

LEONARDO MADURO NUNES

**Estudo de necessidades para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico destinado à
irrigação em pequena propriedade rural.**

Leonardo Maduro Nunes

Estudo de necessidades para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico destinado à irrigação em pequena propriedade rural.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador(a): Prof. Dr. Rubens Alves Dias

N972e	Nunes, Leonardo Maduro Estudo de necessidades para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico destinado à irrigação em pequena propriedade rural / Leonardo Maduro Nunes - Guaratinguetá, 2024. 87 f : il. Bibliografia: f. 75-78 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024. Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias 1. Geração de energia fotovoltaica. 2. Propriedade rural. 3. Irrigação. 4. Sustentabilidade. I. Título. CDU 620.91
-------	--

LEONARDO MADURO NUNES

**Estudo de necessidades para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico
destinado à irrigação em pequena propriedade rural.**

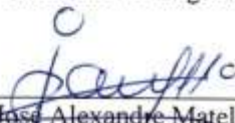
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia e Ciências, Guaratinguetá, para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Elétrica.

Data da defesa: 18/11/2024

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Rubens Alves Dias
UNESP - Faculdade de Engenharia e Ciências – Campus de Guaratinguetá



Prof. Dr. José Alexandre Matelli
UNESP - Faculdade de Engenharia e Ciências – Campus de Guaratinguetá



Prof. Dr. Evaldo Chagas Gouvêa
UNESP - Faculdade de Engenharia e Ciências – Campus de Guaratinguetá

RESUMO

No presente trabalho é feito um estudo da viabilidade de utilização de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia elétrica em pequenas propriedades rurais, visando sua utilização em sistemas de irrigação. Com o atual cenário de mudanças climáticas em escala mundial, viu-se necessário a busca por alternativas sustentáveis para geração de energia e utilização racional de recursos hídricos. Utilizando os meios apresentados durante o estudo, foi realizada uma análise para uma propriedade rural na cidade de Piquete - SP, dimensionando os equipamentos necessários de acordo com sua necessidade, para além de fornecer energia para a bomba d'água utilizada no sistema de irrigação, também foi considerado a geração para o sistema de iluminação e tomadas de uma pequena residência no local. Neste caso, investindo-se no sistema fotovoltaico e de comando propostos, além de se obter um sistema sustentável e autônomo, o retorno desse investimento considerando as tarifas da concessionária local seria de aproximadamente cinco anos e meio. Assim constatando a viabilidade de implementação desses sistemas principalmente em locais onde o fornecimento de energia pela rede não é possível ou com pouca confiabilidade.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos; Irrigação; Propriedades rurais; Sustentabilidade.

ABSTRACT

In this study, the feasibility of using photovoltaic systems for electricity generation on small rural properties is analyzed, aiming at their application in irrigation systems. Given the current global climate change scenario, there is a need to seek sustainable alternatives for energy generation and the rational use of water resources. Using the methods presented in this study, an analysis was conducted for a rural property in the city of Piquete - SP, sizing the necessary equipment according to its needs. In addition to providing energy for the water pump used in the irrigation system, energy generation for the lighting system and outlets of a small residence on the site was also considered. In this case, by investing in the proposed photovoltaic and control systems, a sustainable and autonomous system can be achieved, with a return on investment, considering the local utility rates, of approximately five and a half years. Thus, the feasibility of implementing these systems is verified, especially in locations where grid energy supply is unavailable or unreliable.

Keywords: Photovoltaic systems; Irrigation; Rural properties; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total de consumo de energia na Índia por tipo, 2020.....	13
Figura 2 - Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT)	18
Figura 3 - Tipos de radiação	20
Figura 4 - Ângulos solares.....	21
Figura 5 - Distribuição percentual da radiação solar incidente	22
Figura 6 - Espectro da radiação solar no topo da atmosfera e no nível do mar, para atmosfera média e sol.	22
Figura 7 - Efeitos fotovoltaico e fotoelétrico.	23
Figura 8 - Estrutura molecular das células fotovoltaicas e ocorrência do efeito fotovoltaico..	25
Figura 9 - Tipos de tecnologias de células fotovoltaicas.....	27
Figura 10 - Componentes de um módulo fotovoltaico.	28
Figura 11 - Curva característica I - V de corrente e tensão de um módulo fotovoltaico.....	29
Figura 12 - Curva característica P- V de potência e tensão de um módulo fotovoltaico.	30
Figura 13 - Influência da radiação solar na operação do módulo fotovoltaico.	31
Figura 14 - Influência da temperatura na operação do módulo fotovoltaico.....	31
Figura 15 - Conjunto de módulos em série e curva característica I-V	32
Figura 16 - Conjunto de módulos em paralelo e curva característica I-V.....	33
Figura 17 - Conjunto de módulos em série e paralelo e curva característica I-V.....	34
Figura 18 - Módulo fotovoltaico com sombra em uma célula (com diodo de <i>bypass</i>).	35
Figura 19 - Resultado do sombreamento na característica I-V do módulo.	35
Figura 20 - Modos de conexão dos bancos de baterias.	37
Figura 21 - Característica da bateria de chumbo ácido.	38
Figura 22 - Número de ciclos de carga e descarga possíveis em função da profundidade de descarga da bateria.....	39
Figura 23 - Gráfico da vida útil de uma bateria de chumbo ácido em função da temperatura de utilização.....	39
Figura 24 - Perfil de carga de uma bateria de chumbo ácido com três estágios.....	41
Figura 25 - Operação do módulo fotovoltaico com e sem o recurso do MPPT	42
Figura 26 - Funcionamento do inversor CC-CA.	43
Figura 27 - Tensão alternada produzida na saída do inversor CC-CA.....	44
Figura 28 - Ondas senoidal pura, modificada e quadrada	45
Figura 29 - Funcionamento do inversor PWM de onda senoidal pura.....	46

Figura 30 - Organização e componentes de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica.....	47
Figura 31 - Parâmetros hidráulicos de uma instalação de recalque.....	56
Figura 32 – Localização da propriedade em estudo	59
Figura 33 - Circuitos iluminação e tomadas “casinha”	60
Figura 34 – Gráfico de desempenho.....	62
Figura 35 – Dados de insolação para a localidade do estudo	63
Figura 36 - Diagrama trifilar	67
Figura 37 – Vista superior da “casinha” com posição dos painéis.....	68
Figura 38 - Diagrama de comando da bomba.....	68
Figura 39 - Conexões e funcionamento do relé WEG RNW-ES	69
Figura 40 – Possível sistema de irrigação	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas.	27
Tabela 2 - Limite de distorção harmônica de corrente	44
Tabela 3 – Levantamento das cargas	61
Tabela 4 – Cálculo baseado no ponto médio da curva manométrica da bomba, com aplicação de conceitos de Colebrook, Bernoulli e Darcy Weissbach.....	61
Tabela 5 – Resumo de cabos	66
Tabela 6 - Dados técnicos mini-wobbler vertical.....	69
Tabela 7 – Lista de materiais com devida precificação.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	JUSTIFICATIVA	10
1.2	OBJETIVOS	11
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	11
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1	ALGUNS ASPECTOS NO MUNDO	12
2.2	O CENÁRIO NO BRASIL	15
3	ASPECTOS CONCEITUAIS	19
3.1	RADIAÇÃO SOLAR	19
3.2	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	23
3.2.1	Tipos de Células.....	26
3.3	PAINEL FOTOVOLTAICO	27
3.3.1	Características elétricas.....	28
3.3.2	Curvas Características.....	29
3.3.3	Influências Sobre as Curvas.....	30
3.3.4	Arranjos Fotovoltaicos.....	32
3.3.5	Sombreamento sobre módulos.....	34
3.4	SISTEMAS AUTÔNOMOS (<i>OFF-GRID</i>)	36
3.4.1	Baterias	36
3.4.2	Controladores de Carga.....	40
3.4.3	Inversores	43
3.5	SISTEMAS LIGADOS A REDE (<i>ON-GRID</i>)	46
3.6	DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES	47
3.6.1	Método da Insolação	48
3.6.2	Método da Corrente Máxima	49
3.6.3	Dimensionamento Banco de Baterias	50
3.6.4	Dimensionamento Controlador de Carga.....	52
3.6.5	Dimensionamento Inversor	52
3.6.6	Dimensionameto Cabos	52
3.6.7	Dispositivos de Seccionamento e Proteção.....	54
3.7	SISTEMAS DE BOMBEAMENTO	55
3.8	SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	57
4	DESENVOLVIMENTO	59
4.1	PREMISSAS DO ESTUDO	59
4.2	LEVANTAMENTO DE CARGA	60

4.3	SISTEMA FOTOVOLTAICO	62
4.3.1	Equipamentos.....	62
4.3.2	Cabos e Proteção.....	65
4.4	SISTEMA ELÉTRICO	66
4.5	SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	69
4.6	CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO	70
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>75</u>
	<u>APÊNDICE A – RELATÓRIOS DE DIMENSIONAMENTO PRYSMIAN 4.0</u>	<u>79</u>
	<u>APÊNDICE B – LISTA DE MATERIAS COMPLETA</u>	<u>83</u>
	<u>ANEXO A – FOLHA DE DADOS PAINEL ZTP-340M.....</u>	<u>84</u>
	<u>ANEXO B - FOLHA DE DADOS CONTROLADOR DE CARGA XTRA.....</u>	<u>85</u>
	<u>ANEXO C - FOLHA DE DADOS BATERIAS SÉRIE FREEDOM</u>	<u>86</u>
	<u>ANEXO D – FOLHA DE DADOS INVERSOR SÉRIE ZT</u>	<u>87</u>

1 INTRODUÇÃO

Tragédias como a ocorrida no Rio Grande do Sul no ano de 2024 tem tornado mais evidente a necessidade da busca de alternativas para a geração de energia devido as mudanças climáticas que estão afetando não só o Brasil, mas todo o mundo (Belic, Frioli, 2024). Portanto, as fontes de energias renováveis, como as células fotovoltaicas (Villalva, 2015) têm se tornado cada vez mais relevantes e necessárias. Além disso, há muitos casos em propriedades rurais onde o acesso a rede elétrica é muito distante ou até mesmo inexistente (Nascimento, 2023). Sendo assim, a energia elétrica de origem fotovoltaica se torna uma opção para suprir essa necessidade.

Outro agravante que se tem presenciado devido as mudanças climáticas são as irregularidades nos períodos de chuva (FAESP/SENAR-SP, 2020), podendo ocasionar dias ou até mesmo semanas de estiagem, sendo diretamente prejudicial ao cultivo e a pecuária de todo o país. Portanto, os sistemas de irrigação servem para regularizar essa necessidade básica da água (Coelho; Silva, 2013), assim como proporcionar o uso eficiente de um recurso que pode se tornar escasso no futuro, se devidamente projetado.

Portanto, a associação desses dois métodos tem o potencial de proporcionar um sistema sustentável e eficiente, tanto do ponto de vista energético quanto no uso da água, gerando benefícios econômicos e ambientais para o produtor rural, o qual é o objeto de estudo deste trabalho. Isso ocorre porque promove um aumento na produtividade agrícola e os painéis fotovoltaicos ajudam a reduzir os custos relacionados ao consumo de eletricidade. Mesmo havendo investimentos relativamente altos na adesão ao sistema fotovoltaico no Brasil, também existem programas de caráter mais específico, como o incentivo ao investimento no âmbito rural, os quais podem ser acessados por meio do PRONAF e do FEAP-PSA (Pinheiro, 2023).

1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho justifica-se pela crescente necessidade de soluções energéticas sustentáveis e acessíveis para propriedades rurais, que ainda sofrem com deficiências de acesso à eletricidade. A combinação de mudanças do clima e condições meteorológicas extremas, como secas prolongadas, enfatiza a importância de práticas agrícolas mais eficientes, como a irrigação, usando energia elétrica de origem fotovoltaica.

Por outro lado, a energia fotovoltaica, como fonte limpa e independente, permite gerar

eletricidade para executar esse tipo de irrigação e não depender da rede elétrica convencional. Por meio dela, os pequenos agricultores conseguem garantir a segurança hídrica e energética. Além disso, a conversão desse tipo de sistema também contribui para a sustentabilidade ambiental e energética a longo prazo, pois reduz os gases de efeito estufa e previne o uso de combustíveis fósseis.

Embora o sistema fotovoltaico possa ser uma solução cara no início, possui alternativas de programas de auxílio financeiro aos produtores rurais, além de um retorno financeiro relativamente rápido quando comparado a vida útil do sistema fotovoltaico, se bem projetado.

1.2 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo geral estudar e analisar a viabilidade da aplicação de sistemas de geração de energia fotovoltaicos em propriedades rurais, com o intuito de atender as necessidades energéticas de uma bomba para o sistema de irrigação local.

De forma específica, objetiva-se entender e aplicar a um caso real o método para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid, realizando a integração de outras áreas de conhecimento, como no caso do sistema de irrigação e, por fim, analisar a viabilidade econômica da proposta de geração alternativo.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo que no segundo capítulo há uma análise dos estudos e experimentos feitos em âmbito internacional e nacional, visando identificar elementos conceituais e tecnológicos relacionados ao tema estudado.

O capítulo três contém os conceitos básicos e necessários para entendimento dos sistemas fotovoltaicos, como a radiação solar, funcionamento das células e sistemas ligados ou não a rede de energia. Também consta elementos conceituais (básicos) para a implementação de um sistema de bombeamento de água, visando atender a irrigação do plantio.

Já no quarto capítulo é realizado um estudo de caso baseado em uma propriedade, dimensionando e analisando os componentes necessários e recomendados para a aplicação do sistema e em quanto tempo ele irá se pagar. E por fim, no capítulo cinco são feitas as considerações finais obtidas por meio da realização do estudo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nos tópicos a seguir, são discutidos alguns modelos e implementações dos sistemas de geração de energia fotovoltaica na utilização para irrigação e para outras finalidades em propriedades rurais, tanto sob o ponto de vista internacional quanto nacional.

2.1 ALGUNS ASPECTOS NO MUNDO

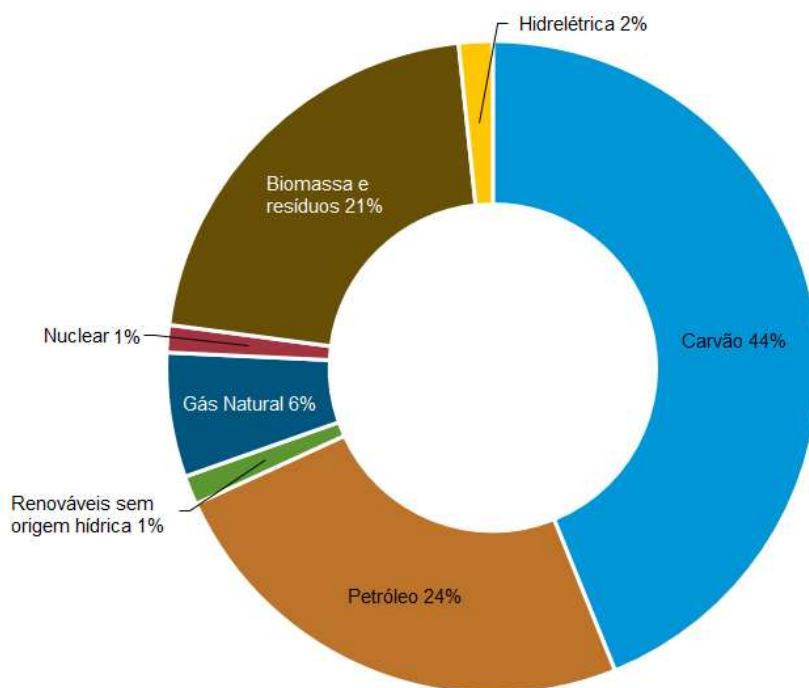
A tecnologia de sistemas de irrigação, a partir da energia fotovoltaica, tem sido estudada numa escala mundial, em decorrência dos aspectos econômicos e ambientais e, na Índia, por exemplo, foi realizado um estudo sobre as perspectivas desse sistema naquele país. Kumar (2018), em virtude da abrangência de seu trabalho, fornece elementos que servirão de base para os parágrafos que se seguem, havendo inserções de outras pesquisas, trabalhos e relatórios, as quais permitem ampliar o entendimento dos pontos apresentados.

