



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

ARTHUR FELIPE GADELHA ALBUQUERQUE



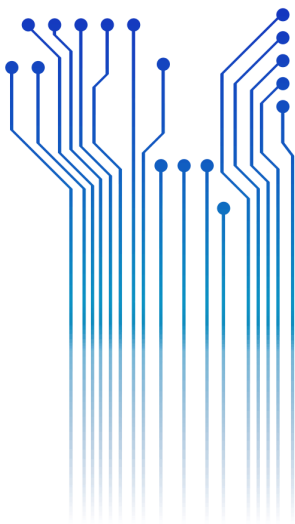
Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PROJETO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA
COMPENSAÇÃO EM SEIS IGREJAS NA GRANDE JOÃO PESSOA



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2019

ARTHUR FELIPE GADELHA ALBUQUERQUE

PROJETO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA COMPENSAÇÃO
EM SEIS IGREJAS NA GRANDE JOÃO PESSOA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia

Orientador:

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.

Campina Grande
2019

ARTHUR FELIPE GADELHA ALBUQUERQUE

PROJETO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA COMPENSAÇÃO
EM SEIS IGREJAS NA GRANDE JOÃO PESSOA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia

Aprovado em / /

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais, que me apoiaram em todos os momentos da minha caminhada, sempre dispostos e presentes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus que é o motivo e a razão de tudo, sem ele nada disso seria possível, nem nada disso teria sentido algum.

Agradeço à meus pais Vagner Farias e Fabiana Gadelha, que sempre me deram todo o amor, e sacrificaram muitas coisas para que eu conseguisse chegar onde cheguei hoje, agradeço por toda educação que me foi dada por eles, por sempre me colocarem no caminho certo, sem meus pais nada seria possível.

Agradeço aos meus familiares que me acolheram na cidade de Campina Grande, os quais cito Vera Lucia, Valeria Diniz, Vanessa Diniz, Livia Gabrielle e Ana Luiza, por sempre me apoiarem e encontrarem alguma maneira de me ajudar. Nesse momento, eu lembro com carinho de todos aqueles que torcem por mim. Muito obrigado.

Aos meus amigos e colegas de curso, em especial aos mais próximos, dos quais cito Samuel Melo, Vitor Ramos, Leonardo Magno, Ariosto Sales, Jorge Luiz, Raphael Galdino, Júlio Cesar, Matheus Braga e Thiago Henriques e os demais, no qual tive a oportunidade de conviver durante a graduação. Foram fundamentais para deixar de certa maneira a passagem pela universidade mais leve e para minha formação como engenheiro e como ser humano.

Agradeço, especialmente, ao professor Edmar Candeia por aceitar o convite de me orientar neste trabalho. E a todos os professores que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Assim como à coordenação do curso, nas pessoas de Adail Paz e Tchaikowsky Oliveira, pelo apoio. E a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desse trabalho e pela minha formação acadêmica

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo a apresentação de um projeto de um sistema de geração solar fotovoltaica instalado na Igreja Evangélica Verbo da Vida, localizada na cidade de Santa Rita, Paraíba. O projeto consiste em um sistema conectado à rede, constituído de 212 módulos fotovoltaicos de 330 Wp da marca Canadian, conectados a um inversor de 60 kW da marca SOFAR. O orçamento do projeto foi realizado na empresa ILUMISOL, estabelecida na cidade de João Pessoa - PB. Para apresentar tal projeto, inicialmente foi feita uma fundamentação teórica do tema, englobando todos os conceitos necessários para o entendimento do resto do trabalho. Em seguida, será realizado um estudo de caso do sistema proposto, incluindo um dimensionamento inicial, para que com isso, seja possível fazer as propostas de diferentes sistemas e equipamentos possíveis de utilização. E só então, será realizada uma análise de viabilidade do sistema, incluindo métodos de análise financeira, como o *payback*. Depois de realizada a análise, é possível decidir os equipamentos a serem utilizados e assim, realizar um dimensionamento de todos os equipamentos periféricos do sistema para que, finalmente, seja realizado o projeto elétrico do mesmo.

Palavras-chave: Energia Solar, Energia Fotovoltaica, Geração Distribuída, Inversor, Projeto Solar.

ABSTRACT

This work presents a project of a photovoltaic solar generation system installed in the Verbo da Vida church located in the city of Santa Rita, Paraíba. The project consists of a system connected to the electrical power, consisting of 212 330 Wp photovoltaic modules of the Canadian brand, connected to a 60 kW inverter of the SOFAR brand. The budget of the project was carried out by ILUMISOL a company located in the city of João Pessoa. In order to present such a project, it was initially made a theoretical foundation of the theme, encompassing all the concepts necessary for the understanding of the rest of the work, then a case study of the proposed system will be carried out, including an initial design, so that, it can make the proposals of different systems and possible equipment of use. After that will a feasibility analysis of the system be performed, including financial analysis methods such as payback. After the analysis, it can decide the equipment to be used and thus, carry out a sizing of all the peripheral equipment of the system so that, finally, the electrical design of the system be done.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic Energy, Distributed Generation, Inverter, Solar Project.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação de célula fotovoltaica.....	16
Figura 2 – Gráficos representando a irradiância solar ao longo do dia	18
Figura 3 – Curva de potência gerada por hora do dia em um dia de sol	19
Figura 4 - Curva de potência gerada por hora do dia em um dia nublado.....	19
Figura 5 – Comportamento V vs. I em uma associação em série de painéis.....	21
Figura 6 - Comportamento V vs. I em uma associação em paralelo de painéis.....	22
Figura 7 – Foto frontal do local de estudo.....	28
Figura 8 – Vista superior do local de estudo	29
Figura 9 – Análise do Consumo Atual Individual de Cada Unidade Consumidora.....	31
Figura 10 – <i>Datasheet</i> Risen RSM72-6-370M.....	33
Figura 11 – <i>Datasheet</i> Canadian CS6U-330P	34
Figura 12 – <i>Datasheet</i> SOFAR 60000TL.....	35
Figura 13 – <i>Datasheet</i> Fronius ECO 27.0-3-S	37
Figura 14 - Distribuição de <i>strings</i> no inversor desconsiderando proteção	47
Figura 15 – <i>Datasheet</i> cabos CONDUSPAR PROSOLAR FV	51
Figura 16 – Corte da prancha 01	53
Figura 17 – Corte na prancha 02	54
Figura 18 – Corte na prancha 03	56
Figura 19 – Corte na prancha 04	57
Figura 20 – Corte na prancha 05	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições de Teste e Operação	23
Tabela 2 - Dados de radiação anual para a localização da instalação	29
Tabela 3 – Informações a Respeito das Unidades Consumidoras	30
Tabela 4 – Detalhes do Consumo de Cada UC em kWh/mês.	31
Tabela 5 – Itens inclusos no orçamento.....	38
Tabela 6 – Análise financeira 25 anos da instalação com Canadian e Fronius.	39
Tabela 7 - Análise financeira 25 anos da instalação com Canadian e SOFAR.....	40
Tabela 8 - Análise financeira 25 anos da instalação com Risen e Fronius.....	42
Tabela 9 - Análise financeira 25 anos da instalação com Risen e SOFAR.....	43
Tabela 10 – Resumo da análise financeira para as diferentes combinações de placa/inversor.....	44
Tabela 11 – Resumo de informações do inversor e dos módulos.	46
Tabela 12 – Dimensionamento de Inversor	48
Tabela 13 – Seção mínima do condutor de proteção.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma Brasileira
RN	Resolução Normativa
PE	Condutor de Proteção
NDU	Norma de Distribuição Unificada
GD	Geração Distribuída
CC	Corrente Contínua
MPP	<i>Maximum Power Point</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
CA	Corrente Alternada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
HSP	Horas de Sol Pico
IRENA	<i>The International Renewable Energy Agency</i>
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
STC	<i>Standard Test Conditions</i>
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
UC	UNIDADE CONSUMIDORA

SUMÁRIO

1	Introdução	13
1.1	Objetivos	14
2	Energia Solar Fotovoltaica.....	15
2.1	Energia fotovoltaica vs. Energia térmica	15
2.2	Princípio de uma célula fotovoltaica.....	16
2.3	Radiação e irradiação solar	17
2.4	Curva Potência por Hora.....	18
2.5	Componentes de um Sistema Solar Fotovoltaico	20
2.5.1	Módulos fotovoltaicos.....	20
2.5.1.2	Características elétricas.....	20
2.5.1.2	Condições de teste e operação	22
2.5.2	Inversor.....	23
2.5.1.2	Características e propriedades elétricas dos inversores	24
2.5.3	Medidor bidirecional	25
2.6	Normas Regulamentadoras de Mini e Micro Geração Distribuída.....	26
2.6.1	Resoluções Normativas da Aneel.....	26
2.6.2	Critérios da concessionária de energia local	27
3	Estudo de caso	28
3.1	Local de instalação.....	28
3.2	Análise de radiação Solar no local de estudo.....	29
3.3	Unidades consumidoras existentes	30
3.4	Calculo de quantidade de placas	32
3.5	Equipamento a ser analisado.....	33
3.5.1	Módulos fotovoltaicos.....	33
3.5.2	Inversores	35
3.6	Orçamentos e estudo financeiro.....	37
3.6.1	Módulos Canadian com Inversor Fronius	38
3.6.2	Módulos Canadian com inversor SOFAR.....	40
3.6.3	Módulos Risen com inversor Fronius	41
3.6.4	Módulos Risen com inversor SOFAR.....	42
3.7	Escolha do equipamento	44
4	Projeto.....	45

4.1	Escolha de arranjo de distribuição dos módulos.....	45
4.2	Dimensionamento da proteção e dos cabos	48
4.3	Pranchas	52
4.3.1	Planta de situação	53
4.3.2	Diagrama unifilar	53
4.3.3	Diagrama multifilar	55
4.3.4	Padrão de entrada	56
4.3.5	<i>Layout</i>	57
5	Conclusão.....	59
	Referências	60
	APÊNDICE A – PRANCHAS DO PROJETO SOLAR FOTOVOLTAICO	62

1 INTRODUÇÃO

A “geração” de energia elétrica por meio do aproveitamento da energia solar vem sendo extensamente debatida nos tempos mais recentes por sua praticidade e simplicidade, a ponto de estar comercialmente disponível a qualquer pessoa comum. A “geração” solar faz parte de um grupo de tecnologias de produção de energia emergentes, dentre as quais se enquadram a energia eólica, biomassa, maremotrizes e geotérmicas. Existe uma tendência mundial para maior utilização de fontes de energia desse grupo, devido a sua característica sustentável, onde se encontram menores impactos ao meio ambiente.

O aproveitamento da energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para o futuro. A energia solar, como fonte de energia renovável, é abundante e não polui nem prejudica o ecossistema. A quantidade de energia solar que chega à Terra no período de um ano, é muito maior que o nosso consumo de energia no mesmo período de tempo, porém esse potencial ainda não é devidamente aproveitado. De acordo com um estudo publicado em 2007 pelo Conselho Mundial de Energia, em 2100, estima-se que 70% da energia consumida terá sua origem na energia solar.

De certa forma, podemos dizer que a grande maioria das outras fontes de energia estão de alguma forma ligadas a energia solar. Observando a geração hidrelétrica por exemplo, vemos que a energia solar influencia diretamente na evaporação dos rios assim como todo o ciclo hidrológico também, permitindo o represamento das águas e influenciando no seu nível. Já na energia eólica, os ventos, que são responsáveis por movimentar as turbinas, sofrem diretamente influência da conversão de energia solar em energia cinética.

Um dos grandes responsáveis pelo crescimento da energia solar fotovoltaica nos últimos anos foi a China, onde houve um gigantesco crescimento dos investimentos no setor, e em 5 anos os preços dos equipamentos teve uma queda de cerca de 80%, e ainda, de acordo com o relatório *Perspectives for the Energy Transition* da IRENA, o custo da energia solar fotovoltaica caiu 60% entre 2010 e 2016, se tornando cada vez mais competitiva no mercado, já sendo vista como forma de investimento, principalmente por pequenos empresários.

Sabendo que o crescimento da demanda de energia elétrica de um país está diretamente atrelado ao seu desenvolvimento, em países emergentes como o Brasil, o

estudo de viabilidade de implantação de novas fontes de geração se torna cada vez mais necessário.

A forma de “geração” solar mais comum e mais utilizada é a “geração” por meio do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico se comporta de uma maneira extraordinariamente útil e simples para sistemas de geração de energia. Eles reagem a luz, transformando parte dessa energia em eletricidade. Esse tipo de “geração” em vários benefícios se comparada a maioria das gerações convencionais, como por exemplo: Não existem partes móveis, portanto há menos desgaste nas peças, tem uma resposta incrivelmente rápida a entrada de energia, não produz poluição durante o processo de “geração” de energia, requer pouca manutenção se for adequadamente instalado.

1.1 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo preliminar com uma fundamentação teórica a respeito de sistemas de geração energética com uma matriz solar fotovoltaica, um estudo a respeito das normas vigentes para geração como a NDU 013 e 015, assim como a resolução normativa da ANEEL 768 e suas predecessoras, tornando os requisitos para instalação de uma microgeração ou minigeração claros, para que desse modo, o trabalho tenha um cunho prático e real. E então, com todo o embasamento teórico necessário, seguiremos para o foco do trabalho que é o estudo de caso com uma análise financeira de diversas opções de possíveis sistemas objetivando suprir a necessidade energética do caso de estudo proposto. Tendo decidido o melhor sistema e melhor opção de equipamentos a serem utilizados, será realizado o projeto elétrico da instalação de uma usina de microgeração com todos os pré-requisitos exigidos pela concessionária de energia local.

2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Em um sistema fotovoltaico, tem-se painéis que são do tipo módulo fotovoltaico que é constituído a partir de células de silício, células essas que são responsáveis por realizar a conversão de energia solar em energia elétrica. Para o funcionamento do sistema *on-grid* (conectado a rede), se faz necessário o uso de um inversor *grid-tie*, que por sua vez, é conectado ao quadro geral de distribuição, e em seguida ao medidor de energia bidirecional, que fica responsável por registrar o excedente de energia produzida.

Durante o dia, os sistemas solares fotovoltaicos captam a luz do Sol, produzindo energia. Quanto maior a quantidade de luz, maior a produção de energia, por isso, ao meio dia normalmente vai acontecer o pico da geração diária. A razão para esse fenômeno, é que as células fotovoltaicas que compõem os módulos, são dependentes da entrada de luz solar para gerar energia, como será abordado adiante.

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA VS. ENERGIA TÉRMICA

Contrapondo a energia solar fotovoltaica, temos a energia solar térmica, que nada mais é que uma forma alternativa de gerar energia dependendo do Sol. A energia solar térmica é caracterizada pelo uso do sol para aquecer um fluido. Os painéis solares utilizados são do tipo coletor solar térmico, que tem a função de captar energia térmica da radiação solar e transferi-la para dutos onde circulam fluidos. Por ter dutos cheios de fluidos dentro das placas, torna o sistema muito mais pesado, necessitando de uma maior estrutura física para apoio. Os dutos com fluidos aquecidos em seguida seguirão seu caminho para um tanque térmico, conhecido como boiler, onde é armazenado todo o fluido, mantendo sua temperatura, até o momento de sua utilização. A energia solar térmica pode ser aplicada no aquecimento de água para banho, aquecimento de ambientes, ou até para processos industriais onde um fluido aquecido é necessário. É um uso extremamente eficiente da energia solar, onde até 80% dos gastos energéticos relativos a aquecimento de fluidos pode ser reduzido.

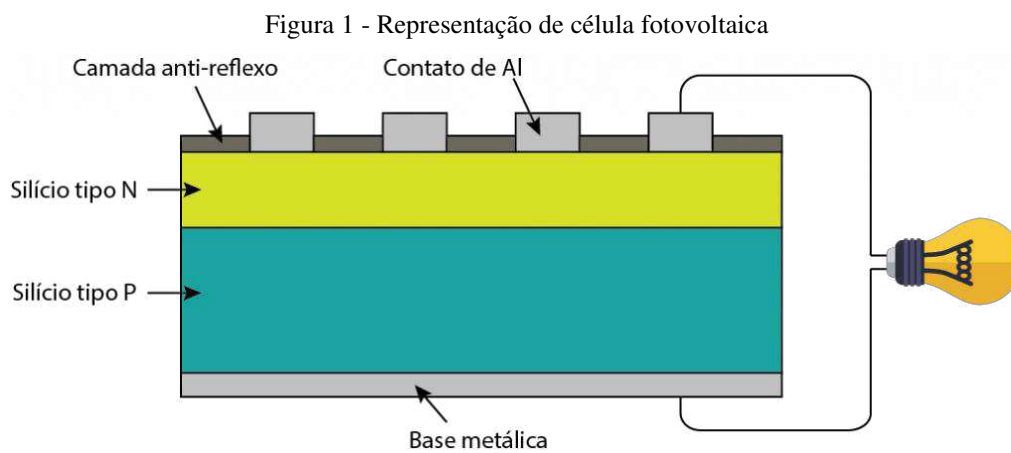
É possível evidenciar a diferença entre os dois tipos de energia pelo próprio nome, enquanto a térmica é voltada para gerar alguma espécie de aquecimento, a fotovoltaica

tem como objetivo a “geração” de energia elétrica. Ambas são excelentes formas de “geração” de energia, cada uma no que se dispõe a fazer. Nesse trabalho, o foco é estudar a energia solar fotovoltaica, e fazer uso da mesma em um projeto com compensação de energia.

2.2 PRINCÍPIO DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA

As células fotovoltaicas são os dispositivos responsáveis pela conversão de energia solar em energia elétrica propriamente dita. Módulos fotovoltaicos, ou painéis solares, são conjuntos de células fotovoltaicas encapsuladas.

Existem diversos tipos de células fotovoltaicas, que utilizam diferentes materiais e tecnologias, mas o tipo mais comumente usados pelos fabricantes, é a célula de silício cristalizado. As células funcionam por meio da absorção de fótons, que são os elementos de energia presentes na luz solar. Os fótons absorvidos excitam elétrons, que fluem através das células, “gerando” energia elétrica.



Fonte: SHAREENERGY.

