



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

EDMAR DE SOUSA BRAGA JÚNIOR

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA
INSTALADA EM TERESINA-PI PARA COMPARTILHAMENTO DA PRODUÇÃO
ENERGÉTICA**

TERESINA - PI

2020

EDMAR DE SOUSA BRAGA JÚNIOR

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA
INSTALADA EM TERESINA-PI PARA COMPARTILHAMENTO DA PRODUÇÃO
ENERGÉTICA**

Monografia, apresentada ao Instituto Federal do Piauí, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Msc. Francisco das Chagas Batista Santos

TERESINA - PI

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Braga Júnior, Edmar de Sousa

B813a Análise técnico-econômica de uma usina solar fotovoltaica instalada em
Teresina-PI para compartilhamento da produção energética / Edmar de Sousa
Braga Júnior. - 2020.
84 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)
- Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2020.
Orientador : Prof. Dr. Francisco das Chagas Batista Santos.

1. Energia solar. 2. Energia solar - Geração compartilhada. 3. Efeito
fotovoltaico. 4. Sistema de compensação de energia elétrica. I. Título.

CDD - 620

Elaborado por Sindya Santos Melo CRB 3/1085

EDMAR DE SOUSA BRAGA JUNIOR

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA
INSTALADA EM TERESINA-PI PARA COMPARTILHAMENTO DA PRODUÇÃO
ENERGÉTICA**

Monografia, apresentada ao Instituto Federal do Piauí, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Teresina, 20 de outubro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eutrópio Vieira Batista
Examinador

Prof. Msc. José Mascena Dantas
Examinador

Prof. Msc. Francisco das Chagas Batista Santos
Orientador

Aos meus pais dedico esta monografia. Vosso
esforço durante esta jornada tornou tudo mais fácil.
Gratidão eterna.

AGRADECIMENTOS

A minha amada, Paula Guerra, que tanto me apoiou e me orientou nessa caminhada, ajudando-me quando precisei, sendo tão compreensiva nos momentos certos.

Aos meus pais, Neide e Edmar, por todo suporte e amor incondicional, desde o início.

Aos meus colegas de curso pelas descontrações e ajuda mútua, que deixaram essa jornada muito mais simples.

A este Instituto e seu corpo docente por toda infraestrutura e auxílio necessário para finalizar esse curso.

Ao meu orientador, Francisco Santos, pelas suas correções e ajuda.

Às minhas avós, em especial dona Maria Alice (in memorian), que do seu jeito contribuiu muito nessa etapa.

Resumo

A presente monografia mostra um estudo sobre o dimensionamento e a instalação de um gerador solar para uso compartilhado da produção de energia no município de Teresina, capital do estado do Piauí. Expondo uma análise técnica e econômica, discorrendo sobre os custos, produção, legislações e interferência do clima para pautar a viabilidade do empreendimento. No decorrer do trabalho é feito o dimensionamento dos principais componentes do sistema, enfatizando as vantagens técnicas de cada escolha. Além disso, é feita uma comparação entre os custos de instalação de duas escalas completamente diferentes e como o compartilhamento da produção energética pode ser usado para diminuir as despesas e aumentar a produção de energia derivada de uma fonte menos agressiva ao meio ambiente. Obteve-se resultados bastante satisfatórios do ponto de vista financeiro com redução de até 50% do custo total de implantação, fazendo uso do novo sistema de compensação de energia elétrica.

Palavras chaves: Energia solar; Geração Compartilhada; Sistema de compensação de energia elétrica; Efeito fotovoltaico.

Abstract

This undergraduate thesis shows a study about the design and installation of a solar power plant for divide their power output among multiple parts in the state of Piauí, more precisely in Teresina city. Exposing a technical and economic analysis, discussing the costs, production, legislation and climate interference to guide the viability of the enterprise. Throughout this paper, the main components are dimensioned, emphasizing the technical advantages of the choices. In addition, a comparison is made between the costs of a small-scale solar project and how the sharing can be used to decrease expenses and increase the production of electricity derived from a less aggressive source to the environment. Very satisfactory results were obtained from the financial point of view, with a 50% reduction in the total cost of implementation, using the new Brazilian net-metering model.

Keywords: Solar energy; Solar Sharing; Net-metering system; Photovoltaic effect.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Processo de fusão do hidrogênio.	18
FIGURA 2 – Órbita da Terra em torno do Sol.	19
FIGURA 3 – Componentes da Irradiância solar.....	20
FIGURA 4 – Região de transição.....	21
FIGURA 5 – Junção PN	22
FIGURA 6 – Representação de uma célula solar	22
FIGURA 7 – Configuração padrão de um sistema fotovoltaico.	23
FIGURA 8 – Sistemas fotovoltaicos em função da carga	24
FIGURA 9 – Sistema fotovoltaico conectado a rede.....	25
FIGURA 10 – Representação elétrica de um módulo fotovoltaico.....	26
FIGURA 11 – Performance elétrica do módulo CS6U-335P.....	27
FIGURA 12 – Simbologia elétrica do inversor.....	29
FIGURA 13 – Inversores de Corrente	30
FIGURA 14 – Funcionamento básico de um transformador	31
FIGURA 15 – Procedimentos e etapas de acesso.	36
FIGURA 16 – Imagem do módulo Sunpal modelo SP340P6-72.....	39
FIGURA 17 – Variação de temperatura por horário em Teresina - PI	44
FIGURA 18 – Configuração das fileiras por inversor	47
FIGURA 19 – Vista superior de um sub arranjo.....	49
FIGURA 20 – Vista lateral do suporte	50
FIGURA 21 – Esquema do posicionamento das estruturas	51
FIGURA 22 – Dados da localização geográfica.....	52
FIGURA 23 – Irradiação solar para Teresina.....	53
FIGURA 24 – Simulador do Tratamento Tributário e Administrativo das Importações	56
FIGURA 25 – Correção inflacionária	59

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Requisitos mínimos em função da potência instalada	34
QUADRO 2 – Níveis de tensão considerados para conexão de centrais geradoras	35
QUADRO 3 – Custo de instalação por escala	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Tipos de módulos fotovoltaicos de Silício.....	29
TABELA 2 – Informações básicas do inversor MAX 60KTL3L	41
TABELA 3 – Informações básicas do módulo SP335P6.....	43
TABELA 4 – Dados do local.....	52
TABELA 5 – Ineficiências de um sistema fotovoltaico	54
TABELA 6 – Geração total de energia	55
TABELA 7 – Custos com importação dos módulos	57
TABELA 8 – Custos de importação dos inversores	58
TABELA 9 – Outros custos associados ao projeto	59
TABELA 10 – Total de custos	59
TABELA 11 – Preço da tarifa no estado do Piauí	60
TABELA 12 – Consumo anual médio	61
TABELA 13 – Cálculo do custo por lote	62
TABELA 14 – Tempo de retorno financeiro do cenário I.....	62
TABELA 15 – Tempo de retorno financeiro do cenário II.....	63
TABELA 16 – Gerador fotovoltaico de 1,725 kW _p	64
TABELA 17 – Tempo de retorno financeiro do cenário III.....	64

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
CA – Corrente Alternada
CC – Corrente Continua
COFINS – Contribuição Para o Financiamento da Seguridade Social
CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
FDI – Fator de Dimensionamento do Inversor
FSEC – Centro de Pesquisa da Florida
FV – Fotovoltaico
ICMS – Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial
IPCA – Índice Nacional de Preço ao Consumidor Amplo
MPPT – Ponto Rastreador de Máxima Potência
NBR – Norma Brasileira
NREL – Laboratório Nacional de Energias Renováveis
PADIS – Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores e Displays
PIS – Programas de Integração Social
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROESCO – Programa de Eficiência Energética
REN – Resolução Normativa
PRODIST – Procedimentos de Distribuição
SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede
STC – Condição de Teste Padrão
TUST – Tarifa de Uso da Transmissão
TUSD – Tarifa de Uso da Distribuição
UFPR – Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3	MÉTODO DE PESQUISA	17
2.	ASPECTOS TEÓRICOS	18
2.1	ENERGIA SOLAR	18
2.2	RADIAÇÃO SOLAR	19
2.3	EFEITO FOTOVOLTAICO	20
2.4	SISTEMAS E APLICAÇÕES FOTOVOLTAICOS	23
2.4.1	Sistemas isolados	24
2.4.2	Sistemas fotovoltaicos conectados a rede (SFCR)	25
2.5	COMPONENTES DE UM SFCR	26
2.5.1	Módulos fotovoltaicos	26
2.5.1.1	Parâmetros elétricos dos módulos	26
2.5.1.2	Condições que afetam os parâmetros elétricos	28
2.5.1.3	Tecnologias das células solares	28
2.5.2	Inversores	29
2.5.3	Transformador elevador	31
2.6	LEGISLAÇÕES PERTINENTES E INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS	32
2.7	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	33
2.8	PRÉ-REQUISITOS PARA ACESSO A REDE ELÉTRICA	34
2.9	PROCEDIMENTOS DE ACESSO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	35
2.10	SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA	36
3.	SELEÇÃO DOS INVERSORES E MÓDULOS	39
3.1	DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DE MÓDULOS	39
3.2	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR SOLAR	40
3.3	TRANSFORMADOR	41
3.4	COMPONENTES DE PROTEÇÃO E DEMAIS EQUIPAMENTOS	42
4.	DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES DO ARRANJO FOTOVOLTAICO	43
4.1	DELIMITAÇÃO DO NÚMERO DE PAINÉIS EM SÉRIE	43

4.2	NÚMERO MÁXIMO DE FILEIRAS EM PARALELO	46
4.3	QUANTIDADE DE PAINÉIS POR PORTA DO INVERSOR.....	46
5.	DIMENSIONAMENTO DOS ARRANJOS E SUB ARRANJOS.....	49
5.1	CONFIGURAÇÃO DOS ARRANJOS	49
5.2	INCLINAÇÃO E ESPAÇAMENTOS	49
6.	CÁLCULO DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA.....	52
7.	CUSTO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA	56
8.	TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO	60
8.1	DETERMINAÇÃO DO CUSTO E PRODUÇÃO DE CADA LOTE	61
8.2	TEMPO DE RETORNO FINANCEIRO CENÁRIO I – SEM TAXA DE GERENCIAMENTO	62
8.3	TEMPO DE RETORNO FINANCEIRO CENÁRIO II – COM TAXA DE GERENCIAMENTO	63
8.4	TEMPO DE RETORNO FINANCEIRO CENÁRIO III	63
9	CONCLUSÃO	65
9.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
9.2	TRABALHOS FUTUROS	66
	REFERÊNCIAS	67
	ANEXO I – MAPA DO IDHM X IRRADIAÇÃO SOLAR	69
	ANEXO II – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR REGIÃO.....	70
	ANEXO III – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO	71
	ANEXO IV – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO	72
	ANEXO V – FOLHA DE INFORMAÇÕES DO MÓDULO SP335P6-72.....	73
	ANEXO VI – FOLHA DE INFORMAÇÕES DO INVERSOR MAX60KTL3LV	75
	ANEXO VII – ORÇAMENTOS	77
	ANEXO VIII – FOLHA DE INFORMAÇÕES DO TRANSFORMADOR	79
	ANEXO IX – GERADOR FOTOVOLTAICO DE 1,725kW_p	80
	ANEXO X – RENDERIZAÇÃO DO SUPORTE	82

1. INTRODUÇÃO

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) tem uma forte correlação com a produção e o consumo de energia. Esta correlação é extraordinária, pois demonstra que o progresso do IDH e o consumo per capita de energia ao longo do tempo crescem de maneira similar. O IDH atinge um valor máximo quando o consumo de eletricidade é de cerca de 4.000 kWh per capita por ano, bem abaixo dos níveis de consumo para a maioria dos países desenvolvidos, porém bem acima dos países em desenvolvimento (Pasternak, 2000).

Adotando para os estados brasileiros o mesmo raciocínio, percebe-se que a premissa é verdadeira, porém um dado muito importante deve ser evidenciado, os locais no Brasil que apresentam os menores índices na escala de desenvolvimento humano são precisamente aqueles que possuem os melhores níveis de irradiação, possuindo assim um grande potencial de crescimento energético (Silva e Guimarães, 2012).

É válido salientar que o Brasil possui uma matriz elétrica predominantemente de origem renovável, porém a fonte hídrica responde pela maior parte. Segundo dados do Balanço Energético Nacional 2018 (BEN, 2018) a oferta interna de energia elétrica do país está distribuída da seguinte forma: energia hidráulica (65,2%), gás natural (10,5%), biomassa (8,2%), eólica (6,8%), carvão e derivados (4,1%), petróleo (2,5%), nuclear (2,5%), solar (0,13%). Conforme pode-se inferir dos dados citados, a matriz elétrica do país está completamente desbalanceada devido à nossa elevada dependência da energia hidráulica, que necessita de um elemento aleatório: a ocorrência de chuvas nas bacias que abastecem os reservatórios.

Nessa perspectiva, é imprescindível uma diversificação na utilização das fontes elétricas para suprir uma enorme discrepância que poderá se acentuar entre a demanda e a oferta de energia no Brasil na próxima década, além de aumentar a confiabilidade no fornecimento, possibilita, ao mesmo tempo, uma matriz energética sustentável. Essa diversificação, não se trata, pois, somente de uma necessidade da segurança do sistema, mas também da imperiosa inclusão de fontes energéticas mais limpas na matriz brasileira.

Segundo Rüther (2004), o Brasil possui um potencial de geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos muitas vezes superior ao consumo total do país. A energia solar possui inúmeras aplicações e a geração direta da energia elétrica

através do efeito fotovoltaico se caracteriza como uma das formas mais interessantes de gerar potência elétrica. Mesmo com os altos níveis de irradiação solar no território brasileiro, o uso da fonte para geração de energia não apresenta a mesma importância que em outros países, nem o mesmo desenvolvimento de outras fontes renováveis, como biomassa e eólica, que já representam, respectivamente, 8,2% e 6,8% da capacidade de produção instalada, contra apenas 0,13% da fonte solar.

Em contrapartida, o país conta com políticas públicas de incentivos fiscais e financiamentos para empresas e pessoas físicas, facilitando o acesso a essa tecnologia. Além disso, pesquisas recentes demonstram a diminuição do custo por kWh produzido, possibilitando um crescimento no setor, evidenciando, assim, o grande potencial de mercado a ser explorado.

No tocante ao tema da presente monografia, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), em novembro de 2015, criou por meio da Resolução Normativa Nº 687 a modalidade de geração compartilhada, que possibilita a união de diversos interessados em um consórcio ou em uma cooperativa, possibilitando a instalação de uma micro ou minigeração distribuída que utiliza a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

O trabalho foi subdividido em nove capítulos, com o primeiro tratando sobre o contexto da energia solar no Brasil em comparação com as outras fontes energéticas, como capítulo introdutório, ele cita os objetivos e justificativas para realização dessa pesquisa, além de delinear os métodos e como serão diligenciados.

O segundo é voltado para o embasamento teórico, onde é mostrado os conceitos basilares para a produção dessa monografia, como a produção da energia no sol até a forma como ela é transformada em energia elétrica, explicando ainda, os principais componentes destinados a essa tarefa.

A terceira e quarta parte abordam o dimensionamento do projeto sob a ótica das limitações elétricas do inversor, ou seja, o número de painéis que cada inversor pode suportar, detalhando como foi feita a escolha de cada equipamento para garantir tanto a efetividade quanto a segurança

No quinto capítulo, é definida uma forma estrutural eficaz de montagem dos arranjos, e que possa ser usado tanto para facilitar as conexões no inversor como para servir de toldo de estacionamento para eventual adequação do sistema a localidades como shopping, hipermercados ou condomínios residenciais.

O sexto capítulo é usado para expressar a estimativa de produção energética do sistema, utilizando a ferramenta SunData para análise da irradiação local e algumas referências para estipular as possíveis ineficiências.

O sétimo é usado para calcular os custos financeiros do sistema, tendo como base um orçamento real dos módulos e inversores, e os demais aparatos foram estimados com ajuda de referencia teórica e atualização monetária.

O oitavo foi escolhido para fazer uma divisão percentual da produção de energia, tendo como parâmetro a média de consumo de energia elétrica do nordeste brasileiro, estimando, assim, o custo de cada divisão para uma melhor comparação das cotações com empreendimentos de menor escala. Ademais, estimou-se o provável tempo de retorno do valor pago por cada cota em três diferentes cenários, para efeito de comparação com um empreendimento isolado e de menor escala. Ainda nesse capítulo, foi apresentado o possível lucro nos primeiros 10 anos de funcionamento. A tarifa de energia elétrica e a produção energética foram sendo modificadas anualmente.

O nono foi destinado para a conclusão e elenca as vantagens e desvantagens do uso da geração compartilhada. Por fim, as considerações finais são feitas com sugestões de trabalhos futuros.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com Silva e Guimarães (2012), a evolução da qualidade de vida da sociedade, aferida pelo IDH, está estritamente ligada ao consumo de eletricidade. Ele é um indicador estatístico com três aspectos combinados que tem por objetivo estabelecer um comparativo entre as diversas regiões, países ou mesmo cidades. O índice foi proposto em 1990 pelo economista paquistanês Dr. Mahbub-ul-Haq e seu colega indiano Amartya Sen. Sua finalidade era mudar o centro das políticas públicas de desenvolvimento para as pessoas, uma vez que até estas políticas eram focadas unicamente no desenvolvimento econômico (Mahbub ul Haq, 1996).

O Anexo I mostra o mapa brasileiro escalonado em cores para identificação do IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) que adapta o método global do IDH à conjuntura brasileira e à disponibilidade de dados nacionais. A

partir desse mapa percebe-se os piores resultados nas regiões Norte e Nordeste com o IDHM classificado predominantemente como baixo.

Por outro lado, ainda no Anexo I, encontra-se o mapa com os níveis de irradiação solar do território brasileiro separado por região, o Nordeste tem os melhores indicadores, a irradiação global no plano horizontal é 5,49 kWh/m² e no plano inclinado é 5,52 kWh/m², esses valores são para o período de um dia.

Ademais, o Anexo II exhibe o consumo de energia per capita por região, o Nordeste figurando em último lugar com apenas 1.389 kWh no ano de 2017. A correlação desses dados conduz a uma análise bastante interessante sobre alguns aspectos, por exemplo, a conexão existente entre o índice de desenvolvimento humano e o consumo de energia elétrica. Essa relação nos transmite naturalmente a ideia que a energia é o combustível para o desenvolvimento. Além disso, podemos inferir dessas representações que aquelas regiões brasileiras classificadas mais abaixo na escala do IDH têm claramente ótimos índices de irradiação e com maior possibilidade de acesso a esse recurso, assim sendo possível melhorar a qualidade de vida dessas populações com o investimento em produção de energia elétrica por meio de fonte solar, além de suprir as necessidades energéticas futuras.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo desse projeto é apresentar uma proposta para incentivo e desenvolvimento de produção energética por meio da energia solar. A partir de uma análise de viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema fotovoltaico na modalidade geração compartilhada situado em Teresina-PI, demonstrar os possíveis benefícios do uso do sistema de compensação de energia elétrica por pessoas ou empresas que não possuam espaços otimizados ou que não podem fazer alterações no ambiente ou matriz consumidora.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema fotovoltaico na modalidade geração compartilhada de potência estimada em torno de 1MW_p com autoconsumo remoto em Teresina.

1.2.2 Objetivos específicos

- Colher dados de irradiação solar no local onde será construído o empreendimento.
- Pesquisar sobre as etapas necessárias para solicitar a homologação do sistema junto da distribuidora.
- Analisar em quanto tempo se dará o retorno financeiro em três cenários diferentes.
- Preparar um comparativo indicando as vantagens e desvantagens do sistema de geração compartilhada em relação ao projeto isolado.

1.3 MÉTODO DE PESQUISA

A princípio será feita a pesquisa de referencial teórico, começando pelos fenômenos físicos e químicos, que possibilitam a geração de energia através da irradiação solar, assim como o referencial teórico sobre os componentes do sistema fotovoltaico, como os módulos fotovoltaicos, inversores e transformadores. Fazendo uso de bibliografia especializada, revistas, artigos, internet, site de fabricantes, catálogos e ainda especialistas na área.

Outrossim, detalhar as informações e mudanças nas legislações pertinente ao empreendimento. Além de ser necessário o conhecimento da irradiação solar no local em que o sistema estará localizado, pois estes dados são primordiais para a decisão entre a viabilidade da instalação do projeto fotovoltaico ou não. Os valores de irradiação serão obtidos através do sistema SunData versão 3.0 encontrado no site da CRESESB para as coordenadas (latitude e longitude) do local.