A Índia por ser um dos países mais povoados do mundo, e com constante crescimento, a necessidade de energia elétrica no país cresce mais a cada ano. Além disso, o setor agrícola é um dos principais componentes do Produto Interno Bruto (PIB) do país e mais da metade da população indiana está diretamente empregada nesse setor, ou seja, influenciando diretamente na demanda energética do mesmo.

Segundo o Escritório Central de Estatísticas, cerca de 20% da energia gerada entre os anos de 2014 e 2015 foi consumida somente pelo setor agrícola, sendo o principal agravante desse fato o crescimento na utilização de bombas para o recalque de água. Sendo que dessas bombas, cerca de 40% delas são movidas a óleo diesel, e os outros 60% energizadas eletricamente.

Entretanto, a matriz energética de consumo do país é composta em maior parte pelo carvão mineral seguido dos derivados do petróleo como o óleo diesel (EIA, 2022), fazendo com que o bombeamento por ambos os métodos implique na grande emissão de gases do efeito estufa na atmosfera. Por meio da Figura 1, na qual observam-se esses dados, também é possível notar que o consumo da energia fotovoltaica e outras de fontes renováveis não dependentes da água, como eólica, ainda não representam nem um por cento do consumo na Índia.

Figura 1 - Total de consumo de energia na Índia por tipo, 2020



Fonte: Adaptado de EIA (2022)

Portanto, os sistemas de bombeamento que utilizam a energia fotovoltaica se tornaram uma opção muito válida para contornar os empecilhos climáticos causados pelas fontes de energia derivadas dos combustíveis fósseis. No estudo de Kumar (2018) foi desenvolvida um quadro, visto a seguir no Quadro 1, onde mostra uma comparação entre os tipos de bombeamento possíveis no país, mostrando as vantagens e desvantagens de cada método.

Quadro 1 - Comparação de opções de bombeamento de água rural solar e outras opções disponíveis

	Tecnologia do bombeamento de água	Vantagens	Desvantagens
1.	Bombeamento por células fotovoltaicas	• Mínimo custo de manutenção • Sem emissão de gases poluentes • Não requer combustível • Fácil instalação • Fácil operação • Pode ser usada como fonte para carregamento de baterias, lâmpadas solares, etc.	• Trabalha apenas com disponibilidade de radiação solar • Alto custo de instalação
2.	Bombas a diesel	• Custo de instalação moderado • Pode operar em qualquer momento do dia ou noite • Fácil disponibilidade de vendas e serviços	• Alto custo de manutenção • Alto custo de operação • Cria poluição sonora e do ar • Necessário supervisão contínua • Manutenção ruim reduz a vida útil
3.	Bombas elétricas	• Fácil instalação • Pode ser portátil • Fácil disponibilidade de vendas e serviços • Custo de instalação moderado	• Alto custo de operação • Fonte de alimentação fraca ou interrompida aumenta tempo de inatividade • Requer disponibilidade de rede elétrica
4.	Bombas d'água a energia eólica	• Sem emissão de gases • Não requer combustível • Duradouro	• Alto custo de instalação • Alto custo de manutenção • Muito limitado quanto a vendas e serviços • Disponibilidade de vento é obrigatório para operação adequada
5.	Carneiro hidráulico	• Mínimo custo de instalação • Baixo custo de manutenção • Sem emissão de gases • Fácil instalação	• Viável apenas em locais onde há disponibilidade de água superficial

Fonte: Adaptado de Kumar (2018)

A principal característica desse sistema é a não emitir dióxido de carbono na produção de energia e a possibilidade da instalação de forma isolada de uma rede de distribuição elétrica. Pode funcionar periodicamente durante o dia, ou até mesmo fora do período diurno, no caso do uso de baterias.

Apesar do elevado custo inicial para a implementação do sistema fotovoltaico, essa solução se tornou mais viável nos últimos anos devido aos incentivos do governo indiano à sua implementação. Além disso, com o passar dos anos, os módulos fotovoltaicos utilizados nos sistemas se tornaram mais baratos e com tecnologias mais avançadas, tornando cada vez mais eficientes na conversão de energia. Com todos esses incentivos houve um significativo aumento do número de sistemas em funcionamento na Índia, com mais de 1,5 milhões em funcionamento no ano de 2022.

Entretanto, a excessiva utilização desse sistema de bombeamento tem transformado a extração de água dos lençóis freáticos em uma crise “silenciosa”. Isso ocorre devido à rápida diminuição dos níveis desses reservatórios (AGSOLVE, 2024). No estado de Rajastão, por exemplo, os aquíferos estão sendo esgotados em um ritmo superior à sua capacidade de recarga.

Além disso, outras regiões com clima desértico, como a África Subsaariana e partes do Oriente Médio, têm enfrentado problemas semelhantes (AGSOLVE, 2024), com a rápida adesão a esses sistemas e a incapacidade dos lençóis freáticos de se recompor. Essa situação é agravada pela extração de água, que é realizada sem regulamentação e monitoramento adequado.

Vale ressaltar que esse impasse não é simples de ser resolvido, isso pois assim como os sistemas para bombeamento fotovoltaico são soluções para a emissão de dióxido de carbono e para fornecimento de energia em locais sem fácil acesso à rede de distribuição, a extração em excesso dos aquíferos pode ocasionar em seus esgotamentos. Sendo assim, é necessário uma regularização e controle dessa tecnologia para garantir seu consumo sustentável.

2.2 O CENÁRIO NO BRASIL

Como foi visto, sistemas relacionados ao apresentado estão presentes em partes do mundo, sendo o Brasil um dos maiores polos com possibilidade de implementação do mesmo, tanto por seu clima, como pelo grande investimento do agronegócio presente no país.

No Sul do estado do Piauí, jovens agricultores adotaram sistemas de energia solar para o cultivo de alimentos biofortificados (Ribeiro, 2017), que são enriquecidos com vitaminas e minerais essenciais. Essa prática não só reduz os custos com eletricidade, mas também promove a sustentabilidade e a independência energética nas propriedades rurais. A energia solar é aplicada em sistemas de irrigação e no controle de umidade do solo, melhorando a produção agrícola e melhorando a qualidade dos alimentos produzidos.

A utilização da energia solar em pequenas propriedades rurais apresenta diversos benefícios, como a redução de custos operacionais e a promoção da sustentabilidade ambiental. Kits solares, com preços entre R\$ 2.000,00 e R\$ 2.500,00 (Genaria, 2008), são empregados em várias aplicações, incluindo aquecimento de água, secagem de grãos, bombeamento de água para irrigação, e eletrificação de cercas para controle de animais. Esses kits são especialmente úteis em áreas remotas, onde a infraestrutura elétrica é escassa ou inexistente. O programa "Prosa Rural" destaca que a energia solar é uma alternativa viável e ecológica para os desafios energéticos do campo em áreas afastas e não eletrificadas.

Além disso, há uma solução tecnológica que envolve o uso de sensores de umidade do solo alimentados por energia solar (Silva, *et al*, 2013) para monitorar e controlar automaticamente a irrigação. Isso economiza água e garante que as plantas recebam a quantidade ideal deste insumo, aumentando a eficiência e a produtividade agrícola. O uso de energia solar torna o sistema independente da rede elétrica, permitindo sua aplicação em áreas rurais isoladas.

Para a implementação dessa solução, foi desenvolvido um protótipo (Silva, *et al*, 2013) utilizando um microcontrolador Arduino, no qual é feita uma comparação da umidade do solo, com a coleta dos dados feita por um sensor, e comparando-o a um valor base. No caso do valor medido for menor que o base de comparação, por meio do código presente no controlador, é feito o acionamento de uma válvula solenoide, a qual aciona o sistema de irrigação.

Para a alimentação do Arduino, é utilizada um módulo fotovoltaico de 5 W (Silva, *et al*, 2013), e por conta de a energia gerada pela placa ser intermitente, são utilizados reguladores de tensão, estabilizando a energia fornecida ao microcontrolador e a válvula solenoide, sem baterias. Sendo assim, o sistema de controle só funciona na presença de luz solar. Constatou-se assim que foi possível desenvolver um sistema totalmente automatizado para irrigação do solo, por um valor de R\$ 240,00 de fácil manuseio e proporcionando aumentos na produtividade.

Essas iniciativas demonstram como a energia solar pode ser um elemento na cadeia produtiva com potencial para melhorar a eficiência e a sustentabilidade na agricultura familiar, promovendo a segurança alimentar e a autonomia energética dos pequenos produtores rurais. Os agricultores que adotaram essas tecnologias relatam melhorias significativas na produtividade e redução nos custos operacionais. A energia solar, abundante e renovável, não só beneficia o meio ambiente ao reduzir a dependência de combustíveis fósseis, mas também oferece uma alternativa econômica viável para áreas de difícil acesso à rede elétrica convencional.

Em locais como a Bahia, programas de assistência técnica têm emprestado kits solares para agricultores familiares, permitindo que, após um período de uso, eles possam adquirir seus próprios equipamentos (Genaria, 2008). Esse modelo de comodato e subsequente aquisição facilita a disseminação da tecnologia e garante que mais famílias em comunidades rurais possam usufruir dos benefícios da energia solar. A instalação desses sistemas é relativamente simples e não exige grandes investimentos, tornando-se uma solução prática e acessível para muitos produtores.

Os testemunhos de agricultores que receberam treinamento para utilizar um kit solar e depois decidiram adquirir um, ilustram o impacto positivo dessas iniciativas (Genaria, 2008). Essa abordagem sustentável e econômica é essencial para enfrentar os desafios energéticos do futuro, proporcionando uma fonte de energia limpa e renovável que apoia tanto a produção agrícola quanto a qualidade de vida nas zonas rurais.

Em outro local do Piauí, mais especificamente no município de José de Freitas, foi desenvolvido um projeto de extensão pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) para a captação de água dos aquíferos locais através do bombeamento alimentado por painéis fotovoltaicos. Por meio desse projeto, mais de 100 famílias são beneficiadas, e o sistema possibilitou o cultivo de hortas e criação de animais, que antes não eram possíveis devido ao difícil acesso a água nas nascentes (Netto, 2024).

A implementação desses sistemas no estado é de significativa eficácia pois “No Piauí, temos um aquífero muito grande e um cinturão de radiação que favorece a energia solar” (Netto, 2024). Não só no Piauí como em outras partes do país apresentam características semelhantes, provendo ótimas condições para o bombeamento de água através dos painéis fotovoltaicos.

Já no estado do Paraná, um casal de agricultores no município de São José dos Pinhais optou pela instalação do sistema de geração solar para suprir seus gastos com a fatura de energia elétrica (Marin, 2024). O casal produz rúcula e agrião por meio da técnica da hidroponia, a qual consiste no cultivo das hortaliças, porém sem plantio ao solo. As plantas são cultivadas em uma solução de água com os nutrientes necessários para seu crescimento como nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros (Moreira; Moraes, 2021).

As hortaliças são posicionadas em bandejas de cultivo, geralmente tubos de PVC, por onde flui a solução nutritiva, essa circulação da solução é feita pelo bombeamento da mesma a partir de um reservatório para as bandejas, e o excedente da solução retorna ao reservatório. Essa técnica de cultivo hidropônico é a mais comum e é conhecida como Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT). A Figura 2 apresenta uma representação desse sistema.

Figura 2 - Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT)



Fonte: SQM VITAS (2024)

Como os produtores citados utilizam essa técnica que exige o bombeamento constante da solução e, além disso, possuem uma câmara fria para armazenamento das hortaliças, a escolhas que fizeram pela geração fotovoltaica trouxe significativas economias, pois além de gerarem a energia para os sistemas, por terem a conexão dos painéis a rede de distribuição, conseguem sustentar o consumo da residência que moram e ainda obter créditos com a concessionária local (Marin, 2024).

Para o investimento no sistema fotovoltaico, os produtores em questão utilizaram o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), que se trata de um crédito rural fornecido pelo Governo Federal para financiamento de investimentos com baixas taxas de juros ao ano para agricultores de característica familiar (CATI, 2024). Para aderir a esse como outros programas de financiamento como outros, é necessário que os produtores possuam a Declaração de Aptidão (DAP), havendo assim um registro e regularização dos produtores aptos a receber esses benefícios (CATI, 2024).

3 ASPECTOS CONCEITUAIS

Este tópico será referenciado majoritariamente por Villalva (2015), exceto os quais se encontram especificados suas respectivas referências.

3.1 RADIAÇÃO SOLAR

A energia proveniente do Sol, é transmitida pelo espaço até a Terra por meio de ondas eletromagnéticas, as quais são responsáveis por aquecer e iluminar o planeta. Por se tratar de uma onda, a mesma possui uma respectiva frequência e que segundo a relação de Planck-Einsten, equação (1), é diretamente proporcional a energia contida nessa onda.

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

sendo:

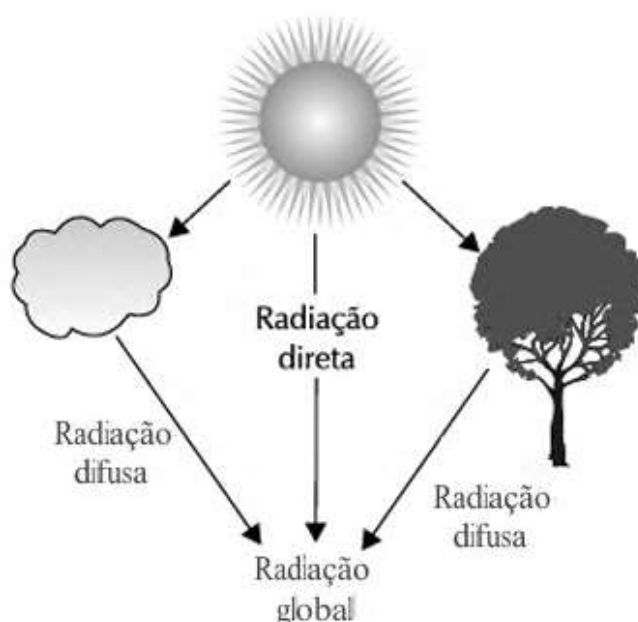
E: Energia da onda [J];

h: Constante de Planck ($6,636 \cdot 10^{-34} J \cdot s$);

f: Frequência da onda [Hz].

Entretanto, essas ondas sofrem interferências da atmosfera terrestre, nuvens e entre outros componentes que possam atrapalhar sua propagação. Sendo assim, a radiação solar pode ser dividida em três tipos, sendo elas a radiação direta, que atinge diretamente a superfície terrestre, a difusa, que consiste nos raios solares que atingem o plano a partir da reflexão ou refração em outros objetos e, por fim, a radiação global, que é a soma dos outros dois tipos. Esses conceitos são exemplificados através da Figura 3.

Figura 3 - Tipos de radiação



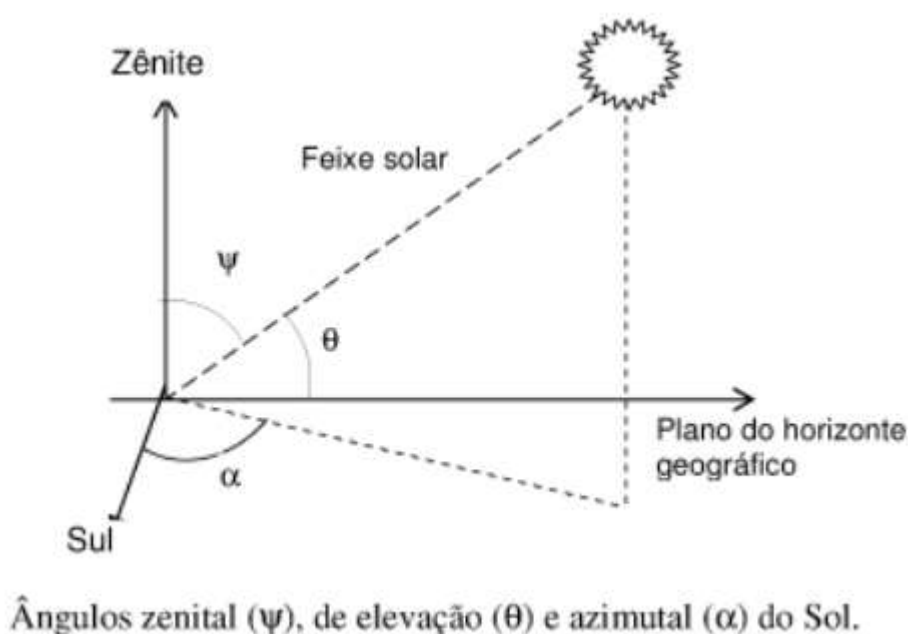
Fonte: Adaptado de Villalva (2015)

Além de objetos que afetam radiação solar que chega ao plano terrestre, outros fatores que interferem são a própria atmosfera terrestre e as massas de ar, as quais causam perdas de energia devido a composição da atmosfera e a espessura das massas de ar, que não são constantes em toda extensão do planeta.