Cada célula fotovoltaica é composta de duas bandas de um material semicondutor, que normalmente é o silício. Esse silício vai passar pelo processo de dopagem, que é uma adição de impurezas em um material semicondutor, visando mudar suas características elétricas. Esse processo vai culminar dando uma polaridade diferente para cada fatia do material. A parte superior da célula, será dopada com fósforo, o que adiciona elétrons extras no semicondutor, transformando-a em uma carga negativa do tipo N. Já a parte inferior da célula é dopada com boro, o que resulta em menos elétrons, dando uma

característica positiva ao material, que é chamada de carga tipo P. Essa diferença de polaridade das camadas da célula, é responsável pela criação de um campo elétrico na junção das camadas do silício. Na Figura 1 pode se observar uma ilustração do modelo de uma célula fotovoltaica contendo os itens citados anteriormente.

2.3 RADIAÇÃO E IRRADIAÇÃO SOLAR

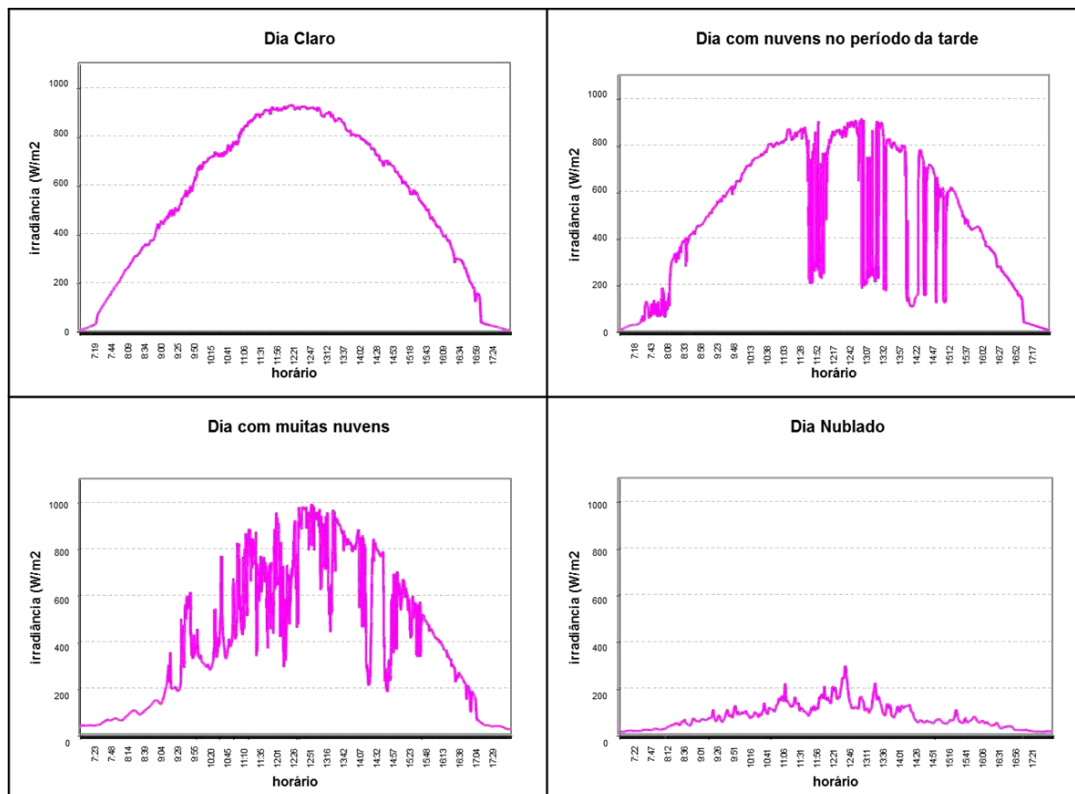
O Sol fornece energia na forma de radiação, que é uma das bases da vida na Terra. Devido à grande distância entre o Sol e a Terra, apenas uma pequena parte da radiação solar emitida chega à superfície terrestre. Essa parte corresponde a aproximadamente a 1×10^{18} kWh/ano, que é milhares de vezes a demanda total de energia no nosso planeta. Assim, teríamos que usar apenas uma pequena parte dessa energia para satisfazer a demanda energética total da humanidade.

Sabendo isso, pode se definir os conceitos de radiação e irradiação solar. A irradiação solar é a intensidade da luz do sol medida em kW ou W por metro quadrado (kW/m^2 ou W/m^2), e como a potência é um valor instantâneo, a irradiação, será o valor da intensidade da luz do Sol em um determinado momento. A radiação, nada mais é do que a quantidade de energia solar que incide em uma superfície durante um certo período de tempo e é medido em kWh ou Wh por metro quadrado (kWh/m^2 ou Wh/m^2), também pode ser definida como a irradiação solar ao longo de um determinado tempo.

Em média, o pico de irradiação solar durante o dia, é de 1000W/m^2 , ou 1kW/m^2 . Com esse conceito, podemos dizer que o horário de sol a pico, ou horário de sol pleno, seria a quantidade equivalente de tempo, em que a irradiação é em média 1kW/m^2 . Se dissermos que uma determinada região tem radiação média anual de 5 horas de sol a pico por dia, não significa que o Sol brilhe somente por esse tempo durante o dia, mas significa que se o montante de radiação solar ao longo de um ano, levando em considerações todas as possíveis variações, for dividido pelo número de dias em um ano, teremos esse valor equivalente.

Na Figura 2 pode se observar gráficos representando a irradiância solar em W/m^2 , ao longo do dia, em dias claros, com nuvens no período da tarde, com muitas nuvens e dias nublados. Mais à frente quando serão estudados gráficos de geração de sistemas fotovoltaicos, poderemos observar que os gráficos apresentarão formas semelhantes, mostrando a influência direta da irradiância na geração de energia.

Figura 2 – Gráficos representando a irradiância solar ao longo do dia



Fonte: SolarBrasil

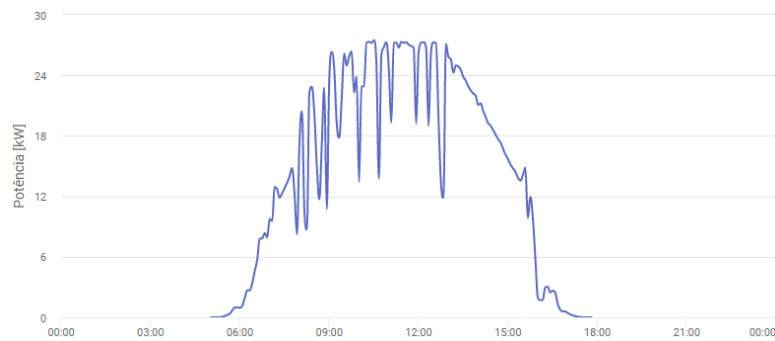
Visando viabilizar os projetos de geração solar fotovoltaica, se fazem necessários, estudos a respeito da irradiação solar na superfície terrestre. Estudos esses, que tem base nas medições de radiação realizadas por satélites meteorológicos, juntamente com cálculos matemáticos e a medição da radiação no solo. No Brasil, temos dois principais estudos de referência sobre o assunto, o “Atlas Solarimétrico do Brasil” – produzido pelo CRESESB, e o “Atlas Brasileiro de Energia Solar” – produzido pela Universidade Federal de Santa Catarina em conjunto/para com o Projeto SWERA. O mais usado para projetos de geração fotovoltaica é o Atlas Brasileiro de Energia Solar, que apresenta os resultados em kW/m^2 e é chamado de horas de sol pico (HSP), ou horas de sol pleno.

2.4 CURVA POTÊNCIA POR HORA

A seguir, podemos observar imagens das curvas de geração de um sistema fotovoltaico de 100 placas de 330 W, com um inversor da Fronius de 27 kW. Na Figura 3 temos a geração do sistema em um dia ensolarado, vemos que a curva se aproxima do ideal, e apenas em alguns momentos onde nuvens passam por cima das placas, podemos

observar quedas nos valores de potência. Devido ao *overload* de placas, podemos observar nos momentos de pico máximo da geração temos um corte na potência gerada, pois o inversor só gera até 27 kW, mesmo assim o *overload* ainda vale a pena pois o valor de energia desperdiçado nos picos é compensado pela energia gerada nos períodos fora de pico.

Figura 3 – Curva de potência gerada por hora do dia em um dia de sol



Fonte: SolarWeb da Fronius

Já na Figura 4 podemos observar a curva de geração do mesmo sistema em um dia nublado. Apenas olhando a curva, podemos dizer que foi um dia nublado, pois existem muitas quedas nos valores de potência gerada em diversos momentos do dia.

Figura 4 - Curva de potência gerada por hora do dia em um dia nublado



Fonte: SolarWeb da Fronius

Pode-se observar que os gráficos de geração de energia são semelhantes aos gráficos de irradiação, presentes na Figura 2. Com isso podemos comprovar a importância do estudo da irradiação do local onde será feita a instalação, e ainda, comprovar o fator de que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico é diretamente proporcional a irradiação que incide sobre o mesmo.

2.5 COMPONENTES DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

2.5.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Um painel solar, também conhecido como módulo fotovoltaico, é formado por um conjunto de células fotovoltaicas. Uma célula fotovoltaica de silício cristalizado, tem uma tensão de aproximadamente 0,46 a 0,56 volts, e uma corrente de aproximadamente 30mA/cm², já as células comerciais produzem em torno de 1 A até 7A. Devido à baixa potência das células elétricas, para um módulo, temos um conjunto de células, normalmente ligadas em série, onde os contatos frontais de cada célula são soldados aos contatos posteriores da célula seguinte, de modo que o polo negativo de uma célula, seja ligada no polo positivo da célula seguinte. Para construir um modulo de 12 V, serão necessárias cerca de 30 células fotovoltaicas.

Para proteger as células de qualquer esforço mecânico, fazer o isolamento elétrico e ainda proteger as células contra agentes atmosféricos, as células são embebidas num material transparente e maleável. Para estabilizar a estrutura, normalmente o material de encapsulamento é aplicado a um substrato O material usado normalmente é o vidro temperado, mas podem ser usados outros materiais, como por exemplo plástico acrílico. É importante que a cobertura da parte onde a luz irá entrar, seja feita com um material que permita a maior incidência de luz solar possível nas células fotovoltaicas. Com esse objetivo, normalmente se usa vidro com baixo teor de ferro, pois permite uma penetração de 91% da luz.

Existem ainda, algumas distinções de módulos, como por exemplos os módulos standard ou convencionais, que são fabricados visando produzir a maior quantidade de energia por metro quadrado, com o menor custo associado. Um módulo típico, é composto por aproximadamente 36 ou até 72 células fotovoltaicas e oferece uma potência nominal típica de 50Wp até 140Wp.

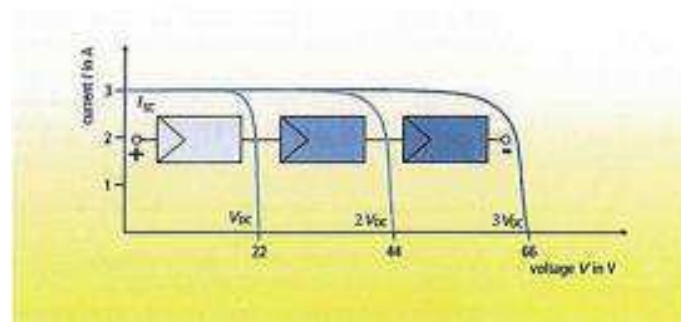
2.5.1.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Os parâmetros elétricos que os fabricantes dos módulos fotovoltaicos normalmente fornecem, costumam levar em consideração a condição padrão de teste definida pela norma IEC 61215, que estabelece o valor de radiação de 1000 W/m² a temperatura das células de 25°C. Os principais parâmetros são:

- Tensão em circuito aberto (V_{oc}): é a máxima tensão que se pode medir entre os terminais de um módulo fotovoltaico. Se mede com o módulo operando em vazio, ou seja, sem nenhuma carga é normalmente utilizada para se definir condições para as proteções do sistema.
- Tensão de máxima potência (V_{mpp}): é a tensão no módulo, quando está trabalhando no ponto de máxima potência.
- Corrente de curto circuito (I_{sc}): é a corrente máxima que um módulo fotovoltaico pode fornecer. É medida com os terminais do módulo em curto circuito. A corrente de curto circuito normalmente é cerca de 5% superior a corrente máxima.
- Corrente de máxima potência (I_{mp}): é a corrente máximo que o módulo pode oferecer a uma carga, sob condições padrão de teste.
- Potência máxima ($P_{máx}$): valor máximo de potência, dado em Watts, que o módulo pode atingir.
- Eficiência do módulo: é o quociente entre a potência gerada e a irradiância incidente sobre o módulo.

Normalmente, usar um único painel solar não é suficiente para suprir as instalações elétricas, por isso, normalmente se trabalha com associações de placas fotovoltaicas. Na Figura 5 podemos observar a associação de placas em série, onde se soma as tensões das placas, mantendo a corrente constante.

Figura 5 – Comportamento V vs. I em uma associação em série de painéis.



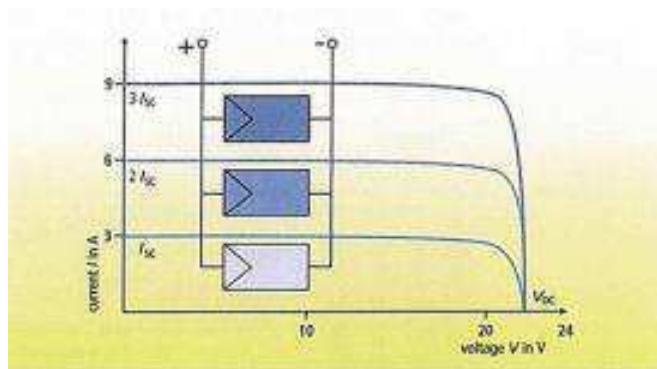
Fonte: OS SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A associação em série é a mais comumente utilizada, pois, no mercado, temos inversores com tensões mínimas de operação que devem ser atingidas para o seu

funcionamento, e essas tensões serão atingidas somente ao se somar as tensões de várias placas.

Na Figura 6 podemos observar como se comportam a corrente e a tensão do sistema em uma associação de módulos em paralelo. Pode-se observar que independente de quantos módulos forem conectados, a tensão do sistema continua a mesma, porém a corrente será a soma das correntes dos painéis. Ao usar esse tipo de associação, os módulos devem ter a mesma tensão. Para isso acontecer, devem ser usados módulos do mesmo modelo, na mesma inclinação e sem nenhum sombreamento apenas em alguns dos módulos.

Figura 6 - Comportamento V vs. I em uma associação em paralelo de painéis.



Fonte: OS SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.5.1.2 CONDIÇÕES DE TESTE E OPERAÇÃO

Para realizar os testes de performance e funcionamento dos módulos solares, podem ser definidas várias condições de operação, variando os parâmetros para simular situações reais do dia a dia. A condição principal é chamada de Condições Padrão de Teste (*STC – Standart Test Conditions*). A condição de Células Sobre Temperatura Nominal (*NOCT – Nominal Operating Cell Temperature*) também é bastante utilizada pelos fabricantes, e normalmente também é disponibilizada no *datasheet* dos módulos fotovoltaicos, pois se aproxima bastante as condições reais de funcionamento das placas. Na Tabela 1 podemos observar o comparativo para as 2 condições mais utilizadas atualmente, que são normalmente utilizadas em placas solares da Risen e da Canadian, que serão os modelos a serem estudados no presente trabalho. Contando com essas diferentes condições de teste e operação conseguimos ter uma ideia de como funcionarão os módulos no dia a dia.

Tabela 1 – Condições de Teste e Operação

	STC	NOCT
Irradiância (G)	1.000 W/m ²	800 W/m ²
Massa de Ar (AM)	1,5	1,5
Velocidade do Vento	1 m/s	1 m/s
Temperatura da célula	25°C	20°C

Fonte: Criado a partir de *datasheets* de placas solares Risen e Canadian.

É recomendado aos fabricantes que sejam acrescentadas informações dos testes em condições normais de operação, inclusive de baixas irradiâncias. O grande motivo pra isso, é que a potência de operação do módulo é diferente da nominal, quando a placa recebe uma irradiância abaixo de 1000 W/m², ou quando a temperatura que a célula está submetida, é diferente de 25°C.

2.5.2 INVERSOR

Como já visto, os módulos fotovoltaicos geram uma corrente continua na sua saída. Porém, como já é conhecido, a rede, assim como os equipamentos domésticos em sua maioria, funciona com corrente alternada. Por isso precisamos de um equipamento para fazer essa transformação, esse equipamento é conhecido como inversor. Os inversores mais usados hoje, são os inversores *grid-tie* ou *on-grid*. São utilizados para fazer a conexão da energia solar gerada com a rede de energia, e para isso precisam de um sofisticado controle sobre a tensão e frequência de saída. Normalmente, para sistemas de até 5kWp, os inversores utilizados são monofásicos, e acima dessa potência, trifásicos.

A energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, vai depender de diversos fatores, como já discutido anteriormente, o que ocorre, é que muitas vezes, essa corrente e tensão produzida pelos módulos, não são a melhor opção para o funcionamento do inversor. Para corrigir essa corrente e tensão de entrada do inversor, temos um dispositivo chamado de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), cuja função nada mais é do que transformar esses parâmetros de entrada, para um valor onde a eficiência de conversão do inversor seja maior, desperdiçando a mínima potência possível.

Caso o local onde as placas venham a ser instaladas não possibilite a instalação de todas as placas na mesma orientação, devemos evitar conectar módulos com orientações diferentes em um mesmo MPPT, pois isso vai ocasionar em um rastreamento falho do

ponto de máxima potência. Visando contornar essa situação, a maioria dos inversores, principalmente os que possuem uma potência mais elevada, tem mais que uma entrada de MPPT, possibilitando que seja feita a ligação de placas com diferentes orientações em diferentes MPPT's.

Como os inversores ficam permanentemente ligados à rede, eles devem fornecer corrente alternada da maneira mais perfeita possível. E também devem ter proteções para em caso de qualquer anomalia, evitar possíveis problemas. Uma das proteções mais importantes para um inversor *grid-tie* é o anti-ilhamento. Essa proteção funciona em caso de desligamento da rede elétrica (apagões), nesse caso, a função de anti-ilhamento faz com que o inversor se desconecte da rede, para evitar que a rede receba sua corrente elétrica, prevenindo acidentes, evitando que o inversor seja danificado por sobrecarga e ainda, garantindo a segurança de pessoas, como os técnicos de manutenção.