Finalmente, será feito uma análise e comparação dos custos do empreendimento com maior escala e projetos residenciais, elencando as respectivas vantagens e desvantagens de cada situação, buscando identificar qual sistema irá trazer mais vantagens com um custo menor de implantação e operação.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

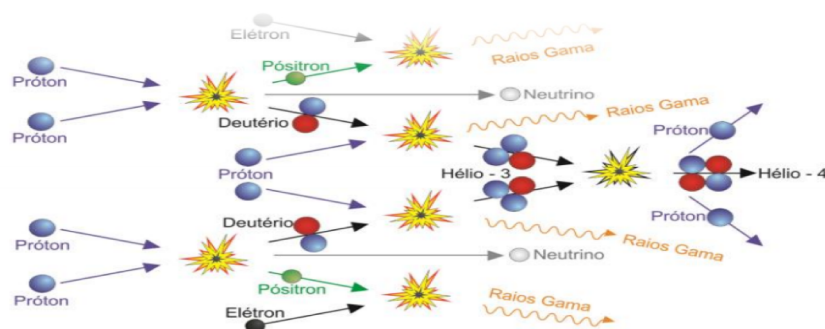
2.1 ENERGIA SOLAR

O sol tem um potencial energético superior a qualquer outra fonte de energia, sendo praticamente inesgotável considerando a escala temporal da vida no planeta Terra. Estima-se que $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia atinja a atmosfera terrestre anualmente, ou seja, a radiação solar é responsável direta e indiretamente pela manutenção de todas as formas de vida, além de possuir um potencial excepcional para captação e conversão em outras formas de energia (Garcia Junior, 2006).

A uma temperatura de aproximadamente $15.000.000^\circ\text{C}$ e uma pressão que chega a $3,44 \times 10^{16} \text{ N/m}^2$ o núcleo do sol tem condições adequadas para que ocorra a fusão nuclear, processo que consiste na união de quatro núcleos de átomos de Hidrogênio transformando-se em um núcleo de Hélio sendo 0,7% menos massivo. A energia produzida no interior do sol leva em torno de um milhão de anos para chegar a fotosfera que é a superfície visível da estrela.

A figura 1 exhibe um processo de fusão do hidrogênio: Os núcleos de hidrogênio, em pares de dois, se unem, derivando um deutério (núcleo de hidrogênio pesado), um pósitron e um neutrino. Os pósitrons por sua vez colidem com elétrons, liberando fótons (raios γ), já os deutérios colidem com prótons gerando um núcleo de hélio leve (trítio) e fótons. Por fim, os dois núcleos de trítio colidem-se formando um núcleo de Hélio-4 que é estável. Esse processo foi proposto pela primeira vez em 1937 pelo físico alemão Hans Albrecht Bethe (1906 - 2005).

FIGURA 1 – Processo de fusão do hidrogênio.



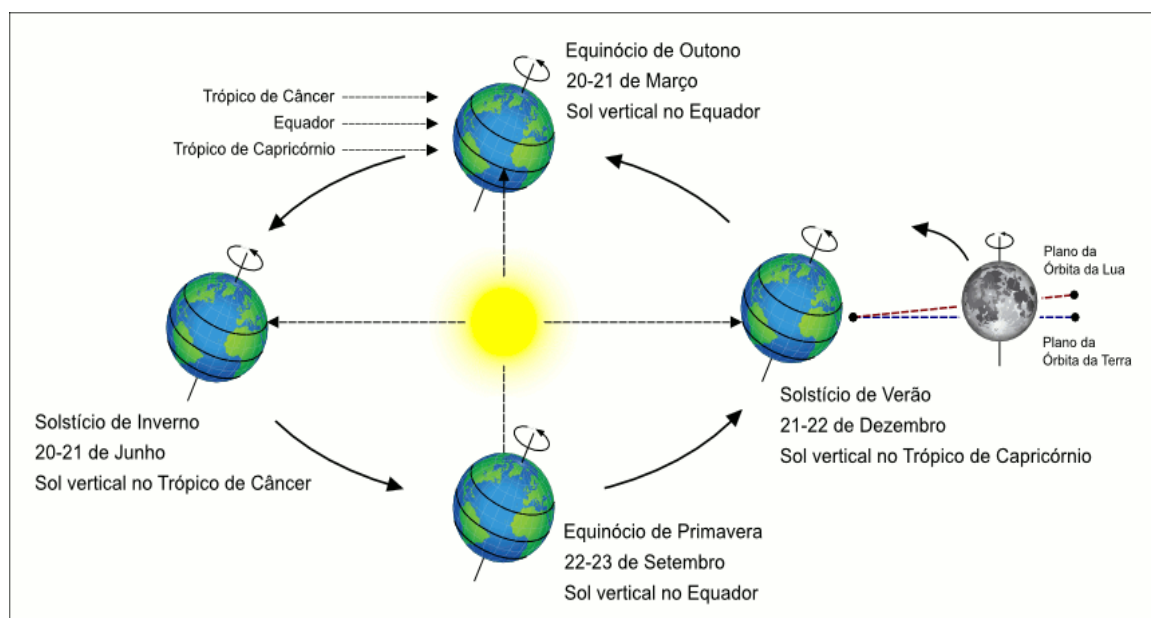
FONTE: Machado (2013)

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar está interligada com alguns conceitos básicos, entre eles, os parâmetros orbitais da terra em relação ao sol. A distância média do planeta azul até o sol é aproximadamente 150 milhões de quilômetros, porém como a trajetória é elíptica, a distância varia entre $1,47 \times 10^8$ km e $1,52 \times 10^8$, o que faz a irradiância solar oscilar entre 1.325 W/m^2 e 1.412 W/m^2 . O valor médio da irradiância solar igual a 1.366 W/m^2 é definido como a constante solar (NREL, 2017).

A energia solar que incide em um ponto qualquer da superfície apresenta mudanças no decorrer do tempo. Isso advém da inclinação média de 23,45 graus do eixo axial imaginário da Terra com relação ao plano orbital. A figura 2 mostra como as diferentes latitudes afetam a duração do dia e como estão relacionadas as estações do ano. O verão, que apresenta dias mais longos, no hemisfério Sul acontece quando o polo Sul está voltado para o Sol. Em contrapartida, o inverno ocorre quando o polo Sul está voltado para a direção oposta. Além da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e período do ano), as condições meteorológicas (temperatura, nebulosidade, umidade relativa do ar, etc.) estão intrinsecamente associados com disponibilidade do recurso energético solar. Isso se deve há alterações ambientais que afetam os processos radiativos de transmissão de energia (Yamasoe, 2016).

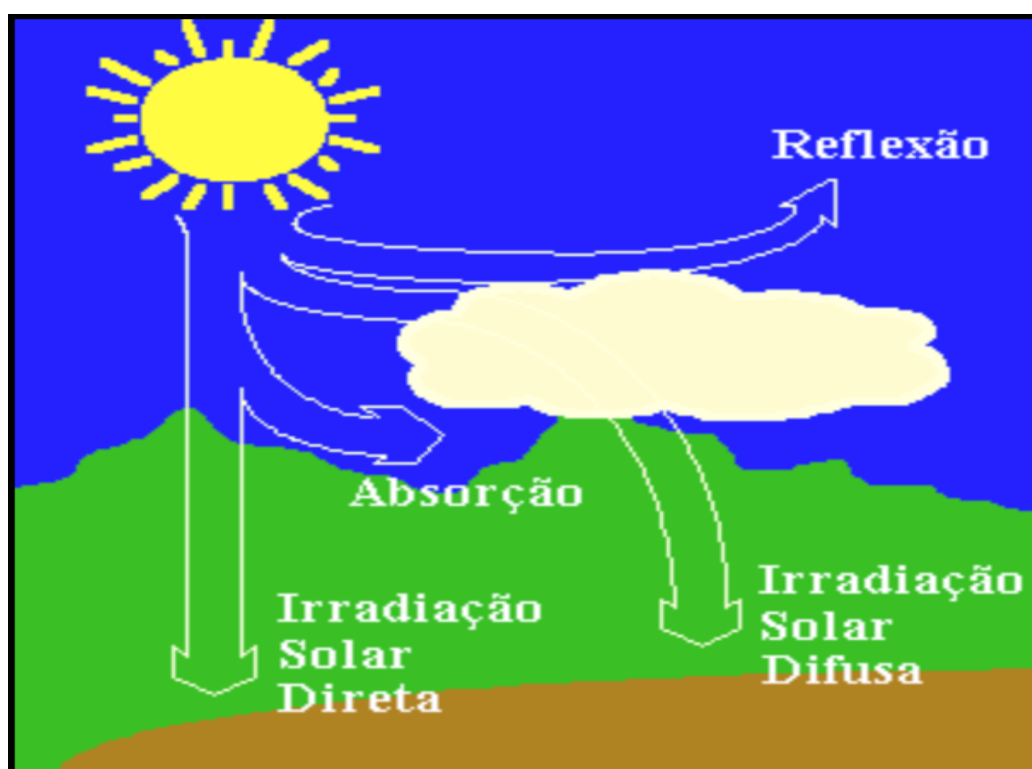
FIGURA 2 – Órbita da Terra em torno do Sol



FONTE: CRESESB.

A energia que incide na superfície da Terra, conhecida como irradiância solar (W/m^2), apresenta duas componentes distintas: direta e difusa. Na componente direta, é transmitida através da atmosfera sem nenhuma interferência. A componente difusa, é decorrente de todas as outras direções. Juntas essas componentes formam o total de energia que alcança a superfície também chamada de irradiância global.

FIGURA 3 – Componentes da Irradiância solar



FONTE: CRESESB.

A irradiação solar (figura 3) é a irradiância associada a um intervalo de tempo específico, comumente uma hora ou um dia, e é mensurada segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT em watt hora por metro quadrado (Wh/m^2). Ou seja, é uma determinada quantidade de radiação solar por unidade de área.

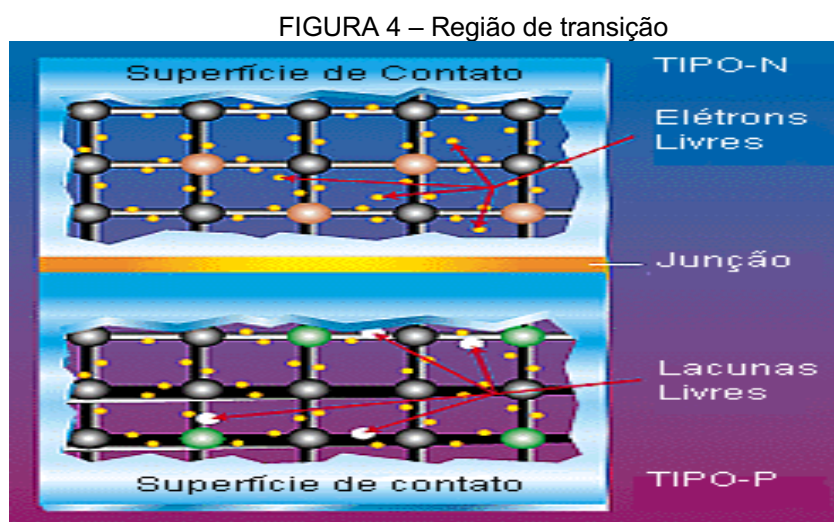
2.3 EFEITO FOTOVOLTAICO

A energia solar fotovoltaica é colhida por meio da conversão da energia solar em eletricidade através de materiais semicondutores cujo fenômeno atribui-se o nome de Efeito Fotovoltaico. Esses semicondutores são materiais que transportam eletricidade de forma mais eficaz que os isolantes e menos do que os condutores. A célula de silício cristalina é a mais comum. Atualmente, cerca de 95 % de todas as

células solares do mundo são de silício. Numa posição próxima do oxigênio, é o segundo elemento químico mais frequentemente utilizado na Terra, apresentando uma disponibilidade quase ilimitada. Entretanto, ele não existe na natureza como um elemento químico isolado, apenas associado à areia de sílica.

Seus átomos possuem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionar, a esta rede, átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, haverá um elétron em excesso, fragilmente ligado ao átomo. Logo, com pouca energia, pode-se deslocá-lo para a faixa de condução. O fósforo nessa aplicação é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante **n** ou impureza **n**.

Se, em contrapartida, forem introduzidos átomos com três elétrons de ligação, por exemplo, o boro, a rede cristalina terá uma deficiência de elétron para atender as ligações com os átomos de silício. Esta deficiência de elétron é denominada buraco ou lacuna, necessitando de pouca energia térmica para que um elétron próximo ocupe esta posição, por consequência a lacuna se desloca. Portanto, nessa situação, o boro é um dopante receptor de elétrons e designa-se dopante **p** ou impureza **p**. Se juntarmos as camadas dos semicondutores **n** e **p** impuros, produziremos uma região de transição **pn** (figura 4). Isso leva à difusão dos elétrons do semiconductor **n** para o semiconductor **p** na junção.

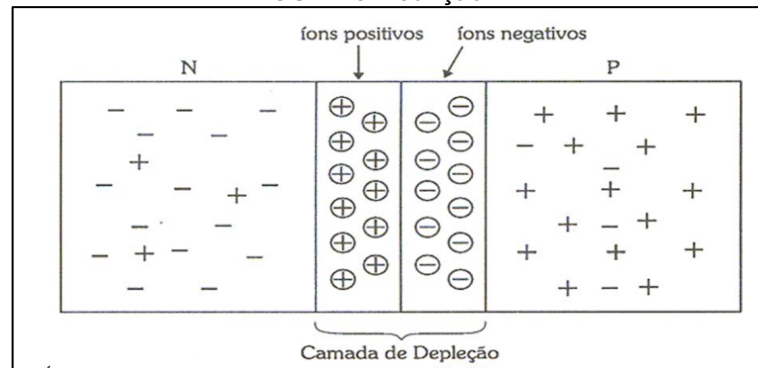


FONTE: UFPR.

Originando, assim, uma nova área com alguns portadores de carga (figura 5), denominada por camada de depleção ou barreira de potencial. Na região **n** da área de transição, os átomos dopantes positivos são expelidos para o lado oposto, acontecendo de modo semelhante com os negativos na área **p**. É criado um campo

elétrico que se mantém contrário ao movimento dos portadores de carga. Por este motivo a difusão não consegue manter-se em equilíbrio infinitamente.

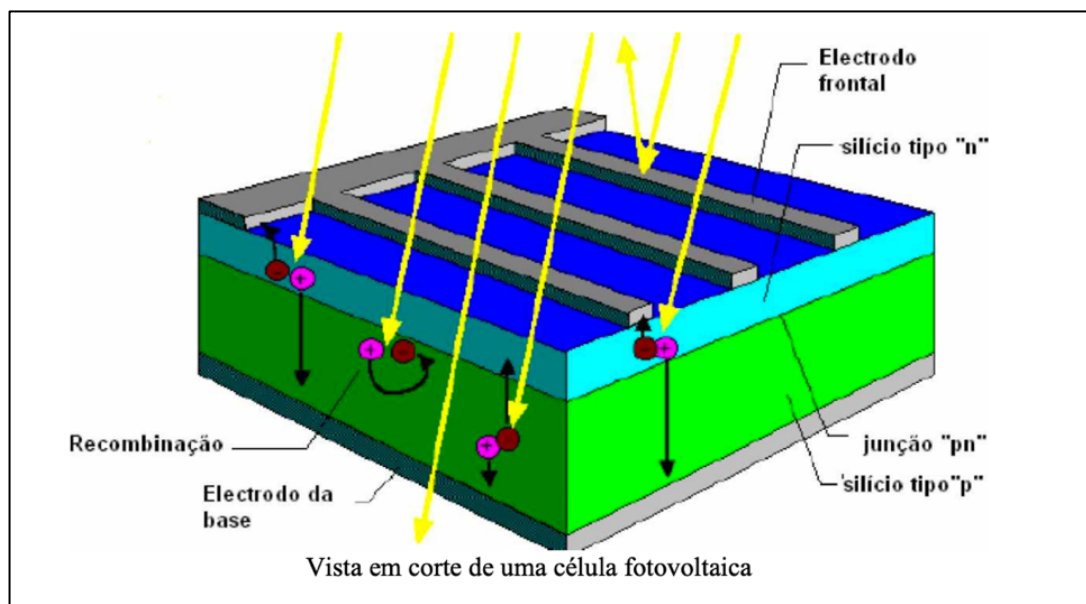
FIGURA 5 – Junção PN



FONTE: Autoria própria.

Um semicondutor do tipo **pn** também designado de célula solar quando exposto à luz, os fótons dos raios luminosos são absorvidos pelos elétrons, o que faz quebrar as ligações existente entre eles devido ao fornecimento de energia. Os elétrons libertados são transportados por meio do campo elétrico para a área **n**. As lacunas assim criadas seguem na direção oposta para a região **p**. Todo este processo é batizado por efeito fotovoltaico. A transmissão dos portadores de carga em direção aos contatos elétricos, cria uma tensão no limite da célula solar. Se não estiver ligada a nenhuma carga, é obtida a tensão de circuito aberto na célula solar. Se o circuito elétrico estiver fechado, a eletricidade pode fluir.

FIGURA 6 – Representação de uma célula solar



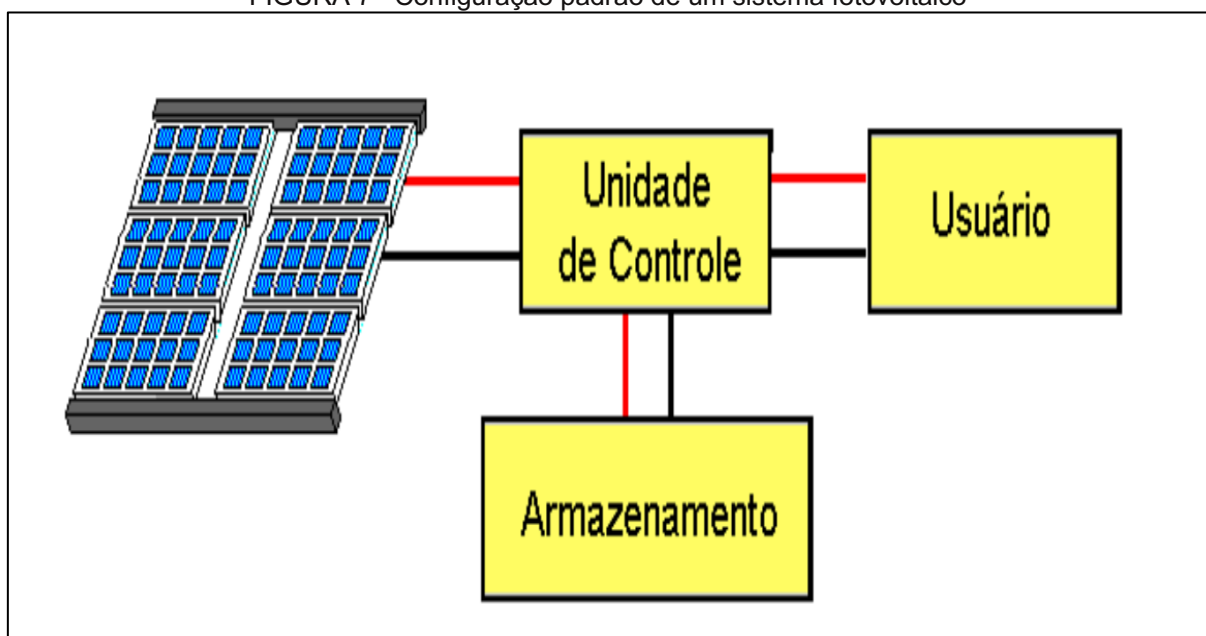
FONTE: Freitas, 2008.

Uma célula solar pode ser observada na figura 6, ela é composta de uma grande superfície de uma camada fina de material tipo **n** e outra com maior espessura de material tipo **p**. A incidência da luz solar numa junção **pn** de silício transfere a energia dos fótons para os elétrons fazendo com que estes saltem da banda de valência para a banda de condução e formando assim pares elétrons-lacunas susceptíveis de se moverem na junção. Devido ao campo elétrico gerado na junção **pn**, os elétrons são orientados a fluir da camada "**p**" para a camada "**n**".