A espessura das camadas de ar que os raios solares atravessam depende da angulação do sol em relação ao ponto da superfície que é analisado, este ângulo é chamado de ângulo zenital. Ele é medido a partir da Linha de zênite, uma linha imaginária perpendicular ao solo que quando o sol se encontra sobre essa linha, o ângulo zenital será zero. Quanto maior o módulo do ângulo zenital, maior será o trajeto dos raios até o solo, ou seja, maior a espessura das massas de ar proporcionando maior influência da atmosfera na radiação que chega à superfície.

A Figura 4 representa o ângulo zenital citado, assim como outros ângulos que podem ser utilizados em análises solarimétricas. O ângulo azimutal que representa angulação entre o eixo norte-sul geográfico e a projeção do sol no plano e o de elevação solar sendo relativo à angulação entre o plano geográfico e o raio de luz solar, ou seja, o complemento do ângulo zenital (INSTITUTO SOLAR, 2020).

Figura 4 - Ângulos solares



Fonte: Instituto Solar (2020)

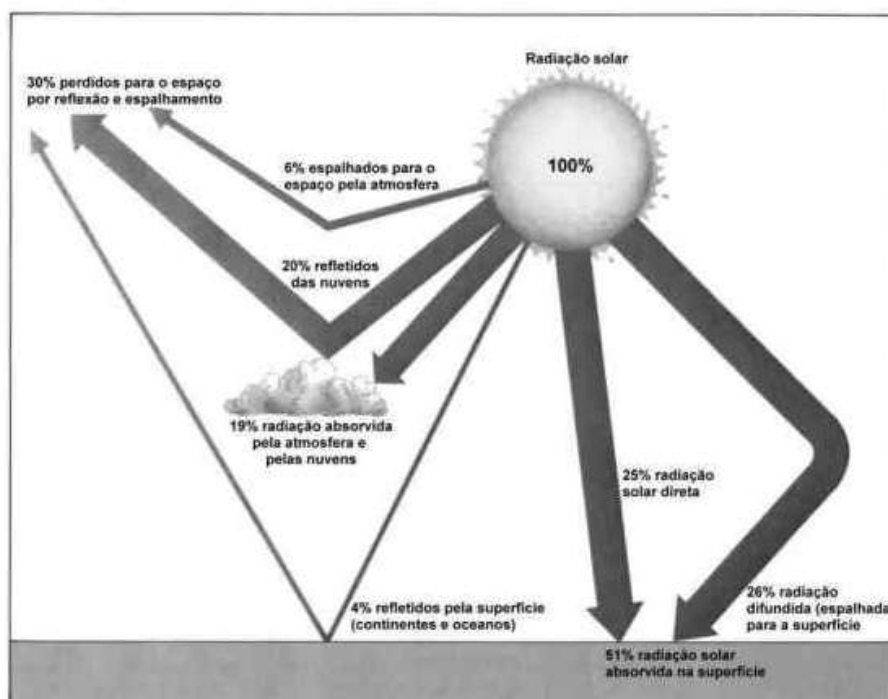
Como citado, a atmosfera terrestre afeta a radiação solar que chega na superfície do planeta. Em torno de 25% da radiação somente penetra diretamente sem interferências, o restante sofre perdas devido aos efeitos do espalhamento, reflexão e absorção.

A reflexão ocorre na interface de dois meios diferentes (conforme o ângulo de incidência), neste caso o espaço e a atmosfera terrestre. Parte da radiação penetra no planeta enquanto outra é refletida de volta ao espaço, cerca de 30%, essa fração da radiação refletida é denominada de albedo. Já dentro da atmosfera, as nuvens são elementos refletoras de grande relevância, com seu albedo dependendo de sua espessura e podendo chegar a até 80% de reflexão para nuvens mais espessas.

Já o espalhamento se dá devido a colisão com por exemplo gases, aerossóis ou outras partículas presentes no ar. O modo como a radiação se espalha varia conforme o comprimento da onda eletromagnética e das partículas com a qual ela colide.

Diferente dos fenômenos anteriores que apenas alteram a direção da radiação, a absorção por moléculas de gases converte essa energia presente no raio de luz em calor através de movimentos moleculares interno nas células e causando o aumento da temperatura. Esses são os gases que característicos do efeito estufa que causam o aumento da temperatura na atmosfera terrestre. A Figura 5 representa estes três efeitos que causam as perdas de energia.

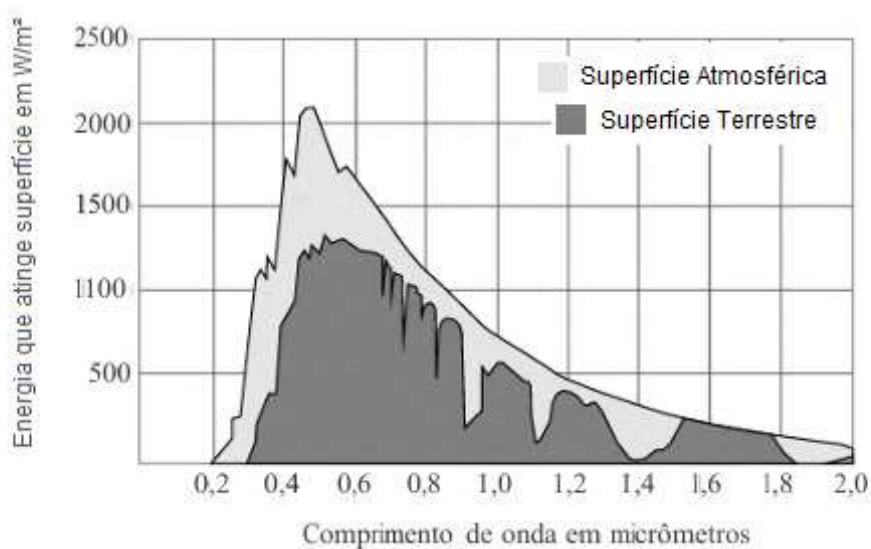
Figura 5 - Distribuição percentual da radiação solar incidente



Fonte: Grimm (1999)

Já a Figura 6 contém o espectro de radiação solar que atinge a atmosfera e que atinge a superfície terrestre, considerando o sol no ponto de zênite, sendo possível observar quantitativamente a influência das perdas sobre a energia que chega à superfície terrestre.

Figura 6 - Espectro da radiação solar no topo da atmosfera e no nível do mar, para atmosfera média e sol.



Fonte: Adaptado de Villalva (2015)

Conclui-se que a energia que chega aos painéis na superfície terrestre depende diretamente de aspectos como localização geográfica, condições climáticas no local, horário, dia do ano composição atmosférica do local entre outros fatores. Esses são alguns dos motivos para considerar a energia fotovoltaica como uma fonte de geração intermitente.

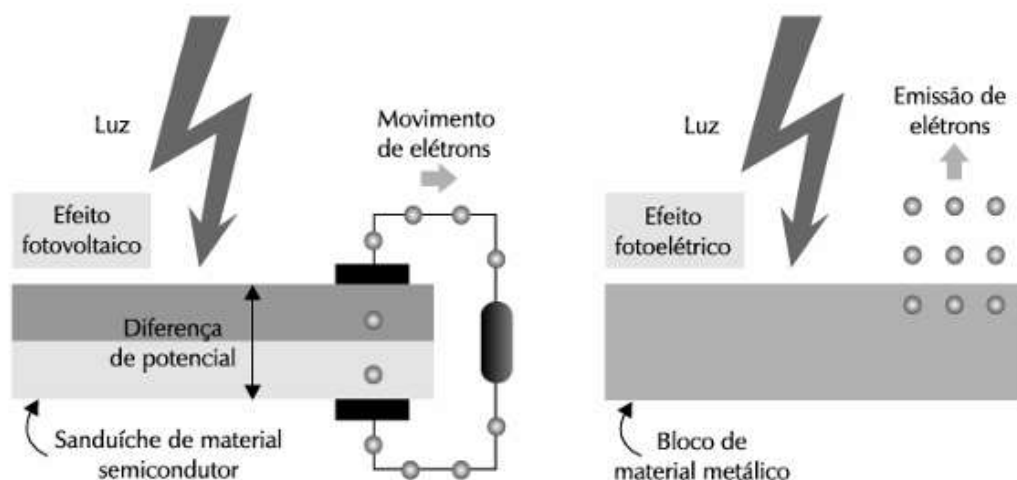
3.2 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Ao ocorrer a incidência dessas ondas eletromagnéticas sobre um corpo com capacidade de absorver radiação, ela se transformará em energia cinética transmitida por meio das moléculas e átomos do corpo exposto, caracterizando assim a transmissão de calor ou energia térmica.

Além disso, a incidência solar sobre certos materiais pode gerar além da transmissão de calor outros efeitos, como alteração nas propriedades elétricas do material ou até mesmo a geração de tensões e correntes elétricas.

Por intermédio dessas alterações é gerado o efeito fotovoltaico, que ocorre quando um “sanduíche” de materiais semicondutores sofre a incidência de luz, gerando uma diferença de potencial entre os materiais, e no caso de haver um caminho entre os eletrodos, haverá a circulação de elétrons, ou seja, haverá corrente elétrica. Outro efeito possível é o fotoelétrico que consiste na emissão de elétrons de materiais metálicos e não metálicos, mas não sendo capaz de gerar uma tensão elétrica sobre o mesmo. Ambos os efeitos estão ilustrados na Figura 7.

Figura 7 - Efeitos fotovoltaico e fotoelétrico.



Fonte: Villalva (2015)

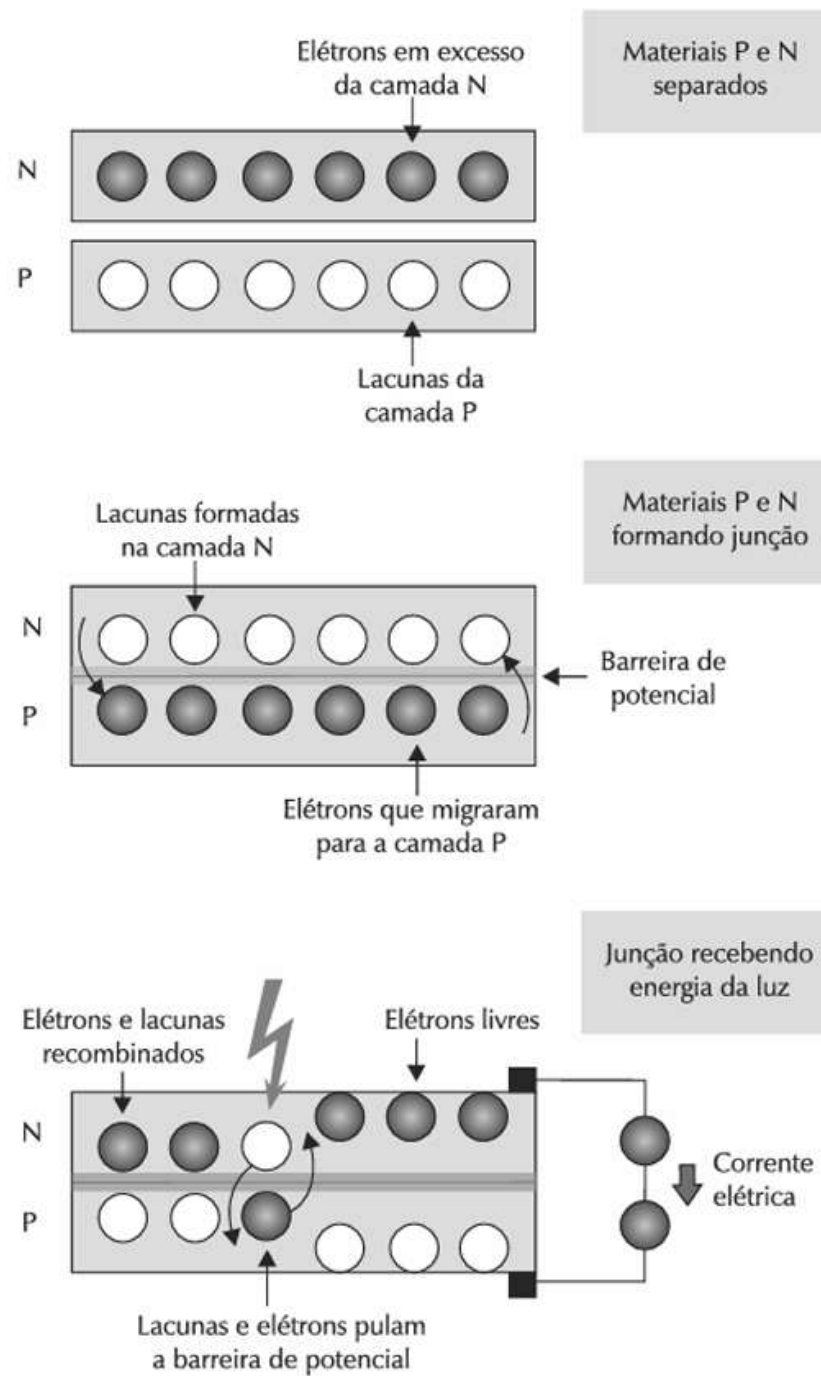
Este “sanduíche” de matérias semicondutoras é formado tipicamente por duas camadas de materiais sendo um de tipo P e outro de tipo N. Elas também podem ser formadas por mais de uma camada permanecendo com o mesmo funcionamento, porém apesar de produzirem mais energia, se tornam mais caras e menos utilizadas. O material mais utilizado em suas produções é o silício, devido a ser abundante e barato.

Enquanto os materiais de tipo N possuem um excedente de elétrons, os de tipo P apresentam uma falta e ao se unir as duas camadas, formando a junção semicondutora, os elétrons excedentes da camada N migram para as lacunas presentes na camada P, formando assim uma barreira de potencial entre as camadas.

Devido a fina espessura da camada superior N da célula, a luz solar é capaz de penetrar nesta camada e descarregar sua energia sobre os elétrons permitindo com que superem a barreira de potencial e no caso de um caminho entre os eletrodos da placa, há a geração de corrente elétrica pela movimentação dos elétrons em direção a camada N. A Figura 8 representa a estrutura das moléculas nas células, assim como exemplifica o mais detalhadamente o efeito fotovoltaico quando há incidência de luz.

Apenas uma célula sozinha não é capaz de produzir energia nem valores de tensão consideráveis, entretanto, a ligação de várias células em série é capaz de gerar tensões e energia em grande escala, dando assim origem aos painéis fotovoltaicos compostos pela associação de várias células em série.

Figura 8 - Estrutura molecular das células fotovoltaicas e ocorrência do efeito fotovoltaico



Fonte: Villalva (2015)

3.2.1 TIPOS DE CÉLULAS

As tecnologias utilizadas nas fabricações das células são muito vastas e em constante desenvolvimento, e dentre elas as mais comumente utilizadas nos módulos comercializados são as do silício monocristalino, silício policristalino e de filme fino.

Os monocristalino são produzidos através de lingotes feitos de estruturas cristalinas únicas de silício e possuindo uma organização molecular homogênea, então esses lingotes são fatiados em *wafers* finos e submetidos a processos químicos para estabelecer a dopagem do material. Estes possuem eficiência de conversão de energia de 15 a 18%, porém possuem um maior custo na fabricação.