As concessionárias de energia exigem que o inversor para ser utilizado e conectado à rede, deve possuir uma certificação de qualidade, sem essa certificação, não a qualquer possibilidade de conexão do inversor. Para Energisa, concessionaria local, inversores de até 10kW só serão aceitos se forem certificados pelo INMETRO, com seu devido registro ativo de concessão nesse órgão. Já para inversores com potência maior que 10kW, não é feita a certificação pelo INMETRO ainda no Brasil, portanto, devem ser apresentados certificados de conformidade com as normas nacionais, ABNT NBR 16149, ABNT 16150 e ABNT IEC 62116 ou as normas europeias IEC 61727:2004-12, IEC 62116:2014 ou a norma americana IEEE 1547. E ainda não são aceitos inversores cujo os certificados de testes forem de laboratórios não acreditados pelo INMETRO.

2.5.1.2 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS INVERSORES

Assim como nos módulos fotovoltaicos, para os inversores, também temos as características elétricas mais importantes que normalmente são disponibilizadas pelos fabricantes nos *datasheets* de seus produtos. Podemos observar que as principais características que devemos analisar são:

- Potência Nominal DC (P_{nDC}): potência para qual o inversor foi dimensionado para trabalhar no lado CC.
- Potência Nominal AC (P_{nAC}): potência de saída que o inversor pode fornecer em modo contínuo.

- Potência Máxima DC por MPPT ($P_{m\acute{a}xMPPT}$): máxima potência que o inversor pode receber de painéis fotovoltaicos por cada MPPT.
- Tensão máxima de entrada ($V_{DCm\acute{a}x}$): máxima tensão DC que o inversor suporta vindo dos módulos fotovoltaicos.
- Tensão de circuito aberto (V_{OC}): tensão no inversor no ensaio de circuito aberto.
- Tensão mínima para funcionamento (V_{DCmin}): tensão mínima para que o inversor continue operando, qualquer valor de tensão abaixo da V_{DCmin} ocasiona no desligamento do inversor.
- Tensão de partida (V_S): Tensão mínima necessária para o inversor começar a operar, normalmente é um pouco maior que a tensão mínima para funcionamento.
- Tensão de saída (V_{AC}): Possíveis valores de tensão que o inversor pode disponibilizar em sua saída.
- Corrente máxima de entrada ($I_{DCm\acute{a}x}$): corrente máxima que o inversor deve trabalhar em sua entrada em condições normais de funcionamento.
- Corrente máxima de entrada de curto circuito ($I_{DCshort}$): corrente máxima que o inversor deve trabalhar em sua entrada.
- Corrente máxima de saída ($I_{ACm\acute{a}x}$): corrente máxima que o inversor vai utilizar em sua saída, usada principalmente para dimensionar os disjuntores de proteção.

2.5.3 MEDIDOR BIDIRECIONAL

Depois da aprovação do projeto, deve ocorrer a execução. Em seguida, a vistoria da energisa que é a concessionaria local. A vistoria sendo aprovada, a concessionária faz a troca do medidor convencional para um medidor bidirecional. Esse medidor tem como função fazer o registro tanto da energia consumida pela instalação, como da energia gerada. Caso o sistema de geração comece a funcionar sem a troca do medidor, é provável que a fatura de energia do próximo mês cobre um valor bem mais alto que o convencional, pois o medidor registrara a energia gerada como energia consumida.

O medidor bidirecional normalmente faz o registro separadamente da energia injetada e da energia consumida. O que causa confusão em muitos consumidores, é o fato

de que a energia injetada registrada no medidor é menor que a energia gerada no inversor. Mas esse fenômeno se deve ao fato de que uma boa parte da energia gerada é consumida na instalação, e assim, não chega a ser registrada pelo medidor. Em outras palavras, o medidor registra unicamente o excedente de energia da geração.

2.6 NORMAS REGULAMENTADORAS DE MINI E MICRO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

2.6.1 RESOLUÇÕES NORMATIVAS DA ANEEL

A Resolução 482 da ANEEL foi lançada no dia 17 de abril de 2012 e ela estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica. A RN foi um marco na geração fotovoltaica no Brasil, pois possibilitou e viabilizou a implantação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica no Brasil. Em 24 de novembro de 2015 a RN 428 sofreu uma revisão e a ANEEL publicou uma nova Resolução Normativa 687, visando substituir e atualizar a RN 428.

Seguindo as novas regras da RN 687, que começou a valer no dia 1 de março de 2016, se caracteriza como microgeração distribuída uma central geradora com potência instalada de até 75kW. E minigeração distribuída fica caracterizada como uma central geradora com potência instalada acima de 75kW e até 5MW (sendo 3MW para geração hídrica).

A Resolução Normativa também estabeleceu que quando a geração em determinado mês exceder a energia consumida no mesmo período de tempo, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para abater as faturas dos meses seguintes, ou também podem ser utilizados para abater em uma outra fatura de energia, de uma diferente unidade consumidora, contanto que pertença a mesma distribuidora, e tenham o mesmo titular, esse tipo de utilização de créditos foi denominada de autoconsumo remoto. O prazo de validade dos créditos passou de 36 meses para 60 meses com a RN 687. E ainda, dia 25 de outubro de 2017, passou a valer a RN N° 786 com algumas alterações, estando vigente até hoje.

A ANEEL ainda disponibiliza os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), que é dividido em 11 módulos, cada um abordando um tema relacionado as atividades técnicas que dizem respeito ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

É importante ressaltar que mesmo se o montante de energia gerada superar o montante de energia consumida, ainda se deve pagar um valor referente a iluminação pública e ao custo de disponibilidade da rede. Para consumidores de baixa tensão (Grupo B) o valor pago de custo de disponibilidade é o valor em reais equivalente a 30kWh para sistemas monofásicos e 100kWh para sistemas trifásicos. Já para consumidores de alta tensão (Grupo A), a parcela de energia pode ser zerada, porem a parcela da fatura referente a demanda contratada será faturada normalmente.

2.6.2 CRITÉRIOS DA CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA LOCAL

A concessionária de energia local da região de estudo, Energisa Paraíba, seguindo as resoluções normativas da ANEEL já citadas, criou duas normas para regulamentar a instalação de geração distribuída. A NDU (Norma de Distribuição Unificada) 013, que trata os critérios para conexão de acessantes de geração distribuída ao sistema de distribuição para conexão em baixa tensão. E a NDU 015, que trata os critérios para conexão de acessantes de centrais geradoras e geração distribuída ao sistema de distribuição para conexão em média tensão. Seguindo as normas, encontramos os requisitos fundamentais para instalação e projeto de sistemas de geração distribuída.

De acordo com a Energisa o procedimento para instalação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica começa com a elaboração do projeto. O projeto elaborado pelo engenheiro deve conter: Planta de localização, diagrama unifilar, diagrama trifilar, padrão de entrada e uma planta baixa ou layout. E ainda, deve ser elaborado um memorial descritivo, no modelo em Excel disponibilizado pela própria energisa. Deve ser preenchida também a solicitação de acesso, no modelo também disponibilizado na NDU 013. Deve-se também anexar a anotação de responsabilidade técnica (ART) emitida pelo engenheiro responsável pela obra, assim como os *datasheets* e certificados de conformidade do inversor e dos módulos fotovoltaicos.

O projeto deve ser enviado pelo AWGPE, que é o sistema de gestão de projetos elétricos da Energisa. Depois de enviado, com 15 dias a Energisa deve emitir a aprovação do projeto, assim deve ocorrer a execução do mesmo. Sendo feita a execução, pode ser

solicitada a vistoria na Energisa, e com a aprovação da vistoria, a Energisa pode trocar o medidor da instalação para um medidor bidirecional, e com isso, o sistema já pode começar a operar normalmente.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 LOCAL DE INSTALAÇÃO

Na Figura 7 tem-se a foto frontal do local onde a instalação será feita. O galpão da igreja conta com uma área construída, de aproximadamente 45 metros por 100 metros, totalizando uma área de 4500 m².

Figura 7 – Foto frontal do local de estudo



Fonte: Google Maps

Considerando que os módulos fotovoltaicos em estudo têm em média 2 m², essa área seria suficiente para instalação de 2250 painéis solares. Na Figura 8 pode se observar a vista superior do local, onde é possível notar circulado em amarelo, o tamanho real do galpão. A rua do galpão fica as margens da BR-230, portanto, seu endereço no cadastro da concessionária é na BR 230, no projeto que será apresentado será utilizado o mesmo endereço para manter a coerência junto a Energisa.

Figura 8 – Vista superior do local de estudo



Fonte: Google Maps

3.2 ANÁLISE DE RADIAÇÃO SOLAR NO LOCAL DE ESTUDO

Tabela 2 - Dados de radiação anual para a localização da instalação

MÊS REFERÊNCIA	RADIAÇÃO DIRETA kWh/m ² /dia	RADIAÇÃO GLOBAL kWh/m ² /dia	RADIAÇÃO INCLINADA kWh/m ² /dia
Janeiro	4,6	5,688	5,482
Fevereiro	4,304	5,774	5,72
Março	4,456	5,698	5,743
Abril	4,253	5,279	5,462
Mai	4,056	4,76	5,029
Junho	3,121	3,748	3,997
Julho	4,261	4,261	4,575
Agosto	4,243	5,02	5,243
Setembro	4,265	5,431	5,525
Outubro	4,32	5,588	5,547
Novembro	4,484	5,593	5,547
Dezembro	4,545	5,521	5,3
Média Anual	4,203	5,172	5,23

Fonte: SWERA.

De acordo com a plataforma online do SWERA, com as coordenadas do local de estudo, que podem ser obtidas por meio do Google Maps, podemos encontrar as informações de radiação solar a respeito do local de instalação, essas informações foram

dispostas na Tabela 2 para melhor entendimento. Essas informações serão cruciais para determinar a quantidade de placas necessária para a instalação, e também refletirão diretamente na quantidade de energia gerada pelos painéis.

3.3 UNIDADES CONSUMIDORAS EXISTENTES

Para nosso caso de estudo, temos 6 igrejas, separadas por bairros da grande João Pessoa, sendo elas: Santa Rita, Intermares, José Américo, Mangabeira, Jaguaribe e Bessa. Cada igreja dessas tem seus dados de consumo listados na Tabela 3, para encontrar o valor médio da fatura, foi considerada a tarifa de R\$ 0,82961 por kW, que é o valor cobrado atualmente. E ainda, não foram consideradas as taxas como, contribuição de iluminação pública ou eventuais multas que possam ser pagas.

Tabela 3 – Informações a Respeito das Unidades Consumidoras

Unidade Consumidora	Consumo Médio Mensal	Valor Médio de Consumo na Fatura de Energia
Santa Rita	808 kWh	R\$ 669,94
Intermares	1471 kWh	R\$ 1.220,23
José Américo	619 kWh	R\$ 513,78
Mangabeira	1132 kWh	R\$ 938,93
Jaguaribe	2162 kWh	R\$ 1.793,81
Bessa	2038 kWh	R\$ 1.691,00
Total	8230 kWh	R\$ 6.827,69

Fonte: Autoria Própria.

Então se pode observar que o valor gasto com a soma de todas as faturas de energia das igrejas, por mês é de R\$ 6.827,69 em média. O que é um valor muito alto, que pode ser usado para pagar um financiamento da usina fotovoltaica, enquanto a usina abate o valor do consumo nas contas.

Pode se observar na Tabela 4 uma visão individual mensal do consumo de energia elétrica nas igrejas entre abril de 2018 e abril de 2019. Analisando a tabela, pode-se observar o valor do consumo de energia em kWh somando todas as 6 unidades consumidoras em cada mês nos últimos 13 meses, que como vimos, está em torno de

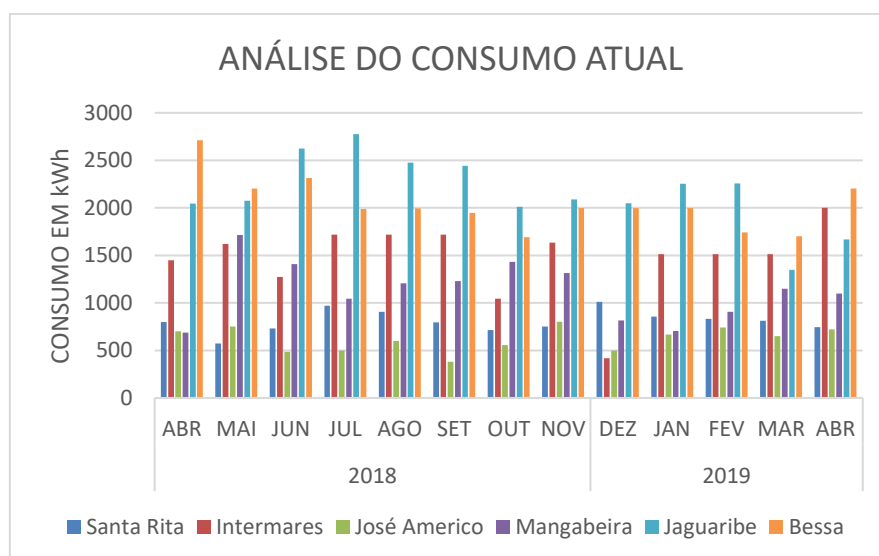
8230 kWh. Se pode observar também o total de energia consumida ao longo dos últimos 13 meses por UC, assim como o consumo total de energia da soma de todas unidades, que é de 106.990 kWh. E se multiplicarmos esse valor por 0,82961, que é a tarifa atual, temos um total de R\$ 88.759,97 gastos ao longo de 13 meses, o que torna o investimento em energia solar bastante atrativo, tendo em vista que o valor do investimento deve ser menor do que três vezes esse valor.

Tabela 4 – Detalhes do Consumo de Cada UC em kWh/mês.

		Santa Rita	Intermares	José Am.	Mangab.	Jaguaribe	Bessa	SOMA
2018	ABR	799	1450	700	688	2045	2712	8394
	MAI	573	1619	750	1716	2074	2204	8936
	JUN	732	1275	485	1409	2624	2314	8839
	JUL	969	1717	500	1045	2774	1989	8994
	AGO	908	1717	600	1205	2477	1994	8901
	SET	795	1717	381	1229	2442	1948	8512
	OUT	715	1043	557	1432	2012	1691	7450
	NOV	751	1633	802	1314	2088	1999	8587
2019	DEZ	1011	417	499	814	2047	1999	6787
	JAN	856	1511	667	705	2254	1999	7992
	FEV	832	1511	740	906	2256	1742	7987
	MAR	811	1511	650	1150	1349	1702	7173
	ABR	746	2000	720	1100	1667	2204	8437
MÉDIA		808	1471	619	1132	2162	2038	8230
SOMA TOTAL		10498	19121	8051	14713	28109	26497	106989

Fonte: Aatoria Própria.

Figura 9 – Análise do Consumo Atual Individual de Cada Unidade Consumidora.



Fonte: Fonte: Aatoria Própria.

Por meio da da Tabela 4 e do uso do Excel, foi gerado o gráfico da Figura 9, que traz uma melhor visão do consumo de cada UC e permite uma melhor comparação entre as mesmas. Com base nesses dados já se pode fazer uma análise preliminar do sistema a ser utilizado, e sua quantidade de placas.

3.4 CALCULO DE QUANTIDADE DE PLACAS

Como visto, temos uma média de 8230 kWh sendo consumidos por mês, se somadas todas a unidas consumidores do sistema. Então, podemos com isso, encontrar a energia que deve ser “gerada” por dia da seguinte maneira:

$$\frac{8230 \text{ kWh mês}}{30 \text{ dias}} = 274,33 \text{ kWh dia}$$

Sabemos da energia que deve ser gerada por dia, agora vamos calcular a energia gerada por módulo fotovoltaico. As placas cotadas para o projeto são de 370W e 330W, será feita uma análise preliminar para as duas placas, para então, decidir a melhor opção. A média da radiação inclinada para o local, de acordo com a base de dados do SWERA é de 5,23 kWh/m²/dia, como visto na Tabela 2. Portanto, temos:

$$330 \times 5,23 \times 0,75 = 1,294 \text{ kWh dia (Para placas de 330W)}$$

$$370 \times 5,23 \times 0,75 = 1,451 \text{ kWh dia (Para placas de 370W)}$$

Considerando as perdas de 25% no módulo, que é um valor provavelmente acima da realidade, temos que cada placa de 330W vai gerar 1,294 kWh por dia, e cada placa de 370W vai gerar 1,451 kWh por dia. Portanto, para saber o número de módulos fotovoltaicos, basta fazer a divisão dos valores encontrados, assim temos:

$$\text{N}^\circ \text{ de Placas}_{330\text{W}} = \frac{274,33}{1,294} = 212 \text{ placas}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de Placas}_{370\text{W}} = \frac{274,33}{1,451} = 189 \text{ placas}$$

Para os módulos fotovoltaicos, foram feitos orçamentos com as marcas Risen e Canadian, já para os inversores, os orçamentos serão realizados com as marcas Fronius e SOFAR.

3.5 EQUIPAMENTO A SER ANALISADO

3.5.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para esse projeto, foram analisadas duas marcas de módulos fotovoltaicos diferentes, Canadian e Risen. Visando escolher o melhor custo benefício serão dispostas as características elétricas de cada módulo.

- RISEN RSM72-6-370M

Na Figura 10 temos o *datasheet* do módulo fotovoltaico da Risen de 370W escolhido. Podemos observar que são dispostas as características elétricas em duas condições de operação, STC e NOCT, como já foi previamente discutido na seção 2.5.1.2, são duas condições diferentes de operação, seguindo as características indicadas na parte inferior da imagem.

Figura 10 – *Datasheet* Risen RSM72-6-370M

ELECTRICAL DATA (STC)		ELECTRICAL DATA (NOCT)	
Model Number	RSM72-6-370M	Model Number	RSM72-6-370M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	370	Maximum Power-Pmax (Wp)	276.8
Open Circuit Voltage-Voc(V)	48.15	Open Circuit Voltage-Voc (V)	44.30
Short Circuit Current-Isc(A)	9.90	Short Circuit Current-Isc (A)	8.12
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	39.60	Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	36.30
Maximum Power Current-Impp(A)	9.35	Maximum Power Current-Impp (A)	7.63
Module Efficiency (%)	19.1		

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

Fonte: Risen Energy

Cada placa RSM72-6-370M pesa cerca de 22kg de acordo com o fabricante, então o conjunto de 189 placas pesa 4158 kg ou 4,158 toneladas, que é um valor bem alto, mas não o suficiente para causar problemas ao telhado da instalação.

O módulo é devidamente certificado pelo INMETRO, com o número de registro: 002533/2017. Portanto, está apto para o uso no Brasil.