2.4 SISTEMAS E APLICAÇÕES FOTOVOLTAICOS

Um sistema fotovoltaico é basicamente um aglomerado de equipamentos interligados que compõem um circuito elétrico e possibilitam gerar energia elétrica, disponibilizando-a para os equipamentos consumidores de forma estabilizada e padronizada. Eles são classificados de acordo com o modo de consumo e local onde será implantado. Existem duas categorias distintas: sistemas isolados e sistemas conectados à rede. Entretanto, os dois sistemas compartilham de uma mesma configuração básica onde deverão apresentar uma unidade de controle de potência bem como um conjunto de módulos, diferenciando-se na forma de armazenar a energia elétrica (Figura 7).

FIGURA 7– Configuração padrão de um sistema fotovoltaico



FONTE: CRESESB, 2006.

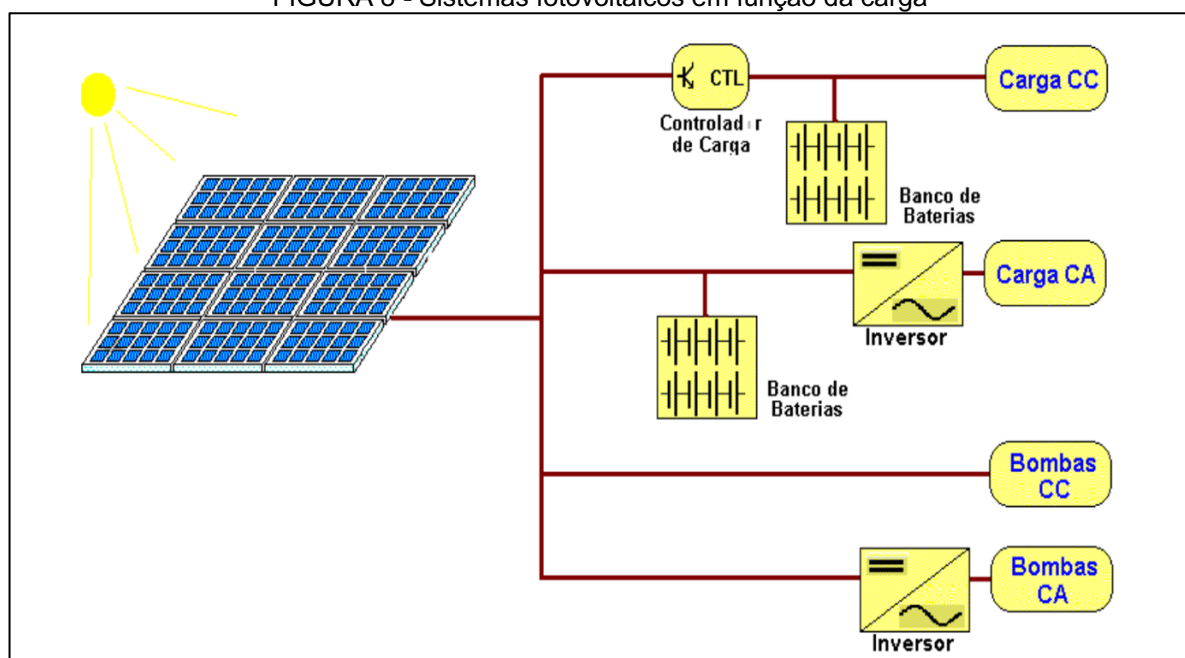
2.4.1 Sistemas Isolados

Sistema fotovoltaico isolado, também conhecido como sistema fotovoltaico *off-grid* (do inglês: fora da rede). Geralmente, esses sistemas empregam algum tipo de armazenamento energético. Este armazenamento é feito por meio de baterias quando se pretende empregar aparelhos elétricos ou armazenamento na forma de energia gravitacional no momento em que se bombeia água para reservatórios suspensos. Alguns sistemas isolados, todavia, não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida (Figura 8).

Nos sistemas que carecem de armazenamento energético em baterias, utiliza-se um aparelho para controlar a carga e a descarga da bateria: o “controlador de carga” é empregado para que não haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC) (CRESESB).

Quando deseja-se alimentar equipamentos de corrente alternada (CA) é indispensável a instalação no sistema de um instrumento chamado inversor. Este aparelho geralmente agrupa um seguidor de ponto de máxima potência necessário para otimização da potência final produzida. Este tipo de sistema é usado quando se deseja mais versatilidade na utilização de eletrodomésticos convencionais.

FIGURA 8 - Sistemas fotovoltaicos em função da carga



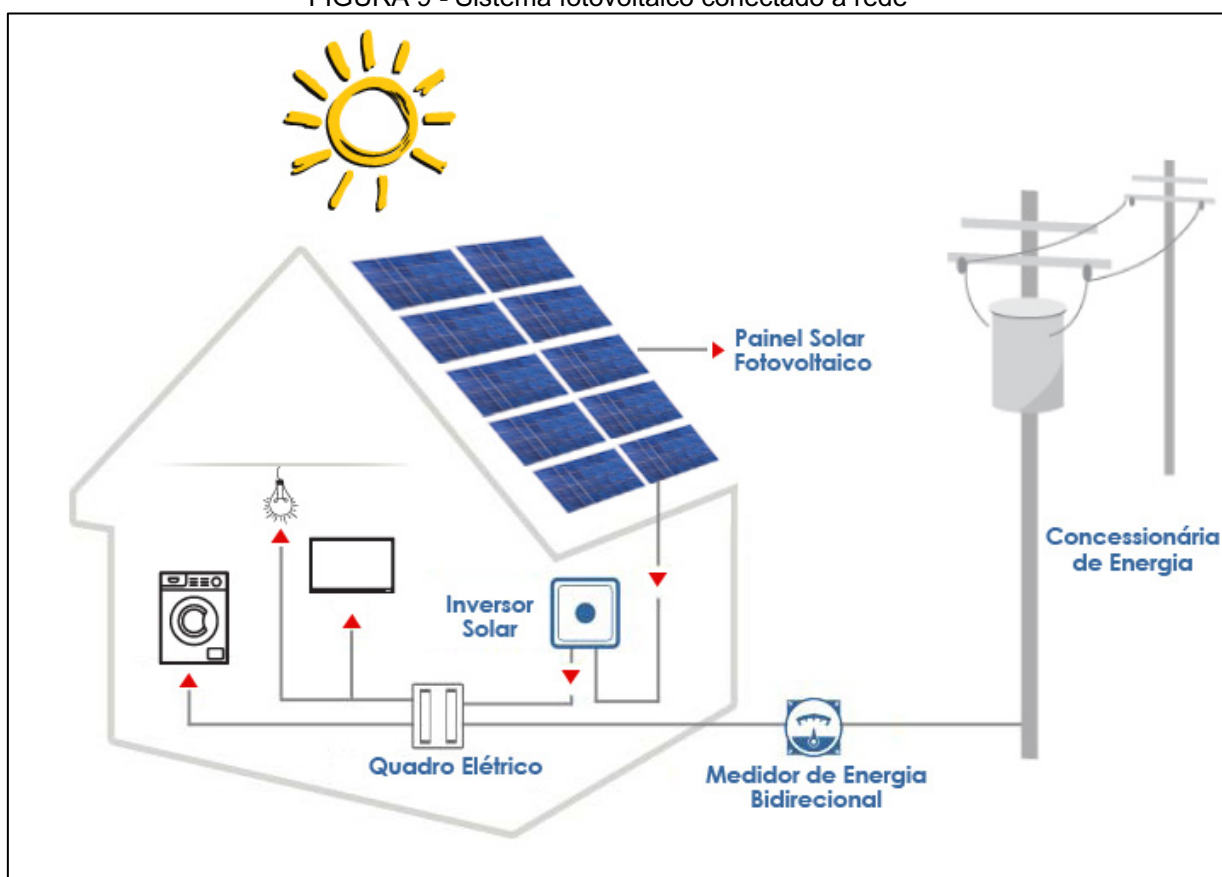
FONTE: CRESESB.

2.4.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a rede (SFCR)

Sistema fotovoltaico conectado a rede ou sistema *on-grid* (do inglês: ligado a malha). São instalações teoricamente menos onerosas por não se utilizar de bancos de baterias. Segundo Green (2004), a redução total dos custos pode chegar a 30% em relação ao sistema isolado. Além de descartar a necessidade de manutenção ou trocas de baterias, esse sistema pode ser dimensionado de forma mais eficiente, pois o sistema off-grid deve ser dimensionado levando em consideração o pior caso de oferta solar e a sazonalidade da região que está sendo instalado o que acarreta geralmente em superdimensionamentos e gastos expressivos.

Este sistema concebe uma fonte complementar ao sistema elétrico do qual está conectado. Toda a malha de painéis é ligada a inversores que são conectados diretamente na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada (Figura 9).

FIGURA 9 - Sistema fotovoltaico conectado a rede



FONTE: Soligado.

2.5 COMPONENTES DE UM SFCR

Um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica é composto por múltiplos itens, como painéis solares, sistema de fixação, conversor do tipo CC-CA (inversores), diodos de *bypass* e diodos de bloqueio, fusíveis, disjuntores, cabos elétricos, terminais, proteções contra descargas atmosféricas e caixas de conexão. Porém, nesse trabalho será comentado com detalhes apenas os módulos e inversores por afetar sensivelmente a eficiência e os custos do projeto.

2.5.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos fotovoltaicos são, indubitavelmente, uns dos componentes que mais influenciam na eficiência do sistema, é a unidade básica, e por esta razão, o seu funcionamento célula-a-célula limitará a capacidade de geração de todo o projeto. Para que se opere em um ponto perfeitamente otimizado, o dimensionamento dos painéis deve ser o mais acertado possível, considerando as particularidades que restringem ou amplificam a taxa de conversão de luz solar em energia elétrica. Sua representação em projetos é mostrada logo abaixo na Figura 10.

FIGURA 10 - Representação elétrica de um módulo fotovoltaico



FONTE: Autoria própria.

2.5.1.1 Parâmetros elétricos dos módulos

O principal parâmetro que norteia a escolha de um módulo fotovoltaico é sua potência nominal ou potência máxima de operação, comumente representado na unidade watt-pico (W_p). Entretanto, outras características devem ser levadas em consideração na escolha:

- **Tensão de circuito aberto (V_{oc})**

A tensão de circuito aberto (V_{oc}) é obtida nos terminais do módulo quando não há corrente elétrica circulando, geralmente isso ocorre em uma desconexão com

qualquer equipamento ou quando há algum problema no circuito. Nesse sentido, é a maior tensão que o módulo pode produzir. Esse parâmetro, entre outros, é indicado por algumas literaturas para a determinação do número máximo e mínimo de módulos ligados em série.

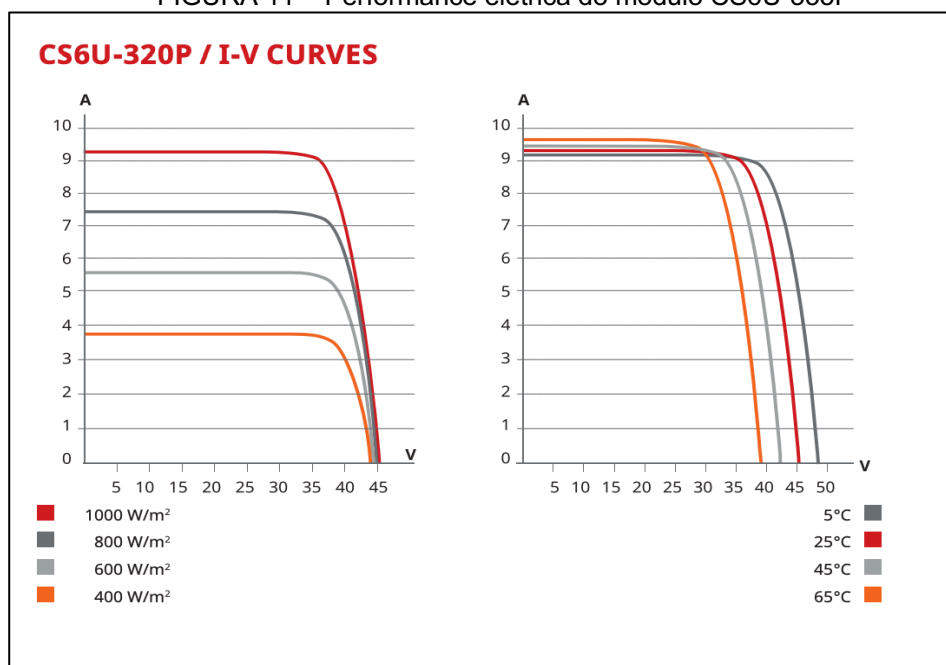
▪ Corrente de curto circuito (I_{sc})

A corrente de curto circuito é encontrada quando os terminais do módulo estão em curto circuito, ou seja, o valor da tensão é zero. Esse parâmetro representa a máxima corrente que pode ser medida no módulo.

▪ Curva característica I x V

A potência elétrica produzida por um painel solar é encontrada através de um gráfico denominado curva característica I x V. A multiplicação desses dois parâmetros é que define a potência do módulo naquela determinada condição, logo esses dois fatores são diretamente proporcionais a produção de potência. Entretanto, eles são limitados de um lado pela tensão de circuito aberto e por outro pela corrente de curto circuito. Na Figura 11, retirada da folha de informação de um módulo real, pode-se facilmente observar que na curva I x V existem dois pontos que zeram a obtenção de potência.

FIGURA 11 – Performance elétrica do módulo CS6U-335P



FONTE: CANADIAN SOLAR, 2017.

2.5.1.2 Condições que afetam os parâmetros elétricos

Existem alguns fatores naturais que influenciam severamente a produção de energia de um módulo fotovoltaico. Dentre eles, a irradiação solar tem uma grande influência, pois é a energia que incide naquela determinada área, sua unidade representativa é o W/m^2 . Ela é diretamente proporcional a corrente de saída no módulo, portanto quanto menor a irradiância menor a corrente, conforme mostra o decréscimo no gráfico à esquerda na Figura 11.

Os painéis fotovoltaicos variam na sua sensibilidade aos diversos níveis espectrais da radiação incidente, dependendo da tecnologia empregada e do material utilizado na fabricação da célula. O silício monocristalino, por exemplo, possui máxima absorção de energia próximo ao comprimento de onda de 500 nm, já o silício amorfo possui a máxima sensibilidade próximo do comprimento de onda de 900 nm. Isso faz com que nem toda energia solar incidente seja aproveitada (Zelles; et al.,2012, p.208).

Consequentemente, toda a energia solar presente nos outros comprimentos de onda se converterá basicamente em calor dentro dos painéis. Esse calor faz a temperatura da célula solar subir, esse aumento de temperatura é inversamente proporcional à tensão de saída da mesma, ou seja, a medida que aumenta a temperatura de operação há uma redução na tensão de saída. A situação é expressa pelo gráfico à direita na Figura 11.

Logo, as células geram em condições ideais (sob irradiação solar de 1000 W/m^2 e a célula à temperatura de 25°C) densidades de corrente da ordem de 32 mA/cm^2 em tensões entre 0,46V e 0,48V (Zelles; et al.,2012, p.208). Elas são agrupadas em associações em série e paralelo com o intuito de obter o melhor dimensionamento de corrente e tensão.

2.5.1.3 Tecnologias das células solares

A tabela a seguir apresenta as tecnologias mais comuns utilizadas no mercado global, todas produzidas a partir do silício. Entretanto, cada uma apresenta características físicas e processo de fabricação distintos, impactando na eficiência e, consequentemente, no seu valor final. As células monocristalinas têm um processo de fabricação mais complexo e dispendioso, porém proporcionam maior eficiência dentre os materiais mencionados e, por isso, são mais onerosas. No entanto, por

oferecerem o melhor custo-benefício, as células policristalinas são as mais difundidas no mercado global. Já o Silício Amorfo, apresenta custo de produção bem mais reduzido em relação às outras tecnologias citadas, sendo essa sua principal vantagem (DIAMANDIS, 2014).

TABELA 1 – Tipos de módulos fotovoltaicos de Silício

Tipo de Módulo	Eficiência	Imagem
Monocristalino	14-20%	
Poli ou Multicristalino	11-19%	
Amorfo	6-9%	

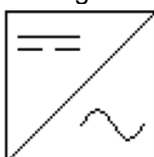
FONTE: Autoria própria.

2.5.2 Inversores

O inversor é o componente que tem como função principal a conversão da energia gerada pelo sistema fotovoltaico de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), criando uma frequência elétrica alinhada a da rede local, com baixo teor de harmônicos e onda de forma senoidal. Os inversores de última geração são equipados com circuitos microprocessados visando otimizar a geração de energia elétrica com rápida atuação sobre a geração dos módulos solares (RÜTHER, 2004, p. 204).

Abaixo a representação gráfica dos inversores em projetos elétricos:

FIGURA 12 - Simbologia elétrica do inversor



FONTE: Autoria própria

Existem, essencialmente, dois grandes subgrupos de inversores: os inversores conectados à rede e os inversores autônomos. O primeiro é voltado para os chamados SFCR, ao passo que o segundo é voltado para sistemas isolados, logo, cada um tem uma aplicação distinta e com isso algumas peculiaridades.

Também conhecidos como *Grid-tie* ou *Grid-Connected* os inversores de rede têm um papel de gerenciamento da energia oriunda dos painéis, ele injeta essa energia diretamente no quadro de distribuição. Durante o dia, com luz solar, ele consegue discernir se precisa ou não de potência da rede elétrica ou se, por exemplo, a produção da energia está além da consumida, realizando, assim, o envio desse excedente à rede exterior. É importante evidenciar outra grande função desse aparelho, denominada de proteção anti-ilhamento: quando não há fornecimento de energia elétrica da rede exterior, proposital ou por falha, ele impede a passagem de potência elétrica dos módulos para ao quadro de distribuição, essa é uma medida de segurança da rede. Dessa forma, ocorrendo falta de energia elétrica, o sistema fotovoltaico não garantirá o suprimento durante essa queda.

Ademais, esses inversores são equipados com um controle eletrônico chamado de MPPT – *Maximum Power Point Tracker*. Esse mecanismo tem a função de buscar a melhor relação entre o produto da corrente pela tensão de cada arranjo, encontrando um ponto que maximize, para determinadas condições naturais de temperatura e irradiação, a produção de energia elétrica.

Os inversores isolados, por outro lado, têm microssistemas que auxiliam no armazenamento de energia nos bancos de baterias, eles geralmente necessitam de proteções extras contra grandes variações de tensão ou até mesmo descargas dessas baterias. Abaixo uma imagem com exemplos de inversores para melhor identificação.

FIGURA 13 – Inversores de Corrente



FONTE: Portal Solar.

A tensão elétrica na entrada de um inversor é dependente do número de módulos conectados em série formando uma fileira ou *string*, por outro lado a corrente elétrica de entrada é determinada pelo número total de *strings* em paralelo. Potências inferiores a 4,6 kW podem converter a energia CC em monofásica e a interligação com a rede de distribuição ocorre de maneira direta (REMMERS, 2013).

A escolha do inversor deve ser perpetrada de forma cuidadosa e pautada na análise minuciosa de cada projeto, pois segundo o Centro de Energia Solar da Flórida – FSEC, um diferencial de 1% na eficiência do inversor pode resultar 10% a mais em energia gerada ao longo de um ano.

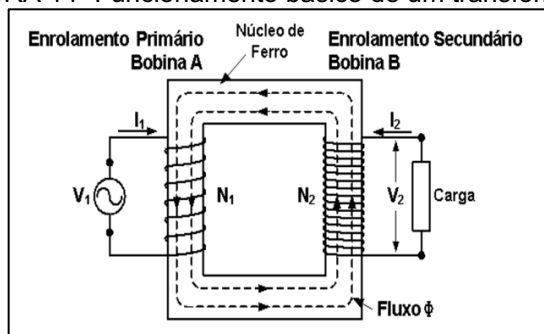
Outro ponto importante sobre esses aparelhos diz respeito à vida útil, pois não é a mesma dos módulos fotovoltaicos e opera na maioria das vezes sem apresentar falhas entre 10 a 12 anos de uso contínuo. Após este período manutenções pontuais podem ser necessárias. O local de instalação deve ser limpo e ventilado, sendo indispensável para dissipar o calor gerado na conversão de energia na forma de corrente alternada (REMMERS, 2013).

2.5.3 Transformador elevador

Um transformador de potência é, basicamente, um equipamento composto por duas bobinas enroladas em um núcleo. Esses enrolamentos ou bobinas são chamados de primário ou secundário dependendo da posição no acoplamento. O enrolamento primário se conecta a uma fonte de corrente alternada, criando um fluxo eletromagnético que é transmitido ao enrolamento secundário através do núcleo.