Já as células policristalinas possuem um processo de fabricação semelhante ao anterior com a diferença de que os lingotes são formados por aglomerados de cristais de silício, dando origem a *wafers* de aparência heterogênea. Como não são compostos por cristais únicos, se tem uma redução na eficiência de conversão entre 13 e 15%, mas que se compensa no custo para produção destes painéis.

E na tecnologia dos filmes finos, os módulos são fabricados através da deposição de materiais sobre uma base que pode ser rígida ou flexível. Este tipo de tecnologia é uma alternativa mais barata devido a matéria prima necessária para produção ser em pequena quantidade, além de que é fabricado em temperaturas de 200 a 500°C, muito mais baixas que os 1500 °C necessário nas tecnologias cristalinas.

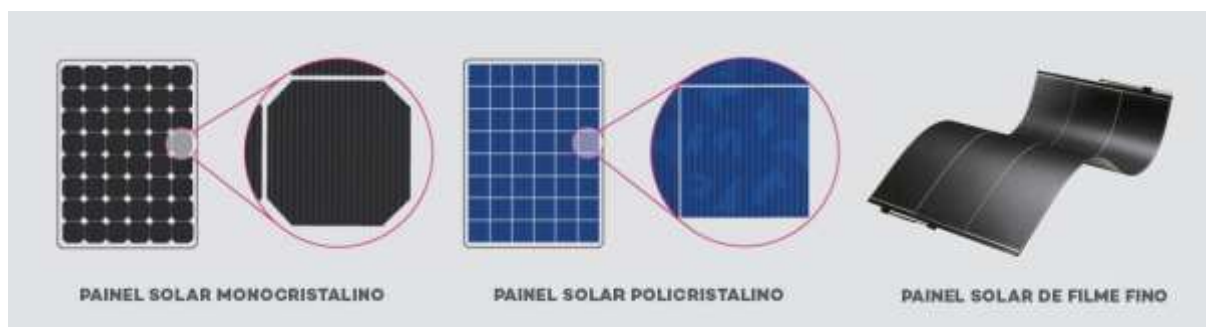
Contudo, a eficiência de conversão de energia deles é muito baixa não chegando nem a 10%, além de sofrerem uma degradação muito acelerada quando comparados aos cristalinos. Estes módulos tem um melhor aproveitamento para radiação solar em níveis menores e temperaturas maiores, sendo indicados nesses casos.

Existem diferentes formas de produção dos painéis de filmes finos, sendo as principais a produção com silício amorfo (aSi), silício microcristalino (μ Si) e as mais recentes e em desenvolvimento de telureto de cádmio (CdTe) e CIGS.

As células de silício amorfo possuem eficiências extremamente baixas, de 5 a 8%, além de que aproximadamente no seu primeiro ano de funcionamento sofrem degradação induzida pela luz até atingirem um valor estável. Já as de silício microcristalino possuem as vantagens dos painéis cristalinos e fabricados com a tecnologia dos filmes, ainda assim possuem uma eficiência de até 8,5%.

A Figura 9 contém a representação dos três tipos de painéis citados, sendo possível notar a diferença de homogeneidade nos tipos de painéis cristalinos. Já a Tabela 1 quantifica as diferenças citadas de eficiência para cada tipo de célula.

Figura 9 - Tipos de tecnologias de células fotovoltaicas.



Fonte: NEOSOLAR (2024)

Tabela 1 - Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas.

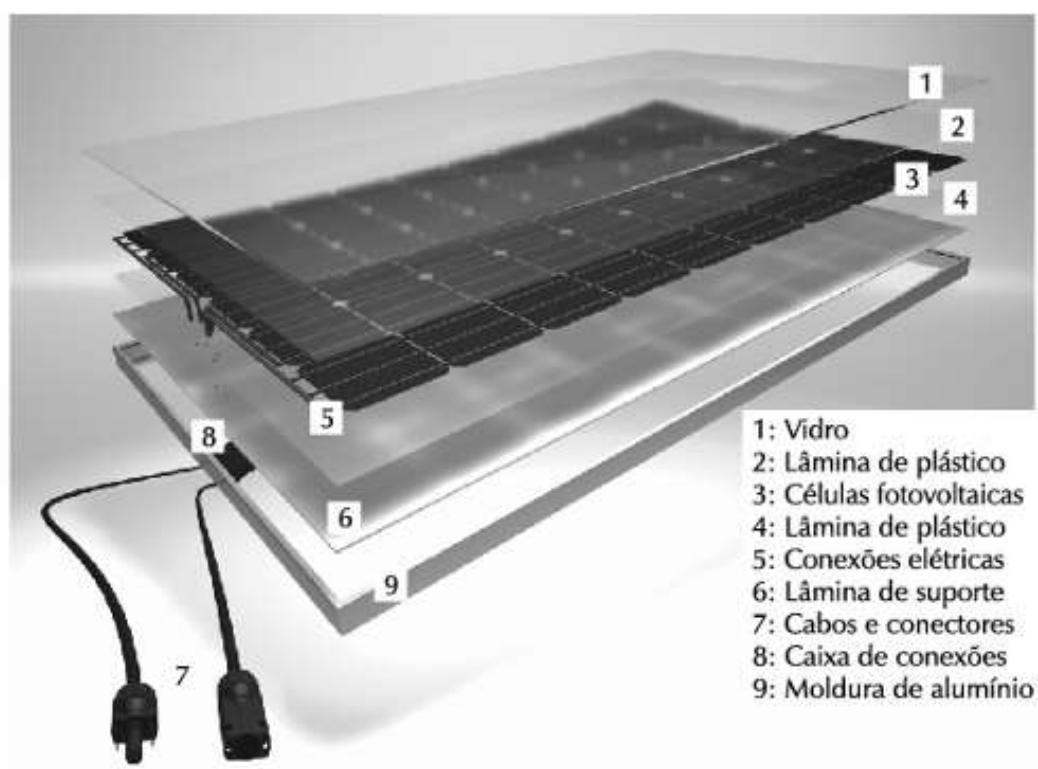
Material da célula fotovoltaica	Eficiência da célula em laboratório	Eficiência da célula comercial	Eficiência dos módulos comerciais
Silício monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Silício cristalino de filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silício micromorfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telureto de cádmio	16,4%	10%	9%
<i>Dados: Fraunhofer ISE, Universidade de Stuttgart, 26th IEEE PVSC, NREL, UNSW, folhas de dados de vários fabricantes. Adaptada de "Energia fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação", Portugal, 2004.</i>			

Fonte: Villalva (2015)

3.3 PAINEL FOTOVOLTAICO

As células fotovoltaicas são prensadas dentro de lâminas de plástico, recobertas por uma lâmina de vidro e por fim é adicionada uma placa de alumínio. Todos esses componentes oferecem um maior resistência e proteção as células para que não fiquem expostas. Na parte traseira do painel são situados os cabos que serão utilizados para fazer as conexões necessárias. A Figura 10 mostra como é feita a montagem desses módulos.

Figura 10 - Componentes de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Villalva (2015)

Como foi citado anteriormente para a obtenção da tensão desejada nos módulos, as células são alocadas em série de maneira a produzir uma diferença de potencial maior entre seus terminais. Os valores de tensão dos painéis variam dependendo da tecnologia utilizada em sua produção, tamanho entre outros fatores, havendo assim uma variedade de valores de tensão dos módulos, o mesmo é válido para suas potências.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Como os níveis de insolação e localidade influenciam diretamente na capacidade de geração dos módulos, foi necessário estabelecer padrões para que fosse possível uma comparação entre cada modelo. Para isso os fabricantes devem fornecer os dados de placa de acordo com as “condições de teste padrão” (*Standard Test Conditions*; STC), que consiste nos testes em laboratório feitos sobre as placas com uma irradiância de 1000 W/m^2 e temperatura de 25°C .

Entretanto esses valores não serão alcançados durante a operação dos painéis, portanto, também são fornecidos os dados de placa para condições mais próximas de operação dos mesmos. Estes são identificados como as condições normais de operação da célula (*Normal Operation Cell Temperature*; NOCT) que consiste na temperatura que as células chegaram quando aplicada uma irradiação de 800W/m^2 e temperatura ambiente de 20°C , ou seja, condições mais reais de operação.

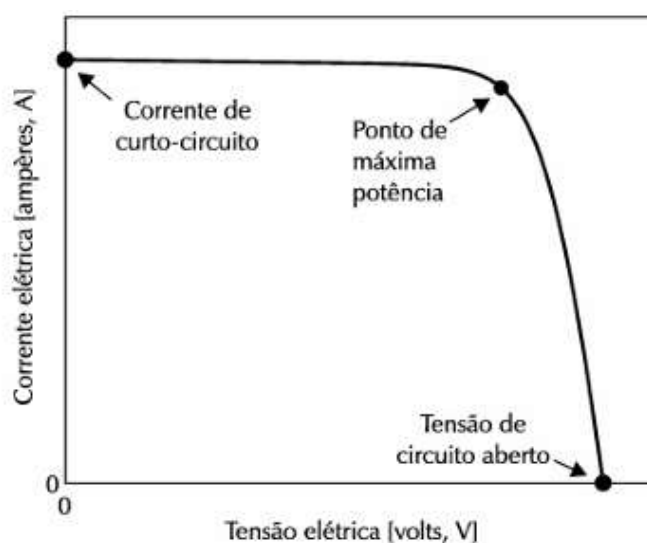
Sendo assim é comum que os fabricantes forneçam as grandezas necessárias dos módulos em ambas as condições de operação. No Anexo A apresenta os dados de placa de um painel fotovoltaico, no qual é possível observar o fornecimento destes dados em ambas condições.

3.3.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Diferente de outras fontes elétricas convencionais, os painéis fotovoltaicos não possuem uma tensão constante nos terminais, dependendo da corrente fornecida e vice-versa. Seus valores dependem da carga conectada a seus terminais, no caso de uma maior demanda de corrente, a tensão nos terminais tende a diminuir. O mesmo é válido para o contrário, caso a carga solicite menos corrente elétrica, a tensão nos terminais aumenta.

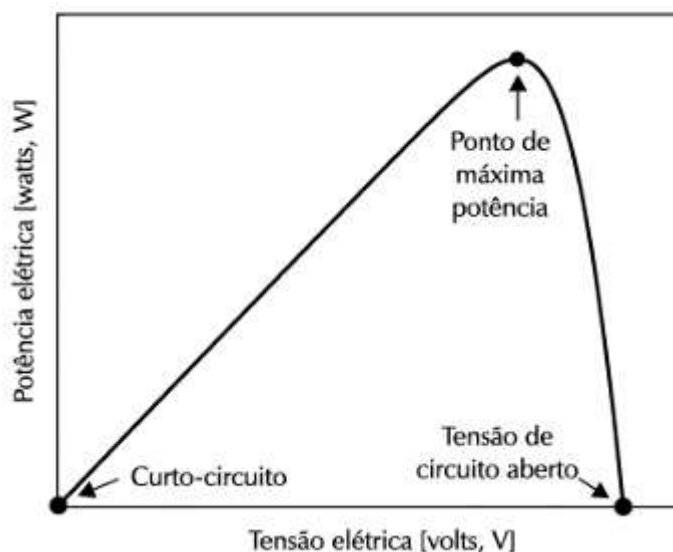
As Figuras 11 e 12 mostram as curvas características de módulos fotovoltaicos da relação de corrente e potência, respectivamente, com a variação da tensão.

Figura 11 - Curva característica I - V de corrente e tensão de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Villalva (2015)

Figura 12 - Curva característica P- V de potência e tensão de um módulo fotovoltaico.



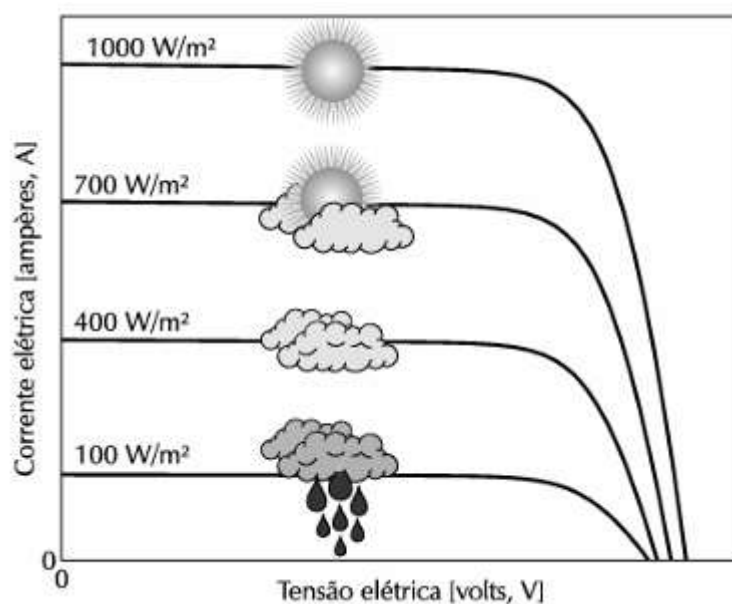
Fonte: Villalva (2015)

Em ambos os gráficos se notam três pontos em destaque, os pontos de mínimo e máxima tensão nos terminais, que correspondem a ao painel em curto e sem carga respectivamente e um ponto intermediário onde se obtém a máxima potência fornecida. Devido a não linearidade da relação entre tensão e corrente nos painéis, o ponto de máxima potência é único, sendo esses o ideal para o funcionamento dos módulos.

3.3.3 INFLUÊNCIAS SOBRE AS CURVAS

Apesar do formato das curvas serem constantes para todos os módulos, elas irão sofrer variações dependendo da condição na qual estão submetidos. No caso de dias menos ensolarados, a radiação solar incidente sobre os painéis será menor, o que influencia diretamente na corrente que fornecerão, ou seja, a corrente máxima fornecida por um módulo é diretamente proporcional a irradiância. A Figura 13 exemplifica a curva característica do painel para diferentes níveis de irradiância.

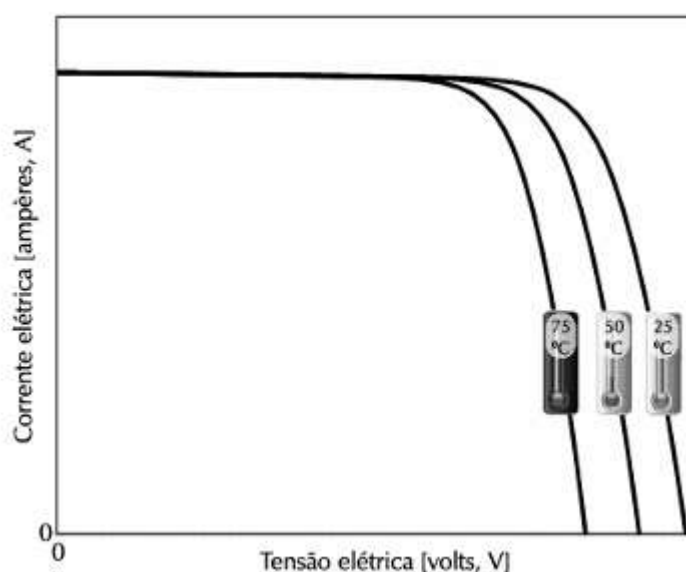
Figura 13 - Influência da radiação solar na operação do módulo fotovoltaico.



Fonte: Villalva (2015)

Outro fator que influencia as curvas características é a temperatura na qual as células operam, esta interfere na diferença de potencial que o módulo fornece aos terminais, não alterando a corrente. A relação entre essas grandezas é inversamente proporcional, ou seja, quanto menor a temperatura, maior será a tensão nos terminais. A Figura 14 contém a exemplificação dessa relação.

Figura 14 - Influência da temperatura na operação do módulo fotovoltaico.



