada de BT até 300 kVA

Transformador		Proteção	Condutores de BT					
Tensão Secundária (V)	Potência nominal (KVA)		Disjuntor (A)	Em eletroduto rígido – condutor de cobre				
		Isolação PVC 70° C (mm ²)		Eletroduto diâmetro nominal (mm)		Isolação EPR/XLPE 90°C (mm ²)	Eletroduto diâmetro nominal (mm)	
				PVC	AÇO		PVC	AÇO
220 / 127	30	80	3x25(25)	32	25	3x16(16)	32	25
	45	125	3x50(25)	40	32	3x35(25)	40	32
	75	200	3x95(50)	60	50	3x70(35)	50	40
	112,5	300	3x185(95)	75	65	3x120(70)	60	50
	150	400	2x[3x95(70)]	2x60	2x50	3x185(95)	75	65
	225	600	2x[3x185(150)]	2x75	2x65	2x[3x120(95)]	2x60	2x50
	300	800	3x[3x150(120)]	3x75	3x65	2x[3x185(150)]	2x75	2x65
380 / 220	30	50	3x10(10)	32	25	3x10(10)	32	25
	45	70	3x25(25)	32	25	3x16(16)	32	25
	75	125	3x50(25)	40	32	3x35(25)	40	32
	112,5	175	3x95(70)	60	50	3x70(35)	50	40
	150	250	3x150(70)	75	65	3x95(50)	60	50
	225	350	3x240(120)	85	80	3x150(70)	75	65
	300	500	2x[3x150(120)]	2x75	2x65	2x[3x95(70)]	2x60	2x50

Nota 1: Os componentes do ramal de entrada em baixa tensão foram dimensionados para demanda máxima prevista igual à potência nominal do transformador. Caso seja considerada uma sobrecarga no transformador o ramal de entrada deve ser redimensionado.

Nota 2: Os disjuntores devem ter a corrente de interrupção simétrica de no mínimo 30 kA em 240 Vac, sendo necessário rever este valor em função dos níveis de curto circuito no ponto de instalação.

Fonte: Autoria própria (Adaptado da DIS-NOR-036:2022, 2024).

Pode-se observar na tabela 1 que segundo a norma o disjuntor para o transformador de 75 kVA em rede 380/220V é de 125 A. A partir desta tabela também é dimensionado os cabos que saem do quadro em direção ao transformador de 75 kVA. De acordo com ela são utilizados três cabos de 50mm² de isolação PVC 70° C para as fases e um de 25mm² para o aterramento. Observando na figura 9 que este cabo suporta até 134 A que é maior que o disjuntor de 125 A utilizado.

No quadro de distribuição também estão os DPS que foram quatro de 40 kA, sendo um para cada fase e um para o neutro. também tem o aterramento que fica conectado em todas as placas de forma a chegar no aterramento geral do quadro, como também fica conectado nos inversores.

4.5 COMO DEVE SER REALIZADO O PROCESSO DE HOMOLOGAÇÃO JUNTO A CONCESSIONARIA NEOENERGIA COSERN

Para realização deste processo é necessário ter uma conta no portal de solicitações de acesso de mini e microgeradores da Neoenergia Cosern. Para a solicitação do projeto neste portal são necessários dados que são encontrados na conta de luz da unidade, além de documentos como contrato social do CNPJ,

identidade do responsável legal, procuração, anotação ou termo de responsabilidade técnica, diagrama unifilar básico do sistema, formulário de solicitação de acesso, memorial descritivo de geração distribuída e avaliação de conformidade dos inversores. Alguns destes documentos são gerados pelo próprio portal após o fornecimento das informações do projeto.

4.5.1 ANOTAÇÃO OU TERMO DE RESPONSABILIDADE TECNICA

A anotação ou termo de responsabilidade técnica é solicitada para todo projeto fotovoltaico. Ele é a prova que o profissional seja engenheiro ou técnico está se responsabilizando por aquela atividade que está sendo descrita no documento. Ela é composta por informações sobre os dados do contrato, da obra ou serviço, da atividade técnica realizada, além de observações, declarações e assinaturas do responsável técnico e do contratante.