Consequentemente, controla-se a tensão de saída a partir da tensão que entrou no transformador. Esse controle é realizado de acordo com a proporção de espiras, isto é, número de voltas que cada bobina dá em torno do núcleo.

FIGURA 14- Funcionamento básico de um transformador



FONTE: Brasil Escola.

Sistemas fotovoltaicos geralmente são conectados a transformadores elevadores que têm a função de aumentar a tensão originária do sistema, esse aumento é determinado pela tensão da rede que se deseja conectar.

2.6 LEGISLAÇÕES PERTINENTES E INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS

A geração de eletricidade por fontes menos agressivas ao meio ambiente vem sendo estimulada no Brasil. Em decorrência do país proporcionar alternativas de produção de energia elétrica independentes de combustíveis fósseis, os incentivos não são da mesma magnitude daqueles verificados em outros lugares do globo, já que esses países necessitam de tais incentivos por não possuírem naturalmente essa diversidade de energia limpa tal qual o território Brasileiro.

Em contrapartida, o Brasil precisa diversificar sua matriz energética para ser menos dependente das hidrelétricas. Com isso, os incentivos na geração de energia através de fonte solar (em sua maioria, fiscais) são dos mais variados, dentre os quais é possível citar:

- I. Descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD);
- II. Venda Direta a Consumidores;
- III. Sistema de Compensação de Energia Elétrica para a Microgeração e Minigeração Distribuídas;
- IV. Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS);
- V. Redução de Imposto de Renda;
- VI. Condições Diferenciadas de Financiamento;
- VII. Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO):

Entre essas medidas de incentivos citadas pode-se destacar a criação do sistema de compensação de energia elétrica que teve seu esboço em meados do ano de 2010 com a consulta pública nº 15/2010 da ANEEL, fato que culminou na Resolução Normativa - REN nº 482, de 17/04/2012. Essa resolução foi o marco inicial e estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica correspondente.

Com o passar do tempo foi possível perceber alguns pontos da norma que careciam de aperfeiçoamento, como, a possibilidade de instalar a unidade geradora em local diferente da unidade consumidora. Resultando na Resolução Normativa - REN no 687/2015.

2.7 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Pode-se definir a geração distribuída como uma instalação geradora de eletricidade, encontrada adjacente ao consumidor final, que tem por objetivo principal suprir o consumo do responsável pela instalação, porém podendo produzir energia além do necessário, energia essa que será comercializada para outros consumidores por meio da rede de distribuição elétrica. Apesar do foco ser a energia solar, é válido destacar que o conceito de geração distribuída compreende outras fontes geradoras de potência elétrica.

A geração distribuída traz inúmeros benefícios, a produção de energia elétrica próximo ao consumo reduz significativamente o custo com transmissão e distribuição, além de reduzir as perdas ôhmicas e perdas no transporte. Em contrapartida, na maioria das vezes pode não coincidir os períodos de disponibilidade de energia com a demanda instantânea, precisando, nesses casos, de um meio de armazenamento.

Dessa forma, o sistema de compensação de energia elétrica possibilita a instalação de centrais geradoras a um maior grupo de pessoas, pois extingue a necessidade de armazenamento físico e a obrigação de consumir a energia ao mesmo tempo que está sendo produzida.

A regulamentação desse sistema foi extremamente importante para o setor de produção de energia solar. A Resolução 687/2015 preceitua alguns conceitos que são base para a produção desta monografia:

Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2016, p. 9).

Consequentemente, a partir de 2015, tem-se a possibilidade de criação de um projeto de até 5MW, classificado como minigeração distribuída, classificação essa que

garante a produção de energia elétrica sem a necessidade de arcar com a distribuição e nem a obrigação de armazenamento em baterias, pois a rede da distribuidora desempenha essa função.

2.8 PRÉ-REQUISITOS PARA ACESSO À REDE ELÉTRICA

Em decorrência do empreendimento ser ligado à rede elétrica, ele deverá respeitar algumas normas técnicas e padrões relacionados ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Essas normas são estabelecidas e divulgadas pela ANEEL em documentos chamado de PRODIST (Procedimentos de Distribuição). Abaixo é apresentado um quadro (Quadro 1) retirada do módulo 3 do PRODIST, nele são discriminados os requisitos para o acesso da minigeração distribuída à rede elétrica.

QUADRO 1 – Requisitos mínimos em função da potência instalada

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	Menor ou igual a 75 kW	Maior que 75 kW e menor ou igual a 500 kW	Maior que 500 kW e menor ou igual a 5 MW
Elemento de desconexão	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim	Sim	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Sim	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim	Sim	Sim
Anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim
Medição	Sistema de Medição Bidirecional	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

FONTE: PRODIST – ANEEL.

Ainda no módulo 3, seção 3.3 do PRODIST, para efeito de acesso e estabelecimento das proteções mínimas necessárias para o ponto de conexão de centrais geradoras, são consideradas as faixas de potência indicadas no Quadro 2.

QUADRO 2 – Níveis de tensão considerados para conexão de centrais geradoras

Potência Instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão
10 a 75 kW	Baixa Tensão
76 a 150 kW	Baixa Tensão / Média Tensão
151 a 500 kW	Baixa Tensão / Média Tensão
501 kW a 10 MW	Média Tensão / Alta Tensão
11 a 30 MW	Média Tensão / Alta Tensão
> 30 MW	Alta Tensão

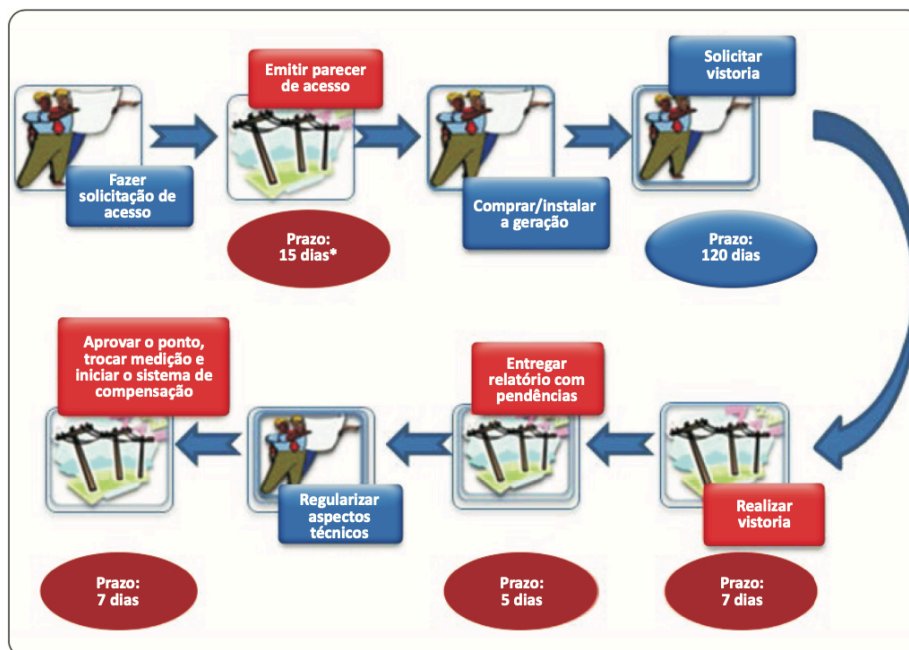
FONTE: PRODIST – ANEEL.

2.9 PROCEDIMENTOS DE ACESSO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Na seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST é explicado as formas e processos para garantir o acesso das centrais geradoras à rede de distribuição. O primeiro passo para solicitar esse acesso é o preenchimento e envio à distribuidora dos formulários que estão no Anexo III (sistemas < 10kW) e Anexo IV (sistemas ≥ 10kW). Caso os formulários e eventuais documentos estejam incompletos, a empresa acessada deve recusar o pedido e notificar o acessante a respeito de todas as informações pendentes, devendo o acessante realizar uma nova solicitação após a regularização das pendências identificadas.

Estando a documentação de solicitação livre de irregularidades, a distribuidora deverá emitir o parecer de acesso, que é um documento protocolar obrigatório, sem ônus para o acessante, onde tem todas as informações e condições para o acesso, a exemplo, os requisitos mínimos que a central geradora deverá possuir para conexão das instalações do acessante, além dos respectivos prazos.

FIGURA 15 – Procedimentos e etapas de acesso.



FONTE: Cadernos temáticos ANEEL.

A distribuidora acessada tem prazos para elaboração do parecer, eles dependem da classificação da central geradora: 15 dias se for microgeração e 30 dias para minigeração. Esses prazos são o dobro nos casos em que há necessidade da realização de obras no sistema de distribuição acessado. Ademais, destaca-se que incumbe à distribuidora o papel de coletar as informações das unidades geradoras para envio desses dados à ANEEL para fins de Registro.

A Figura 15 apresenta mais detalhes sobre o passo-a-passo das etapas após a solicitação de acesso. Enfatiza-se que os quadros em azul é de responsabilidade do requerente e os quadros em vermelho ficam a cargo da distribuidora e os prazos elencados são referentes a microgeração distribuída

2.10 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

O sistema de Compensação de Energia Elétrica, também conhecido como *net-metering*, trazido pela Resolução Normativa 482/2012, foi uma revolução admirável no setor energético. Esse sistema admite a injeção de excedentes na rede distribuidora, como forma de armazenamento, para que possa ser usado em outro momento.

Caso a energia produzida em um determinado mês seja maior que a consumida, tem-se a criação de créditos mensurados em kWh que deverão ser abatidos em outro posto tarifário (a exemplos dos acessantes com tarifa horária) ou nas faturas subsequentes, esses créditos têm validade de até 60 meses.

A revisão do regulamento feita em 2015 trouxe ainda a possibilidade de o consumidor empregar esses créditos em outras unidades da mesma área de concessão. Possibilitando esse abatimento de três formas possíveis: autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios). Abaixo a definição desses termos citadas pela própria norma (687/2015):

Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2016, p.15).

Autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2016, p.15).

Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento(ANEEL, 2016, p.16).

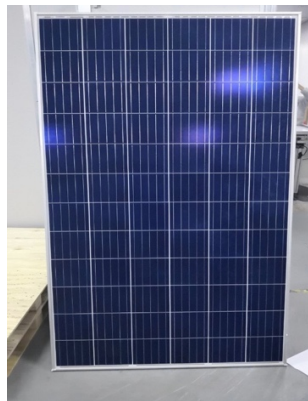
É possível destacar dos trechos que a edição da norma trouxe a possibilidade de agrupar diversos consumidores em um mesmo empreendimento de geração de energia solar, sendo compartilhado entre as partes os custos e a produção dessa energia. Nessa situação, o excedente será passado em forma de crédito para reduzir os gastos com a conta de luz dos cooperados, consorciados ou integrantes de um condomínio solar, até mesmo quando as unidades consumidoras estiverem distantes das unidades geradoras, porém sendo necessário que elas estejam na mesma área de concessão.

Ressalta-se que não é possível reduzir a zero o valor de uma fatura de energia elétrica, pois há a necessidade do pagamento de um valor mínimo, chamado custo de disponibilidade, que depende do número de fase da instalação. Para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), o custo dessa disponibilidade é equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A) será devida apenas a parcela da fatura correspondente à demanda contratada.

3. SELEÇÃO DOS INVERSORES E MÓDULOS

O primeiro passo foi a escolha do painel solar que integrará o sistema, para isso fez-se uma prévia seleção de alguns modelos. Por intermédio do site Alibaba, foi contatado algumas empresas para orçamentos de diversos módulos. O módulo fotovoltaico escolhido para este projeto é da Sunpal Power Co. composto por silício policristalino, modelo SP340P6-72 com dimensões de 1960mm x 922mm, sem certificação do INMETRO, vendido pela própria empresa, com um custo de USD 0,176/W. As especificações técnicas completas deste equipamento encontram-se no Anexo V. A Figura 16 exibe a imagem do módulo fotovoltaico:

FIGURA 16 – Imagem do módulo Sunpal modelo SP340P6-72



FONTE: Sunpal, 2020.

3.1 DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DE MÓDULOS

Esse sistema solar vai ser estimado em torno de 1MW_P por apresentar um melhor custo benefício, pois projetos com potências superiores, podem apresentar problemas devido à demora na atualização das leis de alguns estados, que podem ainda não reconhecer potências superiores a essa como minigeração distribuída.

O passo seguinte é a definição da quantidade total de módulos, para determinar esse valor, é imprescindível conhecer a potência de cada módulo e a potência máxima que se deseja gerar com sistema fotovoltaico, de acordo com a especificação técnica do Anexo V, o módulo escolhido apresenta potência de 335Wp, e com o auxílio da equação abaixo, calcula-se a quantidade:

$$Q_{\text{módulos}} = \frac{P_{FV}}{P_{\text{módulo}}} \quad (I)$$

Onde:

$Q_{\text{módulos}}$: Quantidade de módulos necessária para gerar a PFV;

P_{FV} : Potência do sistema fotovoltaico (kW_p);

$P_{\text{módulo}}$: Potência de um módulo fotovoltaico.

$$Q_{\text{módulos}} = \frac{1000}{0,335} (KW) = 2985 \text{ painéis}$$

Porém, para facilitar a configuração dos arranjos mais adiante (item 4.3), foi escolhido a quantidade de 2983 módulos que juntos chegam a uma potência máxima de 999,3 kW_p.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR SOLAR

Segundo Ruther (2004), anteriormente os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica empregavam, independentemente do seu tamanho, inversores unitários, projetados para suprir a potência total. Atualmente, é preferível a utilização de vários inversores idênticos e de menor potência conectados em paralelo para suprir a demanda de potência dos módulos.

O dimensionamento do inversor será feito por meio de um coeficiente denominado Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI), que na prática é a divisão entre a potência nominal em corrente alternada do inversor (PotN_{ica}) e a potência global do SFCR, representado na Equação II:

$$FDI = \frac{PotN_{ica}}{PotSFCR} \quad (II)$$

Em razão da irradiância solar não ser constante, é interessante que o dimensionamento do inversor seja feito para que o equipamento não trabalhe por muito tempo em potências excessivamente abaixo da nominal e nem seja sobrecarregado. Assim, a faixa indicada de FDI é entre 0,7 e 1,20 - ou como preceitua Barros, 2011, em sua monografia:

$$Pot_{SFCR} * 0,7 < PotN_{ica} < Pot_{SFCR} * 1,2$$

Para esse projeto, foi escolhido o inversor da linha MAX da marca Growatt, modelo MAX 60KTL3 LV, pelos seguintes motivos: não contém transformador conjugado o que aumenta a eficiência, apresenta monitoramento das *strings* por conexão WIFI e 6 MPPT (seguidor do ponto de máxima potência) e podendo adicionar 2 (duas) *strings* por MPPT. As informações técnicas do inversor estão expostas na Tabela 2. Além disso, as especificações completas referentes ao inversor escolhido estão no Anexo VI.

TABELA 2 - Informações básicas do inversor MAX 60KTL3 L

PARÂMENTROS	ESPECIFICAÇÕES
Eficiência	98,80%
Max. Potência de entrada (DC)	78000 W
Max. Potência de saída (AC)	60000 W
Max. Voltagem em DC	1100 V
Max. Corrente por MPPT	25A
Número de MPPT/ Fileira por MPPT	6/2
Intervalo de operação do MPPT	520V – 850V
Peso (Kg)	82

FONTE: Autoria própria.

Para garantir que a potência integral do arranjo de painéis fotovoltaicos seja suprida são necessários 16 exemplares do inversor acima citado, totalizando uma potência nominal de saída em corrente alternada (AC) de 960 kW. Apesar da potência total dos painéis na entrada do inversor estarem um pouco acima da potência nominal na saída do inversor, o fator de dimensionamento do inversor está na faixa indicada (ZILLES,2012).

$$FDI = \frac{960}{999,3} \text{ (kW)} \cong 0,96$$

3.3 TRANSFORMADOR

Nos casos em que o projeto apresenta potência superior a 75kW o PRODIST no seu módulo 3 condiciona a inclusão de uma subestação. Para essa subestação, o

transformador escolhido foi o modelo Geafol, fabricado pela Siemens. Por trabalhar a seco, a marca afirma que seu uso não ocasiona as restrições apresentadas em transformadores isolados em líquido. O fabricante destaca ainda que mantém as já conhecidas confiabilidade e vida útil dos equipamentos. O transformador de potência trifásico dimensionado oferece uma potência nominal 1250 kVA e uma relação de transformação 220 V / 13.800 V. O Anexo VIII apresenta as características mais detalhadas deste equipamento.

3.4 COMPONENTES DE PROTEÇÃO E DEMAIS EQUIPAMENTOS

A norma brasileira ABNT NBR-5410 de instalações elétricas de baixa tensão junto com as informações técnicas dos módulos e inversores regem o dimensionamento dos dispositivos de proteção e os cabeamentos desse projeto, porém não serão dimensionados nesse trabalho, bem como, os outros componentes elétricos.

4. DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES DO ARRANJO FOTOVOLTAICO

4.1 DELIMITAÇÃO DO NÚMERO DE PAINÉIS EM SÉRIE

Existe uma limitação do número de módulos que podem ser ligados em série e conectados no inversor de carga. A CRESESB preconiza que a máxima tensão do sistema ocorre quando o painel FV está em circuito aberto (V_{oc}). Nessa perspectiva, o número máximo de módulos em série que podem ser conectados ao inversor é calculado pela razão entre a máxima tensão de entrada do inversor e a tensão de circuito aberto. Essas informações são extraídas da folha de dados que é fornecida pelos fabricantes dos componentes. Na sequência, tem-se as informações do painel escolhido.

TABELA 3 – Informações básicas do módulo SP335P6
ELECTRICAL DATA(STC)

Module	SP330P6-72	SP335P6-72
Peak Power Watts(Pmax/W)	330	335
Power Output Tolerance(W)		
Maximum Power Voltage(Vmp/V)	37.8	38.0
Maximum Power Current(Imp/A)	8.73	8.82
Open Circuit Voltage(Voc/V)	46.1	46.3
Short Circuit Current(Isc/A)	9.24	9.32
Module Efficiency(%)	17.0	17.2

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.

*Measuring tolerance: ±3%.

FONTE: Sunpal, 2017.

• QUANTIDADE MÁXIMA DE MÓDULOS EM SÉRIE

$$N_{\max} = \frac{V_{dc}^{INV}}{V_{oc}} = \frac{1100V}{46,3V} \cong 23 \quad (III)$$

Onde:

$N_{\max}$: Quantidade máxima de módulos em série;

V_{dc}^{INV} : Tensão máxima suportada na entrada do inversor;

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do módulo fotovoltaico.

- **QUANTIDADE MÍNIMA DE MÓDULOS EM SÉRIE**

$$N_{\min} = \frac{V_{\min}^{INV}}{V_{oc}} = \frac{250V}{46,3V} \cong 6 \quad (IV)$$

Onde:

$N_{\min}$: Quantidade mínima de módulos em série;

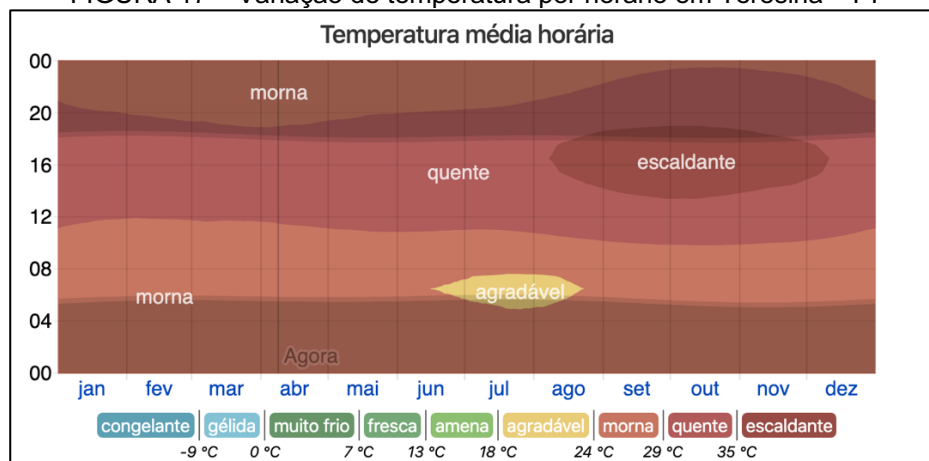
V_{dc}^{INV} : Voltagem mínima suportada na entrada do inversor;

V_{oc} : Voltagem de circuito aberto do módulo fotovoltaico.