Fonte: Villalva (2015)

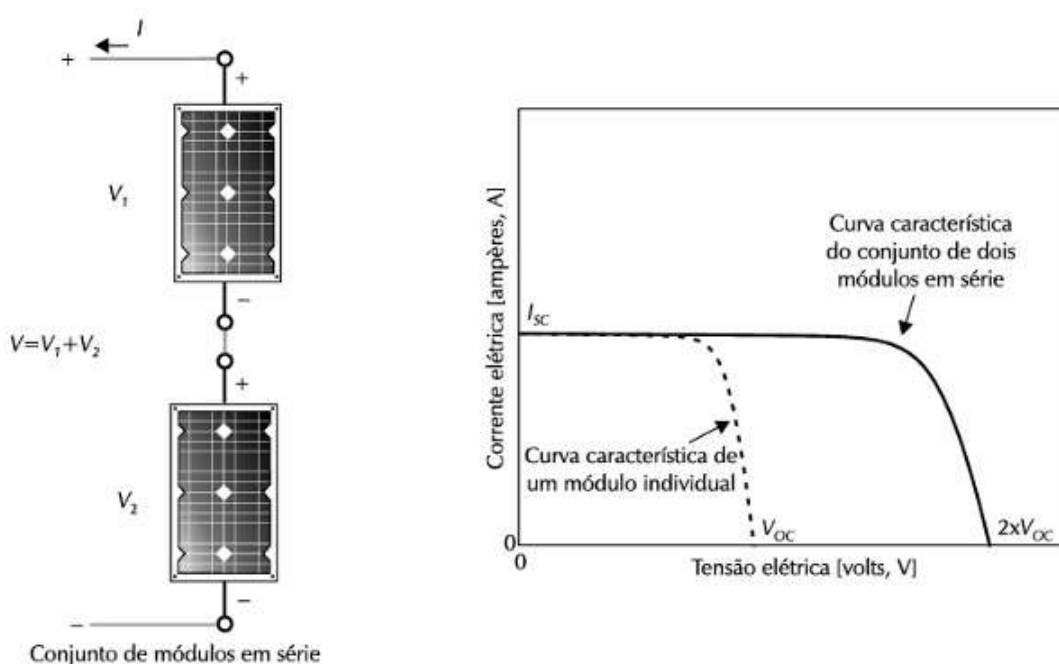
Analisando ambos os gráficos, é possível concluir que o melhor cenário para a geração dos painéis fotovoltaicos é com uma irradiância elevada e em baixas temperaturas, ou seja, um dia ensolarado e sem nuvens durante o inverno.

3.3.4 ARRANJOS FOTOVOLTAICOS

Para se produzir maiores quantidade de energia, os módulos fotovoltaicos podem ser alocados em série ou em paralelo formando arranjos, ou comumente encontrado no inglês *arrays*. Cada tipo de ligação tem suas características e finalidades. A associação dos módulos nada mais é do que a associação de uma maior quantidade de células, tendo assim maior produção.

A ligação em série resulta na soma da tensão fornecida por cada módulo, enquanto a corrente que passa por cada permanece a mesma. Essa ligação em série é conhecida em inglês por *strings*, termo muito utilizado no estudo de sistemas fotovoltaicos. A curva característica I-V deste arranjo também irá sofrer alterações, as quais podem ser observadas na Figura 15, juntamente com a exemplificação da ligação em série dos painéis.

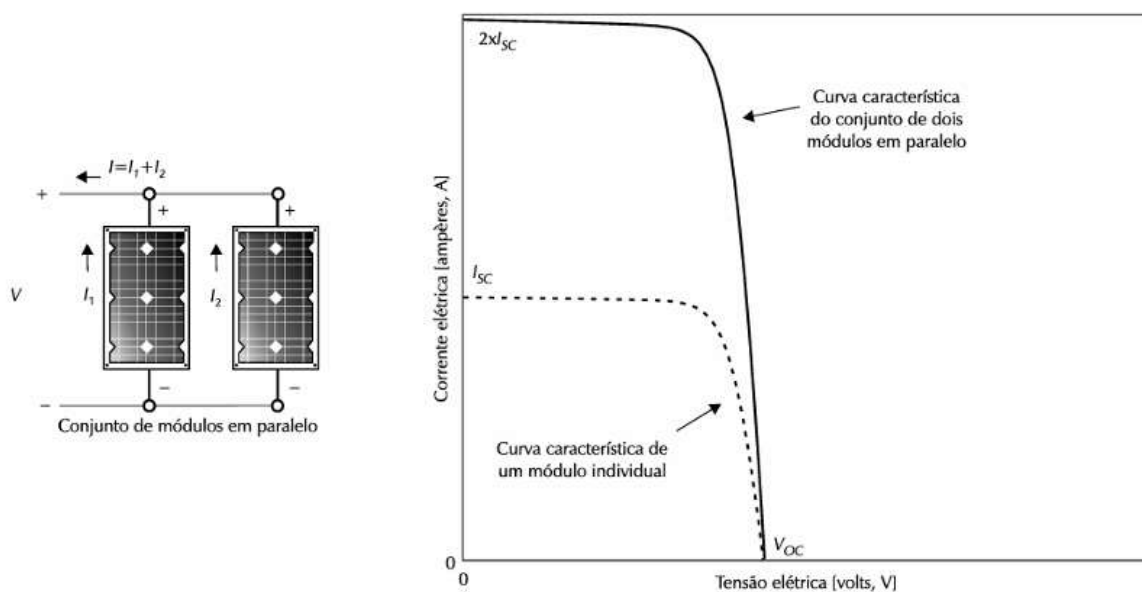
Figura 15 - Conjunto de módulos em série e curva característica I-V



Fonte: Adaptado de Villalva (2015)

Já a ligação em paralelo ocasiona em um aumento de corrente fornecida pelos painéis, sendo este a soma da corrente fornecida por cada, com a tensão mantendo-se a mesma para ambos. Assim como na ligação em série, as alterações na curva característica I-V estão mostradas na Figura 16, junto do esquema desta ligação nos painéis.

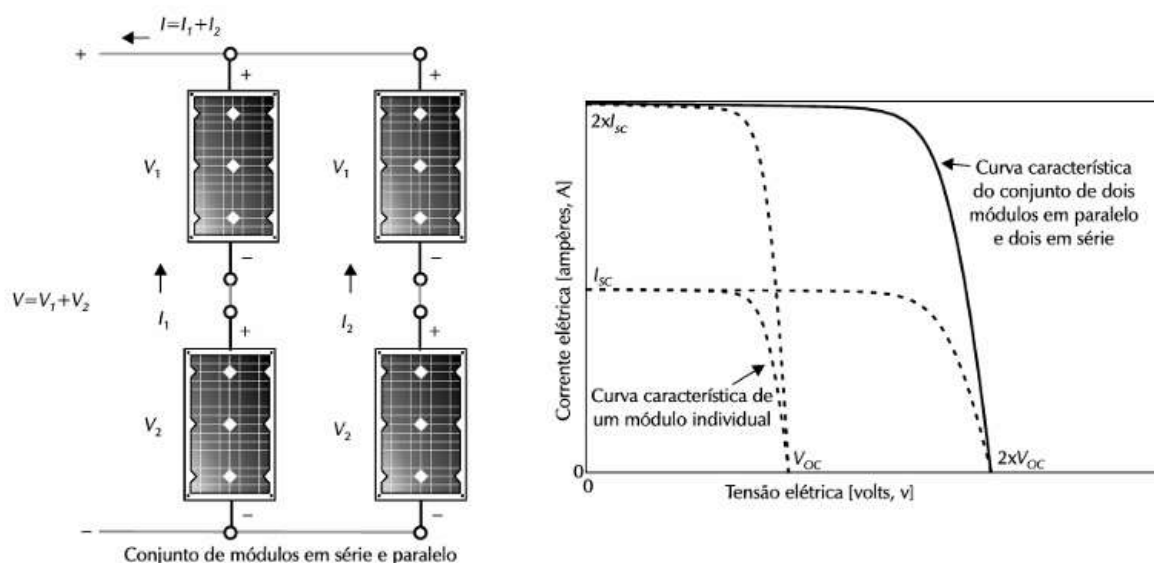
Figura 16 - Conjunto de módulos em paralelo e curva característica I-V.



Fonte: Adaptado de Villalva (2015)

A utilização em conjunto desses arranjos é essencial para se ter o aumento da potência gerada, mas sem tornar os valores de tensão e corrente extremamente altos. É importante ressaltar que na associação de strings em paralelo, é necessário que todas contenham a mesma quantidade de painéis. Por fim, a Figura 17 exemplifica a curva I-V de um arranjo dado pela associação destes dois modos de ligação e seu esquema de ligação.

Figura 17 - Conjunto de módulos em série e paralelo e curva característica I-V



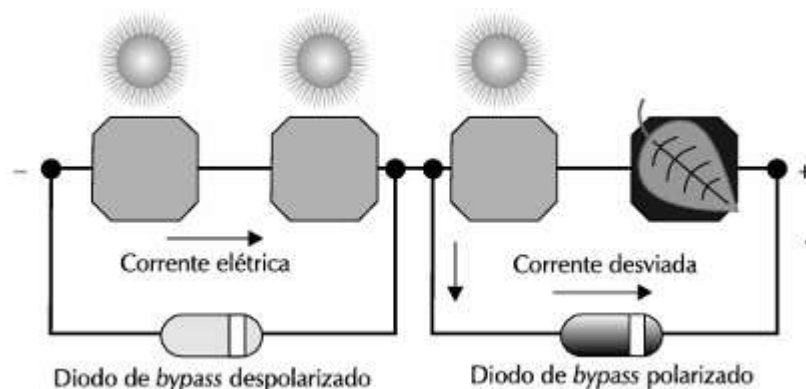
Fonte: Adaptado de Villalva (2015)

3.3.5 SOMBREAMENTO SOBRE MÓDULOS

Como já foi citado, a corrente elétrica fornecida pelo módulo é diretamente proporcional a intensidade de radiação que incide sobre ela. Portanto no caso de algum obstáculo no trajeto de raio solar, irá causar um sombreamento sobre a célula, ocasionando na diminuição da corrente. Devido a ligação em série das células, no caso de apenas uma dessas células estar sofrendo o sombreamento, irá cessar ou limitar a condução de corrente por toda essa série de células, limitando assim a produção de energia.

Devido ao aumento das vantagens dos sistemas fotovoltaicos, a procura pela instalação em grandes cidades também aumentou, e pela presença de muitos prédios, árvores entre outros obstáculos, viu-se necessário encontrar um meio de contornar o sombreamento sobre as placas. Para isso, foram implementados nos painéis diodos de passagem, ou *bypass*, ligados em paralelo com conjuntos de células. Deste modo, no caso de uma célula estar sofrendo com sombreamento ou até mesmo danificada, a corrente elétrica é desviada percorrendo pelo diodo e não comprometendo ainda mais a geração. A Figura 18 contém um modelo de instalação destes diodos nos módulos.

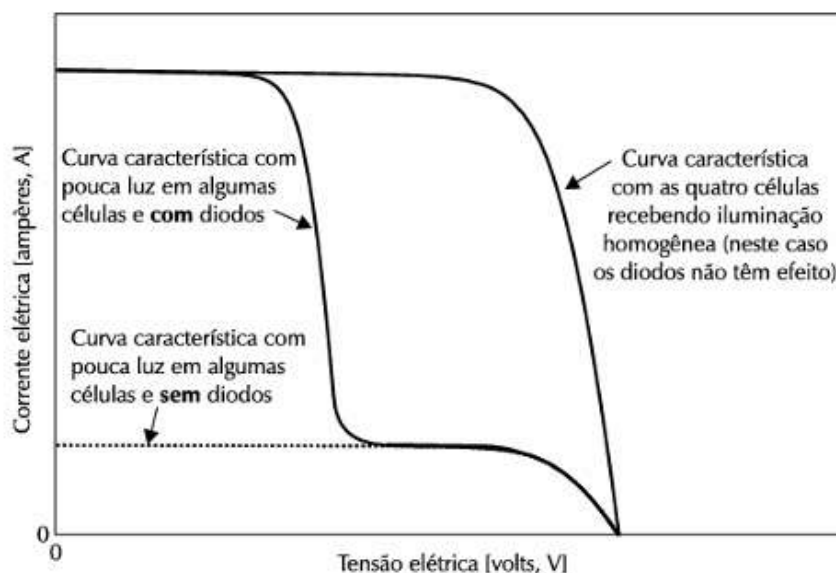
Figura 18 - Módulo fotovoltaico com sombra em uma célula (com diodo de *bypass*).



Fonte: Villalva (2015)

O ideal nesta alternativa seria utilizar um diodo de *bypass* para cada célula. Entretanto, isso tornaria a produção do módulo inviável por conta de maior custo e complexidade para produção, por esse motivo eles são colocados em paralelo com conjuntos de células. Sendo assim, através da Figura 19, é possível observar o resultado do sombreamento no gráfico característico I-V do módulo.

Figura 19 - Resultado do sombreamento na característica I-V do módulo.



Fonte: Villalva (2015)

As curvas com linhas contínuas são de painéis com a presença de diodos de *bypass*, no caso da insolação completa do painel, os diodos não têm efeito, resultando na curva característica “normal” dos painéis. Enquanto na curva de linha tracejada é respectiva a um

painel sem os diodos e sobre a influência do sombreamento, notando-se claramente a limitação de corrente causada. Já na curva onde há a presença do *bypass*, ela se mantém com a corrente das células que recebem a insolação total até certo valor de tensão, quando os diodos são despolarizados e sua corrente é limitada a que circula na célula problemática.

Concluindo que apesar dos diodos de by-pass não serem a solução de todos os problemas, eles melhoram em partes a eficiência dos módulos permitindo que parte do fornecimento de corrente máximo seja atingido até certo valor de tensão.

3.4 SISTEMAS AUTÔNOMOS (*OFF-GRID*)

Os sistemas fotovoltaicos isolados, comumente chamados *off-grid*, são independentes da rede de distribuição de energia e geralmente são aplicados em locais sem acesso a mesma. São uma alternativa de fonte de geração limpa a geradores diesel, que são muito comuns para suprir a necessidade básica da energia elétrica em propriedades rurais que muitas vezes não recebem o fornecimento ideal pelas concessionárias. Além disso, são sistemas que exigem muito pouca manutenção e com uma vida útil considerável.

São geralmente compostos pelos módulos, um banco de baterias responsável por armazenar a energia gerada para ser utilizada posteriormente, um controlador de carga e podem conter inversores de frequência para converter a corrente contínua armazenada para corrente alternada e utilizada nos equipamentos. Os componentes destes sistemas serão explicados a seguir.

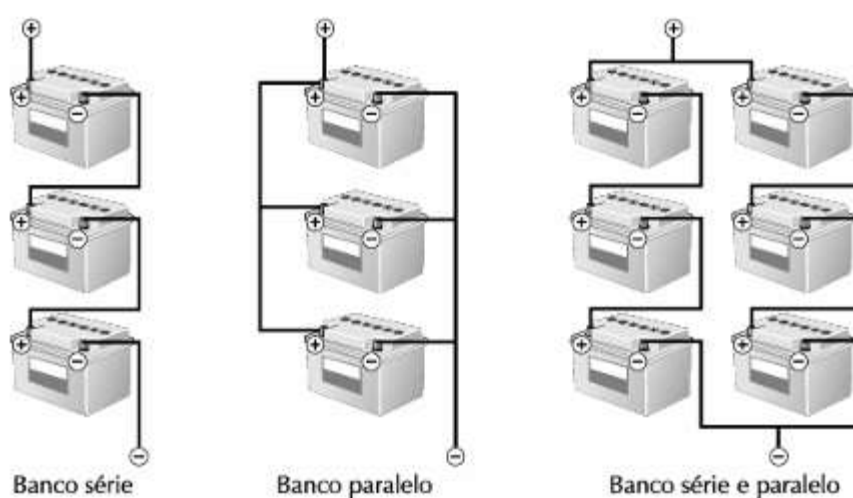
3.4.1 BATERIAS

Como a geração de energia dos módulos é intermitente, as baterias servem como uma reserva para proporcionar um fornecimento constante de energia a carga, podendo utilizar o sistema mesmo quando não radiação solar, ou seja, no período noturno ou em dias nublados e chuvosos. Além disso, na maior parte dos sistemas desse tipo, elas são utilizadas para estabilizar a tensão fornecida aos equipamentos visto que a tensão nos módulos não é constante.

Outra função desse componente no sistema é determinar a tensão de operação dos painéis, e como visto na curva característica P-V, a potência gerada por eles será limitada por esse valor de tensão fixo. Para que seja possível armazenar mais energia, elas podem ser conectadas formando bancos de baterias.