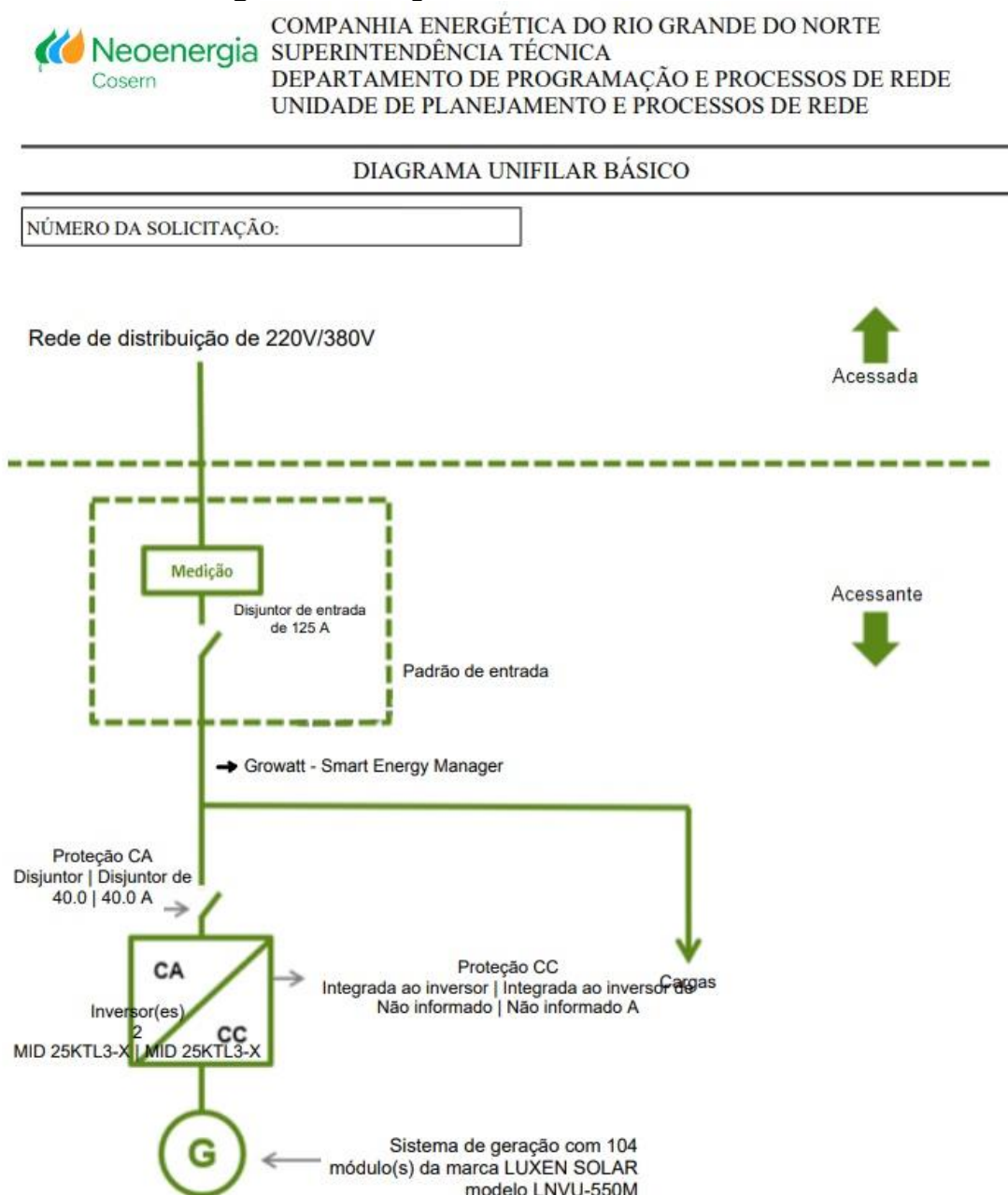
Para a realização do projeto deste trabalho a ART ou TRT tem que ser preenchida com os dados do local como endereço completo e coordenadas geográficas, além do valor cobrado pelo serviço. Como atividade técnica na anotação de responsabilidade técnica que é emitida pela CREA-RN é adicionada a atividade 14 que corresponde a elaboração e em seguida selecionado o código 80 que corresponde a projeto e escolhido o termo #11.9.1.5 que é para sistemas de geração de energia solar, logo depois é preenchida a potência que pode ser em kW que se baseia somente na potência dos inversores, como pode ser em kWp que é em relação a potência dos módulos, neste caso pode ser 50kW ou 57,20 kWp. Depois é adicionada a atividade 16 que se refere a execução, depois é selecionado o código 46 que é execução da instalação, em seguida seleciona o termo #11.9.1.5 já citado acima e repete a mesma potência descrita em elaboração.

Este preenchimento descrito acima está sinalizando que o profissional esta responsável pela elaboração e execução do projeto do sistema de geração solar daquela respectiva potência. Neste caso como é um sistema que utiliza a tecnologia de controle de exportação zero grid, esta característica do sistema pode ser adicionada na aba de observações.

4.5.2 DIAGRAMA UNIFILAR BÁSICO DO SISTEMA

O diagrama unifilar básico é um documento gerado pelo portal GD da Cosern no qual indica o tipo da rede do cliente, a parte de medição do padrão de entrada, os equipamentos fotovoltaicos que serão instalados, além das proteções do sistema. A seguir uma figura do diagrama adequado para o projeto deste trabalho:

Figura 10 - Diagrama unifilar básico do sistema



Fonte: Autoria própria (Adaptado de Neoenergia Cosern, 2024).

A figura 10 representa o diagrama adequado para o projeto zero grid. Nele está descrevendo que a rede de distribuição é 220V/380V, que o disjuntor do padrão de entrada é de 125 A, que existe um *smart energy manager* da marca *Growatt* conectado no padrão de entrada, que tem dois disjuntores de 40 A, um para cada inversor do modelo MID 25KTL3-X, informa que a proteção CC é integrada nos inversores e por último mostra que o sistema é composto por 104 módulos da marca Luxen Solar, do modelo LNVU-550M.

Este documento precisa ser assinado pelo responsável técnico do projeto antes de ser enviado para a distribuidora.

4.5.3 FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO

Este documento tem a função de identificar a unidade consumidora através de dados como código da unidade, classe tarifária, endereço completo, titular, e-mail, telefone, tipo de conexão, carga instalada, potência de geração instalada e o tipo de fonte de geração. Este documento necessita ser assinado pelo titular da unidade ou por um representante legal, neste caso é necessário anexar a procuração junto com o formulário.

Para preenchimento do sistema citado neste trabalho os dados principais são o tipo de conexão que é trifásica, a classe que é comercial, a potência instalada de geração que sempre é o menor valor entre a potência dos inversores e dos módulos, então neste caso o valor é de 50 kW e o tipo de fonte de geração que é a solar.

4.5.4 MEMORIAL DESCRITIVO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Neste documento ficam as características da geração da unidade consumidora, como os equipamentos que serão utilizados no projeto e seus dispositivos de proteção, além das certificações e os requisitos de segurança. A seguir uma imagem dos principais dados deste documento:

Figura 11 - Memorial descritivo do projeto



COMPANHIA ENERGÉTICA DO RIO GRANDE DO NORTE
SUPERINTENDÊNCIA TÉCNICA
DEPARTAMENTO DE PROGRAMAÇÃO E PROCESSOS DE REDE
UNIDADE DE PLANEJAMENTO E PROCESSOS DE REDE

MEMORIAL DESCRITIVO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

NÚMERO DA SOLICITAÇÃO:

1. CARACTERÍSTICAS DA UNIDADE CONSUMIDORA

Tipo do padrão		Nível de tensão (V)	
Trifásica		220V/380V	
Disjuntor geral (A)	Fator de potência	Ramal de ligação (mm ²)	Potência disponibilizada (kW)
125A	0,92	50mm ²	75,9

2. CARACTERÍSTICAS DA GERAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA

Preencha as tabelas abaixo respeitando a correspondência entre os módulos e os inversores.