Nota-se que abaixo da tabela de informações técnicas referente ao módulo solar (Tabela 3), existe uma sigla do inglês “STC” (*Standard Test Conditions*), significando que os dados foram obtidos em condições ideais de teste: temperatura da célula solar igual a 25°C e irradiância de 1000 W/m.

Entretanto, é válido ressaltar que o projeto estará localizado no estado do Piauí, mais especificamente na capital Teresina, e como o aumento da temperatura em uma célula fotovoltaica é inversamente proporcional à tensão de saída da mesma, tem-se que levar em consideração a temperatura de operação dos módulos no local, para verificar essa variação de temperatura anual durante o dia utilizou-se a figura abaixo (Figura 17) que expõe uma caracterização densa das temperaturas médias por horário. O eixo da abcissa aponta o mês e o eixo das ordenadas indica a hora do dia. A cor é a temperatura média para aquele horário naquele mês.

FIGURA 17 – Variação de temperatura por horário em Teresina – PI



Fonte: INPE, 2019.

Pode-se aferir com base nessa figura que as faixas de temperatura em Teresina não alteram significativamente ao longo do ano, tem-se na aurora a temperatura média acima de 24°C, podendo chegar ao longo do dia a 40°C, nos períodos mais quentes. Por essa razão, há necessidade de uma adaptação no valor da tensão de circuito aberto (V_{oc}), pois a temperatura no painel nessas condições pode chegar a 70°C. Para esse cálculo usa-se a equação abaixo com o valor de $\beta = -0,31\%/^{\circ}C$ encontrado no Anexo V:

$$V_{oc}(T) = V_{oc}^{STC} * (1 + (\beta * (T - 25))) \quad (V)$$

Onde:

V_{oc} : Tensão de circuito aberto do módulo fotovoltaico;

T: Temperatura do módulo;

β : Coeficiente de variação da tensão de circuito aberto;

V_{oc}^{STC} : Tensão de circuito aberto em condições ideais.

Logo:

$$V_{oc}(70^{\circ}C) = 46,3 * (1 + (-0,31\% * (70 - 25))) = 39,84V$$

Importante ressaltar que a temperatura ambiente mínima na cidade de Teresina é maior que 20°C durante o dia, não sendo necessário adaptar o número máximo de painéis em uma fileira, pois a temperatura do painel não se distanciará da temperatura ideal de operação nessa temperatura. Entretanto o valor de tensão em circuito aberto para altas temperaturas modificará o valor mínimo de painéis em série aceito na entrada do inversor.

$$N_{min} = \frac{V_{MIN}^{INV}}{V_{oc}} = \frac{250V}{39,84V} \cong 6,36$$

Então, para se alcançar, com segurança, a tensão mínima de 250V na entrada do inversor são necessários 7 módulos conectados em série.

4.2 NÚMERO MÁXIMO DE FILEIRAS EM PARALELO

O valor máximo de corrente contínua (CC) suportado pelo inversor da linha MAX é 25A por MPPT como visto na Tabela 02. Na folha de dados do painel, observamos que sua corrente de curto circuito é 9,32A. Por consequência, consegue-se estimar que será possível conectar apenas duas fileiras de módulos em paralelo para cada porta do inversor, posto que o limite da corrente máxima deve ser respeitado. Deixa-se claro que não há necessidade de adaptações decorrente ao meio, pois o coeficiente de temperatura de curto circuito é +0.05%/°C e não causará impacto no limite de fileira ligadas em paralelo nesse projeto especificamente.

4.3 QUANTIDADE DE PAINÉIS POR PORTA DO INVERSOR

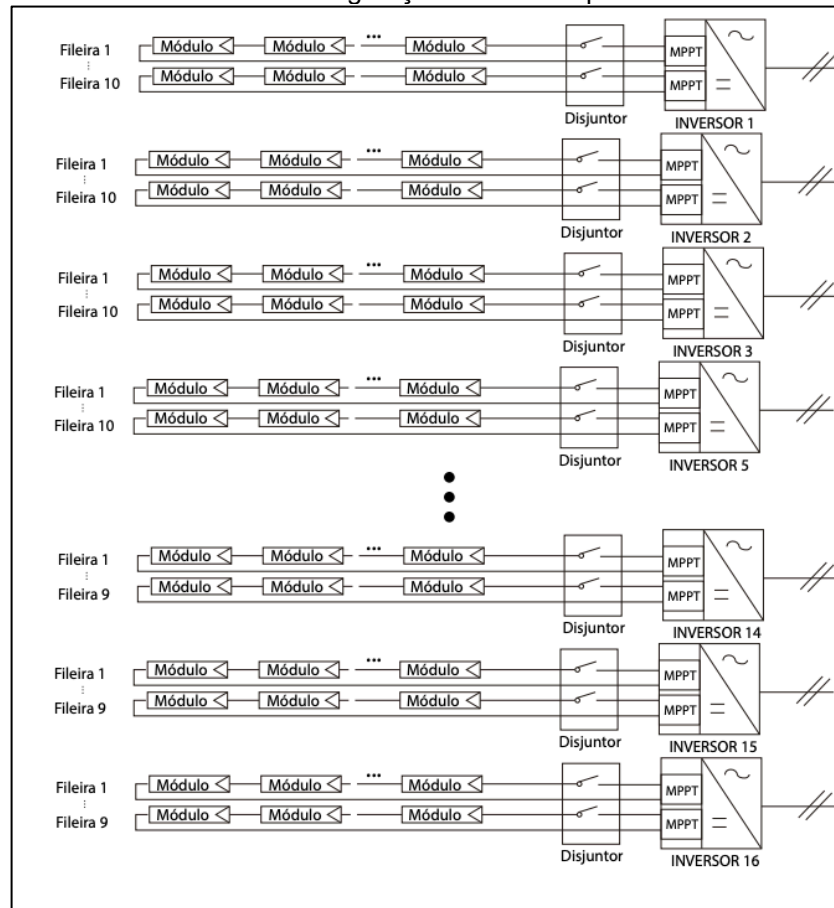
O inversor escolhido para esse projeto, um MAX60KTL3LV da Growatt, tem características interessantes, como, 6 (seis) seguidores de máxima potência comportando duas fileiras de módulos em cada, provocando assim o sistema a operar com mais eficiência. O inversor apresenta uma variação ideal de tensão de entrada na faixa de 520V – 850V e cada módulo possui uma tensão de potência máxima no valor de 38V, com base nesses dados foi escolhido o valor de 19 (dezenove) módulos em série, totalizando 722V em condições ideais, com auxílio da Equação V, e usando o coeficiente de variação de tensão de circuito aberto (β), pois o fabricante não informa o coeficiente de variação de tensão de potência máxima, tem-se uma tensão de máxima potência com temperatura no módulo igual a 70°C igual a:

$$V_{pm}(70^{\circ}\text{C}) = 38 * (1 + (-0,31\% * (70 - 25))) = 32,70\text{V}$$

$$V_{DC} = 19 * 32,7 = 621,3\text{V}$$

Então, no cenário em que a temperatura no módulo solar é igual a 70°C, a tensão total de entrada no inversor será de 621,3V e com a temperatura de 25°C a tensão é 722V, ambos valores estão na faixa ideal de entrada no inversor. A Figura 18 retrata de forma simplificada a configuração de fileiras por inversor.

FIGURA 18 – Configuração das fileiras por inversor.



FONTE: Autoria própria.

Com essa configuração, tem-se 19 painéis por fileira, sendo 10 fileiras por inversor nos primeiros 13 inversores e 9 fileiras nos 3 inversores restantes. Logo, as condições apresentadas anteriormente sobre tensão e corrente de entrada do inversor são respeitadas.

$$V_{MAX}^{inv} < N_{serie} * V_{oc} \rightarrow 1100V < 19 * 46,3V = 879,7 V$$

$$I_{MAX}^{inv} < N_{paralelo} * I_{sc} \rightarrow 25A < 2 * 9.37A = 18,74 A$$

Levando-se em conta que a capacidade máxima para corrente alternada do Growatt MAX60KTL3LV é 60 kW, e a potência de entrada projetada, nos primeiros 13 inversores, é de 63,65 kW e, nos outros 3 inversores, é de 57,28kW, obtém-se um FDI de 0,94 e 1,04 respectivamente, ambos satisfatórios segundo as referências apontadas.

Para o cálculo da corrente máxima nominal na saída de cada inversor, pode ser usada a equação abaixo:

$$I_{out} = \frac{P_{inversor}}{\sqrt{3} * V * \cos\varphi} \quad (VI)$$

Onde:

I_{out} : Corrente na saída do inversor

V : Tensão na saída do inversor

$\cos\varphi$: Fator de potência

$P_{inversor}$: Potência no inversor

Com um fator de potência unitário obtém-se os valores de corrente de 159,8A e 143,8A respectivamente nos inversores.

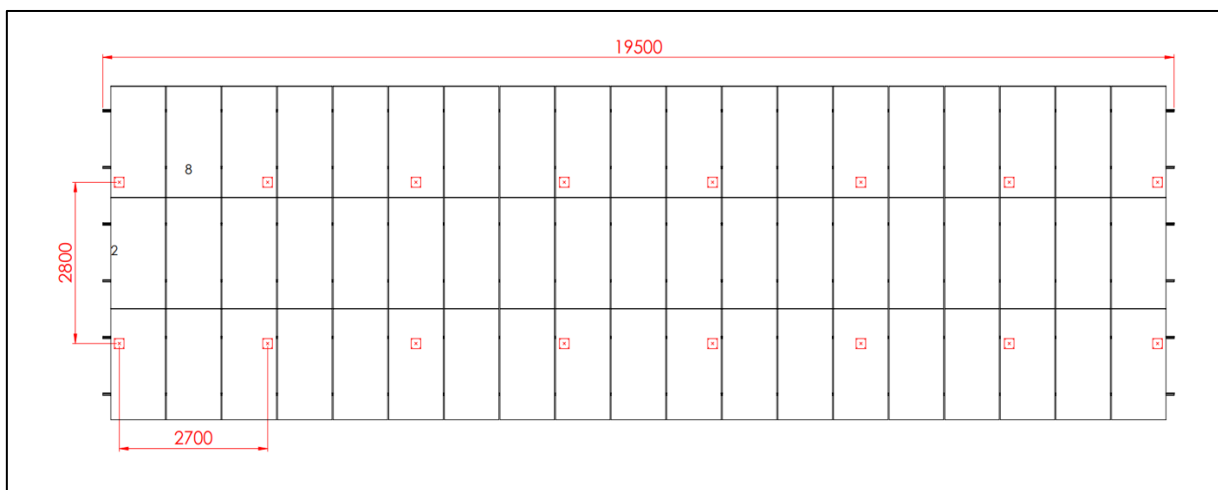
5. DIMENSIONAMENTO DOS ARRANJOS E SUB ARRANJOS

5.1 CONFIGURAÇÃO DOS ARRANJOS

Após conhecer os valores limite das fileiras e a quantidade máxima delas em paralelo para cada porta dos inversores, inicia-se a etapa de dimensionamento dos sub arranjos. Para análise desse cenário, os módulos solares estarão montados em solo plano. Sem prédios ou árvores que limitem a posição de cada sub arranjo.

Decidiu-se por formar sub arranjos ou conjuntos de painéis (kits) da seguinte forma: 3 (três) painéis na vertical por 19 (dezenove) na horizontal, dessa forma podendo ser usado até como um tipo de toldo de estacionamento. Tem-se no projeto 52 kits com 57 painéis e mais um kit com 19 painéis totalizando 2893 peças, como mostra na figura abaixo:

FIGURA 19 – Vista superior de um sub arranjo



FONTE: Autoria própria.

5.2 INCLINAÇÃO E ESPAÇAMENTOS

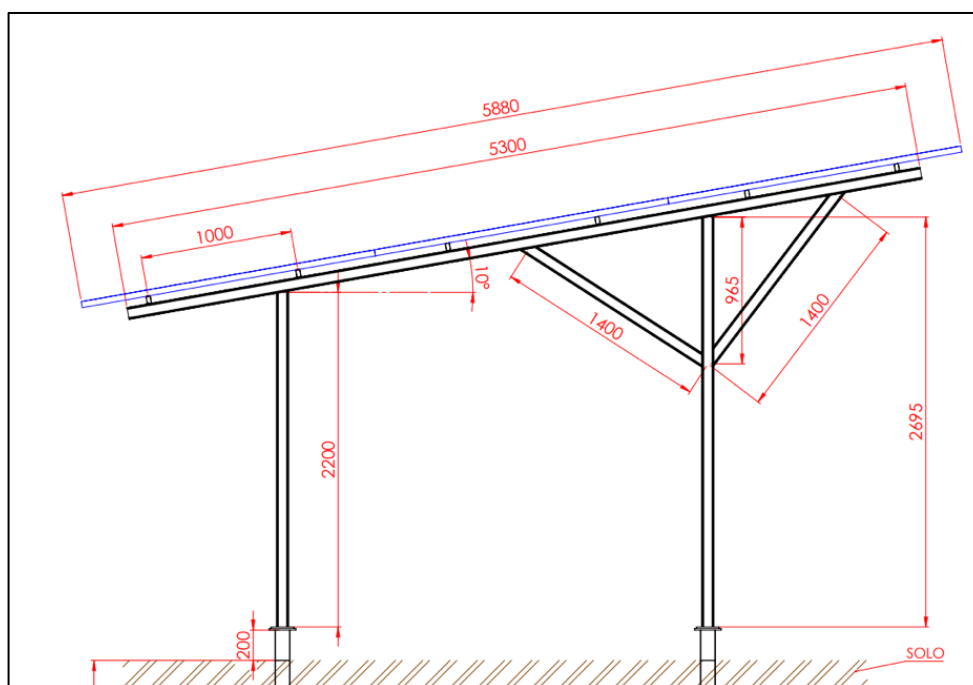
Para a instalação eficaz de um gerador solar, é essencial eleger a melhor localização para os módulos fotovoltaicos. Essa localização precisa ter algumas características para ser favorável, entre elas, a distância até a subestação é primordial, pois reduz custos com a transmissão dessa energia.

Já em relação à posição e à inclinação dos módulos fotovoltaicos no solo, Fraga (2009), diz que o posicionamento mais habitual e que possui maior incidência

de radiação solar para a instalação de módulos em suportes fixos, é colocá-los com inclinação definida pela latitude do local de instalação e face voltada para o Norte geográfico, lembrando-se que a incidência diária dos raios solares sobre a superfície terrestre inicia-se a Leste (pela manhã) e finaliza-se a Oeste (no final da tarde). Dessa forma, tem-se o máximo de incidência solar sobre o sistema. Entretanto, recomenda-se uma inclinação mínima de 10° , mesmo em locais com latitudes inferiores, para evitar o acúmulo de água e facilitar a limpeza natural com a chuva.

Teresina está situada a 5° de latitude sul, logo o ângulo de inclinação do painel com o solo deve ter 10° para uma maior produção de energia durante o ano sem afetar a limpeza natural dos painéis. Ademais, a cidade está localizada no hemisfério sul, portanto os painéis devem facear o norte. A Figura 20 mostra a vista lateral do suporte de um dos conjuntos de módulos do projeto. O desenho foi feito com o auxílio do programa Solidworks e o modelo 3D encontra-se no Anexo X.

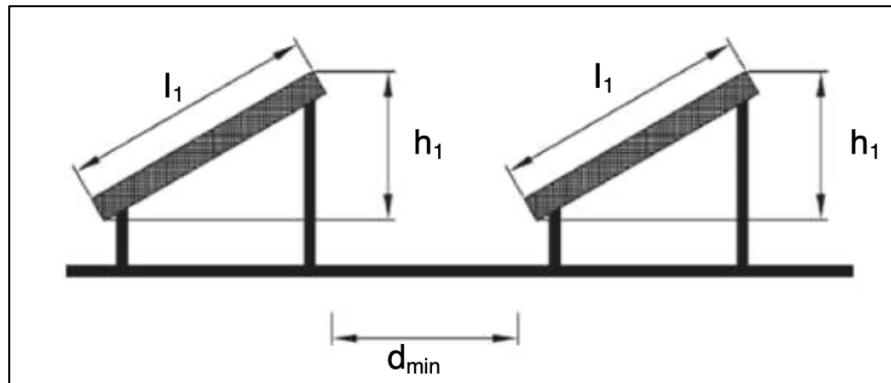
FIGURA 20 – Vista lateral do suporte



FONTE: Autoria própria

Os próprios painéis solares podem projetar sombras nas fileiras adjacentes. Por consequência, deve ser estimada uma distância mínima entre as fileiras para evitar esse fenômeno. Além disso, essa distância facilita a instalação e manutenções necessárias.

FIGURA 21 - Esquema do posicionamento das estruturas



FONTE: SUNFIX, 2011.

Para cálculo da distância mínima usa-se a equação abaixo:

$$d_{min} = \frac{h_1}{tg(65,5^\circ - latitude)} \quad (VII)$$

Onde:

d: Distância mínima entre as fileiras;

h_1 : Altura de inclinação do módulo;

latitude: Latitude do local de instalação do módulo;

Encontra-se h_1 pela seguinte equação:

$$h_1 = l_1 \times \text{sen}(i) \quad (VIII)$$

Onde:

(i) É a inclinação do módulo em relação ao solo.

logo:

$$h_1 = 5,9\text{m} \times \text{sen}(10^\circ) = 1,03\text{m}$$

$$d_{min} = \frac{1,03\text{m}}{tg(65,5^\circ - 5^\circ)} = 0,58\text{m}$$

Assim, as fileiras de painéis devem ser separadas por uma distância mínima de aproximadamente 0,6 metros para que o sombreamento não interfira nas fileiras adjacentes. Em um projeto real, os painéis seriam distribuídos de forma que melhor se adequem a área, formando fileiras, para não somente evitarem o sombreamento, mas também para permitirem a passagem de pessoas, carros, etc.

6. CÁLCULO DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA

Afim de conhecer a possível produção energética desse sistema solar de aproximadamente 999,3 kW_p de potência na cidade de Teresina-PI, são necessários alguns dados, entre eles, as coordenadas do local de instalação dos painéis fotovoltaicos, para ter uma maior precisão na captação da energia solar. A tabela abaixo destaca algumas dessas informações.

TABELA 4 - Dados do local

Localização Geográfica

Município	Teresina
Estado	Piauí
Região	Nordeste
Latitude	5°05'39.9" S
Longitude	42°48'54.2" W
Altitude	87m
Área	6.500m ²

FONTE: Google maps.

Com o uso dos valores colhidos na Tabela 4, emprega-se a ferramenta SunData fornecido pelo CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, insere-se as coordenadas de latitude e longitude do local escolhido como mostra a figura a baixo.

FIGURA 22 – Dados da localização geográfica

Coordenada Geográfica

Latitude

Sul

Longitude

Oeste

Norte:

☒ graus decimais (00.00°)

☐ graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar

Limpar

I. Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste. Em caso de dúvida entre em contato conosco.

FONTE: SunData.

Após clicar no ícone “Buscar” no canto inferior esquerdo da figura, a ferramenta expõe os números da irradiação solar diária média por mês para a cidade de Teresina -PI com diferentes ângulos de inclinações.

FIGURA 23 – Irradiação solar para Teresina

Estação: Teresina Município: Teresina , PI - BRASIL Latitude: 5,101° S Longitude: 42,749° O Distância do ponto de ref. (5,090299° S; 42,811118° O): 7,0 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	5,06	5,18	5,19	5,03	5,04	5,19	5,44	5,99	6,38	6,32	6,08	5,61	5,54	1,35
✓	Ângulo igual a latitude	5° N	4,91	5,10	5,18	5,11	5,21	5,42	5,67	6,15	6,42	6,23	5,90	5,42	5,56	1,51
✓	Maior média anual	6° N	4,88	5,08	5,17	5,13	5,24	5,46	5,71	6,18	6,43	6,21	5,87	5,38	5,56	1,54
✓	Maior mínimo mensal	1° N	5,03	5,17	5,19	5,05	5,07	5,24	5,49	6,03	6,39	6,31	6,05	5,57	5,55	1,36

FONTE: CRESESB

Nota-se que os valores máximos de irradiação para cada inclinação estão marcados em azul, assim como, os valores mínimos estão em vermelho, delta representa a diferença entre esses valores. A média é a soma das médias mensais dividida por 12, não há diferença expressiva entre médias nas inclinações. Como a ferramenta não informa os valores para a inclinação de 10°N usar-se-á os valores da inclinação de 6°N por ser a mais próxima.