Na associação em paralelo, a tensão do banco permanece a mesma, enquanto suas correntes são somadas, já na associação em série a corrente se mantém a mesma enquanto suas tensões são somadas. Esses arranjos de baterias são feitos para se obter maiores valores de tensão e se aproximar da tensão nominal dos módulos, consequentemente se aproximando de seus pontos de máxima potência, garantindo mais eficiência na geração de energia. A Figura 20 contém uma exemplificação desses modos de conexão.

Figura 20 - Modos de conexão dos bancos de baterias.



Fonte: Villalva (2015)

Elas podem ser de vários tipos diferentes, mas as mais comuns em sistemas fotovoltaicos são as de chumbo-ácido líquido, em gel e mais recentemente tornou-se muito comum utilização das de íon-lítio. As chumbo-ácido tem composição semelhante as utilizadas em automóveis, com importantes diferenças técnicas, podendo ser seladas ou não. No caso de serem seladas, não há a necessidade de manutenção adicionando água, sendo indicadas para locais onde o acesso para manutenção não é fácil.

As baterias automotivas, apesar de possuírem a mesma composição, não são recomendadas para utilização em sistemas fotovoltaicos. Neste caso devem se utilizar as baterias estacionárias. Suas construções são feitas mergulhando placas de chumbo à solução ácida, e a energia é retirada dela a partir das reações químicas das placas com o ácido.

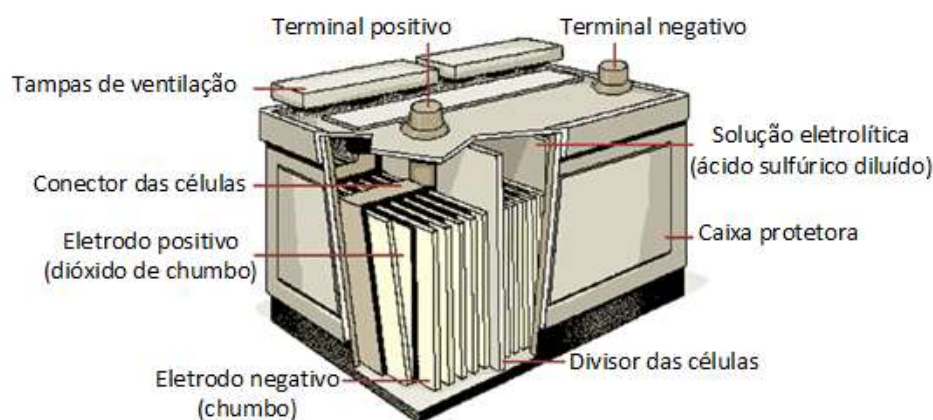
Como no automóvel a bateria é projetada para fornecer energia para o acionamento do motor de arranque, há a necessidade de fornecer grande intensidade de corrente em pequenos intervalos de tempo, ocasionando em rápida descarga durante a partida e após isso, sendo

recarregada pelo alternador. Para fornecer essas condições, as placas de chumbo dessas baterias são mais finas, aumentando a superfície de contato e permitindo maior velocidade nas reações químicas.

Já as estacionárias possuem placas de chumbo mais robustas para que sejam capazes de fornecer menores quantidades de energia, mas por maiores períodos de tempo. Além disso, são projetadas de modo a atingir altos valores de descarga sem serem danificadas, o que não é possível nas automotivas. Também possuem uma taxa de autodescarga menor que as automotivas, ou seja, mesmo quando não utilizadas, dissipam uma pequena quantidade de energia.

Uma vantagem das baterias de chumbo-ácido em gel é que possuem uma maior vida útil e quantidade de ciclos de carga e descarga, além de que podem ser utilizadas em locais com pouca ventilação pois não liberam gases durante o funcionamento. A Figura 21 contém um modelo exemplificando esses tipos de baterias.

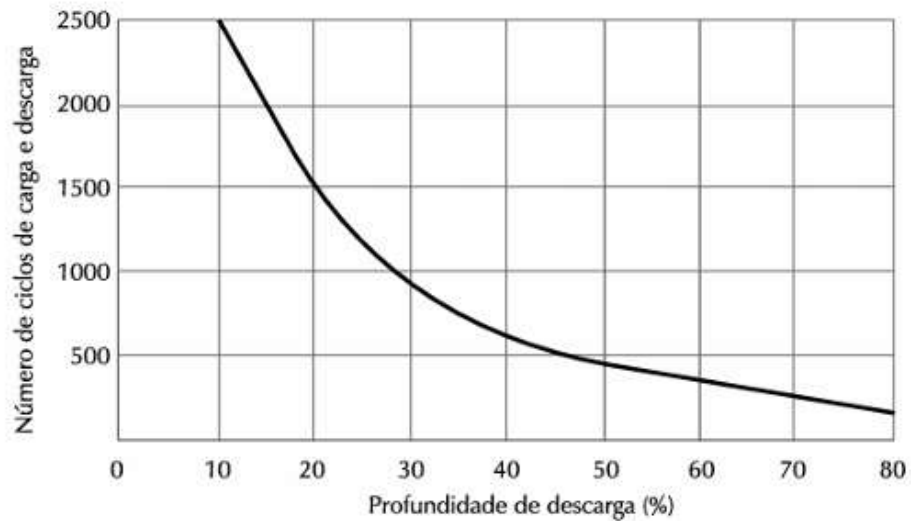
Figura 21 - Característica da bateria de chumbo ácido.



Fonte: Silva (2020)

A vida útil desse componente é determinada por alguns modos de utilização da mesma, sendo permanentemente reduzida pelo seu envelhecimento. Um fator que afeta sua durabilidade são os ciclos de carga e descarga. A cada ciclo o material das placas é transferido para os terminais, não podendo ser utilizado novamente. Outro fator importante dos ciclos é com relação a profundidade de descarregar que ela é submetida. Caso realizada descargas maiores, será possível realizar menos ciclos, sendo o inverso também válido. Esse fator é ilustrado na Figura 22.

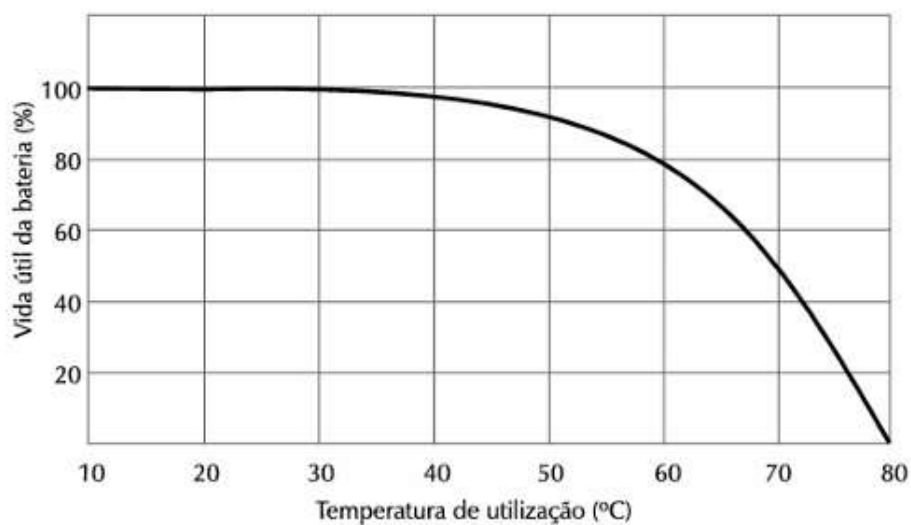
Figura 22 - Número de ciclos de carga e descarga possíveis em função da profundidade de descarga da bateria.



Fonte: Villalva (2015)

Outro fator determinante em sua vida útil é a temperatura nas quais operam, tendo um pior desempenho quanto a longevidade quando operadas com maiores temperaturas. No caso, temperaturas acima de 50 °C já causam uma degradação considerável em seu tempo de utilização. A Figura 23 ilustra essa relação entre sua vida útil e temperatura a qual é submetida.

Figura 23 - Gráfico da vida útil de uma bateria de chumbo ácido em função da temperatura de utilização.



Fonte: Villalva (2015)

Portanto, a maneira na qual um sistema fotovoltaico autônomo é projetado influenciará diretamente na vida útil da bateria, dependendo da profundidade de descarga a qual o projetista determina. Procedimentos como seguir as instruções do fabricante quanto a temperatura e ciclos de descarga, operação de flutuação e utilização de controladores de carga contribuem para melhora deste aspecto.

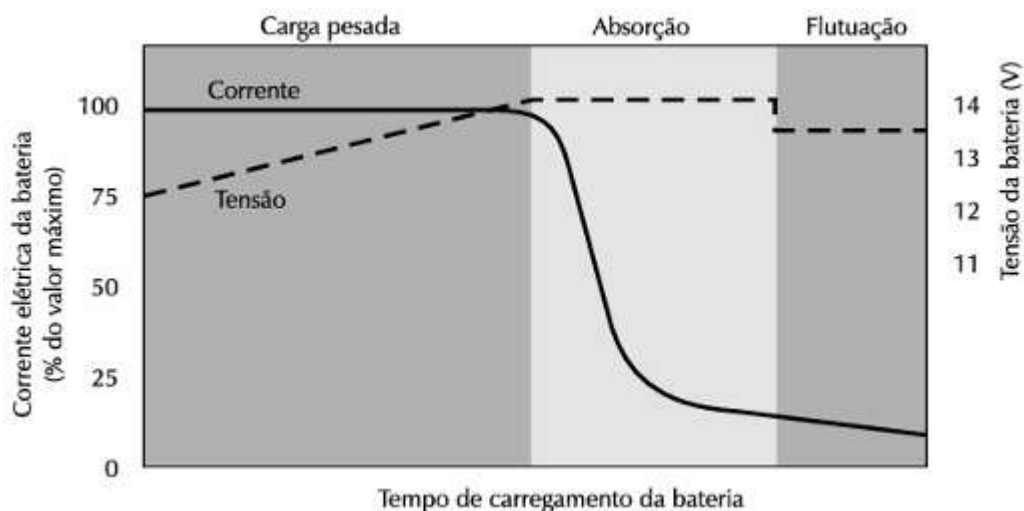
3.4.2 CONTROLADORES DE CARGA

O controlador de carga é o componente intermediário do sistema, responsável por estabelecer a conexão correta entre os painéis e bateria, evitando que a bateria sofra de sobrecargas ou seja submetida a um carregamento excessivo. Alguns controladores são capazes de respeitar o perfil de carregamento das baterias, e outros ainda mais sofisticados tem capacidade de ajustar a tensão nos terminais do painel fotovoltaico, de modo que atinja o ponto de máxima potência, aumentando a eficiência do sistema.

Como a bateria e os painéis estão conectados ao controlador de carga, ele é capaz de monitorar o valor de tensão nos terminais da bateria e no caso de atingir valores elevados, geralmente de 14,4 a 15,5 V, a desacopla evitando sobrecarga da mesma. Faz também o mesmo para o caso de a tensão nos terminais atingirem valores da bateria com baixo nível de carga, geralmente por volta de 10,5 V, mas esse é um valor que pode ser alterado para que ela desacople com uma tensão equivalente a profundidade de carga desejada.

As baterias possuem perfis de carregamento, que são recomendados para maior vida útil do componente. Como citado anteriormente, existem controladores capazes de identificar esses perfis e adequar os níveis de tensões durante carregamento, isso pois conseguem utilizar algoritmos de cargas com múltiplos estágios. No caso da bateria de chumbo ácido, ela possui um perfil característico baseado em três estágios, que pode ser analisado na Figura 24.

Figura 24 - Perfil de carga de uma bateria de chumbo ácido com três estágios.



Fonte: Villalva (2015)

O primeiro estágio, denominado de carregamento pesado, a corrente é levada ao máximo suportado pelo controlador de carga, retirando toda energia que o conjunto de painéis é capaz de fornecer, tentando carregar a bateria o mais rápido possível. O próximo é chamado de estágio de absorção, neste momento a bateria está praticamente carregada, mas ainda é possível realizar um carregamento lento para atingir 100% da carga. Durante esse período a tensão da bateria é mantida constante. Por fim, entrando no estágio de flutuação, quando a bateria já está carregada e seu valor de tensão apenas é mantido a um valor de tensão de acordo com as especificações do fabricante.

É essencial que a conexão entre os módulos as baterias sejam feitas pelo controlador de carga, para que não haja danificação a ambos os componentes. Os controladores encontrados comercialmente em maior parte são encontrados com corrente máxima de 60 A, o que no caso de sistemas com mais módulos, pode ser superado. Para isso, é possível utilizar a conexão em paralelo de controladores de carga, entretanto o projetista deve-se atentar se o modelo de controlador utilizado suporta essa função de paralelismo.

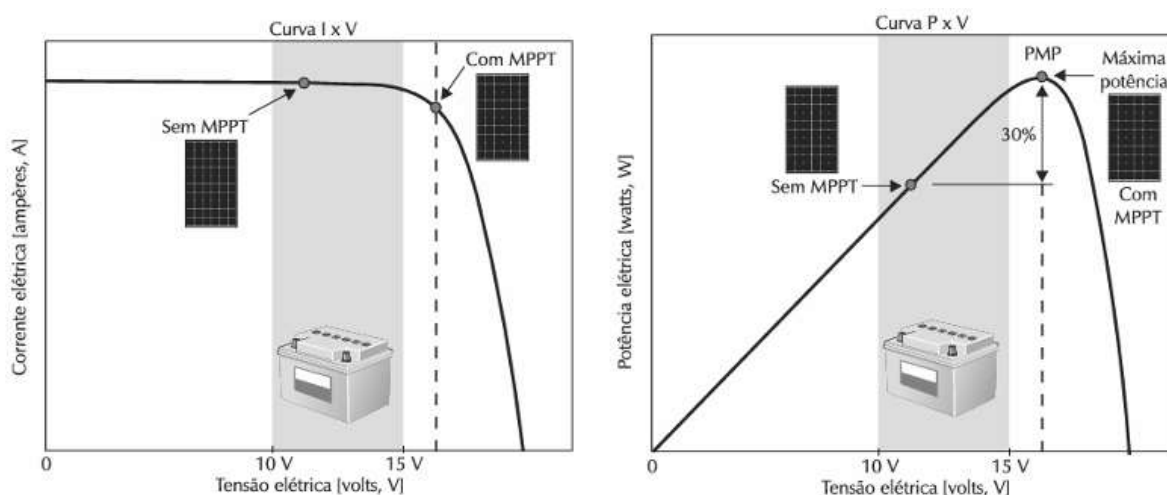
Existem vários tipos de controladores, sendo o mais simples conhecido como LIGA/DESLIGA. Os desse modelo apenas executam as funções de chaveamento, desconectando os módulos quando a tensão atinge valores críticos, através de relés eletromecânicos ou transistores eletrônicos. Esse tipo de controlador pode ser construído de duas maneiras diferentes, com a posição da chave que conecta aos módulos podendo estar em série ou em paralelo. Quando ligada em série, ao atingir níveis críticos, ela é aberta impedindo

a passagem de corrente para bateria e quando a ligação é em paralelo ao conjunto de painéis, a chave é fechada ao atingir os níveis críticos de tensão, fazendo com que a corrente circule apenas pelos painéis.

Outro tipo são os com PWM (*Pulse Width Modulation* – modulação de largura de pulso), que possuem transistores e circuitos eletrônicos no lugar das chaves responsáveis por fazer o controle preciso das correntes de carga da bateria. Com eles é possível fazer o carregamento através de algoritmos respeitando o perfil de carregamento das baterias prolongando sua vida útil.

Por fim, tem-se os mais sofisticados com que são os controladores com MPPT (*Maximum Power Point Tracking* – rastreamento do ponto de máxima potência) que além de possuírem as vantagens dos PWM, também são capazes de fazer os módulos operarem em seu ponto de máxima potência, independente da radiação ou temperatura sobre os painéis. Seus circuitos eletrônicos possuem 2 estágios, podendo desacoplar os painéis da bateria, possibilitando operar esses componentes com valores de tensão diferentes. Quando não é utilizado esse modelo de controlador, a tensão de operação dos módulos é limitada ao valor de tensão do banco de baterias, consequentemente limitando a potência gerada. A Figura 25 as curvas características dos painéis, destacando as faixas de operação desse modelo.