Por exemplo: se a usina for composta por duas strings, uma conectada a um inversor A e outra a um inversor B, preencha as tabelas fazendo a associação com os números das linhas.

Estrutura do(s) gerador(es) utilizado(s) na usina

Modelo do(s) gerador(es): LNVU-550M

Fabricante: LUXEN SOLAR

Área (m²): 300 m² **Quantidade:** 104 **Potência total dos módulos(kW):** 57,2 kW

Estrutura do(s) inversor(es) utilizado(s) na usina

Conectados ao(s) inversor(es): MID 25KTL3-X | MID 25KTL3-X

Fabricante: Growatt | Growatt

Tipo(s) de proteção CC: Integrada ao inversor | Integrada ao inversor

Corrente(s) de interrupção CC (A): Não informado | Não informado

Tipo(s) de proteção CA: Disjuntor | Disjuntor

Corrente(s) de interrupção CA (A): 40.0 | 40.0

Quantidade: 2 **Potência total (kW):** 50kW

Fonte: Autoria própria (Adaptado de Neoenergia Cosern, 2024).

Na figura 11, está o memorial com algumas das características principais do projeto como o tipo do padrão, o nível de tensão da rede utilizado, disjuntor geral da instalação, bitola do fio do ramal de ligação e por fim os equipamentos responsáveis pela geração da usina.

Os módulos escolhidos para usina foram os da fabricante Luxen Solar, mais especificamente o modelo LNVU-550M, este equipamento apresenta 12 anos de garantia de produto e 25 anos de garantia de desempenho. São módulos mono faciais, com *layout Half-cell*, apresentam uma eficiência de 21,28%, além disso apresentam certificações internacionais de padrão de qualidade como a IEC 61215 e IEC 61730, também tem a ISO9001:2015 QMS, ISO14001 EMS e ISO45001:2018 OHSMS. As

suas dimensões são $2279 \times 1134 \times 35 \text{ mm}$ e pesa 27,5 kg. A seguir uma imagem do módulo:

Figura 12 - Módulo LNVU-550M



Fonte: Autoria própria (Adaptado de *Datasheet LNVU-550M*, 2024).

Algumas das principais informações técnicas do módulo estão na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Informações principais do módulo LNVU-550M

Luxen Solar – LNVU-550M	
Parâmetros	Valor
Máxima potência em STC (Pmax)	550W
Tensão de circuito aberto (Voc)	50.32V
Corrente de curto-circuito (Isc)	13.90A
Tensão máxima de funcionamento (Vmpp)	42.28V
Corrente de potência de pico (Impp)	13.01A
Eficiência do módulo	21.28%

Fonte: A autoria própria (Adaptado de *Datasheet* LNVU-550M, 2024).

Após a escolha dos módulos, foi selecionado os inversores que iram trabalhar em conjunto com eles. Um dos principais fatores para escolha do inversor foi que apresentasse suporte para o controle de exportação para assim poder trabalhar com a estratégia de zero grid. Devido a isso o inversor selecionado foi o da fabricante *Growatt*, especificamente o modelo MID 25KTL3-X, ele apresenta como características uma eficiência máxima de 98,8%, ser um modelo mais compacto e leve, proteção DPS tipo II no lado CC, apresenta a potência de 25kW na saída CA, um *overload* de 50% em relação a sua potência nominal e assim suportando até 37,5 kWp de potência de módulos. Além disso apresenta duas MPPT's onde uma tem duas entradas e na outra três, cada entrada corresponde a uma *string*, assim devido a sua máxima tensão CC de 1100V ele suporta *strings* com até 20 módulos a depender da tensão de curto-circuito dele. O equipamento apresenta uma garantia de 10 anos com suporte técnico no Brasil. A seguir uma imagem do inversor:

Figura 13 - Inversor MID 25KTL3-X



Fonte: Autoria própria (Adaptado de *Datasheet* MID 25KTL3-X, 2024).

Algumas das principais informações técnicas do inversor estão na tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Informações principais inversor MID 25KTL3-X

Growatt – MID 25KTL3-X	
Parâmetros entrada CC	Valor
Máxima potência de módulos	37000W
Máxima tensão CC	1100V
Tensão de partida	250V
Faixa de tensão de MPPT	180V-1000V
Tensão nominal	580V
Número de MPPT independentes / <i>strings</i> por MPPT	2 / 2+3
Máxima corrente de entrada por <i>string</i>	25A / 37.5A
Máxima corrente de entrada	32A
Parâmetros saída CA	Valor
Potência nominal de saída CA	25000W
Potência aparente máxima CA	25000VA
Tensão nominal de saída CA (Faixa)	220V/380V (340-440V)
Frequência de rede CA (Faixa)	50/60Hz (45~55Hz/55-65Hz)
Máxima corrente de saída	36.2A
Fator de potência ajustável	0.8i-0.8c
THDI	< 3%
Conexão CA	3W+N+PE
Máxima eficiência	98.8%
Eficiência europeia	98.10%
Eficiência MPPT	99.9%
Dimensões (L/A/P)	525/395/222mm
Peso	23kg

Fonte: Autoria própria (Adaptado de *Datasheet* MID 25KTL3-X, 2024).

Além, desses dados também ele tem o sistema de proteção com polaridade reversa de CC, interruptor CC, proteção contra curto-circuito de saída, monitoramento de falta à terra, proteção de sobretensão CA tipo II e forma de refrigeração por arrefecimento inteligente.

Por fim, após a descrição de todas as informações sobre os equipamentos e seus dispositivos de proteção no memorial descritivo, o responsável técnico precisa assinar este documento antes de enviar para a concessionária através do portal GD.