Para uma estimativa mais próxima da realidade de geração energética de um SFCR, é imprescindível a consideração das ineficiências do sistema, visto a expressiva representação que ela possui no estudo da viabilidade do projeto. Com base no trabalho apresentando por Miranda (2014), a Tabela 5 foi adaptada considerando as variantes para a cidade de Teresina. Nela, revelam-se as ineficiências estimadas de um projeto fotovoltaico e suas respectivas variações e valores típicos.

TABELA 5 – Ineficiências de um sistema fotovoltaico

Perdas	Variação	Valor considerado
Desvio no rendimento nominal do módulo (dados de placa) e da radiação de 1000W/m ²	-5% a 10%	2,50%
Temperatura no módulo	3% a 6%	4,50%
Perdas nos condutores no lado DC	1% a 3%	2%
Perdas nos condutores no lado CA	0,7% a 2%	1%
Eficiência do Inversor na conversão	1% a 15%	1%
<i>Mismatch</i> no MPPT	1,5% a 3%	1,50%
Sombreamento	0% a 100%	0%
Diodos e conexões	0,3% a 1%	0,50%
Transformadores (como os de isolamento no inversor, por exemplo)	2% a 4%	3%
Degradação na incidência solar inicial	1% a 10%	1%
Indisponibilidade do sistema	0% a 0,5%	0%
Sujeira nos módulos	2% a 25%	4%
Perda referente a Inclinação do Arranjo em relação ao relevo	-	0%
Total		21,00%

FONTE: Miranda (2014) – adaptado.

Para o cálculo da produção de energia elétrica fez-se uso da fórmula abaixo:

$$GTP = \sum_{t=0}^n I_0 * A * \eta * (1 - p) \quad (IX)$$

Onde,

GTP – Geração total com perdas;

$\sum_{i=0}^n$ – Somatório do número de dias no mês;

I_0 – Irradiação média diária do mês (kWh/m².dia);

A – Área total dos painéis;

η – Eficiência do painel;

p – Perda percentual do sistema.

Como a eficiência do painel solar é dada pela capacidade de conversão da energia solar incidente na superfície do painel pela área do mesmo, e a irradiação é a quantidade de energia solar que acomete uma determinada superfície por uma

unidade de tempo, no caso em análise foi utilizado o dia, a fórmula (IX) transmite com elevada precisão a quantidade de energia gerada, pois ainda é utilizado um fator de correção, chamado de fator de perda percentual do sistema.

A quantidade de energia produzida pelo gerador solar durante cada mês do primeiro ano de funcionamento está detalhada a seguir na Tabela 6.

TABELA 6 - Geração total de energia

Geração Total com Perdas						
Mês	N° de dias	Irradiação 10°N	Área total (m²)	Eficiência (%)	Perda percentual (1-p)	Geração Mensal (kWh)
Janeiro	31	4,9	5.390,64	17,2	0,79	111.263,74
Fevereiro	28	5,14	5.390,64	17,2	0,79	105.418,55
Março	31	5,18	5.390,64	17,2	0,79	117.621,66
Abril	30	5,16	5.390,64	17,2	0,79	113.387,93
Maio	31	5,27	5.390,64	17,2	0,79	119.665,28
Junho	30	5,49	5.390,64	17,2	0,79	120.639,48
Julho	31	5,79	5.390,64	17,2	0,79	131.472,86
Agosto	31	6,25	5.390,64	17,2	0,79	141.918,03
Setembro	30	6,53	5.390,64	17,2	0,79	143.492,86
Outubro	31	6,25	5.390,64	17,2	0,79	141.918,03
Novembro	30	5,88	5.390,64	17,2	0,79	129.209,50
Dezembro	31	5,38	5.390,64	17,2	0,79	122.163,04
Total						1.498.170,98

FONTE: Autoria própria.

O painel escolhido tem as seguintes dimensões: 1960mm x 922mm. Assim, possui área equivalente de 1,80712 m². Multiplicando o total de módulos – 2983 – pela área unitária de cada um, tem-se a área total no valor de 5.390,64 m².

A geração de energia de cada mês, evidenciado na Tabela 6, foi obtida com a aplicação da fórmula (IX), que é basicamente a multiplicação direta dos dados em linha da tabela. No mês de fevereiro, foi utilizado 28 dias, porém, existe um incremento de 3.664,94 kWh referente ao dia a mais nos anos bissextos.

7. CUSTO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA

Para garantir uma melhor avaliação do custo real do projeto de um minigerador solar, será realizada uma compilação de dados fornecidos por empresas especializadas, de dados obtidos por especificação do próprio autor e de fontes bibliográficas complementares.

Os painéis e inversores serão adquiridos em um contrato do tipo *Free On Board (FOB)* que indica uma divisão nos custos e responsabilidades da compra. São procedimentos contratuais reconhecidos internacionalmente que fixam obrigações e direitos para ambas as partes do acordo, determinando de forma clara o que está ou não incluído no preço negociado entre as partes.

Nessa modalidade, os custos do seguro e frete da mercadoria até o embarque são de responsabilidade do remetente dos produtos (exportador). A partir daí o comprador (importador) torna-se responsável pelo pagamento dos custos, que vão desde taxas aduaneiras até impostos federais e estaduais.

Ademais, para conhecer os valores associados a impostos nacionais de importação que incidem sobre esses produtos será usado o simulador de tributos das importações encontrado no site da receita federal, a Figura 24 mostra a interface dessa ferramenta.

FIGURA 24 — Simulador do Tratamento Tributário e Administrativo das Importações

■ Informar os dados abaixo:

★ Campos de preenchimento obrigatório

★ Código NCM

★ Valor Aduaneiro

★ Moeda



Digite os caracteres acima:

Código de segurança inválido!

FONTE: Receita Federal

A ferramenta permite a consulta do código NCM no próprio site, o que facilita e agiliza a obtenção dessa informação. Para os módulos, o código é 8541.40.32 que trata sobre células solares montadas em painéis. Já para os inversores de carga, o número é 8504.40.30. Com

base nos valores orçados e na atual tributação de mercadoria, foi montado a tabela abaixo.

TABELA 7 – Custos com importação dos módulos

Custo de Importação dos Módulos

Módulos (2983un)	\$	175.877,68
Frete + seguro	\$	14.070,20
Módulo + Frete + Seguro	\$	189.947,88
Imposto de Importação (12%)	\$	22.793,75
IPI (0%)	\$	-
PIS (2,1%)	\$	3.988,91
COFINS (9,65%)	\$	18.329,97
Custos Aduaneiros (10%)	\$	18.994,79
Cambio R\$/USD (10/01/2020)	R\$	4,10
Custo Total USD	\$	254.055,29
Custo Total BRL	R\$	1.041.626,69

FONTE: Autoria própria.

Os valores foram utilizados com base em orçamentos feitos em 2020 nas empresas Sunpal e Eitai ambas chinesas. A incidência de ICMS é intrínseca de cada estado, no estado do Piauí a alíquota é 0%. Imposto de importação é dependente do produto sendo 12% para os módulos e 14% para o inversor.

Além disso, segundo o Decreto Federal n° 7.660, de 23/12/2011. A alíquota do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) que incide nos painéis fotovoltaicos (NCM 8541.40.32) mantém-se no valor de 0%. Entretanto, sobre os inversores importados incide alíquota de IPI de 15%. Foram utilizados valores representativos de serviços aduaneiros.

Outro custo muito importante que deve ser considerado é o da homologação junto ao INMETRO, visto que os módulos e inversores devem apresentar certificados de acordo com a Portaria n° 004, de 04 de janeiro, que rege e estabelece os padrões para sistemas e equipamentos relacionados a produção de energia fotovoltaica. O valor encontrado na literatura dessa homologação está entre 5 a 20 mil por cada modelo. Pois, cada Organismo de Certificação de Produto (OCP) é livre para negociar orçamentos e prazos. No Brasil há três laboratórios acreditados pelo INMETRO.

TABELA 8 – Custos de importação dos inversores
Custo de Importação dos Inversores

Inversores de Carga (16 un)	\$	44.400,00
Frete + seguro	\$	3.552,00
Inversor + Frete + Seguro	\$	47.952,00
Imposto de Importação (14%)	\$	6.713,28
IPI (15%)	\$	7.192,80
PIS (2,1%)	\$	1.006,99
COFINS (10,65%)	\$	4.627,37
Custos Aduaneiros (10%)	\$	4.795,20
Cambio R\$/USD (10/01/2020)	R\$	4,10
Custo Total USD	\$	72.287,64
Custo Total BRL	R\$	296.379,32

FONTE: Autoria própria

Para análise dos demais custos associados à instalação desse empreendimento foi empregado como base uma proposta da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE de 2012.

Quadro 3 – Custo de instalação por escala

APLICAÇÃO	Residencial	Comercial	Usina
CAPACIDADE (kW)	3	30	30.000
CUSTO DOS MÓDULOS E INVERSORES (R\$)	11.605	116.047	116.047.414
CUSTO DE CABOS E PROTEÇÕES (R\$)	2.250	18.000	13.100.000
CUSTO DO SISTEMA FIXAÇÃO (R\$)	3.750	24.000	14.000.000
DEMAIS CUSTOS (CONEXÃO, PROJETO ETC.) (R\$)	3.750	30.000	18.000.000
TOTAL (R\$)	21.359	188.047	161.147.414
TOTAL (R\$/W)	7,12	6,27	5,37

FONTE: ABINEE, 2012.

No quadro acima, tem-se os custos de sistemas fotovoltaicos escalonados por potência de geração elétrica. Os valores apresentados são para potências pré-definidas de 3, 30 e 30000 kW. O projeto tema dessa monografia tem uma potência de 999,3 kW, logo faz-se necessário algumas adaptações. A primeira foi uma interpolação linear para ter uma aproximação dos custos na potência elétrica de 999,3 kW. A Tabela 9 exalta esses valores:

TABELA 9 – Outros custos associados ao projeto

CAPACIDADE (kW)	999,3
CUSTOS DE CABOS E PROTEÇÕES	R\$ 440.971,57
CUSTO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO	R\$ 475.876,67
DEMAIS CUSTOS (CONEXÃO, PROJETO, ETC)	R\$ 611.012,01
TOTAL	R\$1.527.860,25

FONTE: Autoria própria.

Esses valores são consoantes ao ano de 2012, portanto uma adaptação com relação a inflação foi feita considerando o IPCA – Índice Nacional de Preço ao Consumidor Amplo com auxílio de uma calculadora encontrada no site do Banco Central.

FIGURA 25 – Correção inflacionária

Dados básicos da correção pelo IPCA (IBGE)	
Dados informados	
Data inicial	07/2012
Data final	01/2020
Valor nominal	R\$ 1.527.860,25 (REAL)
Dados calculados	
Índice de correção no período	1,53082350
Valor percentual correspondente	53,082350 %
Valor corrigido na data final	R\$ 2.338.884,38 (REAL)

Fonte: Banco Central, 2020.

Com base nas cotações acima tem-se a possibilidade de determinar o custo total do empreendimento, apresentando-o na Tabela 10 a seguir. O custo da homologação foi estimado em R\$ 15.000,00 para o módulo solar e 15.000,00 para o inversor totalizando R\$ 30.000,00.

TABELA 10 – Total de custos

TOTAL DE CUSTOS	
MÓDULOS	R\$ 1.041.626,69
INVERSORES	R\$ 296.379,32
TRANSFORMADOR	R\$ 75.000,00
CUSTOS DE CABOS E PROTEÇÕES	R\$ 675.049,64
CUSTOS DO SISTEMA DE FIXAÇÃO	R\$ 728.483,19
DEMAIS CUSTOS	R\$ 935.351,54
HOMOLOGAÇÃO	R\$ 30.000,00
Total	R\$ 3.781.890,38

FONTE: Autoria própria.

8. TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Para o cálculo do tempo esperado de retorno do capital, tem-se algumas variáveis: a primeira, é o valor cobrado pelo kWh no estado do Piauí acrescida de um aumento anual que terá como base a média dos reajustes dos últimos 5 anos. A outra variável é a geração bruta de energia com atenção no fator de degradação dos painéis.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), no seu site, divulga um ranking das tarifas de energia elétrica, ela mostra que o valor médio cobrado no Brasil é de 0,560 R\$/kWh, porém os piauienses pagam um valor de 0,624 R\$/kWh pela energia elétrica, ficando acima até da média do nordeste que está em 0,550 R\$/kWh. Logo abaixo, a Tabela 11, retirada do site da Equatorial Piauí – a distribuidora de energia do estado –, expõe os valores praticados por classe de consumo e serviço contratado.

TABELA 11 – Preço da tarifa no estado do Piauí

BAIXA TENSÃO				
CLASSE	TARIFA CONVENCIONAL (R\$/kWh)	TARIFA BRANCA (R\$/kWh)		
		HORÁRIO PONTA	HORÁRIO INTERMEDIÁRIO	HORÁRIO FORA PONTA
RESIDENCIAL BAIXA RENDA				
Consumo - até 30kWh	0,21059	NÃO SE APLICA		
Consumo - 31 à 100kWh	0,36102			
Consumo - 101 à 220kWh	0,54153			
Consumo - acima de 220kWh	0,60171			
RESIDENCIA NORMAL				
Residencial	0,62366	1,32164	0,83682	0,52535
DEMAIS CLASSES				
Comercial	0,62366	1,33362	0,84401	0,52774
Cooperativa de eletrificação Rural	0,43656	0,93353	0,59081	0,36942
Iluminação publica B4a	0,34301	NÃO SE APLICA		
Iluminação publica B4b	0,37419			
Industrial	0,62366	1,33362	0,84401	0,52774
Serviço público de Irrigação	0,37419	0,80017	0,5064	0,31664
Poder Público	0,62366	1,33362	0,84401	0,52774
Próprio	0,62366	1,33362	0,84401	0,52774
Rural	0,43656	0,93353	0,59081	0,36942

FONTE: EQUATORIAL PI.

Os valores indicados na Tabela 11 não apreciam tributos e outras taxas que compõem a conta de energia, como ICMS, PIS e COFINS, taxa de iluminação pública e o adicional de bandeira tarifária. Ou seja, os valores reais pagos pelos consumidores são ainda maiores do que os que constam na resolução da Aneel.

Com isso, para alcançar uma previsão próxima à realidade, toma-se o valor da tarifa em 2015 e calcula-se o percentual de aumento em relação ao ano de 2020, nesse cenário, com a tarifa em agosto de 2015 no valor de 0,44 R\$/kWh, o percentual de aumento total foi de 42% ao longo desses 5 anos, com média anual de 7,26%. O percentual de tributos incidentes na tarifa é em torno de 25,85% composto por 22% de ICMS, 0,68% do PIS e 3,17% de COFINS (Equatorial, 2020).

A degradação da produção energética fica a cargo do painel solar que possui, segundo o fabricante, uma produção de energia de 80% do valor original nos primeiros 25 anos. Ou seja, 0,732% a menos de energia produzida a cada ano.

8.1 DETERMINAÇÃO DO CUSTO E PRODUÇÃO DE CADA LOTE

Para a determinação da divisão do percentual de cada participante usou-se o consumo médio na região nordeste exibido no anuário estatístico de energia elétrica de 2018 que preconiza um consumo médio de 304 kWh/mês que totaliza um gasto anual de 3.648 kWh, tendo em vista o custo mensal de disponibilidade que é 30 kWh para instalações monofásicas. Obtém-se um gasto médio de 3.288 kWh/ano, que realmente poderá ser abatido na conta de energia (Tabela 12).

TABELA 12 – Consumo anual médio

CONSUMO COM POSSIBILIDADE DE ABATIMENTO	
Consumo Mensal (kWh)	304
Consumo Anual (kWh)	3.648
Custo de Disponibilidade anual (kWh)	360
Total (kWh)	3.288

FONTE: Autoria própria.

Vinculando esse dado com a produção anual esperada do empreendimento, calcula-se um total de 500 lotes/divisões com cada um respondendo por 0,2% da produção total.

TABELA 13 – Cálculo do custo por lote

ENERGIA PRODUZIDA	
Energia produzida anualmente (kWh)	1.498.170,98
Energia produzida por lote (kWh)	2.996,34
Custo total	R\$ 3.781.890,38
Custo por lote	R\$ 7.563,78

FONTE: Autoria própria

Com isso, o custo total fica em torno de R\$ 7.563,78 por cota/lote (Tabela 13), e produção de energia elétrica estimada em 2.996,34 kWh no primeiro ano de funcionamento.

8.2 TEMPO DE RETORNO FINANCEIRO CENÁRIO I – SEM TAXA DE GERENCIAMENTO

Abaixo, a Tabela 14 representa um cenário onde o pagamento foi sem financiamento e apenas os custos iniciais do sistema são abatidos pela produção de energia, ou seja, sem considerar eventuais manutenções nem taxas de gerenciamento do sistema. Nesse cenário o tempo de retorno financeiro está situado no primeiro mês do quarto ano de operação do sistema.

TABELA 14 – Tempo de retorno financeiro do cenário I

Ano	Produção de Energia (kWh)	Tarifa com impostos	Capital
1	2.996,34	R\$ 0,78	-R\$ 5.226,63
2	2.974,41	R\$ 0,84	-R\$ 2.738,16
3	2.952,63	R\$ 0,90	-R\$ 88,57
4	2.931,02	R\$ 0,96	R\$ 2.732,59
5	2.909,57	R\$ 1,03	R\$ 5.736,41
6	2.888,27	R\$ 1,11	R\$ 8.934,72
7	2.867,13	R\$ 1,19	R\$ 12.340,12
8	2.846,14	R\$ 1,27	R\$ 15.966,02
9	2.825,30	R\$ 1,37	R\$ 19.826,68
10	2.804,62	R\$ 1,47	R\$ 23.937,32

FONTE: Autoria própria.

8.3 TEMPO DE RETORNO FINANCEIRO CENÁRIO II – COM TAXA DE GERENCIAMENTO

No cenário II proposto na Tabela 15, há a inserção de uma taxa mensal para gerenciamento do sistema, taxa que serviria para cobrir manutenções simples como limpeza ou até mesmo fiscalização de eventuais irregularidades visto que o sistema não apresenta manutenções relevantes nos primeiros 10 anos de funcionamento. Essa taxa foi orçada no valor equivalente a 10% da geração energética de cada mês.

TABELA 15 – Tempo de retorno financeiro do cenário II

Ano	Produção de Energia (kWh)	Tarifa com impostos	Taxa de Administração	Capital
1	2996,34	R\$ 0,78	R\$ 233,71	-R\$ 5.460,35
2	2974,41	R\$ 0,84	R\$ 248,85	-R\$ 3.220,72
3	2952,63	R\$ 0,90	R\$ 264,96	-R\$ 836,09
4	2931,02	R\$ 0,96	R\$ 282,12	R\$ 1.702,95
5	2909,57	R\$ 1,03	R\$ 300,38	R\$ 4.406,39
6	2888,27	R\$ 1,11	R\$ 319,83	R\$ 7.284,87
7	2867,13	R\$ 1,19	R\$ 340,54	R\$ 10.349,73
8	2846,14	R\$ 1,27	R\$ 362,59	R\$ 13.613,04
9	2825,30	R\$ 1,37	R\$ 386,07	R\$ 17.087,64
10	2804,62	R\$ 1,47	R\$ 411,06	R\$ 20.787,21

FONTE: Autoria própria.

Nesse cenário o pagamento da taxa no primeiro ano ficaria no valor médio de R\$ 19,52/mês por cota, totalizando R\$ 9.762,5/mês para todo o empreendimento. Logo, o retorno financeiro fica situado em meados do quarto ano de funcionamento. Portanto, mesmo com o pagamento de uma taxa para gerenciamento do sistema é um investimento totalmente viável, com um retorno financeiro rápido tendo em vista a durabilidade estimada do sistema que pode passar de 25 anos.

8.4 TEMPO DE RETORNO FINANCEIRO CENÁRIO III

O terceiro cenário proposto é o de um empreendimento isolado, para comparação dos custos, com a produção anual similar a de cada cota, ou seja, uma geração, aproximadamente, de 3.000kWh no primeiro ano. A empresa Portal Solar orçou esse sistema com todos os custos inclusos em R\$ 13.216,46 com uma potência de 1,725kWp.