Figura 25 - Operação do módulo fotovoltaico com e sem o recurso do MPPT



Fonte: Villalva (2015)

Em geral, esses controladores com MPPT conseguem providenciar um aumento de produção de energia de até 30%. Sendo assim, apesar do maior valor desses controladores é

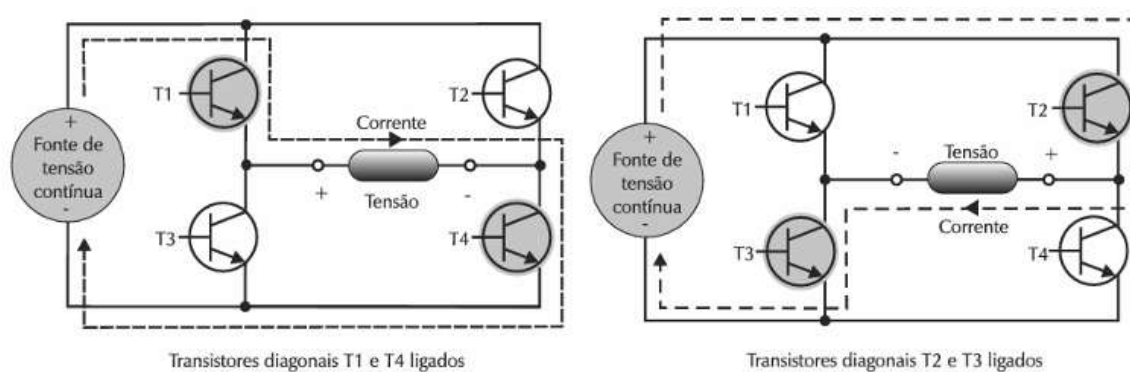
necessário avaliar sua viabilidade pois sua implementação impacta em um número menor de painéis e uma maior durabilidade da bateria, podendo compensar o investimento no controlador.

3.4.3 INVERSORES

A maior parte dos equipamentos e eletrodomésticos utilizados, como por exemplo a bomba d'água que será utilizada no desenvolvimento do projeto proposto, funcionam na rede de tensão alternada, e como os painéis fotovoltaicos geram tensão e corrente contínua, se faz necessário um inversor que fica responsável por fazer essa conversão de corrente contínua para alternada. Eles podem ser encontrados em tensões de conversão de 12, 24 ou 48 V que são compatíveis com os valores típicos de baterias.

Seu funcionamento é baseado no circuito ilustrado na Figura 26, onde os quatro transistores T1 a T4 fazem chaveamento permitindo ou não a transferência de tensão e corrente das fontes de correntes para os terminais de saída do inversor. Quando os transistores de uma diagonal estão ligados, a tensão de saída do inversor será positiva, a seguir são desligados e ligam-se os da diagonal oposta, ocasionando em uma tensão de sinal negativo.

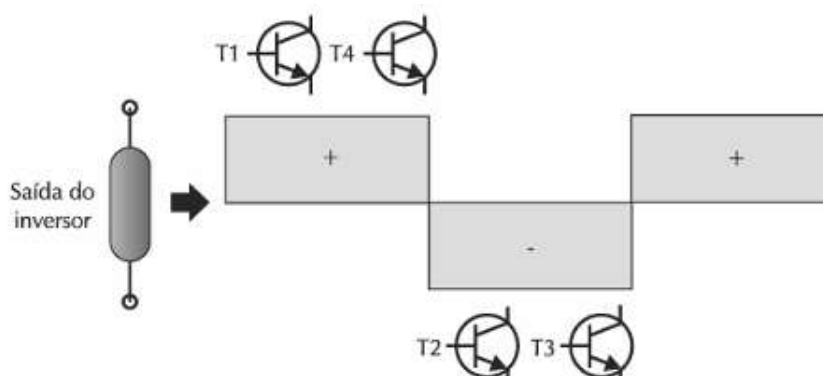
Figura 26 - Funcionamento do inversor CC-CA.



Fonte: Villalva (2015)

O acionamento de maneira alternada com um intervalo de tempo fixo ocasiona em uma onda quadrada de tensão alternada, representada na Figura 27, ocorrendo o mesmo com a corrente da saída do inversor. Nos inversores utilizados comercialmente possuem um circuito de complexidade muito maior, utilizando também microprocessadores para proporcionar na saída tensões e correntes que se assemelham o máximo possível a ondas senoidais.

Figura 27 - Tensão alternada produzida na saída do inversor CC-CA



Fonte: Villalva (2015)

Dentre as características desse equipamento, as principais que se deve atentar no momento da escolha além de potência, tensão e outros aspectos mais comuns, é essencial se atentar muito a forma da onda de saída e sua distorção harmônica. Esses dois aspectos estão diretamente relacionados, pois quanto mais próximo de uma senoide pura for a onda de saída, maior será sua pureza apresentando menos distorções harmônicas. Essas distorções são interferências eletromagnéticas conhecidas como harmônicos e podem causar danificar os equipamentos do sistema.

Vale ressaltar que segundo a norma da ABNT NBR 16149 (ABNT, 2013), há um limite de distorção harmônica que pode ser inserido na rede, devendo ser inferior a 5% em relação à corrente fundamental. Além disso, cada harmônica individualmente possui limites os quais devem ser respeitados, estes são evidenciados pela Tabela 2.

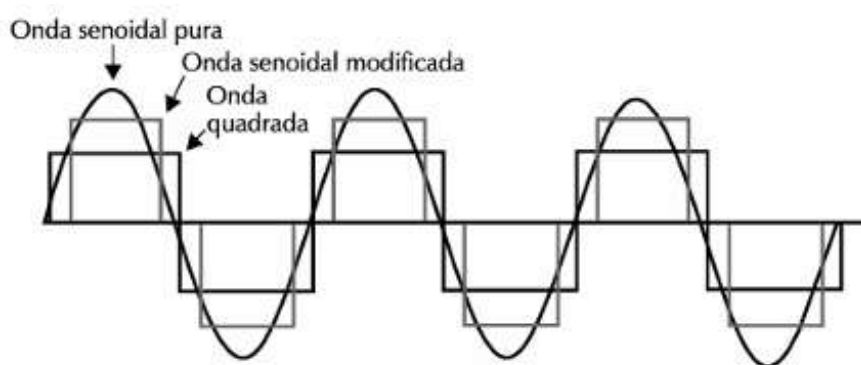
Tabela 2 - Limite de distorção harmônica de corrente

Harmônicas ímpares	Limite de distorção
3° a 9°	< 4,0 %
11° a 15°	< 2,0 %
17° a 21°	< 1,5 %
23° a 33°	< 0,6 %
Harmônicas pares	Limite de distorção
2° a 8°	< 1,0 %
10° a 32°	< 0,5 %

Fonte: ABNT (2013)

Os inversores de tipo de onda quadrada e onda senoidal modificadas são os principais tipos que injetam componentes harmônicas aos sistemas, isso pois suas ondas de saída são compostas por ondas quadradas, havendo muitos pontos de descontinuidade da onda, sendo muito distorcidas quando comparadas as ondas senoidais puras. Inversores desse tipo possuem um custo reduzido e são destinados apenas para circuitos que não são sensíveis a essa distorção de tensão, como por exemplo as lâmpadas nos circuitos de iluminação. Uma representação da saída desses tipos de inversores é ilustrada na Figura 28.

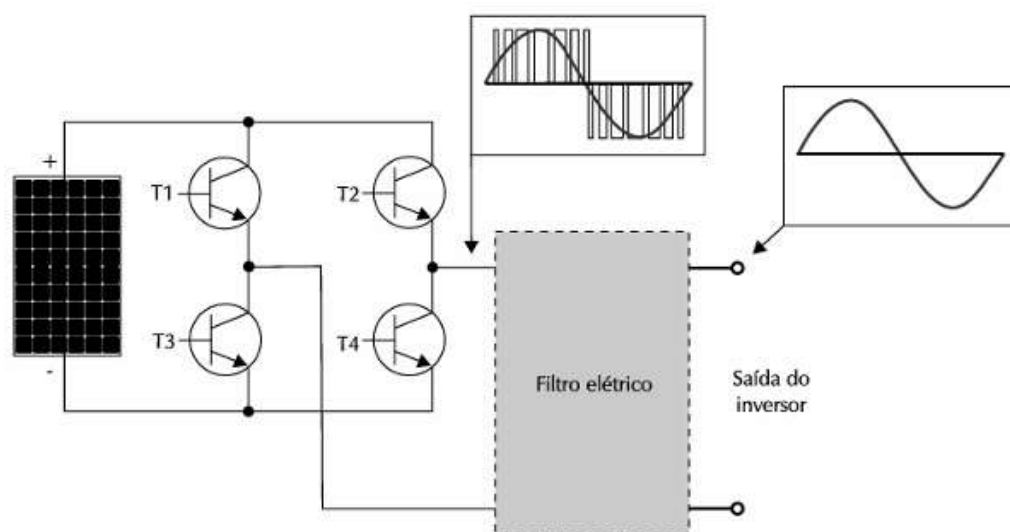
Figura 28 - Ondas senoidal pura, modificada e quadrada



Fonte: Villalva (2015)

Outro tipo de inversor é o de senoidal pura, esses possuem seu funcionamento com base no princípio da modulação de largura de pulsos (PWM), onde produzem uma sequência de pequenas ondas quadradas com alta frequência. Como são uma sequência de ondas quadradas, a inserção de harmônicos em altas frequências será grande, para isso é adicionado um filtro na saída do inversor responsável por eliminar essas interferências, resultando assim na obtenção de uma onda muito semelhante a uma senoidal pura. Esse sistema de inversor é explicitado na Figura 29.

Figura 29 - Funcionamento do inversor PWM de onda senoidal pura



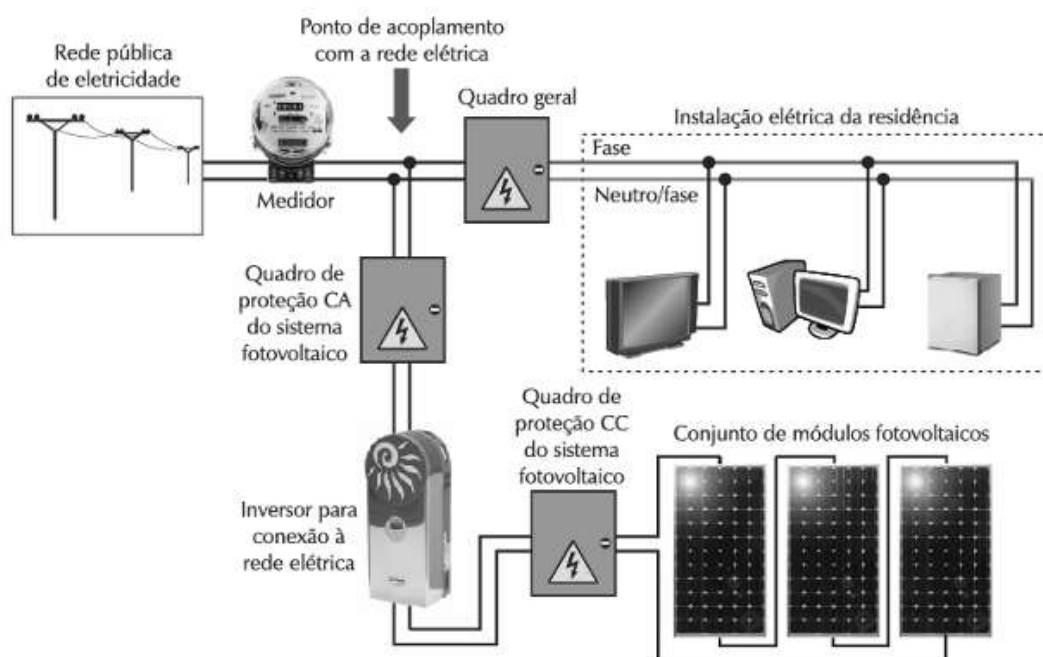
Fonte: Villalva (2015)

3.5 SISTEMAS LIGADOS A REDE (*ON-GRID*)

Como o próprio nome diz, esses sistemas se encontram em locais onde já há a presença de distribuição de energia, operando em paralelismo com a rede elétrica. Tem a finalidade de reduzir ou até mesmo suprir os gastos de energia com a rede pública e podendo gerar créditos pela geração excedente. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sistemas desse tipo podem ser classificados em três categorias, de acordo com a potência instalada. Sendo, microgeração até 75 kW e minigeração para valores intermediários entre 75kW e 5 MW (TOPSUN, 2022).

Os componentes utilizados nesse modelo são os mesmos apresentados nos sistemas autônomos com suas respectivas diferenças, e sem a necessidade da utilização de baterias. É comum nesses modelos a utilização de sistemas com valores de tensão maiores, assim será possível a associação de mais painéis em série e produzindo mais energia com menores valores de corrente. Para que seja possível estabelecer o controle para a cobrança de energia, é necessário a troca do medidor convencional do local de instalação, para um bidirecional, possibilitando assim realizar um balanço entre a energia gerada e consumida por aquele consumidor. Uma representação desse sistema está contida na Figura 30.

Figura 30 - Organização e componentes de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica



Fonte: Villalva (2015)

Os inversores desse tipo de sistema, diferente dos autônomos, não funcionam como uma fonte de tensão, mas sim como uma fonte de corrente que à injeta na rede. Sendo assim, a qualidade de conversão de energia desses componentes deve ser ainda melhor para evitar injeção de harmônicos a rede. No caso de uma pausa no fornecimento de energia, o inversor para de funcionar, pois não foi projetado para isso e para que no caso de a falta de fornecimento ser por conta de uma manutenção da rede, ele não pode de maneira nenhuma injetar corrente a ela, pois colocaria em risco os operadores.

Os requisitos e normas para conexão dos sistemas a rede dependem da concessionária a qual realiza a distribuição de energia onde o sistema está instalado. Em geral, devem operar a mesma frequência que a rede e respeitar os limites de tensão e injeção de harmônicos (Tabela 2).

3.6 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

Para que seja possível estabelecer o número de painéis a ser utilizados, é necessário saber inicialmente qual será a energia gerada por apenas um. Para isso existem vários métodos de dimensionamento, a seguir serão apresentados dois que serão utilizados para o desenvolvimento

do projeto. Os métodos a seguir podem ser aplicados para ambos os sistemas fotovoltaicos apresentados.

3.6.1 MÉTODO DA INSOLAÇÃO

Para utilização desse método, é necessário saber os dados quanto a disponibilidade de energia solar diária no local de análise. Essa informação pode ser obtida no formato da insolação diária, ou seja, o quanto de energia da radiação solar atinge um metro quadrado da superfície diariamente. Pode-se obter dados como esse através de calculadoras solares na rede, a que será utilizada durante a realização desse trabalho será a SunData 3.0, disponibilizada pelo CRESESB (CRESESB, 2023).

Outra consideração que dever ser feita, é que esse método só é válido na utilização de controladores de carga que possuem o recurso de rastreamento de ponto máximo de potência (MPPT). Isso é necessário pois ao se considerar a energia solar disponível para os cálculos o esperado é extrair toda ela, limitando a produção a eficiência do módulo.

Como a insolação varia ao longo do ano, possuindo valores máximos durante o verão e mínimos durante o inverno. A utilização de uma média desse valor pode levar o sistema a uma falta de energia durante o inverno, e excesso durante o verão, sendo assim para garantir o fornecimento de energia necessário para suprir a carga durante todo o ano, o equacionamento geralmente é feito baseado no valor mínimo de insolação.

Após adquiridos os dados de insolação local, é necessário obter os dados dos módulos fotovoltaicos que serão utilizados através de suas folhas de dados. No caso de o fabricante não fornecer a eficiência do painel, a mesma pode ser calculada através da equação (2), considerando um valor de irradiação de referência de 1000 W/m².

$$\eta_M = \frac{P_M}{A_M \cdot I_{RAD}} \cdot 100\% \quad (2)$$

sendo:

η_M : Eficiência do módulo [%];

P_M : Potência máxima do módulo na condição de SCT [W];

A_M : Área do módulo [m²];

I_{RAD} : Irradiação de referência [W/m²].