4.5.5 AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE DOS INVERSORES

Estes são documentos que comprovam a conformidade dos inversores, afirmando que eles foram aprovados nos testes de qualidade. A Cosern exige que seja enviado com o projeto o certificado no Inmetro que abrange os inversores monofásicos ou os certificados internacionais IEC 61727:2004 e IEC 62116:2014 para os inversores trifásicos.

O IEC 61727:2004 se refere as características uteis da interface do equipamento e a IEC 62116:2014 afirma que o equipamento passou pelos procedimentos de teste de medidas de prevenção de ilhamento de equipamentos conectados na rede.

A seguir uma figura do certificado que abrange as duas IEC do inversor selecionado para o projeto:

Figura 14 - Certificado de conformidade do MID 25KTL3-X



intertek
Total Quality. Assured.

Certificate of Conformity

Certificate Number: CN-PV-210038

On the basis of the tests undertaken, the samples of the below product have been found to comply with the requirements of the referenced specifications /standards at the time the tests were carried out. It does not imply that Intertek has performed any surveillance or control of the manufacture. The manufacturer shall ensure that the manufacturing process assures compliance of the production units with the examined products mentioned in this certificate.

Applicant:	Shenzhen Growatt New Energy Co., Ltd. 2F and 3F, Building 4, Jiayu Company Industrial Park, Xibianling, Shangyu Village, Shiyan Street, Bao'an District, Shenzhen, Guangdong, China
Product:	PV Grid inverter
Ratings & Principle Characteristics:	See Appendix to Certificate of Conformity
Models:	MID 10KTL3-X, MID 12KTL3-X, MID 15KTL3-X, MID 17KTL3-X, MID 20KTL3-X, MID 22KTL3-X, MID 25KTL3-X
Brand Name:	Growatt
Tested according to:	IEC 61727:2004 Photovoltaic (PV) systems – Characteristics of the utility interface IEC 62116:2014 Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters
Certificate Issuing Office Name & Address:	Intertek Testing Services Ltd. Shanghai West Area, 2nd Floor, No. 707, Zhangyang Road China (Shanghai) Pilot Free Trade Zone, Shanghai, P. R. China
Test Reports No:	190416203GZU-001 Revision 1: 02 Mar 2021 190416203GZU-002 Revision 1: 02 Mar 2021

Additional information in Appendix.



Signature

Certification Manager: Grady Ye
Date: 04 March 2021

Fonte: Autoria própria (Adaptado de Certificado de conformidade *Intertek*, 2024).

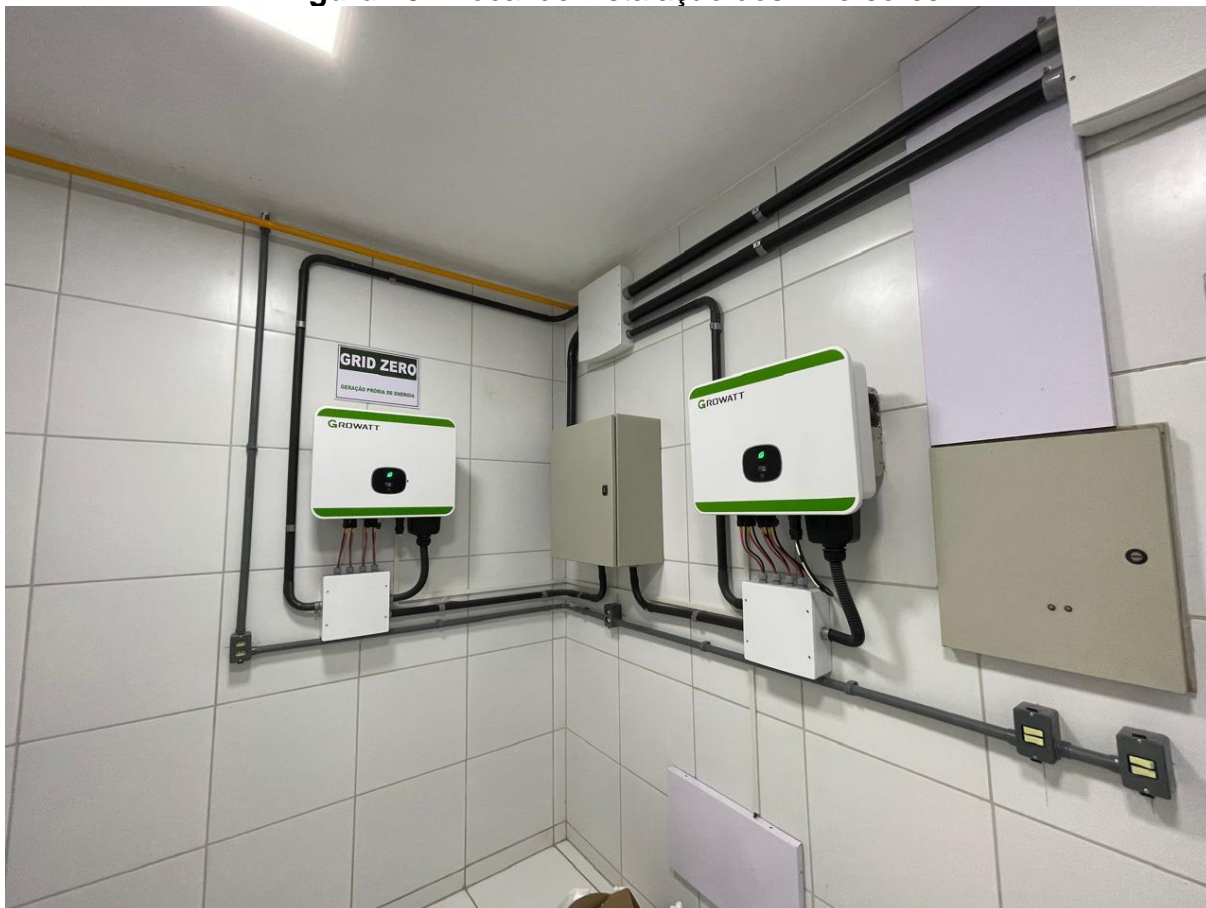
Na figura 14 está a primeira página do certificado/ avaliação de conformidade do inversor MID 25KTL3-X, comprovando que ele está habilitado para ser utilizado em projetos no Brasil. Em caso de não envio ou anexado de forma errada a concessionária Cosern retorna o projeto e pede para que seja realizada a correção da documentação enviada.