Os módulos da Risen, quando comparado aos módulos da Canadian de mesma potência, normalmente tem um valor mais em conta. Porém, esse módulo fotovoltaico em estudo, tem a potência de 370W, 40W acima da opção da Canadian, o que torna esse produto bem mais caro, pois placas de potência mais elevada contam com a vantagem que para instalações onde o telhado não é muito espaçoso, se consegue produzir mais energia com menos espaço. Portanto, o preço não cresce proporcional a potência, cresce bem mais que isso. Então, a grande vantagem dos módulos de potência mais elevada, que é produzir mais energia em um menor espaço físico, já não é tanta vantagem pois o espaço físico disponível no nosso caso de estudo é de 4500 m² de telhado, e o módulo fotovoltaico tem aproximadamente 2 m² de área, ou seja, seria possível instalar cerca de 2250 módulos fotovoltaicos no telhado do local.

- CANADIAN CS6U-330P

Na Figura 11 podemos observar o *datasheet* do módulo escolhido da Canadian de 330W. Vemos que ele apresenta basicamente as mesmas características do *datasheet* da Risen, com diferenças apenas nos valores. O módulo é devidamente registrado pelo INMETRO, com o registro de número: 003154/2017, portanto, é um módulo apto para uso em sistemas *grid-tie* no Brasil.

Figura 11 – *Datasheet* Canadian CS6U-330P

ELECTRICAL DATA STC*		ELECTRICAL DATA NOCT*	
CS6U	330P	CS6U	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	330 W	Nominal Max. Power (Pmax)	239 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.2 V	Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.88 A	Opt. Operating Current (Imp)	7.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.6 V	Open Circuit Voltage (Voc)	41.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.45 A	Short Circuit Current (Isc)	7.66 A
Module Efficiency	16.97%		
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1500 V (IEC) or 1500 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

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

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Fonte: Canadian Solar

De acordo com o fabricante, o módulo pesa 22,4 kg, 3,6 kg mais leve que as placas da Risen, o conjunto de 212 placas, tem o peso de 4748,8 kg ou 4,749 toneladas, que é 763,2 kg mais leve que o conjunto de placas da Risen. O que pode tornar a marca mais atrativa para sistemas com o telhado com baixa resistência, que não é o nosso caso.

Os módulos da Canadian se tornam mais atrativos financeiramente pois possuem uma potência menor que os módulos da Risen, mas possuem a mesma área de 2 m². O que poderia ser um problema em telhados pequenos, o que não é o caso, já que as 212 placas ocupariam cerca de 424 m², o que é menos de 10% do total do telhado.

3.5.2 INVERSORES

- SOFAR 60000TL

Figura 12 – Datasheet SOFAR 60000TL

Technical Data		SOFAR 60000TL
Input(DC)		
Max.Input power		66000W
Max DC power for single MPPT		22000W(530V-800V)
Number of independent MPPT		3
Number of DC inputs		4/4/4
Max. input voltage		1000V
Start-up input voltage		350V
Rated input voltage		600V
MPPT voltage range		250V-960V
Full load DC voltage range		530V-800V
Max. input MPPT current		40A/40A/40A
Max. input current per string		12A
Output(AC)		
Rated power(@230V,50Hz)		60000W
Max. AC power		60000VA
Max. output current		90A
Nominal Grid Voltage		3/N/PE,3/PE,230/400Vac
Grid Voltage Range		180Vac-270Vac
Nominal Frequency		50/60Hz
Grid frequency range		7~63Hz (According to local)
Active power adjustable range		0~100%
THDi		<3%
Power factor		1(Adjustable +/-0.8)

Fonte: SOFAR Solar

Na Figura 12 temos o *datasheet* do inversor SOFAR 60000TL. O inversor conta com uma potência de 60kW, enquanto as 212 placas fotovoltaicas de 330 W tem uma potência de 69,96kW, o que configura um *overload* de 116,6% no inversor, e de acordo com o fabricante, levando em consideração que as placas só produziram 330 W em

condições de laboratório, e a capacidade do inversor, é um *overload* aceitável para o inversor em estudo.

Podemos citar algumas vantagens e desvantagens do inversor SOFAR frente ao Fronius. Primeiramente, o fato de que a SOFAR fabrica o inversor de 60 kW, que proporciona o uso de somente 1 inversor pra instalação, o que barateia os custos e diminui a complexidade da instalação. E ainda, os inversores da marca SOFAR, se comparado aos inversores da Fronius de potência semelhante, normalmente tem um preço reduzido. Outra vantagem do inversor em estudo, é que ele possui 3 MPPT, o que permite 3 orientações de placas diferentes, já que não se pode ligar placas com orientações diferentes no mesmo MPPT. Como desvantagem podemos citar o fato que SOFAR é uma marca chinesa, com menos renome no Brasil se comparada com a Fronius.

E ainda, de acordo com a NDU 013, os inversores acima de 10 kW para funcionar no sistema *grid-tie*, devem possuir uma certificação internacional de acordo com as normas da Energisa. O inversor em estudo, possui as certificações IEC 61727:2004 e IEC 62116:2014, sendo que qualquer uma dessas certificações individualmente já habilita o inversor a ser instalado no Brasil.

- FRONIUS ECO 27.0-3-S

Na Figura 13 podemos ver o *datasheet* do inversor Fronius ECO 27.0-3-S, que possui uma potência nominal de 27 kW, portanto, para nosso sistema de 212 placas, seriam necessários 2 inversores de 27 kW, totalizando 54 kW, e como já calculado, as 212 placas de 330 W equivalem a 69,96kW, o que por sua vez equivale a um *overload* de 129.6% no inversor, o que é completamente aceitável, já que a Fronius permite em seus inversores um *overload* de até 135% para instalações voltadas para leste/oeste, e 130% em instalações voltadas para o norte.

Uma das grandes desvantagens do inversor da Fronius frente ao SOFAR é que ele só possui um único MPPT por inversor, o que só permite que as placas de cada inversor sejam instaladas em uma única orientação, e como para esse projeto seriam necessários 2 inversores, o que é outra desvantagem, poderíamos usar 2 orientações diferentes de telhados, que é uma a menos que o inversor SOFAR. Ainda como desvantagens temos o fato que o projeto ficaria mais caro com o inversor da Fronius pois além de ser uma marca mais reconhecida nacionalmente o que consequentemente aumenta seu valor de mercado, também tem o fato que seriam usados 2 inversores, o que deixaria o projeto mais caro.

Assim como o inversor da SOFAR, para a conexão do inversor da Fronius à rede, também se faz necessária a apresentação do certificado internacional de acordo com a NDU 013. O inversor conta com a certificação do laboratório TÜVRheinland e foi testado de acordo com a norma IEC 62116:2014, que é uma das normas internacionais aceitas pela energisa para validação e conexão do inversor na modalidade *gride-tie*.

Figura 13 – Datasheet Fronius ECO 27.0-3-S

DADOS TÉCNICOS FRONIUS ECO	
DADOS DE ENTRADA	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Max. corrente de entrada ($I_{dc\ max}$)	47.7 A
Max. conjunto corrente curto-circuito	71.6 A
Min. tensão de entrada ($U_{dc\ min}$)	580 V
Feed-in tensão de entrada ($U_{dc\ start}$)	650 V
Tensão nominal de entrada ($U_{dc,r}$)	580 V
Max. tensão de entrada ($U_{dc\ max}$)	1,000 V
Faixa de tensão MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	580 - 850 V
Numero de rastreadores MPP	1
Numero de conexões CC	6
DADOS DE SAÍDA	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Tensão nominal de saída ($P_{ac,r}$)	27,000 W
Max. potência de saída	27,000 VA
Max. corrente de saída ($I_{ac\ nom}$)	39.0 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	3-NPE 380 V / 220 V or 3-NPE 400 V / 230 V (+20 % / - 30 %)
Frequencia	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Distorção harmônica total	< 2.0 %
Fator de potência ($\cos \varphi_{ac,r}$)	0 - 1 ind. / cap.

Fonte: Fronius

3.6 ORÇAMENTOS E ESTUDO FINANCEIRO

Com os dados que já desenvolvemos, e sabendo as marcas e modelos de produtos que desejamos trabalhar, já é possível desenvolver um orçamento inicial do sistema. Os orçamentos foram feitos na franquia de João Pessoa da empresa ILUMISOL ENERGIA SOLAR, cujo a sede se encontra em Cascavel-PR. Foram realizados 4 orçamentos no total, um para cada combinação possível de placas e inversores, sendo elas: módulos Canadian 330W com inversor SOFAR 60000TL, módulos Risen 370W com inversor SOFAR 60000TL, módulos Canadian 330W com 2 inversores Fronius ECO 27.0-3-S e por fim, módulos Risen 370W com 2 inversores Fronius ECO 27.0-3-S.

Na Tabela 5 temos os itens que de acordo com a empresa responsável pelos orçamentos, estão inclusos. A *string box* é a caixa onde são instalados os equipamentos

de proteção do sistema solar fotovoltaico, como disjuntores, chaves seccionadoras e DPS. O cabo solar CC utilizado é da marca Condu spar, e possui uma isolação de 1,8kV entre condutores para corrente continua. O conector MC4 é o conector necessário para fazer a ligação entre as placas fotovoltaicas. Estão inclusos também todos os itens necessários para o suporte mecânico das placas no telhado.

Tabela 5 – Itens inclusos no orçamento

ITENS INCLUSOS
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS RISEN/CANADIAN
INVERSOR SOFAR/FRONIUS
STRING BOX
CABO SOLAR 6MM < PRETO
CABO SOLAR 6MM < VERMELHO
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO
JUNÇÃO PARA PERFIL DE ALUMÍNIO
ESTRUTURA DE ALUMÍNIO ADEQUADO AO TELHADO
MATERIAL ELÉTRICO
SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA
PROJETO SOLAR FOTOVOLTAICO
ART DE PROJETO E EXECUÇÃO
ACOMPANHAMENTO JUNTO À DISTRIBUIDORA
MONITORAMENTO DO SISTEMA VIA WEB

Fonte: ILUMISOL ENERGIA SOLAR

3.6.1 MÓDULOS CANADIAN COM INVERSOR FRONIUS

Na Tabela 6 podemos observar a análise financeira de 25 anos da instalação com módulos da Canadian de 330W e o inversor da Fronius já discutido. Na tabela é considerada a degradação do rendimento dos painéis solares ao longo dos anos, como é disposto na segunda coluna, que inicialmente não causaria efeitos muito visíveis, mas como se pode observar, ao longo de 25 anos os painéis operam com 83,89% da sua capacidade nominal.

Podemos observar na tabela que ao longo dos 25 anos tivemos uma economia acumulada de R\$ 7.982.628,95 quando se leva em conta a fatura atual de energia onde a tarifa atual é R\$ 0,85 e considerando um reajuste de 10% nessa tarifa por ano. Temos também um *payback* em 2 anos e 7 meses, contando com uma garantia de 7 anos para os inversores, e 25 anos de geração com 83% da capacidade para os painéis e 10 anos contra defeito de fabricação. O valor do investimento é de R\$ 244.236,09, valor esse que via SANTANDER / BV FINANCEIRA podem ser financiados em 36x de R\$ 7.981,57, tornando assim, a parcela paga do financiamento aproximadamente o mesmo valor que é pago nas faturas de energia das igrejas somadas.

Tabela 6 – Análise financeira 25 anos da instalação com Canadian e Fronius.

Ano	Rendimento dos painéis	Geração anual de Energia (kWh/ano)	Economia Gerada/ano - R\$ - (BxE)	Retorno do Investimento (R\$)	Economia acumulada (R\$)
1º	99.30 %	97.410	91.078,65	-153.157,44	91.078,65
2º	98.60 %	96.728	99.485,21	-53.672,23	190.563,86
3º	97.91 %	96.051	108.667,69	54.995,46	299.231,55
4º	97.23 %	95.379	118.697,72	173.693,19	417.929,28
5º	96.55 %	94.711	129.653,52	303.346,71	547.582,80
6º	95.87 %	94.048	141.620,54	444.967,25	689.203,34
7º	95.20 %	93.390	154.692,12	599.659,37	843.895,46
8º	94.54 %	92.736	168.970,20	768.629,57	1.012.865,66
9º	93.87 %	92.087	184.566,15	953.195,72	1.197.431,81
10º	93.22 %	91.443	201.601,61	1.154.797,33	1.399.033,42
11º	92.56 %	90.802	220.209,43	1.375.006,76	1.619.242,85
12º	91.92 %	90.167	240.534,77	1.615.541,53	1.859.777,62
13º	91.27 %	89.536	262.736,12	1.878.277,65	2.122.513,74
14º	90.63 %	88.909	286.986,67	2.165.264,32	2.409.500,41
15º	90.00 %	88.287	313.475,54	2.478.739,86	2.722.975,95
16º	89.37 %	87.669	342.409,33	2.821.149,19	3.065.385,28
17º	88.74 %	87.055	374.013,71	3.195.162,90	3.439.398,99
18º	88.12 %	86.445	408.535,18	3.603.698,08	3.847.934,17
19º	87.51 %	85.840	446.242,97	4.049.941,05	4.294.177,14
20º	86.89 %	85.239	487.431,20	4.537.372,25	4.781.608,34
21º	86.28 %	84.643	532.421,10	5.069.793,35	5.314.029,44
22º	85.68 %	84.050	581.563,57	5.651.356,92	5.895.593,01
23º	85.08 %	83.462	635.241,88	6.286.598,80	6.530.834,89
24º	84.49 %	82.878	693.874,71	6.980.473,52	7.224.709,61
25º	83.89 %	82.298	757.919,35	7.738.392,86	7.982.628,95

Fonte: Adaptado dos dados fornecidos pela ILUMISOL.

3.6.2 MÓDULOS CANADIAN COM INVERSOR SOFAR

Na Tabela 7 podemos observar a análise financeira de 25 anos da instalação com módulos da Canadian de 330W e o inversor da SOFAR já discutido. Na tabela é considerada a degradação do rendimento dos painéis solares ao longo dos anos, como é disposto na segunda coluna, que inicialmente não causaria efeitos muito visíveis, mas como se pode observar, ao longo de 25 anos os painéis operam com 83,89% da sua capacidade nominal.

Tabela 7 - Análise financeira 25 anos da instalação com Canadian e SOFAR

Ano	Rendimento dos painéis	Geração anual de Energia (kWh/ano)	Economia Gerada/ano-R\$ - (BxE)	Retorno do Investimento (R\$)	Economia acumulada (R\$)
1º	99.30 %	97,41	91.078,65	-139.499,88	91.078,65
2º	98.60 %	96,728	99.485,21	-40.014,67	190.563,86
3º	97.91 %	96,051	108.667,69	68.653,02	299.231,55
4º	97.23 %	95,379	118.697,72	187.350,75	417.929,28
5º	96.55 %	94,711	129.653,52	317.004,27	547.582,80
6º	95.87 %	94,048	141.620,54	458.624,81	689.203,34
7º	95.20 %	93,39	154.692,12	613.316,93	843.895,46
8º	94.54 %	92,736	168.970,20	782.287,13	1.012.865,66
9º	93.87 %	92,087	184.566,15	966.853,28	1.197.431,81
10º	93.22 %	91,443	201.601,61	1.168.454,89	1.399.033,42
11º	92.56 %	90,802	220.209,43	1.388.664,32	1.619.242,85
12º	91.92 %	90,167	240.534,77	1.629.199,09	1.859.777,62
13º	91.27 %	89,536	262.736,12	1.891.935,21	2.122.513,74
14º	90.63 %	88,909	286.986,67	2.178.921,88	2.409.500,41
15º	90.00 %	88,287	313.475,54	2.492.397,42	2.722.975,95
16º	89.37 %	87,669	342.409,33	2.834.806,75	3.065.385,28
17º	88.74 %	87,055	374.013,71	3.208.820,46	3.439.398,99
18º	88.12 %	86,445	408.535,18	3.617.355,64	3.847.934,17
19º	87.51 %	85,84	446.242,97	4.063.598,61	4.294.177,14
20º	86.89 %	85,239	487.431,20	4.551.029,81	4.781.608,34
21º	86.28 %	84,643	532.421,10	5.083.450,91	5.314.029,44
22º	85.68 %	84,05	581.563,57	5.665.014,48	5.895.593,01
23º	85.08 %	83,462	635.241,88	6.300.256,36	6.530.834,89
24º	84.49 %	82,878	693.874,71	6.994.131,08	7.224.709,61
25º	83.89 %	82,298	757.919,35	7.752.050,42	7.982.628,95

Fonte: Adaptado dos dados fornecidos pela ILUMISOL.

Podemos observar na Tabela 7 que ao longo dos 25 anos tivemos uma economia acumulada de R\$ 7.982.628,95 quando se leva em conta a fatura atual de energia onde a tarifa atual é R\$ 0,85 e considerando um reajuste de 10% nessa tarifa por ano. Temos também um *payback* em 2 anos e 5 meses, contando com uma garantia de 7 anos para os inversores, e 25 anos de geração com 83% da capacidade para os painéis e 10 anos contra defeito de fabricação. O valor do investimento é de R\$ 230.578,53, que é o menor valor de investimento entre as 4 opções, e esse valor via SANTANDER / BV FINANCEIRA pode ser financiado em 36x de R\$ 7.535,25, tornando assim, a parcela paga do financiamento aproximadamente o mesmo valor, até mesmo um valor mais baixo em alguns meses, do que é pago nas faturas de energia das igrejas somadas, e essa parcela ainda pode se tornar mais baixa dependendo de onde for realizado o financiamento.

3.6.3 MÓDULOS RISEN COM INVERSOR FRONIUS

Na Tabela 8 podemos observar a análise financeira de 25 anos da instalação com módulos da Risen de 370W e o inversor da Fronius já discutido anteriormente. Na tabela é considerada a degradação do rendimento dos painéis solares ao longo dos anos, como é disposto na segunda coluna, que inicialmente não causaria efeitos muito visíveis, mas como se pode observar, ao longo de 25 anos os painéis operam com 83,89% da sua capacidade nominal.