TABELA 16 – Gerador fotovoltaico de 1,725 kW_p**GERADOR FOTOVOLTAICO DE 1,725**

QUANTIDADE	MATERIAL
5	PLACA SOLAR 345 WP - TRINA
1	INVERSOR SOLAR MONOFASICO 220 V SIW300H M020
2	PROTETOR SURTO CA SPW275-20
3	CONECTOR MC4 6 mm ²
50	CABO CC UNIPOLAR FLEXÍVEL NH 6 mm ² PRETO
50	CABO CC UNIPOLAR FLEXÍVEL NH 6 mm ² VERMELHO
1	DISJUNTOR CA MDW-B16-2
2	ESTRUTURA PARA TELHADO CERÂMICO 3 MÓDULOS EM RETRATO

FONTE: Portal solar.

O orçamento completo está no Anexo IX o estabelecimento tem algumas formas de financiamento, porém o valor utilizado para comparação foi com pagamento à vista. Ademais, usando as referências citadas nesse trabalho o valor estimado de produção energética desse sistema gira em torno de 2.790,97 kWh/ano, contrapondo a produção estimada pela empresa Portal Solar que foi em 3.447,57 kWh/ano.

TABELA 17 – Tempo de retorno financeiro do cenário III

Ano	Produção de Energia (kWh)	Tarifa com impostos	Capital
1	2.790,97	R\$ 0,78	-R\$ 11.039,50
2	2.770,54	R\$ 0,84	-R\$ 8.721,59
3	2.750,26	R\$ 0,90	-R\$ 6.253,60
4	2.730,13	R\$ 0,96	-R\$ 3.625,81
5	2.710,14	R\$ 1,03	-R\$ 827,87
6	2.690,31	R\$ 1,11	R\$ 2.151,23
7	2.670,61	R\$ 1,19	R\$ 5.323,22
8	2.651,06	R\$ 1,27	R\$ 8.700,60
9	2.631,66	R\$ 1,37	R\$ 12.296,65
10	2.612,39	R\$ 1,47	R\$ 16.125,55

FONTE: Autoria própria.

Portanto, pode-se estimar um desconto percentual de 43% comparado ao valor de um lote do sistema. Entretanto, numa comparação direta de custo por W_p tem-se um desconto um pouco maior: para o empreendimento de 999,3 kW_p o valor por W_p é de R\$ 3,78454 e para o gerador de 1,725 kW_p o custo por W_p é R\$ 7,66171. Por conseguinte, a economia estimada é maior que 50%. Em relação ao tempo de retorno do investimento no terceiro cenário fica em meados do sexto ano, assim um incremento de três anos em comparação com o cenário I.

9. CONCLUSÃO

Além da praticidade e solução em áreas não otimizadas para instalação, a geração compartilhada possibilita inúmeros benefícios, existem várias pessoas físicas ou jurídicas que não podem alterar de forma alguma o local que residem ou desempenham suas funções laborais, sendo assim, um empecilho para o uso de energia solar. Ademais, pode-se destacar outras vantagens desse tipo de geração: Os sistemas de maior porte têm expressiva redução nos custos por Wp, como visto nos dados já citados. Em comparação com os sistemas isolados, a adesão à geração compartilhada pode ter uma economia de escala em torno de 50% do valor final da aquisição. Portanto, torna o uso da autoprodução ainda mais vantajosa, pois reduz significativamente o tempo para recuperação do capital investido. No quesito segurança esses sistemas também ostentam vantagens, pois os equipamentos usados são mais confiáveis e com maior durabilidade o que acaba otimizando ainda mais a produção.

Outro detalhe importante é a manutenção e gerenciamento do sistema de geração, no compartilhamento, os custos associados com esses processos são diluídos para todos que formam esse conjunto, permitindo um baixo custo mensal e profissionais mais qualificados.

As desvantagens do sistema são poucas perante as qualidades, ficando principalmente a cargo dos processos para obtenção da homologação que passam a ter prazos maiores. Ainda nesse sentido por ser um empreendimento mais robusto há a necessidade de um maior controle de segurança. Além disso, a burocracia para formar cooperativa ou o consorcio pode ser considerado uma inconveniência.

Portanto, percebe-se nitidamente que as vantagens são maiores que as desvantagens e o sistema fica muito oportuno tanto para aquele público que estaria excluído dessa opção energética como para os demais.

9.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o rápido aumento do custo da tarifa de energia elétrica nos últimos anos, os empreendimentos para produção da própria energia ganham cada vez mais destaque, mesmo com um custo inicial um pouco elevado, o sistema consegue o retorno financeiro relativamente célere, em apenas 4 anos. Gera-se quase 21 mil reais de lucro por cota nos primeiros 10 anos de funcionamento.

Ademais, o trabalho não abordou um local específico e nem os custos envolvendo compra ou locação de terrenos, posto que não há necessidade de criar um local específico para

instalação desse sistema, podendo o mesmo ser instalado em estacionamento e teto de shoppings, hipermercados ou grandes centros comerciais.

Há ainda, discussões sobre a sustentabilidade do modelo de geração distribuída no âmbito brasileiro, pois alguns especialistas afirmam que a longo prazo será necessário a cobrança de taxas por utilização do sistema de distribuição. A atual legislação incentiva a penetração da autoprodução, e em caso de mudança no modelo regulatório, poderá ter efeitos negativos no fluxo de caixa dos empreendimentos já instalados. Logo, esse tema deverá ser debatido em um futuro breve.

Além do mais, é de extrema valia enfatizar que este trabalho é apenas uma avaliação aproximada dos valores reais para um sistema dessa dimensão. Um dos principais componentes do custo desse empreendimento é o dólar, que na atual conjuntura socioeconômica, pode sofrer grandes alterações em curtos intervalos de tempo, o que compromete as considerações feitas durante esse trabalho. Outrossim, os custos relacionados com a instalação, sistemas de proteção e fixação, entre outros, foram estimados com base em trabalhos teóricos, o que também pode divergir da realidade.

Por fim, um projeto nessa dimensão é bastante interessante do ponto de vista financeiro, com economia significativa em relação aos projetos menores. Podendo ainda ser usado como forma de marketing sustentável por empresas ou grupos empresariais.

9.2 TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões para trabalhos futuros são elencadas abaixo:

- Um estudo detalhado do sistema de fixação e proteção para aumentar a precisão da estimativa do valor total.
- Análise econômica com foco na comparação entre investimentos consagrados e a geração distribuída.
- Estudo sobre os impactos de eventuais mudanças na legislação.
- Uma investigação do custo benefício do sistema com uso de seguidores solares instalados em localidades próximas a linha do equador.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Micro e minigeração distribuída**: sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed – Brasília: ANEEL, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** – PRODIST Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. 2017. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/modulo-3>. Acesso em 07 de fev. 2020.

BARROS, H. A. **Anteprojeto de um Sistema Fotovoltaico de 12 kWp Conectado à Rede**. Monografia de graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. 2011.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do cidadão**. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice>. Acesso em 15 jan. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Como a Célula Fotovoltaica Funciona**, 2000. Disponível em: <https://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/luischan/comofunciona.htm>. Acesso em 02 de out. 2019.

DIAMANDIS, P. **Solar energy revolution: a massive opportunity**. New York: Forbes, 2014. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solar-energy-revolution-a-massive-opportunity/#52ce9ee6c900>. Acesso em 15 jan. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA DO BRASIL. **Balanço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2018

EQUATORIAL PIAUÍ. **Evolução do valor de tarifas e reajustes – lei 136673/18**. 2020. Disponível em: <https://www.equatorialpiaui.com.br/index.php/sua-conta/evolucao-do-valor-de-tarifas-e-reajustes-lei-13-673-18/>. Acesso em: 18 de mar. 2020.

FRAGA, J. R. C. P. **Análise do comportamento da bateria utilizada em sistemas fotovoltaicos de pequeno porte**. UNESP, São Paulo, Botucatu, 2009.

FREITAS, S. S. A., **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança Paulista, 2008.

PASTERNAK, Alan D. **Global Energy Futures and Human Development: a Framework for Analysis**, US Department of Energy Report UCRL-ID- 140773, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, 2000.

GREEN, P. **Energia fotovoltaica – Manual sobre tecnologia, projeto e instalação**, 2004. Disponível em: <http://whatisgreenpro.org>. Acesso em 28 de junho 2016.

GARCIA Jr, M. **An Introduction Linking Energy Use and Human Development**, 2006. Disponível em: http://www.idiom.com/~garcia/EFHD_01.htm. Acesso em 15 de set. 2019.

MAHBUB UL HAQ. **Human Development in South Asia**. Karachi: Oxford University Press, 1997.

NREL. **Glossary of solar radiation resource terms**: National Renewable Energy Laboratory. 2017. Disponível em: <https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/solar-glossary.html>. Acesso em maio 2017.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em 18 março de 2020.

REMMERS, K. H., **Inverter, Storage an PV System Technology**: Industry Guide. Solarpraxis AG, 2013.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. – Florianópolis, LABSOLAR, 2004.

SILVA, M G; GUIMARAES, L. **Uso do Índice de Desenvolvimento Humano como Instrumento de Projeção de Demanda de Energia Elétrica**. Economia e Energia. Rio de Janeiro, v.1, nº 86 p. 03-16. 2012

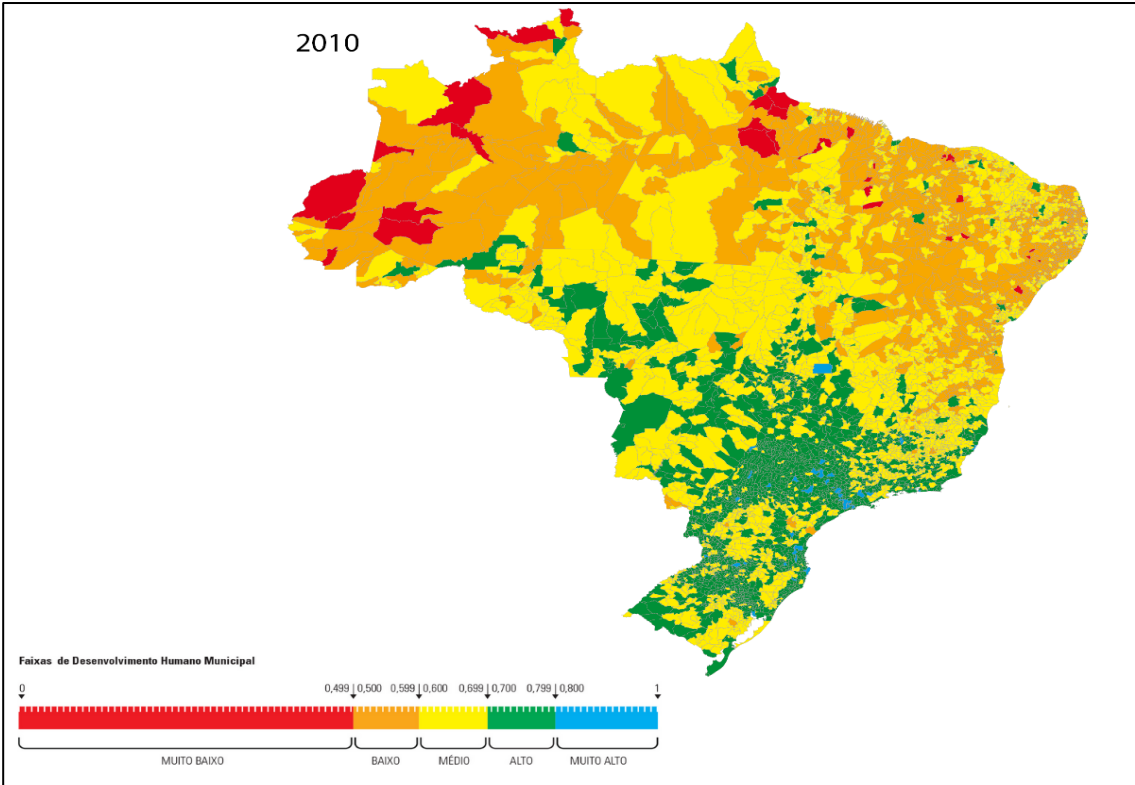
SOLIGADO, **Sistema conectado à rede**: como funciona. 2019. Disponível em: <https://www.soligado.com.br/blog/sistema-conectado-a-rede-como-funciona/32>. Acesso em 26 de mar. 2019.

SUNFIX. **Ground Mounting System from SolarWorld** - Planning and implementation. SolarWorld. Bonn – Alemanha, 2011.

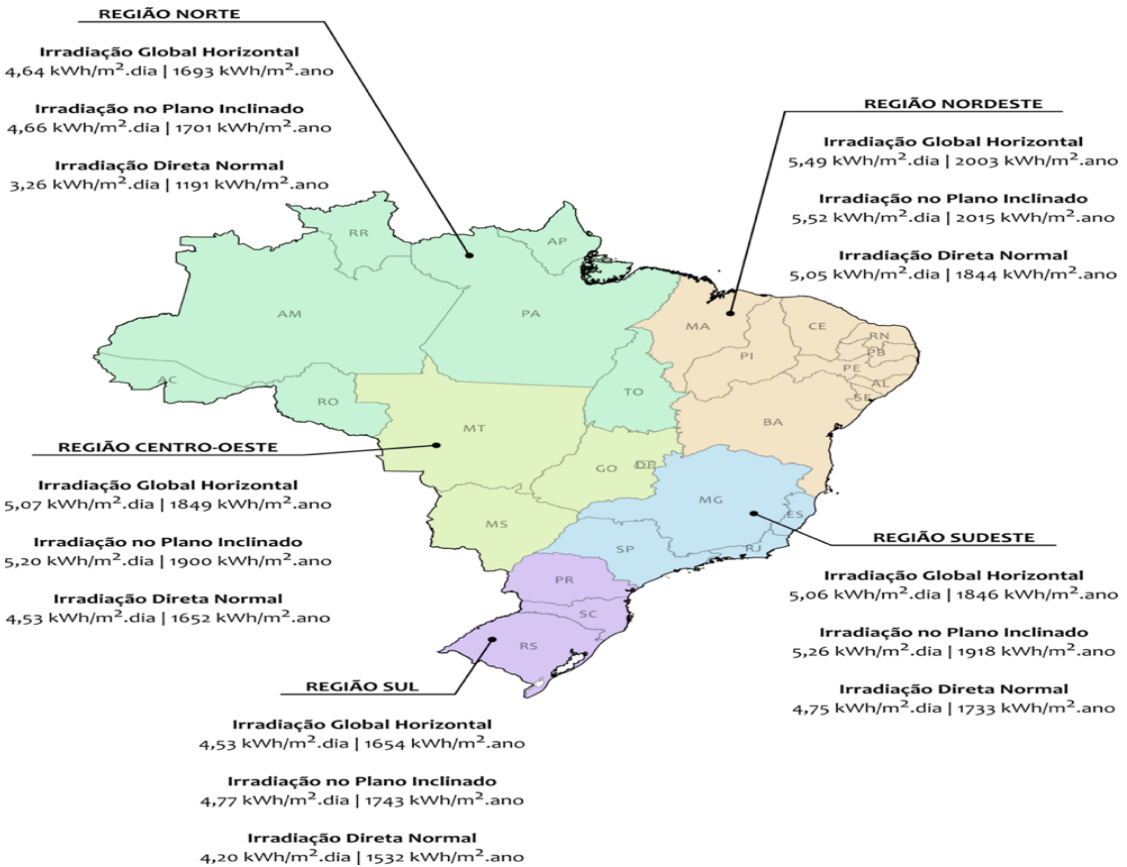
YAMASOE, Marcia Akemi. **Processos radiativos na atmosfera**, Marcelo de Paula Corrêa. Oficina de Textos - São Paulo, 2016.

ZILLES, R.; MACEDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F., 2012 **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede Elétrica**. 1. Ed. São Paulo: Oficinas de Textos v.1. 208p.

ANEXO I –MAPA DO IDHM X IRRADIAÇÃO SOLAR

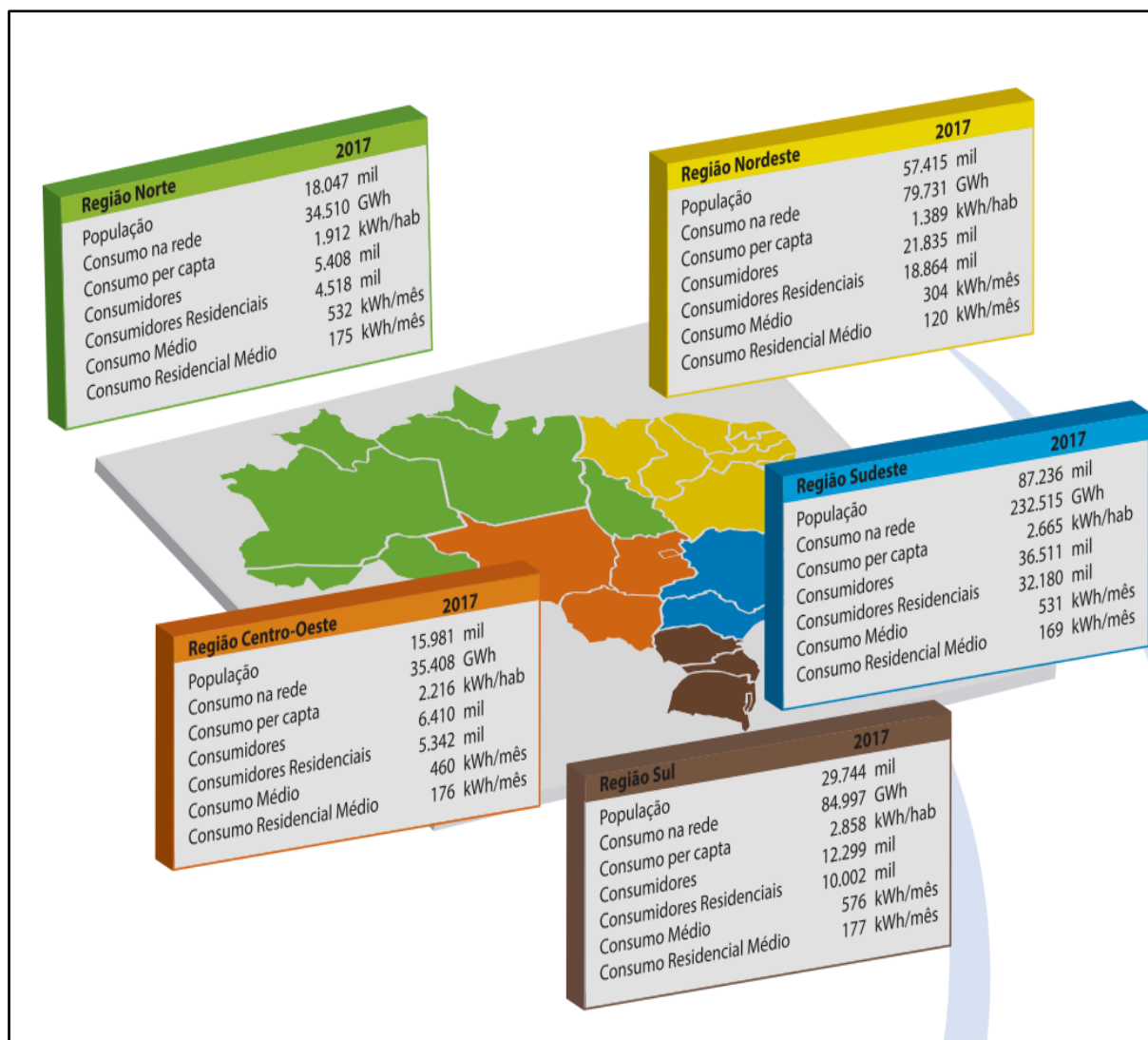


FONTE: PNUD Brasil,2010.



FONTE: PEREIRA, 2017

ANEXO II – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR REGIÃO



FONTE: Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2018.