4.6 PROJETO FOTOVOLTAICO INSTALADO E CONFIGURADO

Após o dimensionamento, a escolha e compra do material e a homologação do projeto vem a parte da instalação. Nesta parte é instalado o material conforme foi

planejado no projeto e é realizada correções que podem ser necessárias devido imprevistos. A seguir uma imagem do local de instalação dos inversores:

Figura 15 - Local de instalação dos inversores



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na figura 15 observa-se os dois inversores de 25kW devidamente instalados, junto estão seus equipamentos de proteção e a placa de sinalização de sistema grid zero.

Em seguida o local de instalação do medidor inteligente que nesse caso é da marca *Growatt* e já é vendido junto com o kit para uma instalação grid zero:

Figura 16 - Local de instalação do *Smart Energy Manager*



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na figura 16 observa-se o *Smart Energy Manager* que funciona monitorando alguns dados da instalação como o consumo. Através dessa informação ele controla quanto o sistema pode usar de potência naquele momento, controlando para que a exportação para a rede da concessionária seja zero.

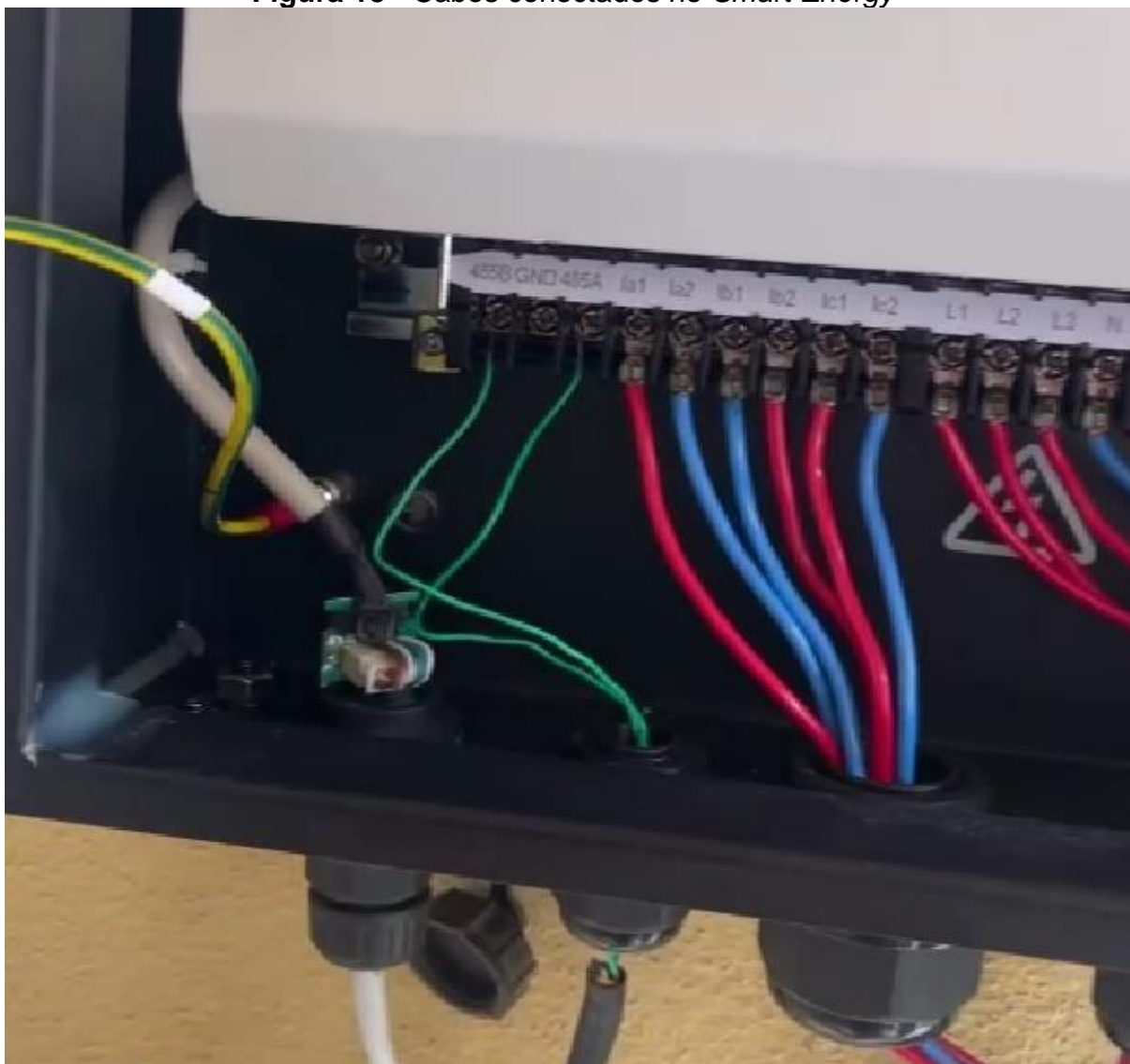
Figura 17 - TC's conectados ao *Smart Energy*



Fonte: A autoria própria, 2024.

Na figura 17 encontra-se os transformadores de corrente que trabalham conectados ao *Smart Energy* para mandar as informações sobre a instalação em tempo real. Dessa forma com esses dados é controlada a quantidade de potência que os inversores poderão utilizar naquele momento para que assim não injetem energia na rede.