Podemos observar na tabela que ao longo dos 25 anos tivemos uma economia acumulada de R\$ 7.980.269,08 quando se leva em conta a fatura atual de energia onde a tarifa atual é R\$ 0,85 e considerando um reajuste de 10% nessa tarifa por ano. Temos também um *payback* em aproximadamente 2 anos e 10 meses, contando com uma garantia de 7 anos para os inversores, e 25 anos de geração com 83% da capacidade para os painéis e 10 anos contra defeito de fabricação. O valor do investimento é de R\$ 267.716,58, e esse valor via SANTANDER / BV FINANCEIRA pode ser financiado em 36x de R\$ 8.748,91, tornando assim, a parcela paga do financiamento apenas um pouco mais cara, do que é pago nas faturas de energia das igrejas somadas. Ainda sendo possível fazer esse financiamento por fora, em linhas de créditos que são disponibilizadas pelos bancos especialmente para investimento desse tipo, podendo se atingir uma redução no valor dos juros, conseqüentemente, uma redução no valor das parcelas, tornando a instalação do sistema de geração ainda mais vantajosa.

Tabela 8 - Análise financeira 25 anos da instalação com Risen e Fronius

Ano	Rendimento dos painéis	Geração anual de Energia (kWh/ano)	Economia Gerada/ano - R\$ - (BxE)	Retorno do Investimento (R\$)	Economia acumulada (R\$)
1º	99.30 %	97,382	91.051,72	-176.664,86	91.051,72
2º	98.60 %	96,7	99.455,80	-77.209,06	190.507,52
3º	97.91 %	96,023	108.635,57	31.426,51	299.143,09
4º	97.23 %	95,351	118.662,63	150.089,15	417.805,73
5º	96.55 %	94,683	129.615,19	279.704,34	547.420,92
6º	95.87 %	94,021	141.578,68	421.283,02	688.999,60
7º	95.20 %	93,362	154.646,39	575.929,40	843.645,98
8º	94.54 %	92,709	168.920,25	744.849,65	1.012.566,23
9º	93.87 %	92,06	184.511,59	929.361,24	1.197.077,82
10º	93.22 %	91,415	201.542,01	1.130.903,25	1.398.619,83
11º	92.56 %	90,776	220.144,34	1.351.047,58	1.618.764,16
12º	91.92 %	90,14	240.463,66	1.591.511,24	1.859.227,82
13º	91.27 %	89,509	262.658,45	1.854.169,69	2.121.886,27
14º	90.63 %	88,883	286.901,83	2.141.071,52	2.408.788,10
15º	90.00 %	88,26	313.382,87	2.454.454,39	2.722.170,97
16º	89.37 %	87,643	342.308,11	2.796.762,49	3.064.479,07
17º	88.74 %	87,029	373.903,14	3.170.665,64	3.438.382,22
18º	88.12 %	86,42	408.414,40	3.579.080,04	3.846.796,62
19º	87.51 %	85,815	446.111,05	4.025.191,09	4.292.907,67
20º	86.89 %	85,214	487.287,10	4.512.478,20	4.780.194,78
21º	86.28 %	84,618	532.263,70	5.044.741,90	5.312.458,48
22º	85.68 %	84,025	581.391,64	5.626.133,54	5.893.850,12
23º	85.08 %	83,437	635.054,09	6.261.187,63	6.528.904,21
24º	84.49 %	82,853	693.669,58	6.954.857,22	7.222.573,80
25º	83.89 %	82,273	757.695,29	7.712.552,50	7.980.269,08

Fonte: Adaptado dos dados fornecidos pela ILUMISOL.

3.6.4 MÓDULOS RISEN COM INVERSOR SOFAR

Na Tabela 9 podemos observar a análise financeira de 25 anos da instalação com módulos da Risen de 370W e o inversor da SOFAR já discutido. Na tabela é considerada a degradação do rendimento dos painéis solares ao longo dos anos, como é disposto na segunda coluna, que inicialmente não causaria efeitos muito visíveis, mas como se pode observar, ao longo de 25 anos os painéis operam com 83,89% da sua capacidade nominal.

Podemos observar na tabela que ao longo dos 25 anos tivemos uma economia acumulada de R\$ 7.980.269,08 quando se leva em conta a fatura atual de energia onde a tarifa atual é R\$ 0,85 e considerando um reajuste de 10% nessa tarifa por ano. Temos

também um *payback* em 2 anos e 8 meses, contando com uma garantia de 7 anos para os inversores, e 25 anos de geração com 83% da capacidade para os painéis e 10 anos contra defeito de fabricação. O valor do investimento é de R\$ 254.059,02, e esse valor via SANTANDER / BV FINANCEIRA pode ser financiado em 36x de R\$ 8.302,58, tornando assim, a parcela paga do financiamento apenas um pouco mais cara, do que é pago nas faturas de energia das igrejas somadas.

Tabela 9 - Análise financeira 25 anos da instalação com Risen e SOFAR

Ano	Rendimento dos painéis	Geração anual de pppp-Energia (kWh/ano)	Economia Gerada/ano - R\$ - (BxE)	Retorno do Investimento (R\$)	Economia acumulada (R\$)
1º	99.30 %	97,382	91.051,72	-163.007,30	91.051,72
2º	98.60 %	96,7	99.455,80	-63.551,50	190.507,52
3º	97.91 %	96,023	108.635,57	45.084,07	299.143,09
4º	97.23 %	95,351	118.662,63	163.746,71	417.805,73
5º	96.55 %	94,683	129.615,19	293.361,90	547.420,92
6º	95.87 %	94,021	141.578,68	434.940,58	688.999,60
7º	95.20 %	93,362	154.646,39	589.586,96	843.645,98
8º	94.54 %	92,709	168.920,25	758.507,21	1.012.566,23
9º	93.87 %	92,06	184.511,59	943.018,80	1.197.077,82
10º	93.22 %	91,415	201.542,01	1.144.560,81	1.398.619,83
11º	92.56 %	90,776	220.144,34	1.364.705,14	1.618.764,16
12º	91.92 %	90,14	240.463,66	1.605.168,80	1.859.227,82
13º	91.27 %	89,509	262.658,45	1.867.827,25	2.121.886,27
14º	90.63 %	88,883	286.901,83	2.154.729,08	2.408.788,10
15º	90.00 %	88,26	313.382,87	2.468.111,95	2.722.170,97
16º	89.37 %	87,643	342.308,11	2.810.420,05	3.064.479,07
17º	88.74 %	87,029	373.903,14	3.184.323,20	3.438.382,22
18º	88.12 %	86,42	408.414,40	3.592.737,60	3.846.796,62
19º	87.51 %	85,815	446.111,05	4.038.848,65	4.292.907,67
20º	86.89 %	85,214	487.287,10	4.526.135,76	4.780.194,78
21º	86.28 %	84,618	532.263,70	5.058.399,46	5.312.458,48
22º	85.68 %	84,025	581.391,64	5.639.791,10	5.893.850,12
23º	85.08 %	83,437	635.054,09	6.274.845,19	6.528.904,21
24º	84.49 %	82,853	693.669,58	6.968.514,78	7.222.573,80
25º	83.89 %	82,273	757.695,29	7.726.210,06	7.980.269,08

Fonte: Adaptado dos dados fornecidos pela ILUMISOL.

3.7 ESCOLHA DO EQUIPAMENTO

Tendo em vista todos os pontos já discutidos na análise dos equipamentos, juntamente com a análise financeira, foi desenvolvida a Tabela 10, como uma forma de resumo dos dados analisados até o momento.

Tabela 10 – Resumo da análise financeira para as diferentes combinações de placa/inversor

Marca de Placas/Inversor	Payback	Investimento	Parcela do financiamento (36x)
Canadian e Fronius	2 anos e 7 meses	R\$ 244.236,09	R\$ 7.981,57
Canadian e SOFAR	2 anos e 5 meses	R\$ 230.578,53	R\$ 7.535,25
Risen e Fronius	2 anos e 10 meses	R\$ 267.716,58	R\$ 8.748,91
Risen e SOFAR	2 anos e 8 meses	R\$ 254.059,02	R\$ 8.302,58

Fonte: Autoria Própria

Podemos observar que a combinação com *payback* mais rápido e investimento mais em conta é o de módulos Canadian com inversor SOFAR. A grande vantagem das propostas com as placas da Risen, é que como a placa tem uma potência mais elevada e uma área igual a área das placas da Canadian, o índice de potência gerada por área é bem maior, o que é bem útil em casos onde temos espaço limitado. Porém tendo em vista que o espaço da instalação é bem maior que o espaço necessário para instalação das placas, então essa vantagem se torna irrelevante, sendo assim, tendo em vista também que as propostas com módulos fotovoltaicos da Risen são as mais caras, podemos eliminá-las já que não apresentam uma vantagem concreta.

Então ficamos com as propostas com os painéis fotovoltaicos da Canadian. Para decidir o melhor inversor para nossa instalação, devemos levar em conta alguns pontos principais. Primeiramente, o inversor de maior potência da Fronius é o inversor em estudo, cuja potência é de 27 kW, sendo assim, se faz necessário que utilizemos dois inversores para suprir a demanda, o que torna a instalação mais cara, como podemos ver na Tabela 10, o que já torna o sistema com inversor SOFAR mais atrativo. Além disso, como observado anteriormente, cada inversor da Fronius tem apenas 1 MPPT, o que leva

ao fato que os módulos instalados em cada inversor tem que ser todos na mesma orientação, e como usaríamos 2 inversores, podemos usar apenas 2 orientações de telhado, já o inversor SOFAR possui 3 MPPT, o que já possibilita a ligação em 3 orientações de telhado, o que se torna mais uma vantagem do inversor SOFAR. Então, tendo em vista também que a garantia para as duas marcas é a mesma, e o preço com inversor da SOFAR é aproximadamente 14 mil reais mais barato, vamos optar no projeto pela utilização do inversor SOFAR. Sendo assim, temos a escolha da combinação de módulos fotovoltaicos da Canadian com inversor da SOFAR.

4 PROJETO

O projeto realizado é composto de 5 pranchas, sendo elas, a planta de localização, também conhecida como planta de situação, onde é exigida pela energisa a apresentação das coordenadas em UTM, e a identificação da localização da unidade consumidora, incluindo ruas adjacentes e delimitações. A segunda prancha é o diagrama unifilar da instalação, sendo composto pelo sistema de geração, carga, proteção e medição da instalação. A terceira prancha é o diagrama multifilar, ou trifilar da instalação, sendo composto dos mesmos itens do diagrama unifilar, porém, contemplando da planta geradora ao ponto de entrega, mostrando as ligações de cada condutor individualmente, e a conexão dos elementos de proteção da geração, assim como os mais diversos equipamentos. A quarta prancha é a representação completa do padrão de entrada, com identificação do medidor, ramal de entrada e sistema de aterramento. Incluindo também a placa de advertência com as devidas dimensões e escrito “CUIDADO - RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA” conforme solicitado pela energisa. A quinta e última prancha é composta pela planta baixa ou *layout*, contemplando a localização do padrão de entrada e o arranjo físico do sistema de geração, incluindo, localização física dos equipamentos elétricos relacionados a geração e proteção da mesma na unidade consumidora, planta geradora, inversor, quadro de distribuição, *string box* e o ponto de medição.

4.1 ESCOLHA DE ARRANJO DE DISTRIBUIÇÃO DOS MÓDULOS

Para o projeto, onde teremos 212 módulos fotovoltaicos Canadian de 330W e um inversor SOFAR de 60000TL, a primeira coisa a se decidir será a distribuição das *strings*. Observando o *datasheet* do inversor na Figura 12 e a Tabela 11, podemos observar que ele possui 3 MPPT, e cada um desses possui 4 entradas DC, ou seja, cada MPPT tem entrada para 4 *strings*, sendo assim, temos o total de 12 *strings* para trabalhar.

Tabela 11 – Resumo de informações do inversor e dos módulos.

INFORMAÇÕES DO INVERSOR			INFORMAÇÕES DOS MÓDULOS		
Modelo	SOFAR 60000TL		Quantidade de placas	pç	212,00
Potência	kWp	60,00	Nominal Max. Power (Pmax)	Wp	330,00
MPPT	Unit	3,00	Pot. Total de Placas	kWp	69,96
Entrada/String	Unit	4,00	Tensão de Operação (Vmp)	V	37,20
Tensão de Partida	V	350,00	Tensão de Circuito Aberto (Voc)	V	45,60
Faixa Operação Mín.	V	250,00	Corrente de Operação (Imp)	A	8,88
Faixa Operação Máx.	V	960,00	Corrente de Curto Circuito (Isc)	A	9,45
Máx Tensão Entrada	V	1000,00			
Corrente máx CC	A	40,00			
Corrente máx por string	A	12			

Fonte: Adaptado de dados disponibilizados pelos fabricantes.

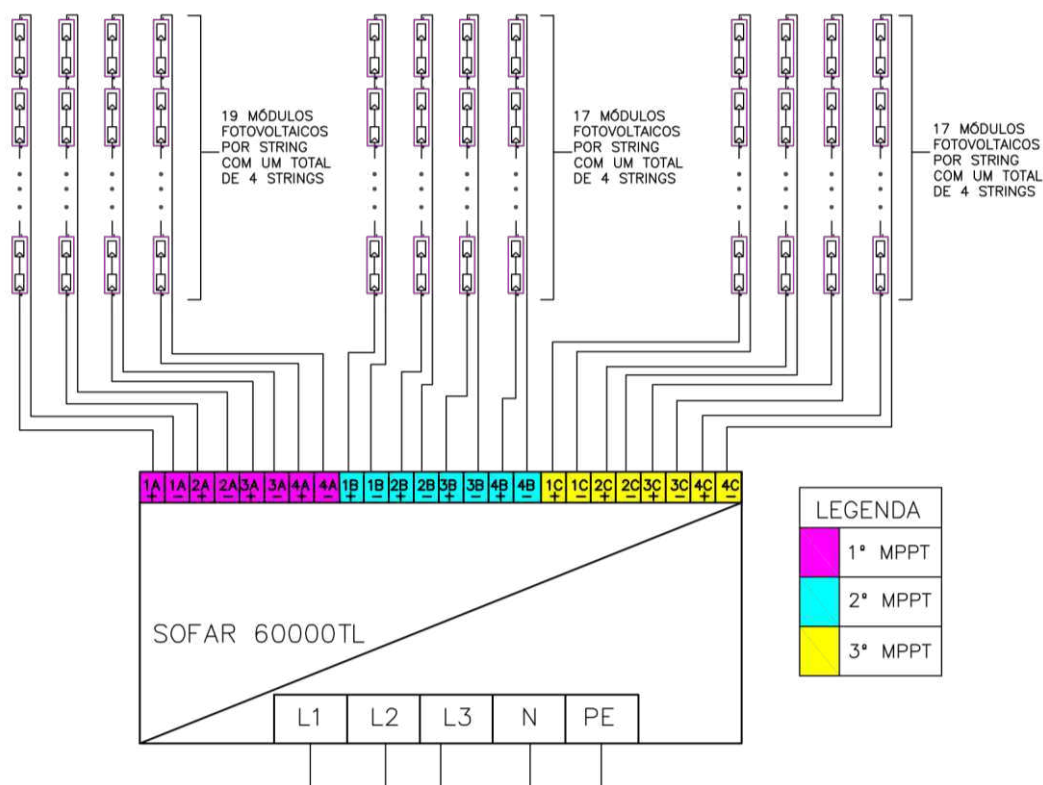
Então, temos que a tensão de circuito aberto dos módulos é de 45,60V. como cada *string*, ou cada entrada DC, é composta por uma certa quantidade de módulos ligados em série, temos que a tensão individual dos módulos se somam, sendo assim, sabendo que a máxima tensão de entrada do inversor é de 1000V, temos que o número máximo de placas por *string*, observando apenas a tensão de entrada, é de 21 placas. Então, visando uma melhor distribuição das placas fotovoltaicas em cada MPPT, foi feito o diagrama da Figura 14, desconsiderando os equipamentos de proteção que estarão presentes nas pranchas dos diagramas unifilar e multifilar.

Na Figura 14 podemos ver o arranjo que foi escolhido, sendo 19 módulos fotovoltaicos por *string* nas 4 strings do primeiro MPPT, e 17 módulos por *string* nas 4 strings do segundo e terceiro MPPT, totalizando os 212 painéis fotovoltaicos necessários para instalação.

A seguir, deve se observar se as tensões e correntes dos módulos se encontram dentro dos limites aceitos pelo inversor. Primeiro podemos calcular a tensão de operação presente em cada MPPT. Para isso, sabendo que a tensão de operação dos módulos fotovoltaicos individualmente é de 37,20 V de acordo com a Tabela 11, e que os módulos são ligados em série em cada *string*, e ainda, sabendo que a tensão de elementos ligados em série é somada, temos que a tensão de operação (V_{mp}) será de 706,8 V no MPPT com

strings de 19 placas, e 632,4 V nos MPPT com *strings* de 17 placas. Como a faixa de operação máxima de tensão do inversor é de 960 V, então está dentro dos limites do inversor, correspondendo a 73,63% da tensão máxima de operação.

Figura 14 - Distribuição de *strings* no inversor desconsiderando proteção



Fonte: Autoria Própria

O próximo item analisado será a tensão de circuito aberto. Para isso, sabendo que a tensão de circuito aberto dos módulos fotovoltaicos individualmente é de 45,60 V de acordo com a Tabela 11, e que os módulos são ligados em série em cada *string*, e ainda, sabendo que a tensão de elementos ligados em série é somada, temos que a tensão de circuito aberto (V_{oc}) será de 866,40 V no MPPT com *strings* de 19 placas, e 775,20 V nos MPPT com *strings* de 17 placas. Como a tensão máxima suportada pelo inversor é de 1000 V, então está dentro dos limites aceitos, sendo que maior tensão correspondendo a 86,64% da tensão máxima do inversor.

As correntes CC também devem ser analisadas. Como a ligação dos módulos nas *strings* é feita em série, sabemos que corrente que passa por cada painel solar individualmente, será a mesma corrente presente na string, pois para ligação em série a tensão é somada, porem a corrente permanece constante. Portanto, para cada módulo fotovoltaico, temos uma corrente de operação é de 8,88 A de acordo com a Tabela 11,

como temos conjuntos de 4 strings em cada MPPT, teremos uma corrente de operação de 35,52 A em cada MPPT. Já a corrente de curto circuito é de 9,45 A por painel de acordo com a Tabela 11, para 4 *strings* temos a corrente de 37,80 A em cada MPPT. De acordo com o *datasheet* do inversor na Figura 12, ele suporta uma corrente de entrada de até 40 A por MPPT e 12 A por *string*, sendo assim, as correntes de operação e de curto circuito por MPPT encontradas, se encontram dentro dos limites suportados pelo inversor, e ainda, as correntes por *string* tanto de curto circuito como de operação, também se encontram dentro dos limites de 12 A suportados pelo inversor.