ANEXO III – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: ()	Celular: ()	
CNPJ/CPF:		
2- Dados da Unidade Consumidora		
Carga instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão:	monofásica ☐	bifásica ☐ trifásica ☐
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica ☐	Solar ☐	Eólica ☐ Biomassa ☐ Cogeração Qualificada ☐
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1.	ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração	☐
2.	Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção(inversor, se for o caso)/Medição e memorial descritivo da instalação.	☐
3.	Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.	☐
4.	Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg	☐
5.	Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012	☐
6.	Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)	☐
7.	Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)	☐
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____	_____/_____/_____ Data	_____ Assinatura do Responsável
Local		

ANEXO IV – FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Grupo B ☐	Grupo A ☐ Classe:
Titular da UC :		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: ()	Celular: ()	
CNPJ/CPF:		
2 - Dados da Unidade Consumidora		
Localização em coordenadas: Latitude:		Longitude:
Potência instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão: monofásica ☐	bifásica ☐	trifásica ☐
Transformador particular (kVA): 75 ☐ 112,5 ☐ 225 ☐ outro:		
Tipo de instalação: Posto de transformação ☐ cabine ☐ subestação ☐		
Tipo de ligação do transformador:		
Impedância percentual do transformador:		
Tipo de ramal: aéreo ☐ subterrâneo ☐		
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica ☐	Solar ☐	Eólica ☐ Biomassa ☐ Cogeração Qualificada ☐
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de minigeração		☐
2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo		☐
3. Estágio atual do empreendimento, cronograma de implantação e expansão		☐
4. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção		☐
5. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.		☐
6. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg		☐
7. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012		☐
8. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)		☐
9. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		☐
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____	_____/_____/_____ Data	_____ Assinatura do Responsável

ANEXO V – FOLHA DE INFORMAÇÕES DO MÓDULO SP335P6-72



SP355P6-72 SERIES

Poly-crystalline 72Cells 330W-355W

10

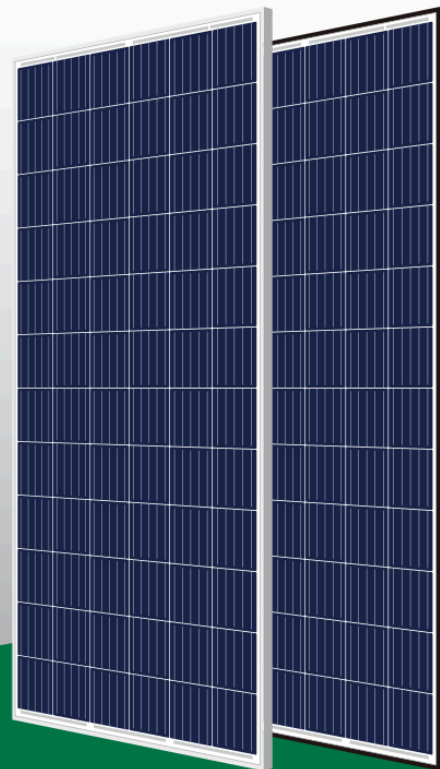
10-year product
workmanship warranty

10

10-year guarantee
for 90% rated power

25

25-year guarantee
for 80% rated power



Excellent power generation performance
Guaranteed 0~+5W positive rated power tolerance ensures more power generation every day



Long weather resistance
Excellent anti-PID(Potential Induced Degradation)
Certified in fireproofing for safety



Stable mechanical performance
Passed rigorous hail test
Withstands 5400Pa snow and 2400Pa wind loads



Lower temperature coefficient
Improved temperature coefficient decreases power loss in the high temperature application.



Low-light Performance
Advanced glass and solar cell surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.



Superior quality control
ISO 9001:2015 Quality Management System
100% EL and appearance inspection



POLYCRYSTALLINE 72 CELLS
SOLAR MODULE

330W-355W

ELECTRICAL DATA(STC)

Module	SP330P6-72	SP335P6-72	SP340P6-72	SP345P6-72	SP350P6-72	SP355P6-72
Peak Power Watts(P _{max} /W)	330	335	340	345	350	355
Power Output Tolerance(W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage(V _{mp} /V)	37.8	38.0	38.2	38.4	38.6	38.8
Maximum Power Current(I _{mp} /A)	8.73	8.82	8.91	8.99	9.07	9.15
Open Circuit Voltage(V _{oc} /V)	46.1	46.3	46.5	46.8	47.0	47.3
Short Circuit Current(I _{sc} /A)	9.24	9.32	9.40	9.49	9.58	9.66
Module Efficiency(%)	17.0	17.2	17.5	17.7	18.0	18.3

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.

*Measuring tolerance: ±3%.

ELECTRICAL DATA(NOCT)

Maximum Power(P _{max} /W)	239	242	245	248	252	255
Maximum Power Voltage(V _{mp})	34.6	34.7	34.8	34.9	35.1	35.3
Maximum Power Current(I _{mp})	6.91	6.98	7.05	7.12	7.18	7.25
Open Circuit Voltage(V _{oc})	41.3	42.5	42.6	42.8	43.0	43.3
Short Circuit Current(I _{sc})	7.49	7.55	7.61	7.68	7.75	7.82

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

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Polycrystalline 156.75 × 156.75 mm (6 inches)
Cell Orientation	72 cells (6 × 12)
Module Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.17 × 39.06 × 1.57 inches)
Weight	22.5 kg (49.6 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Tempered Glass
Backsheet	White
Frame	Silver / Black Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP 67 or IP 68 rated
Cables	4.0mm ² 1200 mm (47.24 inches)
Connector	MC4

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	44°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P _{max}	- 0.41%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	- 0.31%/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	+0.05%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V DC (IEC) 1000V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	15A

WARRANTY

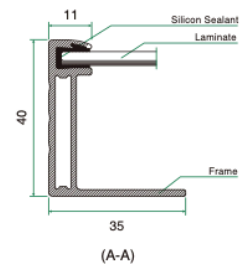
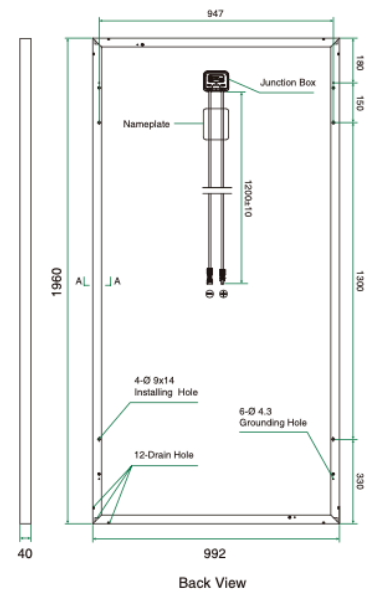
10 year Product Workmanship Warranty
25 year Linear Power Warranty

(Please refer to product warranty for details)

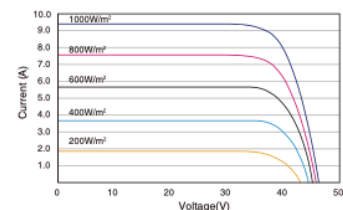
PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 27 pieces
Modules per 40' container: 648 pieces

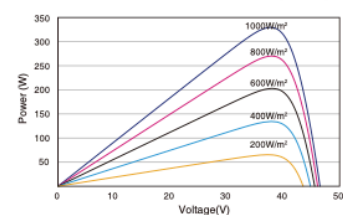
DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



I-V CURVES OF PV MODULE(335W)



P-V CURVES OF PV MODULE(335W)



ANEXO VI- FOLHA DE INFORMAÇÕES DO INVERSOR MAX60KTL3LV

MAX 50~80KTL3 LV



Suitable for both large scale commercial rooftop and ground mounted solar plants, Growatt Max series grid-tied inverter is with upto 80kW big capacity. First quad-core inverter in the industry, provides it fast processing capability to handle transient grid fault, with optimized design, it also brings 98.67% high weighted China efficiency, 0.3% higher than industry level, along with extraordinary 6 MPP trackers, ensures high yield of system.

- 6 MPPTs
- Smart diagnosis
- High efficiency up to 99%
- Local WIFI connection
- String monitoring
- AC&DC type II SPD

NEW

Datasheet	MAX 50KTL3 LV	MAX 60KTL3 LV	MAX 70KTL3 LV	MAX 80KTL3 LV
Input Data				
Max.DC power	65000W	78000W	91000W	104000W
Max.DC voltage	1100V	1100V	1100V	1100V
Start Voltage	250V	250V	250V	250V
PV voltage range	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V
Nominal voltage	585V	585V	600V	685V
Full load DC voltage range	500V-850V	520V-850V	600V-850V	685V-850V
Max. input current per MPPT	25A	25A	25A	25A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	6/2	6/2	6/2	6/2
Output (AC)				
Rated AC output power	50000W	60000W	70000W	80000W
Max. AC apparent power	55500VA	66600VA	77700VA	88800VA
Max. output current	80.5A	96.6A	112.7A	128.8A
AC nominal voltage	230V/400V	230V/400V	230V/400V	230V/400V
AC grid frequency	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz
Power factor	0.8leading ...0.8lagging	0.8leading ...0.8lagging	0.8leading ...0.8lagging	0.8leading ...0.8lagging
THDI	<3%	<3%	<3%	<3%
AC grid connection type	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE
Efficiency				
Max.efficiency	98.8%	98.8%	99%	98.8%
Euro - eta	98.3%	98.3%	98.4%	98.3%
MPPT efficiency	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
Protection Devices				
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes	yes
DC Switch	yes	yes	yes	yes
DC Surge protection	Type II	Type II	Type II	Type II
Ground fault monitoring	yes	yes	yes	yes
Output short circuit protection	yes	yes	yes	yes
AC Surge protection	Type II	Type II	Type II	Type II
String fault monitoring	yes	yes	yes	yes
Anti-PID protection	opt	opt	opt	opt
AFCI protection	opt	opt	opt	opt
General Data				
Dimensions (W / H / D) in mm	860/600/300	860/600/300	860/600/300	860/600/300
Weight	82kg	82kg	82kg	82kg
Operating temperature range	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C
Noise emission (typical)	≤55dB(A)	≤55dB(A)	≤55dB(A)	≤55dB(A)
Self-Consumption	< 1W*	< 1W*	< 1W*	< 1W*
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Smart cooling	Smart cooling	Smart cooling	Smart cooling
Environmental Protection Rating	IP65	IP65	IP65	IP65
Altitude	4000m	4000m	4000m	4000m
Relative Humidity	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
Features				
Display	LED/WIFI+APP	LED/WIFI+APP	LED/WIFI+APP	LED/WIFI+APP
Interfaces:USB/R485/GPRS	yes / yes / opt	yes / yes / opt	yes / yes / opt	yes / yes / opt
Warranty:5 years / 10 years	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt
CQC, CE, VDE 0126-1-1, UTE C 15-712, VDE-AR-N4105, EN50438, DRRG, CEI 0-16, BDEW, IEC 62116, IEC61727, IEC 60068, IEC 61683, AS 4777				

PROFORMA INVOICE

TO: Edmar de sousa braga junior

Quotation No. ET200408302

Quotation Date 2020/4/8

Delivery Time: 30 days after received payment
 Delivery Place: CIF Santos
 Payment Terms: 100% payment in advance
 Validity Period Of Quotation : 15days

Eitai (Xiamen) New Energy Technology Co., Ltd.
 361100
 #1003 NO.498 XingLinWan Road,
 JiMei District Xiamen China
 TEL+86 592-7208868
 FAX +86 592-7208768
 Contact: Amy Yao



SUB-TOTAL **\$44,786.00** USD

PRODUCT	PICTURE	UNIT	Quantity	Price	Total Price
Growatt MAX60KTL3 LV with WIFI Module		PCS	16	\$2,775.00	\$44,400.00
				Total:	\$44,400.00
				Freight	\$386.00
				SUB-TOTAL:	\$44,786.00

Company seal of Buyer	Company seal of Seller

Bank information Currency: USD
 Bank name: THE AGRICULTURAL BANK OF CHINA, XIAMEN BRANCH
 Bank address: NO.98-100 JIAHE ROAD, 2F, ABC BLDG., XIAMEN 361009, P.R. CHINA
 SWIFT code: ABOCCNBJ400
 BENEFICIARY'S NAME: Eitai(xiamen) New Energy Technology Co., Ltd
 BENEFICIARY'S ADDRESS: Unit 1003A, No.498 Xinglinwan Road, JiMei District, Xiamen
 BENEFICIARY'S ACCOUNT NO.: 40321014040003264

ANEXO VIII – FOLHA DE INFORMAÇÕES DO TRANSFORMADOR

Características Básicas Transformadores Geafol Linha Geafolito (*) Classe 15kV

Tensão Primária:
13,8/13,2/12,6/12,0/11,4 kV

Tensão Secundária:
Conforme tabela ao lado

Frequência: 60 Hz

Grupo de Ligação: Dyn1

Norma: NBR 10295

Nível de Isolamento
AT: 34/95 kV BT: 4/- kV

Impedância: 5,75%

Classe Térmica: F (155°C)

Posição dos Terminais
AT: Superior BT: Superior

Nível de Ruído:
Conforme NBR 10295

Potência	BT	Perdas			Dimensões (ver desenho pág. 7)				
(kVA)	(V)	Io (%)	Po (W)	Pk (W)	a	b	c	d	Massa (kg)
75	220	2.50	420	2370	1020	730	1025	520	450
	380	2.50	420	2370	1020	730	960	520	450
112.5	220	1.60	500	3300	1060	740	1145	520	590
	380	1.60	500	3150	1210	740	1095	520	600
150	220	1.40	600	3400	1190	750	1145	520	730
	380	1.40	600	3500	1120	750	1125	520	750
225	220	1.60	900	4350	1180	775	1235	520	920
	380	1.60	900	4200	1180	775	1235	520	920
300	220	1.00	950	4700	1340	790	1295	520	1260
	380	1.00	950	4700	1340	790	1245	520	1250
500	220	1.50	1800	8300	1480	805	1395	520	1650
	380	1.50	1800	7600	1480	815	1395	520	1650
750	220	2.00	2600	10700	1620	835	1455	520	2050
	380	2.00	2600	9900	1620	835	1455	520	2050

(*) Na linha Geafolito, poderá ser utilizado cobre nos condutores primários.

Características Básicas Transformadores Geafol Classe 15 kV

Tensão Primária:
13,8/13,2/12,6/12,0/11,4 kV

Tensão Secundária:
Conforme tabela ao lado

Frequência: 60 Hz

Grupo de Ligação: Dyn1

Norma: NBR 10295

Nível de Isolamento
AT: 34/95 kV BT: 4/- kV

Impedância: 5,75%

Classe Térmica: F (155°C)

Posição dos Terminais
AT: Superior BT: Superior

Nível de Ruído:
Conforme NBR 10295

Potência	BT	Perdas			Dimensões (ver desenho pág. 7)				
(kVA)	(V)	Io (%)	Po (W)	Pk (W)	a	b	c	d	Massa (kg)
750	220	2.00	2750	10900	1660	905	1495	670	2000
	380	2.00	2650	10000	1650	905	1495	670	2100
	440	2.00	2650	9900	1580	905	1495	670	2100
1000	220	1.50	2700	13600	1710	915	1735	670	2400
	380	1.50	2700	12000	1700	915	1715	670	2400
	440	1.50	2800	12000	1620	915	1735	670	2400
1250	220	1.20	3600	18900	1750	925	1895	670	2800
	380	1.20	3100	14300	1710	920	1895	670	2900
	440	1.20	3100	13500	1750	920	1890	670	2900
1500	380	1.00	3900	15300	1820	940	1925	670	3400
	440	1.00	3600	15000	1820	940	1925	670	3400
2000	380	0.90	4900	20400	1990	1055	1885	820	4300
	440	0.90	5300	20100	1990	1055	1885	820	4300
2500	380	0.60	6100	25200	2110	1075	2045	820	5400
	440	0.60	5800	23300	2160	1075	2045	820	5500

ANEXO IX – GERADOR FOTOVOLTAICO DE 1,725kW_P

CLIENTE:	Edmar Junior	ESTIMATIVA DE CUSTO	
		DATA:	07/05/2020

Vendedor	Maurício Dias
Telefone/Whatsapp	(11) 93061-3983
E-mail	mauricio@portalsolar.com.br

Estimativa de custos com base no consumo médio de:

Tipo de telhado / local:

Código do Gerador: WEG-G-00172-TRI-345-111

233,00 kWh/mês

Gerador Fotovoltaico de 1,725 kWp	
Quantidade	Material
5	Placa Solar 345 Wp - TRINA
1	Inversor Solar Monofásico 220 V SIW300H M020
2	Protetor surto CA SPW275-20
3	Conector MC4 6 mm²
50	Cabo CC Unipolar flexível NH 6 mm² Preto
50	Cabo CC Unipolar flexível NH 6 mm² Vermelho
1	Disjuntor CA MDW-B16-2
2	Estrutura para telhado Cerâmico 3 módulos em retrato

Cartão de crédito			
Equipamento	R\$		9.901,09
Projeto Homologação na distribuidora Instalação	R\$		4.027,62
Frete	R\$		631,51
10x (sem juros)*	R\$		1.456,02
À vista no Boleto	Desconto	8,84%	R\$ 13.216,46

Entrada:

Financiamento Para Energia Solar**

Financiamento Para Energia Solar**

Financiamento Para Energia Solar**

Financiamento Para Energia Solar**

Financiamento Para Energia Solar**

Carência 90 dias

R\$ -

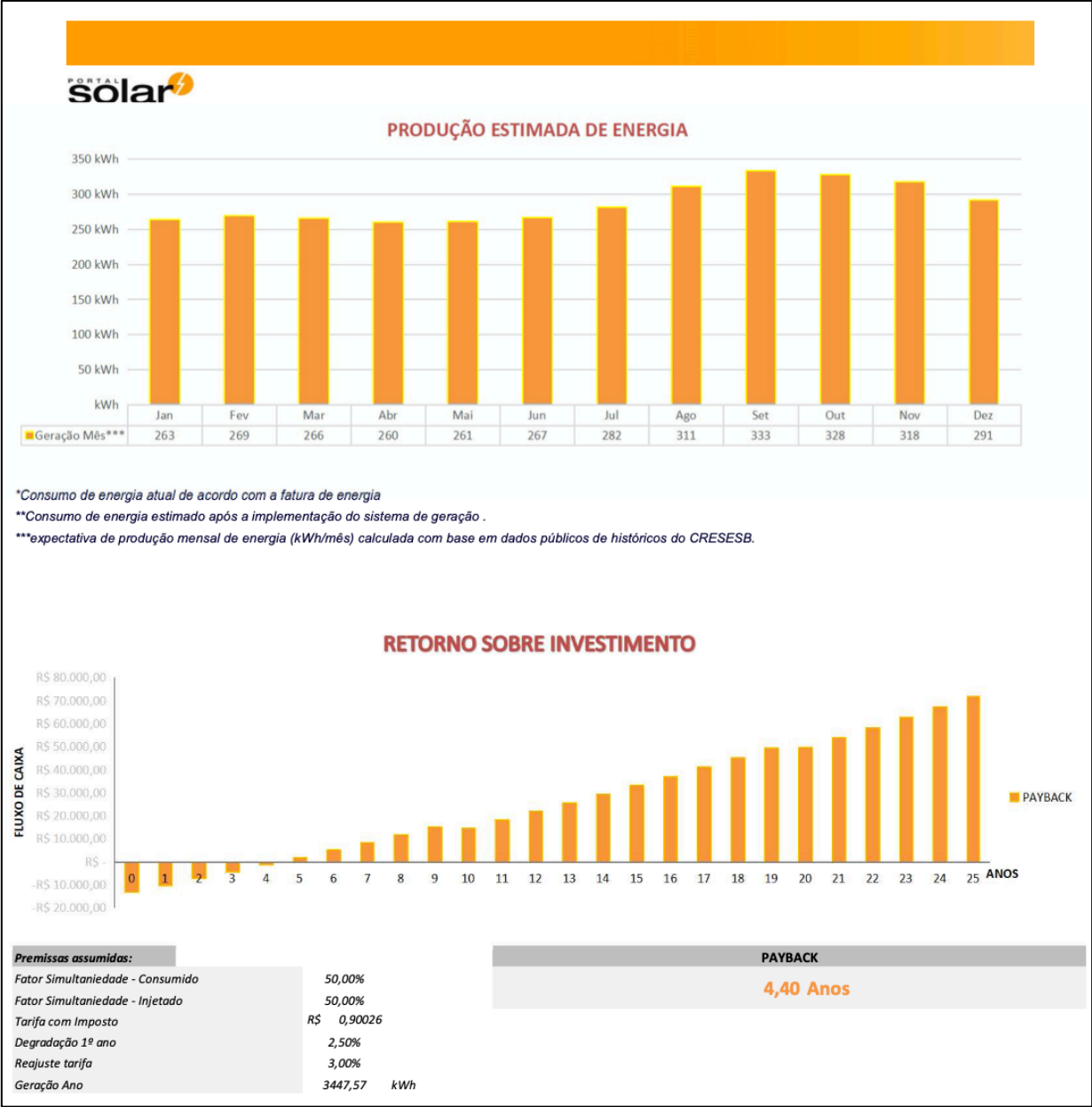
24x R\$ 713,63

36x R\$ 506,64

48x R\$ 414,12

60x R\$ 358,30

72x R\$ 325,66



ANEXO X- RENDERIZAÇÃO DO SUPORTE