Figura 18 - Cabos conectados no *Smart Energy*



Fonte: Autoria própria, 2024.

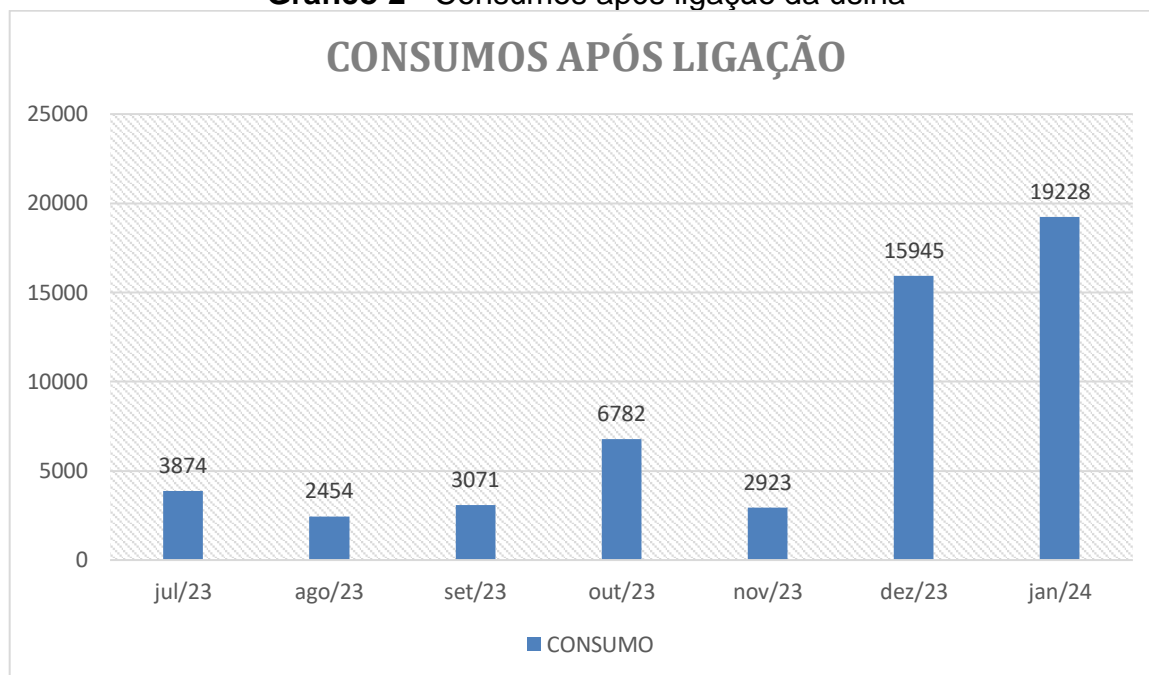
Na figura 18 observa-se os cabos que ficam conectados no *Smart Energy* para seu funcionamento adequado. Começando da esquerda para direita, os dois primeiros cabos são ligados diretamente aos inversores, eles são responsáveis por mandar a informação e assim controlá-los. Os outros seis cabos a seguir são conectados nos TC's da figura 17, assim passando as informações sobre as cargas em tempo real. Já os quatro cabos seguintes são a parte de alimentação do equipamento, sendo correspondente pelas três fases e o neutro.

4.7 ANÁLISE FINANCEIRA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico completo com os módulos, inversores, *Smart Energy*, estruturas de fixação, materiais elétricos complementares e mão de obra para a instalação foi adquirido pelo proprietário pelo valor de R\$ 150.000,00. A usina apresentou um valor aproximado de R\$ 2.622,38 por kWp instalado.

Para um equipamento funcionando com a estratégia de controle zero grid a forma de se obter o retorno sobre o investimento é bem próxima ao sistema *on-grid* tradicional. Para isso é necessário saber a quantidade em kWh que o equipamento fez o cliente economizar. O método tradicional necessita que seja realizada uma análise da conta de luz em conjunto com o que foi gerado pelo inversor, injetado na rede e compensado pelas contas de energia, onde este valor encontra-se em kWh. Já para o caso do zero grid é necessário realizar uma análise através de dados que são obtidos pelo *Smart Energy*. Estes dados são o valor de energia que foi consumido durante o dia e o quanto foi gerado neste mesmo período de acordo com este consumo. Também com estes dados é possível fazer uma comparação entre o valor de consumo registrado em dias específicos pelo *Smart Energy* de forma a utilizar o mesmo período de dias de leitura da fatura da concessionária. Em locais onde o consumo durante o dia é elevado, nota-se a diferença no consumo registrado pelo medidor da concessionária de forma acentuada.