A Tabela 12 foi confeccionada, para mostrar o dimensionamento do inversor, com as características elétricas de cada MPPT. Como já discutido, todas as correntes e tensões do sistema estarão dentro dos limites suportados pelo inversor, sendo assim o sistema dimensionado pode ser instalado sem nenhum problema ou receio, mesmo com o *overload* proposto, vemos que os limites do inversor são sempre respeitados pelo sistema.

Tabela 12 – Dimensionamento de Inversor

DIMENSIONAMENTO INVERSOR				
	UNID.	MPPT		
		1	2	3
Entrada/String	Unid.	4,00	4,00	4,00
Placas	pç	19,00	17,00	17,00
Vmp Máx	V	706,80	632,40	632,40
Voc Máx	V	866,40	775,20	775,20
Imp Máx	A	35,52	35,52	35,52
Isc Máx	A	37,80	37,80	37,80
I Entrada/String	A	8,88	8,88	8,88

Fonte: Autoria Própria

4.2 DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO E DOS CABOS

- Dispositivo de proteção contra surtos (DPS)

O primeiro equipamento de proteção se observamos o sistema partindo das placas até o quadro geral, será o DPS. O DPS é um dispositivo que tem como função proteger o sistema e seus equipamentos contra surtos transitórios de tensão. Surtos esses que podem ser provocados por descargas atmosféricas na instalação, ou manobras no sistema de potência. Quando ocorre um surto de tensão, o DPS vai fechar um curto circuito

temporário entre a fase e o terra, desviando o surto para o aterramento e só deixando passar para o sistema uma tensão adequada para operação dos equipamentos da instalação.

O sistema fotovoltaico traz a particularidade de na mesma instalação, está presente tanto a corrente alternada como corrente contínua. Por isso devemos usar um DPS adequado a cada parte do circuito. Para esse fim, na instalação será utilizado um DPS CC logo após os módulos, e um DPS CA logo após o inversor.

Os DPS enfrentam o problema de que ao fim de sua vida útil o equipamento pode ser incapaz de voltar ao seu estado original, nesse momento, pode acontecer de o DPS virar um curto circuito permanente, o que traz riscos de incêndio e de dano aos equipamentos. Para solucionar esse problema do lado CA, colocamos um disjuntor junto ao DPS, que vai detectar esse problema e interromper o funcionamento do circuito. Porém no lado CC, resolver esse problema se torna mais difícil, pois a corrente de curto circuito e a corrente nominal são praticamente as mesmas, se tornando assim, mais difícil de identificar e corrigir o problema. E ainda, a norma brasileira NBR IEC 61643-1 que regulamenta o uso de DPS no Brasil, não leva em consideração esse problema, portanto, devemos levar em consideração a norma internacional EN 50539-11, o DPS de acordo com a EM leva em consideração esse problema, tornando o risco de incêndio em razão do DPS nulo.

O DPS CC utilizado é da empresa alemã DEHNguard e segue a EN 50539-11, o modelo escolhido é o DG YPV SCI 1000 (950 530) com uma tensão máxima de 1000 V, e é o DPS padrão CC que vem sendo utilizado pela empresa onde foi feito o orçamento. Como se usa 1 DPS CC por *string*, serão usados 12 DPS CC no total.

Já para o DPS CA, utilizamos o OVR T2 40-275 da ABB, que é um DPS mais tradicional, 275 V e 40 kA, o que supre bem as necessidades da instalação. O DPS CA é trifásico, portanto, só se faz necessária a utilização de 1 DPS CA.

- Chave seccionadora

A Energisa na NDU 013 no item 8.7 discorre sobre a exigência de uma chave seccionadora sob carga no sistema de geração distribuída. A chave tem como objetivo fazer o isolamento do circuito geral em CC, servem para facilitar a isolação do gerador fotovoltaico. A chave deve ter capacidade de condução e abertura compatível com a potência da geração.

A chave escolhida é a BYT.2-32 da ZJBENY, ela trabalha com até 1200 V CC, como a tensão de circuito aberto da nossa maior *string* é de 866,40 V, então a chave pode funcionar sem problemas em relação a tensão de entrada. A corrente nominal máxima de trabalho da chave é de 32 A por entrada, e cada entrada só vai uma *string*, portanto, como visto na Tabela 12, nossa corrente por *string* é de 8,88 A, então, a chave é adequada para nosso sistema. Como cada chave tem 4 polos, cada chave acomoda 2 *strings*, portanto, serão necessárias 6 chaves para o sistema.

- Disjuntores

Foram utilizados disjuntores unicamente na parte alternada do circuito, será utilizado um logo após o inversor, junto ao DPS, e outro disjuntor no quadro geral de distribuição, para uma melhor proteção e melhor controle do circuito. Para dimensionar o disjuntor devemos observar a corrente máxima de saída do inversor, que de acordo com o *datasheet* presente na Figura 12, é de 90 A. Portanto, o disjuntor utilizado terá uma corrente nominal de 100 A. O modelo escolhido foi o EZ9F33391 da Schneider Eletric, da linha EASY9, é um disjuntor trifásico com curva do tipo C. Serão utilizados dois desses disjuntores, como já mencionado.

- Cabos

Para dimensionamento dos cabos foram adotados alguns valores padrão de queda de tensão predefinidos para os diferentes trechos da instalação. Entre os módulos fotovoltaicos e o inversor, adotamos uma queda de tensão de até 1%, e entre o inversor e o ramal de entrada, adotamos uma queda de tensão de até 3%. Esses valores não são regulamentados pelas normas nacionais, porém são os valores mais comumente utilizados.

Os cabos CC que ligam os *strings* de módulos fotovoltaicos até o inversor, são calculados de acordo com o critério de queda de tensão e a capacidade de condução de corrente. A fórmula para realizar o cálculo da seção mínima do condutor em um sistema monofásico de acordo com o critério da queda de tensão é a seguinte:

$$S_{mm^2} = 2\rho \frac{LP}{\Delta V_{\%} \cdot V^2}$$

Onde:

S : Seção transversal do cabo em mm^2 ;

P : Potência transmitida no condutor;

l : Comprimento do condutor;

$\Delta V_{\%}$: Queda de tensão percentual no condutor;

V : Tensão nominal do sistema;

ρ : Resistividade do cobre ($\frac{1}{58} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

Portanto, realizando os cálculos com a fórmula, para nossa maior *string*, de 19 módulos, e sabendo que o comprimento do condutor é de 30 metros, temos que, pelo critério da queda de tensão, a seção mínima do cabo seria de $3,46 \text{ mm}^2$. Foi usado o cabo de 6 mm^2 , considerando que a instalação deve funcionar por mais de 20 anos e que o cabo pode sofrer de desgaste. O cabo escolhido foi da marca CONDUSPAR, o modelo PROSOLAR FV, que é um cabo feito visando a aplicação em sistemas fotovoltaicos. O *datasheet* do cabo se encontra na Figura 15, e através dele, conseguimos observar que o cabo escolhido satisfaz nossa capacidade de condução de corrente, já que nossa corrente de curto circuito é de $37,8 \text{ A}$ de acordo com a Tabela 12. E ainda, de acordo com o fabricante, o cabo tem um isolamento entre fases em corrente contínua de $1,8 \text{ kV}$, que ultrapassa nossa tensão de circuito aberto.

Figura 15 – *Datasheet* cabos CONDUSPAR PROSOLAR FV

Dimensões Nominais						
Condutor		Isolação	Cobertura		Peso Nominal (kg/km)	Raio mínimo de curvatura (mm)
Seção (mm^2)	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Espessura (mm)	Diâmetro (mm)		
4	2,47	0,7	0,9	5,8	59,3	29
6	3,02	0,7	1,0	6,5	78,6	33
10	3,99	0,7	1,0	7,5	122	38

Parâmetros Elétricos						
Seção (mm^2)	Resistência em CC (Ω/km)			Capacidades de Corrente (A)		
	20° C	90 °C	120° C	Ao ar livre	Em dutos	Dutos enterrados
4	5,09	6,49	7,09	50	42	44
6	3,39	4,32	4,72	65	54	56
10	1,95	2,49	2,72	90	75	73

Fonte: CONDUSPAR

Para o lado CA do circuito, também usamos tanto o critério da queda de tensão como da capacidade de condução de corrente. Para o critério de queda de tensão, como o circuito é trifásico, usamos a seguinte fórmula:

$$S_{mm^2} = \sqrt{3} \rho \frac{lP}{\Delta V_{\%} \cdot V^2}$$

Substituindo os valores, lembrando que a queda de tensão máxima aceitável para o trecho entre o inversor e o ramal de entrada, que é o trecho CA, é de 3%, e o comprimento desses cabos é de aproximadamente 50 metros, foi encontrado que, de acordo com o critério da queda de tensão, a seção mínima do cabo é de 20,68 mm². Foi usado um cabo de 25 mm² que é o valor comercial, e de acordo com a Tabela 37 da NBR5410, suporta a corrente de saída do inversor, satisfazendo assim o critério de capacidade de condução de corrente. O cabo utilizado será da mesma marca dos cabos utilizados na parte CC do sistema, a CONDUSPAR.

- Aterramento

Para o sistema fotovoltaico, será feito um novo aterramento, tendo em vista que o aterramento da instalação nem sempre é confiável, essa é uma prática recomendada para evitar imprevistos. Para o caso em estudo será utilizadas 3 hastes de aço cobreado de 16x2400 mm. De acordo com a Tabela 13, que também é a tabela 58 da NBR 5410:2004, a seção do condutor de aterramento quando o condutor de fase tem seção entre 16 mm² e 35 mm², deve ser de 16 mm².

Tabela 13 – Seção mínima do condutor de proteção

Seção dos condutores de fase S mm ²	Seção mínima do condutor de proteção correspondente mm ²
$S \leq 16$	S
$16 \leq S \leq 35$	16
$S \geq 35$	$S/2$

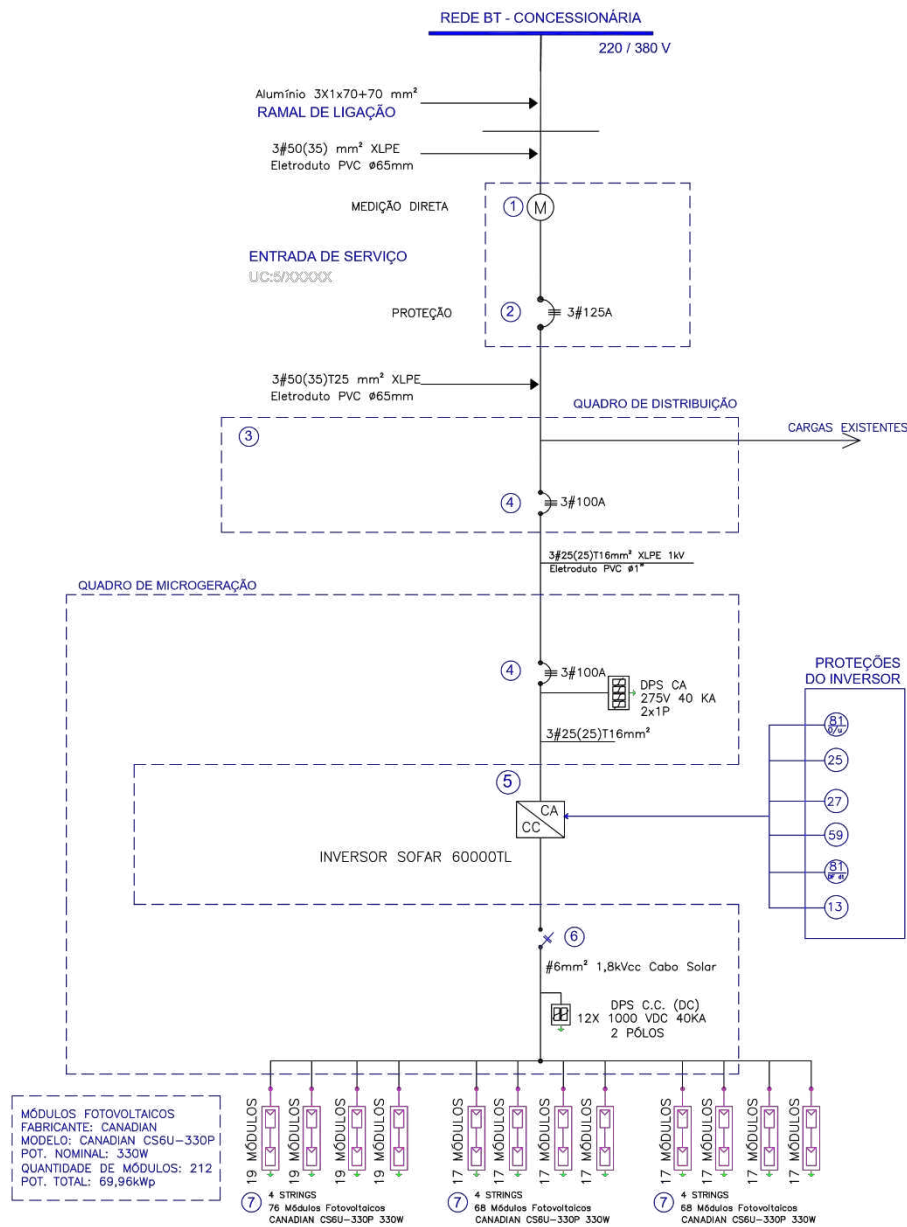
Fonte: NBR 5410:2004

4.3 PRANCHAS

Tendo em vista todos os dados que foram obtidos até o momento, foi elaborado o projeto elétrico no AUTOCAD, o projeto se encontra na íntegra no Apêndice A. O projeto

O diagrama unifilar, como o próprio nome diz, consiste no diagrama unifilar começando do ramal de ligação até a instalação das placas. Não é necessário que o diagrama apresente as partes da instalação que não são referentes a geração fotovoltaica, sendo assim, só é apresentado o caminho da geração.

Figura 17 – Corte na prancha 02



Fonte: Autoria Própria

Na parte superior da Figura 17 podemos observar o ramal de ligação da concessionária seguido de ramal de entrada. Os ramos devem seguir a Tabela 15 da NDU 001. Como a instalação possui um disjuntor de 125 A, de acordo com a tabela, se enquadra

na categoria T5, sabendo a categoria de atendimento, podemos dimensionar toda a entrada de energia de acordo com os padrões da Energisa. Em seguida, como já discutido, utilizou-se um disjuntor de 100 A no quadro geral de distribuição para eventuais manobras nos sistemas e para proteção do trecho de cabo, que é relativamente longo. Em seguida temos o quadro de microgeração, também conhecido como *stringbox*, onde estará presente toda a proteção CC e CA, incluindo todos os disjuntores, DPS e chave seccionadora.

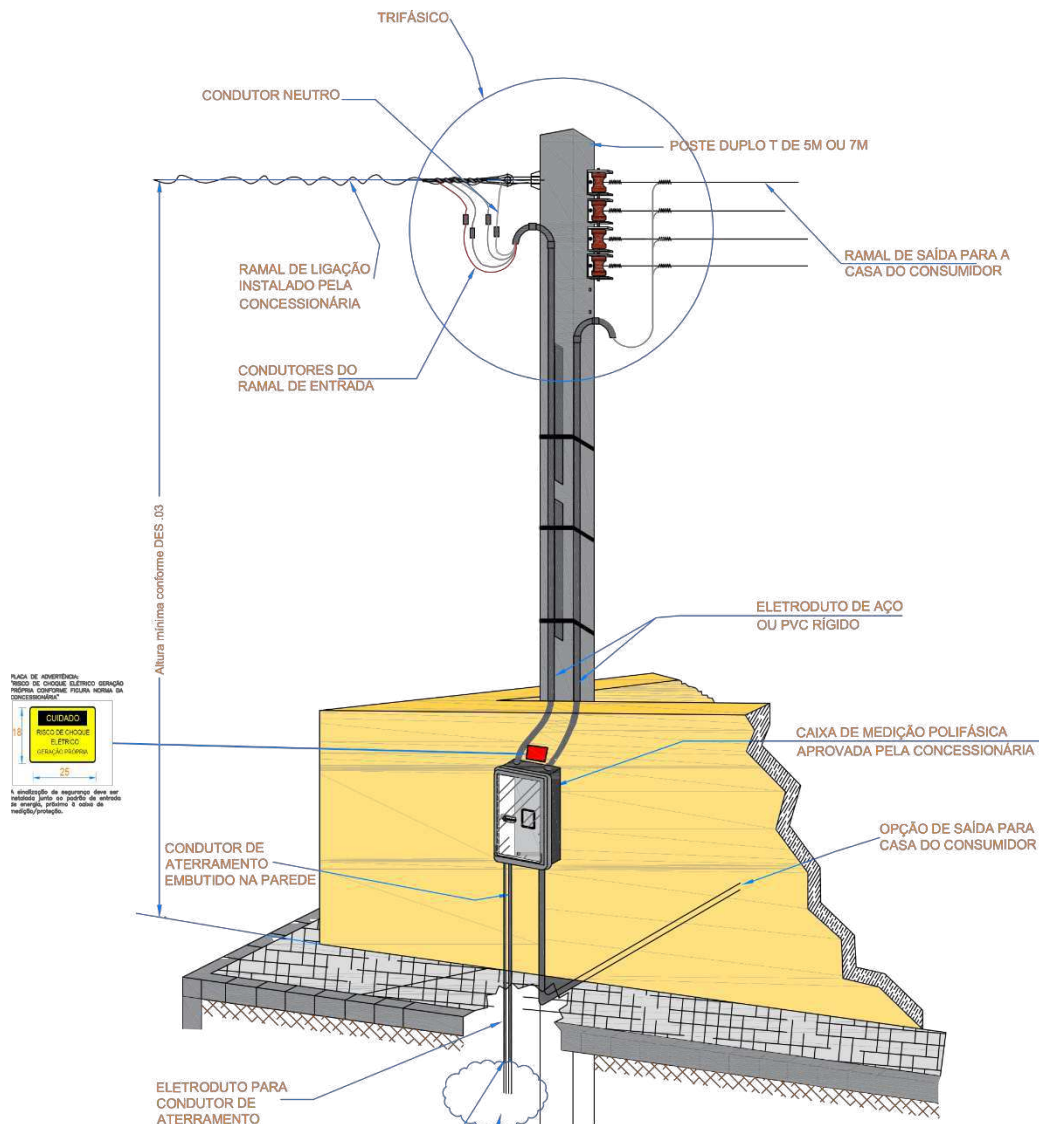
O inversor deve ser instalado próximo ao quadro de microgeração, pois como podemos observar no diagrama, os cabos devem sair do DPS CA, ir para o inversor, e em seguida, voltar para o quadro de distribuição para a chave seccionadora e os DPS CC. Depois dos DPS CC, o cabo solar de 6 mm² deve subir para o telhado, onde serão instalados os módulos fotovoltaicos.