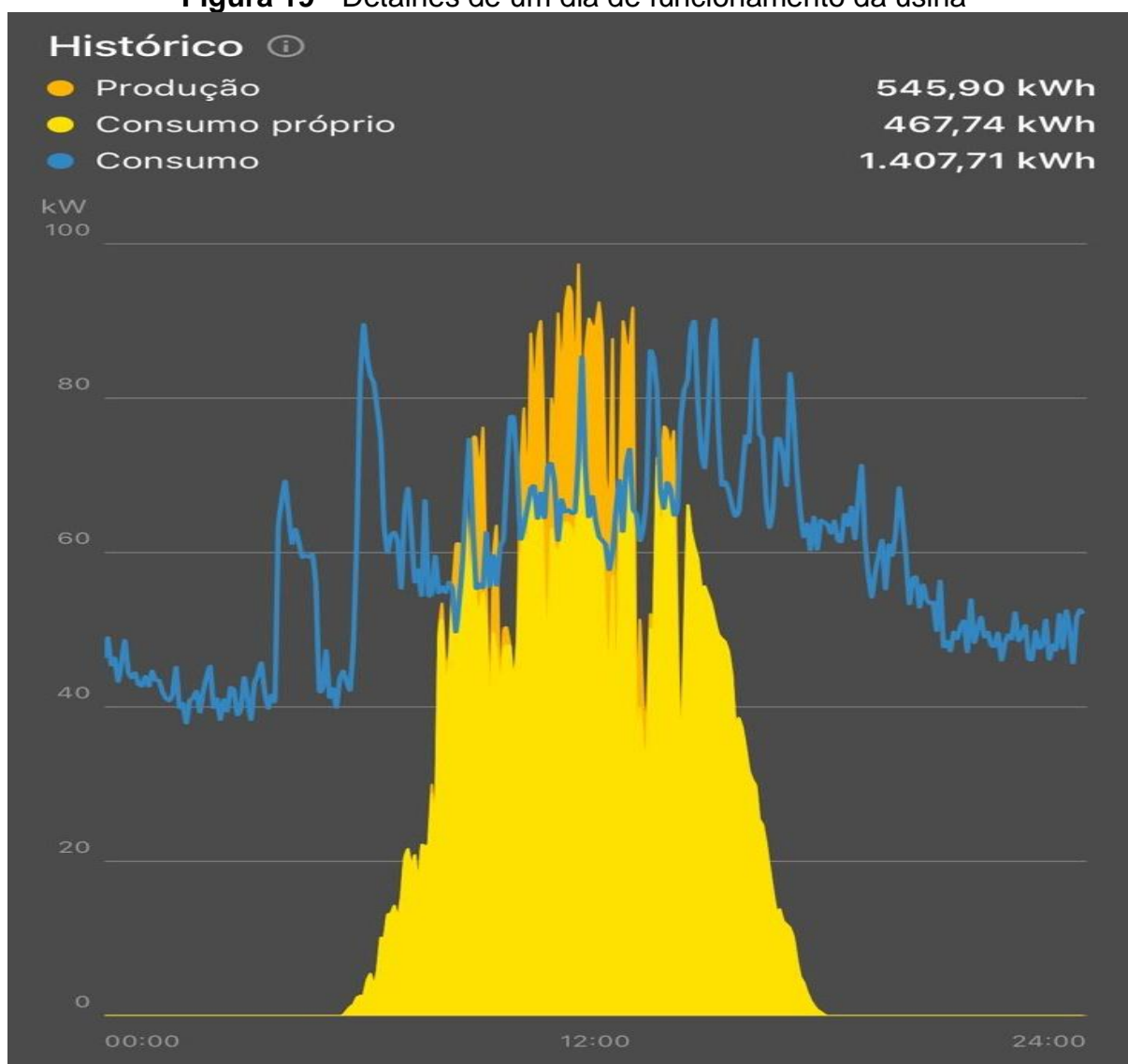
A seguir um gráfico com os consumos registrados na fatura de energia após a ligação da usina zero grid nos primeiros meses antes da implementação dos equipamentos que estavam sendo planejados.

Gráfico 2 - Consumos após ligação da usina

Fonte: Autoria própria (Adaptado Cosern, 2024).

No gráfico 2 observa-se que ocorreu uma diminuição no consumo registrado pela medição da concessionária nos meses entre julho e outubro se comparado com os do gráfico 1. O mês de novembro apresenta um valor abaixo também mas corresponde a apenas 7 dias de leitura e contando que os equipamentos novos foram ligados neste mês, o consumo seria bem maior como os registrados de dezembro em diante. Nota-se também que os valores que foram diminuídos são distantes dos 8250,32 kWh/mês que a usina foi projetada para gerar. Isso ocorre porque como o consumo durante o dia ainda é baixo nestes meses, a usina com funcionamento zero grid não utiliza o máximo da sua capacidade. Mas ainda assim ajudou na diminuição da média de consumo em aproximadamente 49,76% comparada a média dos meses anteriores.

A seguir a imagem de um gráfico registrando a geração, consumo instantâneo e consumo total de um dia no local da usina:

Figura 19 - Detalhes de um dia de funcionamento da usina

Fonte: Autoria própria (Adaptado de *Shinephone*, 2024).

Na figura 19 está registrado todo o consumo de um dia do local da usina após a instalação dos novos equipamentos. No mesmo está a geração da usina zero grid e da usina já existente *on-grid*, por isso os valores de produção neste dia estão mais altos do que o projetado para usina zero grid. Isso ocorre porque como o equipamento está conectado fazendo medidas do padrão de entrada, devido a isso engloba as duas usinas. Assim as duas gerações ficam somadas no mesmo gráfico.

Como as duas gerações estão juntas o consumo próprio diário é maior porque a usina *on-grid* existente contribui com energia instantânea. Assim como uma não injeta na rede e a outra sim, a diferença entre a produção e o consumo próprio é a quantidade em kWh que a usina *on-grid* está injetando na rede da concessionária.

Como consta energia injetada, se confirma que a usina zero grid está funcionando no seu máximo, isso porque como a usina zero grid em seu funcionamento máximo projetado conseguiria gerar aproximadamente 275 kWh por dia, os outros 270,90 kWh restantes são gerados pela outra usina.

Constatado que o consumo do local está maior que o que a usina zero grid produz e que devido a isso ela está funcionando utilizando toda a sua energia gerada como instantânea, a sua economia mensal para o cliente é de aproximadamente 8250 kWh por mês. O valor do kWh cobrado pela concessionária Neoenergia Cosern para o cliente no mês de julho de 2024 foi de R\$ 0,9632.

Para encontrar o retorno financeiro simplificado da usina por ano é necessário utilizar a equação número 5 com os respectivos valores encontrados. Desta forma o valor encontrado é o a seguir:

$$Ret. Fin. Usina_{Ano} = Energia_{Total Ger. Mês} \times Valor_{kWh} \times 12 (Meses)$$

$$Ret. Fin. Usina_{Ano} = 8250 \times 0,9632 \times 12 (Meses)$$

$$Ret. Fin. Usina_{Ano} = 95.356,80$$

Encontrou-se o valor de R\$ 95.356,80 de economia por ano apenas com o sistema zero grid. Com este valor é possível calcular o retorno sobre o investimento, também conhecido como ROI, que neste caso é o simplificado. Para calcular este valor em anos é utilizada a equação número 6. A seguir o valor encontrado com o auxílio da equação:

$$Tempo Retorno Usina_{Ano} = \frac{Valor investido no projeto da usina}{Ret. Fin. Usina_{Ano}}$$

$$Tempo Retorno Usina_{Ano} = \frac{150.000,00}{95.356,80}$$

$$Tempo Retorno Usina_{Ano} = 1,57 \text{ anos}$$

O tempo de retorno sobre o investimento encontrado foi de 1,57 anos, que correspondem a aproximadamente 1 ano e 7 meses.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de conclusão apresentou todas as informações necessárias para a elaboração de um projeto de microgeração distribuída com a aplicação da estratégia de controle zero grid. Abordando a metodologia do projeto em conjunto com o dimensionamento dos componentes da usina solar fotovoltaica.

Com isso, a metodologia utilizada resultou em um sistema de 57,20 kWp que apresenta capacidade de gerar 8.250 kWh de energia elétrica por mês, totalizando 99 MWh por ano. Assim, é cumprido o objetivo principal do trabalho que é apresentar um projeto de microgeração distribuída solar fotovoltaica que se conecta a rede da distribuidora, mas que não injeta energia, de forma que consiga mostrar a sua viabilidade econômica, como é feita uma análise da fatura de energia e como dimensionar equipamentos e suas respectivas proteções.

Analisando a parte de viabilidade econômica constatou-se que para clientes com consumo elevado durante o dia é uma alternativa viável, principalmente pelo tempo de retorno do investimento que no do caso deste trabalho foi inferior a vida útil do equipamento e da sua garantia. O caso abordado neste trabalho foi considerado viável porque não havia espaço físico para suprir todo o consumo e ao optar pelo sistema *on-grid* seria necessário migrar para consumidor de Grupo A com necessidade de contratar uma demanda de consumo devido ao aumento do transformador particular, além de ter que pagar os encargos sobre a injeção de energia na rede, popularmente chamado de fio B que resultaria em mais uma despesa para onerar o projeto.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. O. L. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. 2019. 75 p. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019. Acessado em: 04 de junho de 2024.

ABNT. **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. 2ª edição. Rio de Janeiro. 2004.

ABNT. **NBR 11704: Sistemas fotovoltaicos – classificação**. 2ª edição. Rio de Janeiro. 2008.

ABNT. **NBR 11876: Módulos fotovoltaicos – Especificação**. 2ª edição. Rio de Janeiro. 2010.

ABNT. **NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. 1ª edição. Rio de Janeiro. 2013.

ABNT. **NBR 16150: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimentos de ensaio de conformidade**. 1ª edição. Rio de Janeiro. 2013.

ABNT. **NBR 16274: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos Mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho**. 1ª edição. Rio de Janeiro. 2014.

ABNT. **NBR IEC 62116: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 1ª edição. Rio de Janeiro. 2012.

FRUGES, V; LIMA, M. **Quadro de distribuição: o que é, para quê serve e como montar**. Obramax. São Paulo. 2021. Disponível em: https://blog.obramax.com.br/elettrica/quadro-de-distribuicao/?gad_source=1&qclid=CjwKCAjw65-zBhBkEiwAjr-qRMLD-HQ0183b1oJC2jJFKpdsdUrO5Bd6j7YoIR5t-5U3NhbLQ1pf9YxoCjt4QAvD_BwE. Acessado em: 11 de junho de 2024.

MARIANO, J. D; JUNIOR, J. U. **Energia solar fotovoltaica: princípios fundamentais**. 1. ed. Ponta Grossa – PR: Atena, 2022. Acessado em: 09 de junho de 2024.

OLIVEIRA, T.E.A. **Projeto de minigeração distribuída conectada à rede elétrica voltada ao autoconsumo remoto**. 2022. 61 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2022. Acessado em: 27 de maio de 2024.

PINA, R. P; GRUPO NEOENERGIA COSERN. **DIS-NOR-030: Fornecimento de Energia em Tensão Secundária de Distribuição a Edificações Individuais**. Rev. 5. Rio Grande do Norte. 2024.

PINA, R. P; GRUPO NEOENERGIA COSERN. **DIS-NOR-036: Fornecimento de Energia em Média Tensão de Distribuição à Edificação Individual**. Rev. 2. Rio Grande do Norte. 2022.

PINHO, J. T. et al. **Sistemas Híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia**. 1. ed. Brasília: MME, 2008. Acessado em: 09 de junho de 2024.

ROSA, Rodrigo Santa. **Sistema fotovoltaico conectado à rede – socr / on-grid: O que é um sistema fotovoltaico conectado à rede**. 2017. CSR Energia Solar Ltda. Disponível em: [https://csrenergiasolar.com.br/2023/12/11/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-socr-on-grid/#:~:text=Sistema%20Fotovoltaico%20Conectado%20%C3%A0%20Rede%20\(SOCR\)%20%C3%A9%20um%20Gerador%20Fotovoltaico,ou%20simplesmente%20Sistema%20on%2DGrid](https://csrenergiasolar.com.br/2023/12/11/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-socr-on-grid/#:~:text=Sistema%20Fotovoltaico%20Conectado%20%C3%A0%20Rede%20(SOCR)%20%C3%A9%20um%20Gerador%20Fotovoltaico,ou%20simplesmente%20Sistema%20on%2DGrid). Acessado em: 09 de junho de 2024.

SOUZA, J. P. **Grid-Zero – Como funciona – suas aplicações e homologação na distribuidora de energia elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/grid-zero---como-funciona---suas-aplicacoes-e-homologacao-na-distribuidora-de-energia-eletrica>. Acessado em: 09 de junho de 2024.

VILLALVA, M. G; GAZOLI. J. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações – Sistemas Isolados e Conectados à Rede**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2012. Acessado em 09 de junho de 2024.