4.3.3 DIAGRAMA MULTIFILAR

Na Figura 18 pode se observar um corte da prancha do diagrama multifilar ou trifilar. O diagrama contempla desde a planta geradora até o ponto de entrega de energia, mostrando as ligações, condutores e elementos de proteção que foram definidos anteriormente, assim como manda a NDU 013. Pode se observar também que os cabos na parte inferior do diagrama têm um comprimento de aproximadamente 50 metros, portanto os dois disjuntores que estão em série, na verdade pertencem a dois quadros de distribuição diferentes, o que se torna mais coerente, pois além da função de proteção, os disjuntores podem ser utilizados como chave para desconectar uma parte do sistema da rede.

Podemos observar que para cada *string* de módulos fotovoltaicos se faz necessário a instalação de um DPS CC conforme já foi decidido anteriormente, totalizando o total de 12 DPSs. As chaves seccionadoras são chaves que comportam 2 strings de placas por chave, e tem sua ligação cruzada, onde as entradas são espelhadas na saída da chave, conforme mostrado mais detalhadamente na prancha completa presente no Apêndice A. Em vermelho ao lado do inversor pode-se observar algumas proteções do inversor, primeiramente a proteção de sub e sobrefrequência, também existe o rele de sincronismo para as fases do inversor, assim como elementos para proteção de sub e sobretensões. Também se faz presente uma proteção anti-ilhamento do inversor, o que evita acidentes e queima de equipamentos desnecessariamente.

Figura 19 – Corte na prancha 04



Fonte: Adaptado da NDU 001

4.3.5 LAYOUT

Na Figura 20 pode se observar a planta do nosso projeto, contando com uma vista superior do telhado com a instalação das placas, e uma vista posterior sinalizando o local de instalação do inversor. A concessionária de energia local exige que o local geográfico onde está localizado a entrada de serviço fique claro na planta, como podemos ver na vista superior. Podemos também reparar nos dois aterramentos presentes, junto a entrada de serviço está o aterramento já presente no local desde o projeto elétrico inicial do galpão, e conectado ao inversor podemos ver o aterramento criado para segurança da microgeração, caso o aterramento que já está presente no local não seja confiável.

Figura 20 – Corte na prancha 05



5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, como proposto, foi realizado o projeto de geração distribuída fotovoltaica para suprimento da demanda energética de 6 igrejas na grande João Pessoa. Para tanto, foi necessário realizar toda a fundamentação teórica para que o conhecimento necessário para realização projeto fosse adquirido, assim como, um estudo de caso juntamente com uma análise econômica para decisão do equipamento a ser utilizado na instalação.

Ficou evidenciado que a região tem um alto potencial energético com a média da radiação inclinada para o local, de acordo com a base de dados do SWERA é de 5,23 kWh/m²/dia, apresentando assim, um quadro oportuno para instalação dos painéis fotovoltaicos.

Na análise econômica pode-se observar que é um investimento extremamente vantajoso do ponto de vista financeiro, para o valor de investimento proposto, mesmo na pior proposta tivemos um *payback* menor que 3 anos, diferente de investimentos de menor porte, onde esse valor poderia chegar até 6 anos. Esse período de *payback* encontrado torna o investimento ainda mais atrativo.

Para o sistema proposto também será necessário realizar um projeto de aumento de carga, pois para instalação do disjuntor de 125 A é necessário um projeto dessa natureza, o que pode ser assunto para um trabalho futuro.

REFERÊNCIAS

ALTENER. Energia Fotovoltaica - manual sobre tecnologias, projecto e instalação, 2004. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 10 Maio 2019.

ANEEL. Resolução Normativa N° 482. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL**, 17 Abril 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 Abril 2019.

ANEEL. Resolução Normativa N° 687. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL**, 24 Novembro 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 20 Abril 2019.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica / Agência Nacional de Energia Elétrica**. Brasília, p. 31. 2016.

ANEEL. PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Módulo 3: Acesso ao Sistema de Distribuição, 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-3>>. Acesso em: 07 Junho 2019.

ANEEL. Resolução Normativa N° 786. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL**, 17 Outubro 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>>. Acesso em: 20 Abril 2019.

BLUESOL. Tipos de Energia Solar: Entenda As Diferenças Entre Fotovoltaica e Fototérmica. **BlueSol Energia Solar**, 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/tipos-de-energia-solar/>>. Acesso em: Maio out. 2019.

BRASIL, S. Conceitos de Energia Solar Fotovoltaica - Como a radiação solar varia ao longo do dia. **SolarBrasil**, 2018. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/129-conceitos-de-energia-solar-fotovoltaica-como-a-radiacao-solar-varia-ao-longo-do-dia>>. Acesso em: 01 Maio 2019.

CAROLINA T. MACHADO, F. S. M. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **RVQ - Revista Virtual de Química**, Campus do Valonguinho, v. 7, n. 1, p. 126 - 143, Outubro 2014.

CHRIS. SOLAR PV PRODUCTION MAY BREAK 50 GIGAWATT BARRIER IN 2014. **CleanEnergyAuthority**, 2013. Disponível em: <<https://www.cleanenergyauthority.com/solar-energy-news/solar-production-50-gw-in-2014-110613>>. Acesso em: 15 Abril 2019.

ENERGIASOLARMICROGR. MPPT – Seguidor do Ponto de Máxima Potência – Eficiência Energética. **MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR**, 2018. Disponível em: <<https://energiasolar-microgr.com.br/inversores/mppt/>>. Acesso em: 30 Abril 2019.

ENERGISA. MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA. **Energisa**, 2017. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/outras-informacoes/micro-geracao-ess.aspx>>. Acesso em: 29 Abril 2019.

ENERGISA. Norma de Distribuição Unificada – NDU 015, 2017. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br>>. Acesso em: 29 Abril 2019.

ENERGISA. Norma de Distribuição Unificada – NDU 013, Setembro 2018. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br>>. Acesso em: 29 Abril 2019.

FREIRE, F. Como funciona a célula fotovoltaica. **SHAREENERGY**, 2017. Disponível em: <<http://shareenergy.com.br/como-funciona-celula-fotovoltaica/>>. Acesso em: 01 Maio 2019.

GUIMARÃES, G. Energia solar: afinal, a eficiência da geração importa? **SOLARVOLT**, 24 Abril 2019. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/energia-solar-afinal-a-eficiencia-da-geracao-importa/>>. Acesso em: 24 Abril 2019.

OECD/IEA E IRENA. **Perspectives for the energy transition - investment needs for a low-carbon energy system**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

RESENDE, C. Por que utilizar DPS em sistemas fotovoltaicos? **SHAREENERGY**, 2017. Disponível em: <<http://shareenergy.com.br/por-que-utilizar-dps-em-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 07 Maio 2019.

ROBERTO ZILLES, W. M. M. G. S. O. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RUTHER, R. **Instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública**. Florianópolis: [s.n.], 2000.

SOLAR ENERGY RESEARCH INSTITUTE. **Basic Photovoltaic Principles and Methods**. Springfield: Technical Information Office, 1982.

SOLISENERGIA. Como funciona o medidor bidirecional da energia solar?, 2019. Disponível em: <<https://solisenergia.com.br/como-funciona-o-medidor-bidirecional-da-energia-solar/>>. Acesso em: 05 Junho 2019.

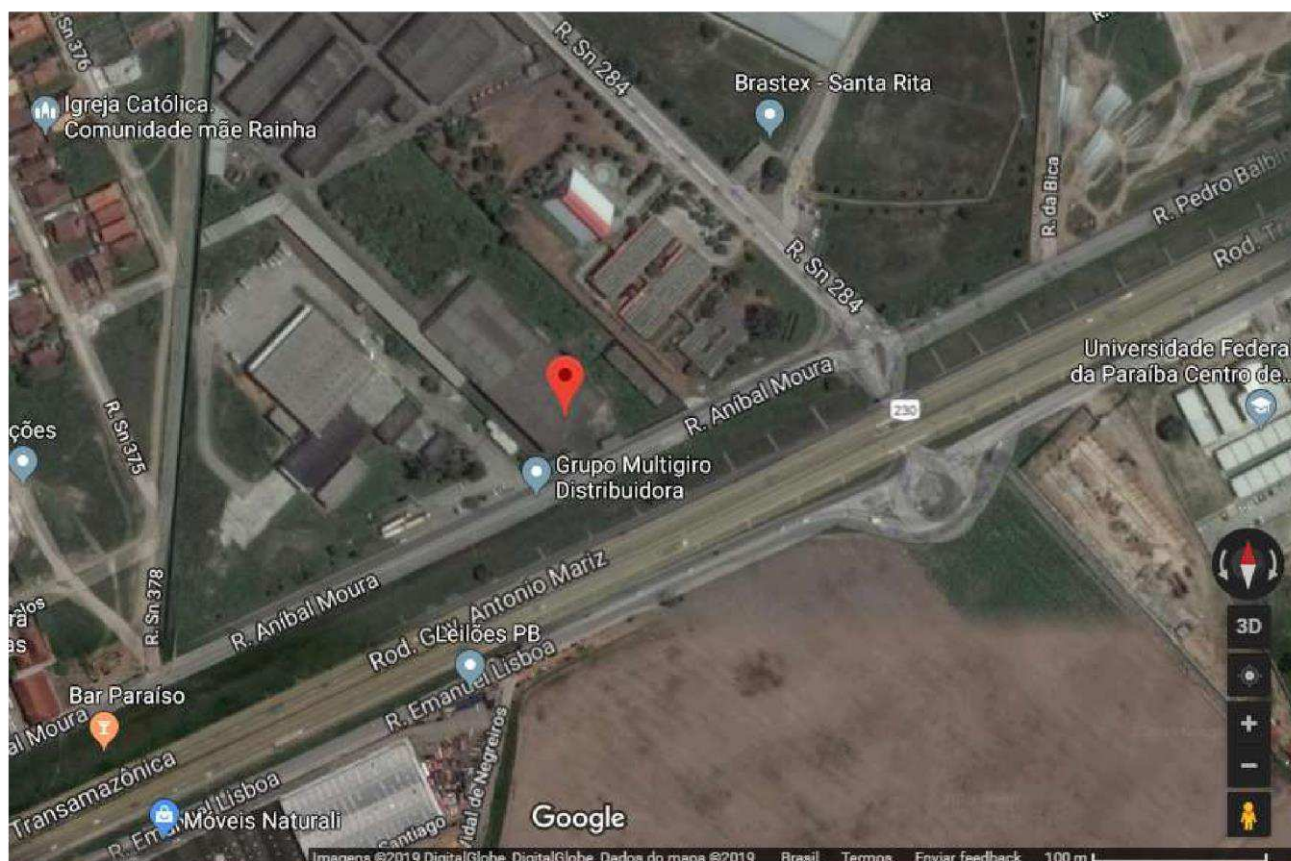
SOLSTÍCIO ENERGIA. Portal Solstício Energia. **Solstício energia**, 2019. Disponível em: <<https://www.solsticioenergia.com/2017/05/22/energia-solar-termica-e-fotovoltaica/>>. Acesso em: 24 Abril 2019.

SOUZA, R. D. Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente Completo. **BlueSol**, 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>>. Acesso em: 21 Maio 2019.

SOUZA, R. D. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica**. Ribeirão Preto: [s.n.], 2017.

STERN, E. Radiação Solar e Irradiação: entenda a diferença. **Krinat Solar**, 2017. Disponível em: <<https://krinatsolar.com.br/radiacao-solar-e-irradiacao/>>. Acesso em: 20 Abril 2019.

APÊNDICE A – PRANCHAS DO PROJETO
SOLAR FOTOVOLTAICO



TITULAR DA UC: IGREJA EVANGELICA VERBO DA VIDA

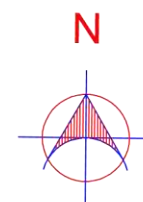
FUSO: UTC-03:00

Coord X UTM em metros 283114.81421
Coord Y UTM em metros 9210958.80337

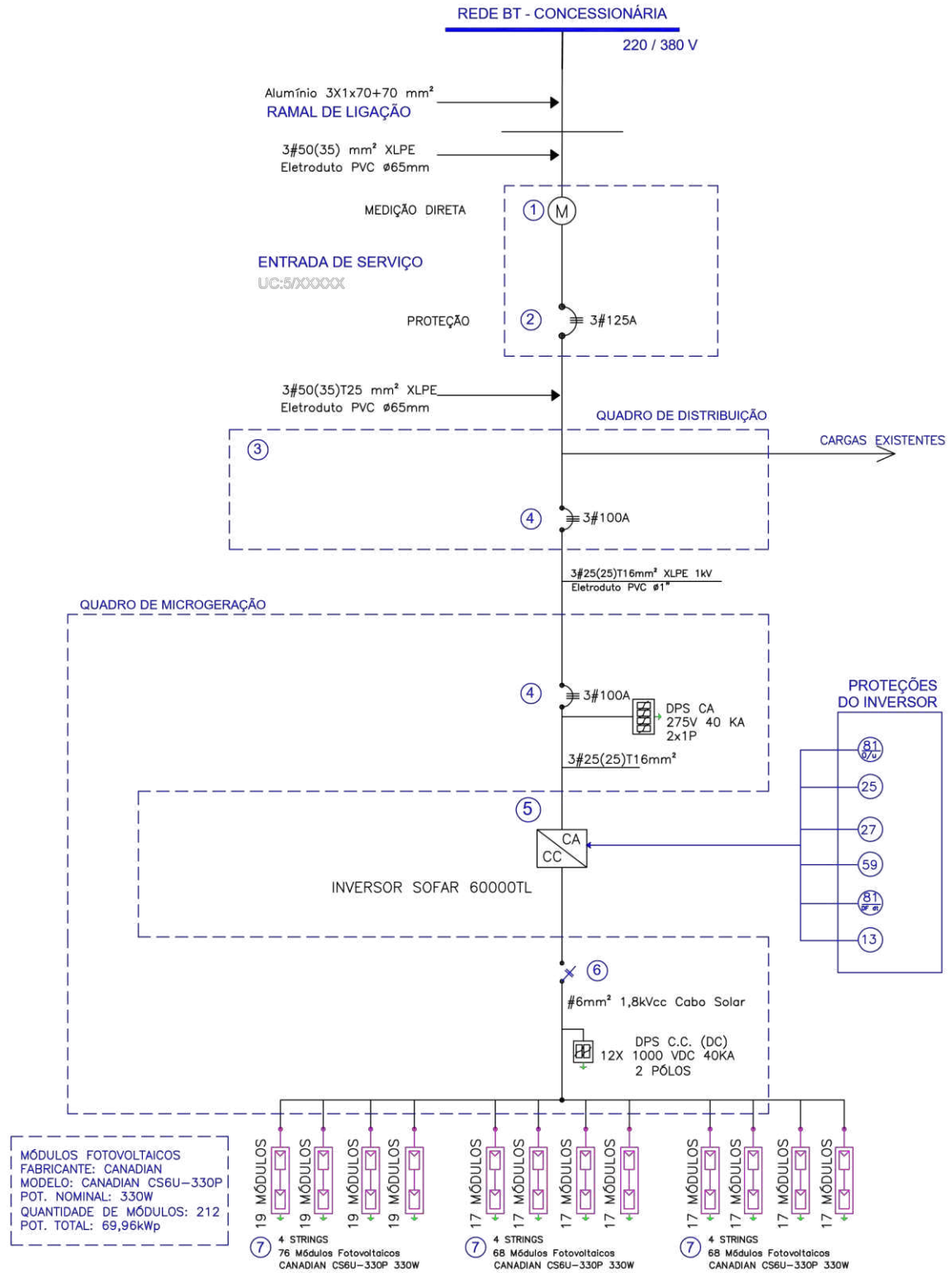
7°08'02.9"S 34°57'49.7"W

Latitude: -7.134132

Longitude: -34.963816



 <p>ARTHUR ALBUQUERQUE PROJETOS ELETRICOS TELEFONE: (83) 9 9940-0786 EMAIL: ARTHUR.ALBQUERQUE@UEE.UFCC.EDU.BR</p>		<p>PROJETO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA</p>	
Proprietário	IGREJA VERBO DA VIDA CNPJ: XXXXX XXXX0001-XX	Conteúdo	PLANTA DE SITUAÇÃO
Endereço	BR-230, 2014 - Popular Santa Rita - PB	Prancha	01/05
Resp. Técnico	<i>Arthur Felipe G. Albuquerque</i> ARTHUR FELIPE GADELHA ALBUQUERQUE CREA PB XXXXX	Escola	SEM ESCALA
		Data	14/06/2019
		Proj./Des.	ARTHUR FELIPE G. ALBUQUERQUE



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
 FABRICANTE: CANADIAN
 MODELO: CANADIAN CS6U-330P
 POT. NOMINAL: 330W
 QUANTIDADE DE MÓDULOS: 212
 POT. TOTAL: 69,96kWp

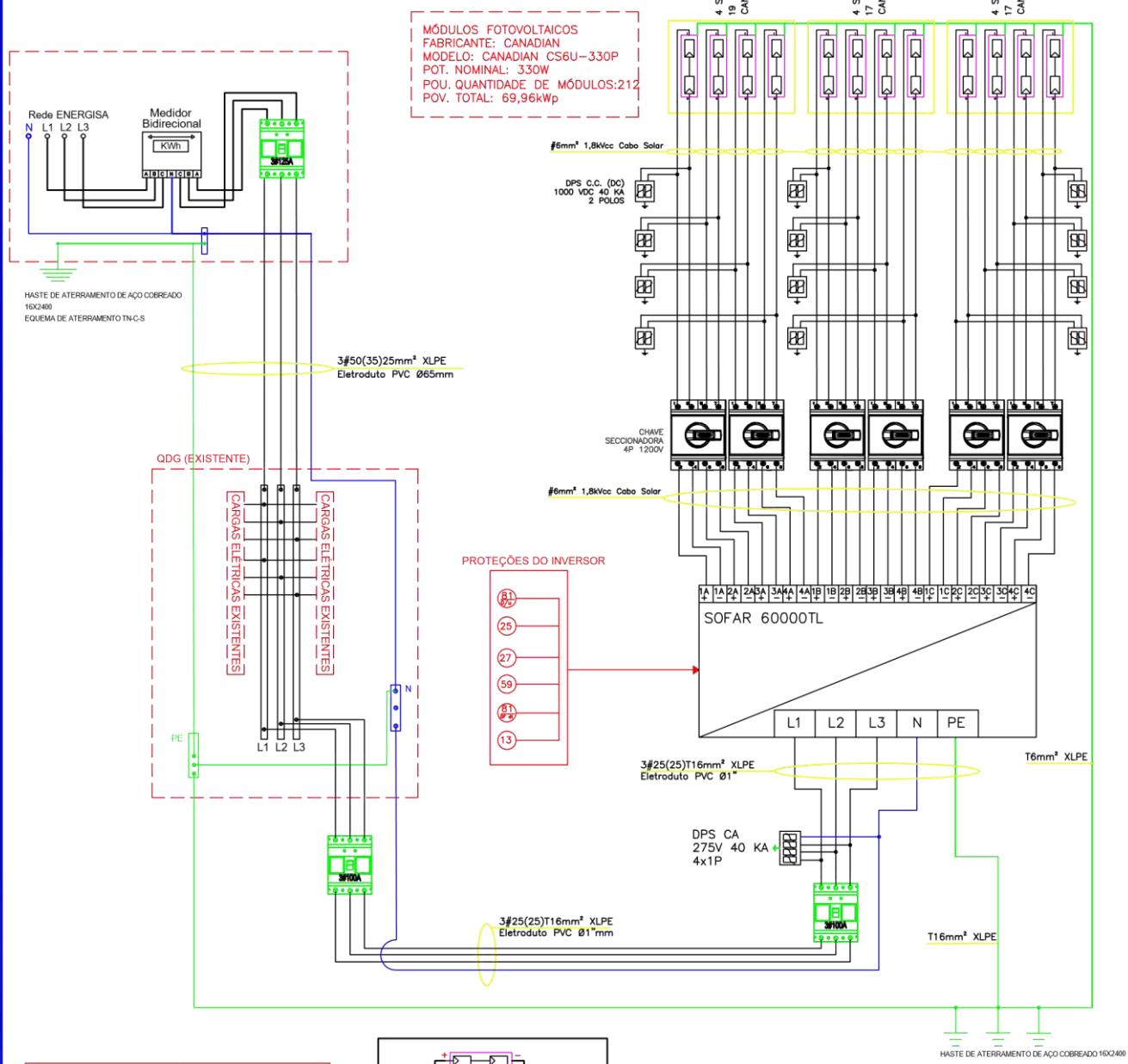
- ⑦ 19 MÓDULOS
4 STRINGS
76 Módulos Fotovoltaicos
CANADIAN CS6U-330P 330W
- ⑦ 17 MÓDULOS
4 STRINGS
68 Módulos Fotovoltaicos
CANADIAN CS6U-330P 330W
- ⑦ 17 MÓDULOS
4 STRINGS
68 Módulos Fotovoltaicos
CANADIAN CS6U-330P 330W

LEGENDA	
① Sistema de medição bidirecional, direta ou indireta, instalado em caixas fixadas na parede	81 Elementos de Proteção de Sub e Sobre frequência
② Disjuntor de proteção geral instalado em caixa fixada na parede	25 Relé de Sincronismo
③ Quadro de Distribuição da UC	27 Elementos de Proteção de Sub e Sobretensão
④ Disjuntor de proteção geral da microgeração	59 Relé de Sincronismo
⑤ Conversor CC/CA	81 Relé Derivada de Frequência
⑥ Chave Seccionadora Fotovoltaica	13 Elemento de Proteção Anti-Ilhamento
⑦ Módulos Fotovoltaicos	

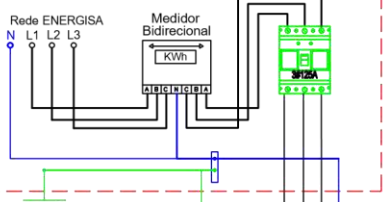
ARTHUR ALBUQUERQUE
 PROJETOS ELETRICOS
 TELEFONE: (83) 9 9940-0786
 EMAIL: ARTHUR.ALBQUERQUE@EEC.UFPA.EDU.BR

PROJETO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

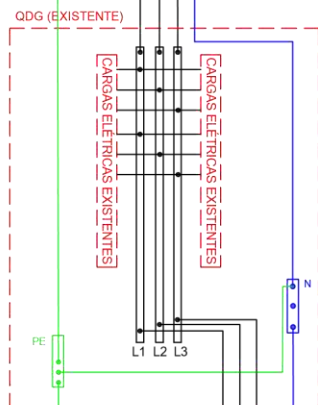
Proprietário IGREJA VERBO DA VIDA CNPJ: XX.XXXX.XXXX0001-XX	Conteúdo DIAGRAMA UNIFILAR
Endereço BR-230, 2014 - Popular Santa Rita - PB	Prancha 02/05
Resp. Técnico <i>Arthur Felipe G. Albuquerque</i> ARTHUR FELIPE GADELHA ALBUQUERQUE CREA PB XXXXXX	Data 14/08/2019
	Proj./Des. ARTHUR FELIPE G. ALBUQUERQUE



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
 FABRICANTE: CANADIAN
 MODELO: CANADIAN CS6U-330P
 POT. NOMINAL: 330W
 POU. QUANTIDADE DE MÓDULOS: 212
 POV. TOTAL: 69,96kWp



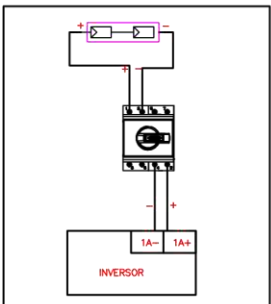
HASTE DE ATERRAMENTO DE AÇO COBREADO
 16X2400
 ESQUEMA DE ATERRAMENTO TN-C-S



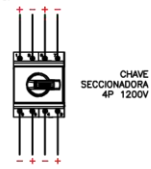
PROTEÇÕES DO INVERSOR



- ELEMENTOS DE PROTEÇÃO PRESENTES NOS INVERSORES INSTALADOS
- 81 Elementos de Proteção de Sub e Sobrefreqüência
 - 25 Relé de Sincronismo
 - 27 Elementos de Proteção de Sub e Sobretensão
 - 59 Relé de Sincronismo
 - 81 Relé Derivada de freqüência
 - 15 Elemento de Proteção Anti-ilhamento



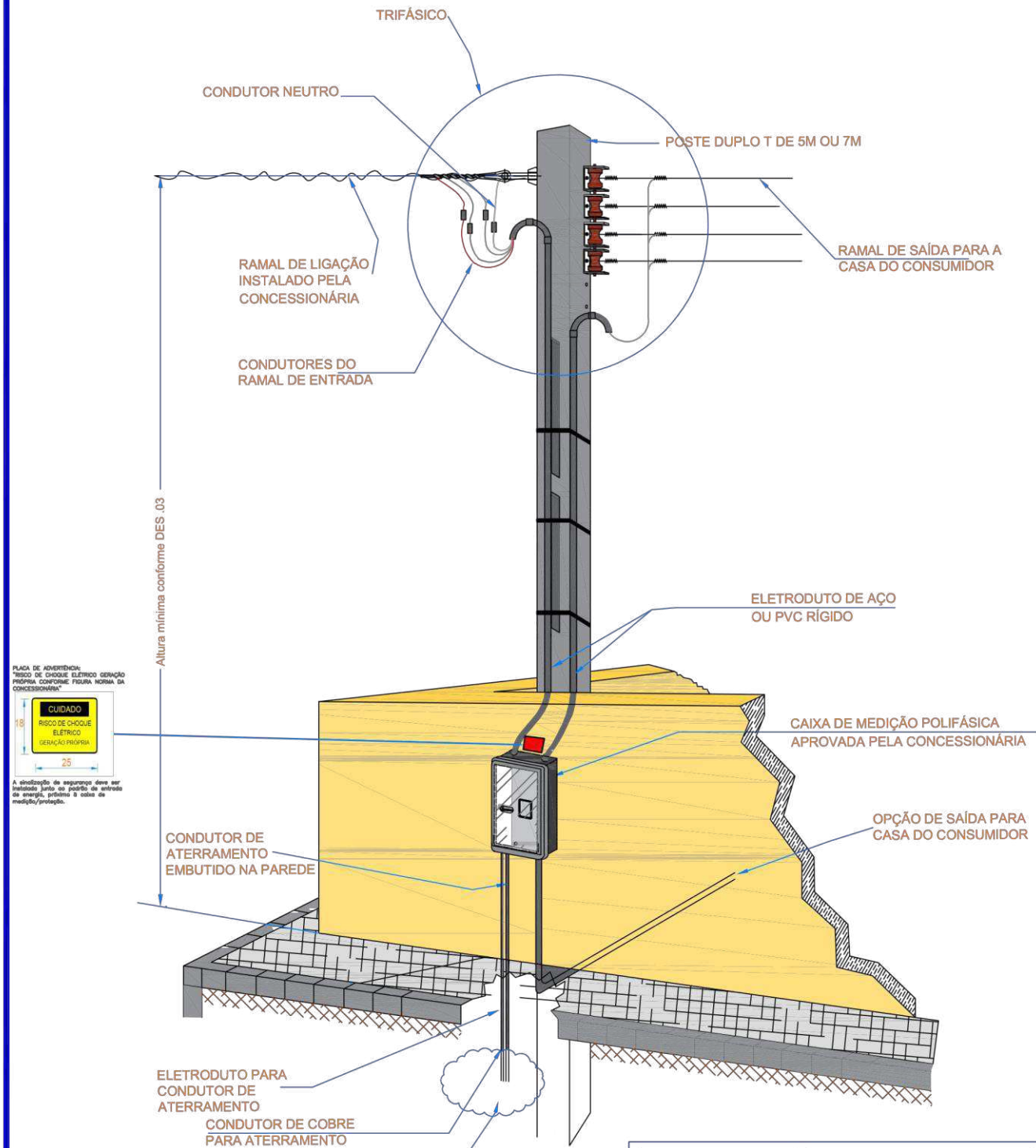
ATENÇÃO
 LIGAÇÃO DA CHAVE SECCIONADORA:
 -Deverá ser seguido o diagrama de ligação que consta ao lado da chave seccionadora;
 STRONO 1:
 -Polo positivo deve entrar no número 1 e sair no número 2;
 -Polo negativo deve entrar no número 3 e sair no número 4.
 STRONO 2:
 -Polo positivo deve entrar no número 5 e sair no número 6;
 -Polo negativo deve entrar no número 7 e sair no número 8.



ARTHUR ALBUQUERQUE
 PROJETOS ELETRICOS
 TELEFONE: (83) 9 9940-8786
 EMAIL: ARTHUR.ALBQUERQUE@GMAIL.COM

PROJETO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Proprietário	IGREJA VERBO DA VIDA CNPJ: XXX-XXX-XXXX-XX	Conteúdo	DIAGRAMA MULTIFILAR
Endereço	BR-230, 2014 - Popular Santa Rita - PB	Prancha	03/05
Resp. Técnico	 ARTHUR FELIPE GADELHA ALBUQUERQUE CREA PB XXXXXX	Escola	SEM ESCALA
		Data	14/06/2019
		Proj./Des.	ARTHUR FELIPE G. ALBUQUERQUE



PLACA DE ADVERTÊNCIA:
"RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO GERAÇÃO PRÓPRIA CONFORME FIGURA NORMA DA CONCESSIONÁRIA"

CUIDADO
RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO GERAÇÃO PRÓPRIA

A sinalização de segurança deve ser instalada junto ao ponto de entrada de energia, próximo à caixa de medição/proteção.

Altura mínima conforme DES. 03

CONDUTOR DE ATERRAMENTO EMBUTIDO NA PAREDE

ELETRODUTO PARA CONDUTOR DE ATERRAMENTO
CONDUTOR DE COBRE PARA ATERRAMENTO

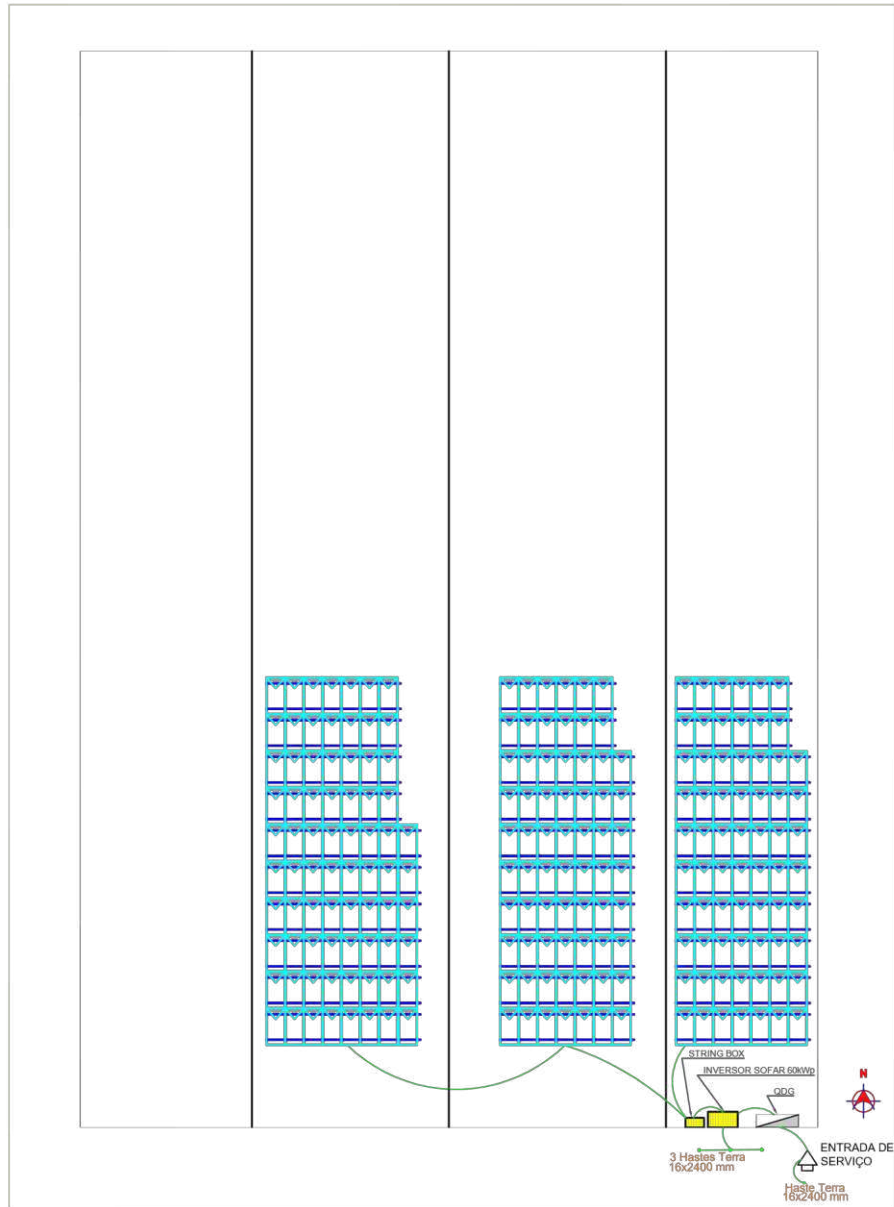
VAI PARA CAIXA DE INSPEÇÃO (CONFORME DES. 08/09)



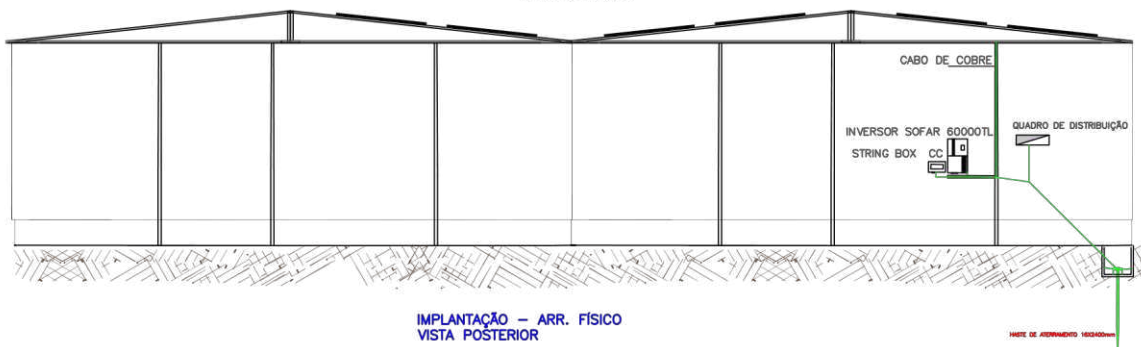
ARTHUR ALBUQUERQUE
PROJETOS ELÉTRICOS
TELEFONE: (83) 9 9940-0786
EMAIL: ARTHUR.ALBQUERQUE@EE.UFCC.EDU.BR

PROJETO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Proprietário IGREJA VERBO DA VIDA CNPJ: XX.XXX.XXX/0001-XX	Conteúdo ENTRADA DE SERVIÇO
Endereço BR-230, 2014 - Popular Santa Rita - PB	Prancha 04/05
Resp. Técnico <i>Arthur Felipe G. Albuquerque</i> ARTHUR FELIPE GADELHA ALBUQUERQUE CREA PB XXXXXX	Data 14/06/2019
	Proj./Des. ARTHUR FELIPE G. ALBUQUERQUE



IMPLANTAÇÃO – ARR. FÍSICO
VISTA SUPERIOR



IMPLANTAÇÃO – ARR. FÍSICO
VISTA POSTERIOR

 <p>ARTHUR ALBUQUERQUE PROJETOS ELÉTRICOS TELEFONE: (83) 9 9946-0786 EMAIL: ARTHUR.ALBQUERQUE@EEC.UFCS.EDU.BR</p>		<p>PROJETO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA</p>	
Proprietário	IGREJA VERBO DA VIDA CNPJ: .XX.XXX.XXX/0001-XX	Conteúdo	LAYOUT ARR. FÍSICO
Endereço	BR-230, 2014 - Popular Santa Rita - PB	Prancha	05/05
Resp. Técnico	<i>Arthur Felipe G. Albuquerque</i> ARTHUR FELIPE GADELHA ALBUQUERQUE CREA PB XXXXXX	Escala	SEM ESCALA
		Data	14/06/2019
		Proj./Des.	ARTHUR FELIPE G. ALBUQUERQUE