Sendo possível então calcular a energia produzida pelo painel fotovoltaico em análise através da equação (3).

$$E_P = E_S \cdot A_M \cdot \eta_M \quad (3)$$

sendo:

E_P : Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh];

E_S : Insolação diária do local [Wh/m²];

A_M : Área do módulo [m²];

η_M : Eficiência do módulo [%].

Por fim, para obter o número de módulo que são necessários para a instalação, é feita a razão, dada na equação (4), da energia consumida na unidade pela energia gerada por um painel.

$$N_M = \frac{E}{E_P} \quad (4)$$

sendo:

N_M : Número de módulos;

E : Energia consumida pela unidade diariamente [Wh];

E_P : Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh].

3.6.2 MÉTODO DA CORRENTE MÁXIMA

A partir deste método, considera-se que não se utilizará um controlador de carga com função de rastreamento de ponto máximo, sendo assim, a geração de energia do módulo será limitada pela tensão do banco de baterias. Assim como no método anterior o primeiro passo para o dimensionamento será obter as características dos painéis através da sua folha de dados. Para os cálculos, podem ser utilizados os dados tanto em SCT quanto em NOCT, entretanto, a utilização dos dados a partir das condições de SCT pode ocasionar no valor calculado de energia não ser obtido na prática, portanto sendo mais indicado a utilização dos dados com as condições de NOCT. Sendo assim, é possível calcular a potência do módulo através da equação (5).

$$P_M = I_{SC} \cdot V_{BAT} \quad (5)$$

sendo:

P_M : Potência do módulo [W];

I_{SC} : Corrente de curto-circuito do módulo [A];

V_{BAT} : Tensão da bateria ou do banco de baterias.

Então para calcular a energia produzida pelo painel é necessário ver por quanto tempo ele será exposto a insolação solar, um valor que pode variar muito dependendo da região geográfica e período do ano. Segundo Villalva (2015), para se ter resultados condizentes pode-se utilizar um período de quatro a seis horas. Obtendo a equação (6) para estimativa de energia gerada.

$$E_P = P_M \cdot H_S \quad (6)$$

sendo:

E_P : Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh];

P_M : Potência do módulo [W];

H_S : Horas diárias de insolação [horas].

E assim como no modo anterior, usa-se a equação (4) para determinar o número de módulos a serem usados na instalação. Vale ressaltar que este método de dimensionamento é extremamente empírico e pode ser necessário realizar ajustes nos resultados encontrados em função das condições reais as quais o sistema será imposto.

3.6.3 DIMENSIONAMENTO BANCO DE BATERIAS

Para dimensionar o banco é necessário saber qual será a carga consumida diariamente e por quanto tempo se deseja armazenar energia para sustentar o sistema mesmos em casos extremos sem geração de energia. Além disso, é preciso definir qual será a tensão utilizadas no banco para determinar o número de baterias que deverão ser associadas em série formando um arranjo, esse valor pode ser encontrado através da equação (7).

$$NBS = \frac{V_{BANCO}}{V_{BAT}} \quad (7)$$

sendo:

NBS : Número de baterias ligadas em série;

V_{BANCO} : Tensão do banco de baterias [V];

V_{BAT} : Tensão da bateria utilizada [V].

Definindo então a quantidade de dias de autonomia do sistema, determina-se a partir da equação (8), a quantidade de energia a ser consumida que a bateria deve armazenar.

$$E_A = E \cdot t \quad (8)$$

sendo:

E_A : Energia armazenada no banco de baterias [Wh];

E : Energia consumida pela unidade diariamente [Wh];

t : Período de autonomia do sistema.

Após isso, determina-se, fazendo uso da equação (9), a capacidade de carga do banco, considerando a profundidade de descarga das baterias no sistema.

$$C_{BANCO} = \frac{E_A}{V_{BANCO} \cdot \delta} \quad (9)$$

sendo:

C_{BANCO} : Capacidade de carga do banco de baterias [Ah];

E_A : Energia armazenada no banco de baterias [Wh];

V_{BANCO} : Tensão do banco de baterias [V];

δ : Profundidade de descarga da bateria [%].

Para definir o número de arranjos ligados em paralelo utiliza-se a razão entre a capacidade necessária no banco, e a capacidade total de uma bateria, como visto na equação (10).

$$N_{BP} = \frac{C_{BANCO}}{C_{BAT}} \quad (10)$$

sendo:

N_{BP} : Número de arranjos de baterias paralelo;

C_{BANCO} : Capacidade de carga do banco de baterias [Ah];

C_{BAT} : Capacidade de carga da bateria.

3.6.4 DIMENSIONAMENTO CONTROLADOR DE CARGA

Após definidos os outros componentes do sistema, o controlador de carga deverá se comunicar com eles, operando com mesma tensão e suportando a corrente máxima que pode circular pelo conjunto de painéis. Além disso, é recomendando aplicar um fator de segurança de 30% a essa corrente, que é definida através da equação (11).

$$I_{CONT_CARGA} > 1,3 \cdot I_{SC} \cdot N_S \quad (11)$$

sendo:

I_{CONT_CARGA} : Corrente a ser suportada pelo controlador de carga;

I_{SC} : Corrente de curto-circuito do módulo [A];

N_S : Número de *strings* do arranjo de módulos.

3.6.5 DIMENSIONAMENTO INVERSOR

Para determinar o inversor que será utilizado no projeto, é preciso que ele trabalhe a mesma tensão da bateria e converta para o nível desejado de 127 ou 220V. Além disso é necessário que sua potência de conversão seja maior que a consumida pela carga, para conseguir suprir a corrente exigida por cada equipamento.

3.6.6 DIMENSIONAMENTO CABOS

Na avaliação da seção transversal dos cabos a serem utilizados, deve-se fazer a avaliação quanto a corrente suportada pelo condutor e também quanto a queda de tensão presente no

mesmo pela distância do equipamento a fonte de energia. Para executar a avaliação pelo método da corrente máxima, deve-se avaliar a maneira na qual são instalados e podendo estimar a corrente em cada fase através da equação (12) (Creder, 2016).

$$I = \frac{P}{U \cdot FP} \quad (12)$$

sendo:

I: Corrente elétrica na fase [A];

P: Potência ativa da carga [W];

U: Tensão elétrica (No caso de a carga ser trifásica multiplicar tensão de linha por $\sqrt{3}$) [V];

FP: Fator de potência.

É necessário aplicar fatores de correção no valor de corrente calculado para obter a corrente de projeto corrigida para parâmetros que afetam a transmissão de energia como, a temperatura na qual os condutores operam, a quantidade de circuitos alocados junto ao condutor em análise, a maneira na qual ele é instalado, entre outros. Uma representação desse valor corrigido de corrente está presente na equação (13) (Armando, 2024).

$$I_B = \frac{I}{\prod k_n} \quad (13)$$

sendo:

I_B : Corrente de projeto [A];

I: Corrente elétrica na fase [A];

k_n : Fator de correção referente a cada parâmetro.

No caso da queda de tensão é necessário fazer essa avaliação para garantir que a tensão na qual o equipamento opera, será fornecida sem sofrer perdas de modo que fique abaixo da tolerância permitida. Quanto maiores as distâncias, maiores terão de ser a bitola dos fios para suportar as perdas, esse dimensionamento pode ser feito a partir da equação (14) (Creder, 2016).

$$S = \frac{2 \cdot \rho}{\varepsilon \cdot U^2} \sum_1^n (P_n \cdot l_n) \quad (14)$$

sendo:

S: Seção transversal do condutor [m²];

ρ : Condutividade do material [Ω m];

ε : Queda de tensão admitida [%];

U: Tensão elétrica (No caso de a carga ser trifásica multiplicar tensão de linha por $\sqrt{3}$) [V];

P_n : Potência ativa da carga n [W];

l_n : Distância até a carga n [m].

Após a aplicação dos dois métodos, deve-se compará-los a seção mínima de condutor para devida aplicação (1,5mm² para iluminação; 2,5mm² para circuitos de força) e escolher o cabo de maior bitola, garantindo assim que atenda a todos os requisitos necessários. Para auxiliar nessa etapa, será utilizado o *software* Prysmian DCE 4.0 (PRYSMIAN, 2024), que executa o dimensionamento baseado nos métodos apresentados.

3.6.7 DISPOSITIVOS DE SECCIONAMENTO E PROTEÇÃO

Para que haja segurança da instalação elétrica, todos os condutores de fase devem apresentar um ou mais dispositivos capazes de executar o seccionamento, interrompendo a sobrecorrente antes que ela danifique o condutor. Sendo assim, serão utilizados os disjuntores termomagnéticos, que são capazes de executar o seccionamento tanto para casos de sobrecarga quanto de sobrecorrente, também sendo possível realizar o religamento da chave após a resolução da falta (Creder, 2016).

Como o disjuntor é responsável por proteger o condutor o elétrico, a corrente na qual ele deve atuar deve ser menor que a capacidade máxima de condução do cabo. Portanto, conforme a NBR 5410, é possível determinar a corrente dos componentes a partir das equações (15) e (16).

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (15)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad (16)$$

sendo:

I_B : Corrente de projeto [A];

I_N : Corrente nominal do disjuntor [A];

I_Z : Capacidade de condução de corrente do condutor [A];

I_2 : Corrente convencional de atuação dos dispositivos de proteção [A];

Como o sistema fotovoltaico envolve a transferência de corrente contínua e alternada, é fundamental considerar cuidadosamente o ponto do sistema em que será instalado o dispositivo de proteção. Isso ocorre porque há diferenças entre os tipos de corrente em relação à polaridade. No entanto, o método de dimensionamento dos dispositivos de proteção permanece o mesmo para ambos os casos.

3.7 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

As bombas são os equipamentos responsáveis por converter a energia mecânica gerada pelos motores, que são alimentados pela energia elétrica obtida dos painéis fotovoltaicos nesse caso, em energia hidráulica, que permitem o transporte de fluidos a determinadas distâncias e alturas pela tubulação de recalque (Baptista, 2014). Elas podem ser categorizadas quanto a forma como fornecem energia ao fluido em dois grandes grupos, os de bombas de deslocamento positivo e turbobombas.

Nas de deslocamento positivo, ou volumétricas, a movimentação do fluido é causada pela ação mecânica de um elemento móvel dentro da bomba, mantendo a vazão média praticamente constante. Já nas turbobombas, ou hidrodinâmicas, a função do rotor dessas bombas é acelerar a massa líquida adquirindo energia cinética, sendo que a própria massa do fluido que executa sua rotação por meio de pás (Baptista, 2014).

Ao escoar pela tubulação, parte da energia cinética que os fluidos possuem é perdida na forma de atrito para a própria tubulação. Essa perda pode ser subdividida na perda de carga contínua, que é a perda por atrito para as paredes da tubulação, dependendo da viscosidade do líquido e da rugosidade das paredes, sendo definida de forma geral pela equação (17) (Baptista, 2014).

$$\Delta h' = \frac{f \cdot v^2}{D \cdot 2g} \cdot L \quad (17)$$

sendo:

$\Delta h'$: Perda de carga contínua [m];

f : Coeficiente de perda de carga;

v : Velocidade média de escoamento [m/s];

D : Diâmetro do conduto [m];

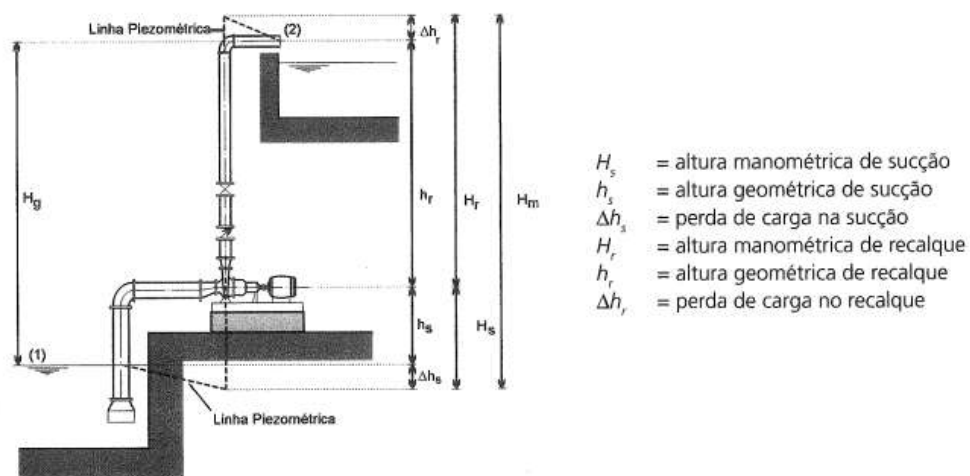
g : Aceleração da gravidade [m/s²];

L : Comprimento do conduto [m].

E o outro tipo é a perda de carga localizada, consistindo na perda devido aos componentes da tubulação que provocam perturbações bruscas no escoamento do fluido, como válvulas, reduções, expansões, curvas, saídas de reservatório, entre outros, sendo que cada tipo de acessório possui uma perda específica (Baptista, 2014). Essas perdas de carga são medidas em metros, representando o equivalente à quantidade de metros adicional de tubo reto.

Outro conceito necessário é quanto à altura manométrica, e Baptista (2014) define que “a altura manométrica H_m representa a energia absorvida por unidade de peso de líquido ao atravessar a bomba, ou seja, é a energia na saída da bomba menos a energia da entrada”. A Figura 31 auxilia no entendimento do conceito apresentado.

Figura 31 - Parâmetros hidráulicos de uma instalação de recalque



Fonte: Adaptado de Baptista (2014)

3.8 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Os sistemas de irrigação podem ser categorizados em diferentes tipos, com cada um possuindo suas particularidades e sendo mais ou menos indicados para cada método de cultivo (Testezlaf, 2017). Alguns desses métodos são apresentados na sequência.

O método por aspersão é o que melhor simula a chuva. A água que está distribuída em redes de tubulações é pulverizada por pequenos orifícios presentes nos aspersores na forma de gotas sobre as plantas e superfície do solo. A pressurização da água para ser distribuída na rede de tubos pode ser feita por meio de bombeamento, ou utilizando reservatórios a uma altitude maior que o sistema e operando por meio da força gravitacional. Eles podem ser dispostos em linhas laterais móveis ou fixas e através de pivôs centrais que se movimentam e volta de um eixo.

Segundo Testezlaf (2017), este sistema apresenta diversas vantagens, como a possibilidade de uso em terrenos com topografia irregular, graças ao controle da precipitação, do grau de pulverização e da uniformidade na distribuição dos aspersores. Além disso, adapta-se à maioria das culturas e tipos de solo, oferecendo também flexibilidade e mobilidade devido à ampla variedade de aspersores disponíveis. Entretanto, ele também apresenta algumas limitações que podem sofrer, como no caso da ocorrência de ventos com velocidades mais altas podem afetar a uniformidade de distribuição, meios de cultura mais altos podem obstruir a passagem dos jatos, e no caso de culturas mais sensíveis, podem ocasionar em danificação das flores ou frutos.

Um outro sistema de irrigação é a localizada, que consiste em fornecer água apenas na região radicular das plantas permitindo seu melhor aproveitamento. Ela exige uma menor vazão quando comparada a irrigação por aspersão, aplicando pequenos volumes de água. O fornecimento concentrado pode ser feito por meio da técnica do gotejamento pelos gotejadores ou por meio de microaspersores que fazem a dispersão da água, mas necessitando de uma pressão menor que os aspersores comuns para funcionamento (Testezlaf, 2017).

Essa forma de distribuição de água, quando bem projetada e manejada, permite um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, sem ocasionar desperdícios ou perdas, como o nível de umidade se mantém praticamente constante e adequado a cultura, proporciona um aumento na produtividade e redução no consumo de energia devido a operação em baixas pressões e vazões. Porém, como os orifícios de emissão possuem diâmetro muito pequeno, há possibilidade de eles ficarem entupidos devido a sedimentos presentes na água, havendo

necessidade de manutenção regular, outro fator que se deve levar em conta é que devido a concentração da umidificação da terra, as raízes da cultura também tendem a se concentrar (Testezlaf, 2017).

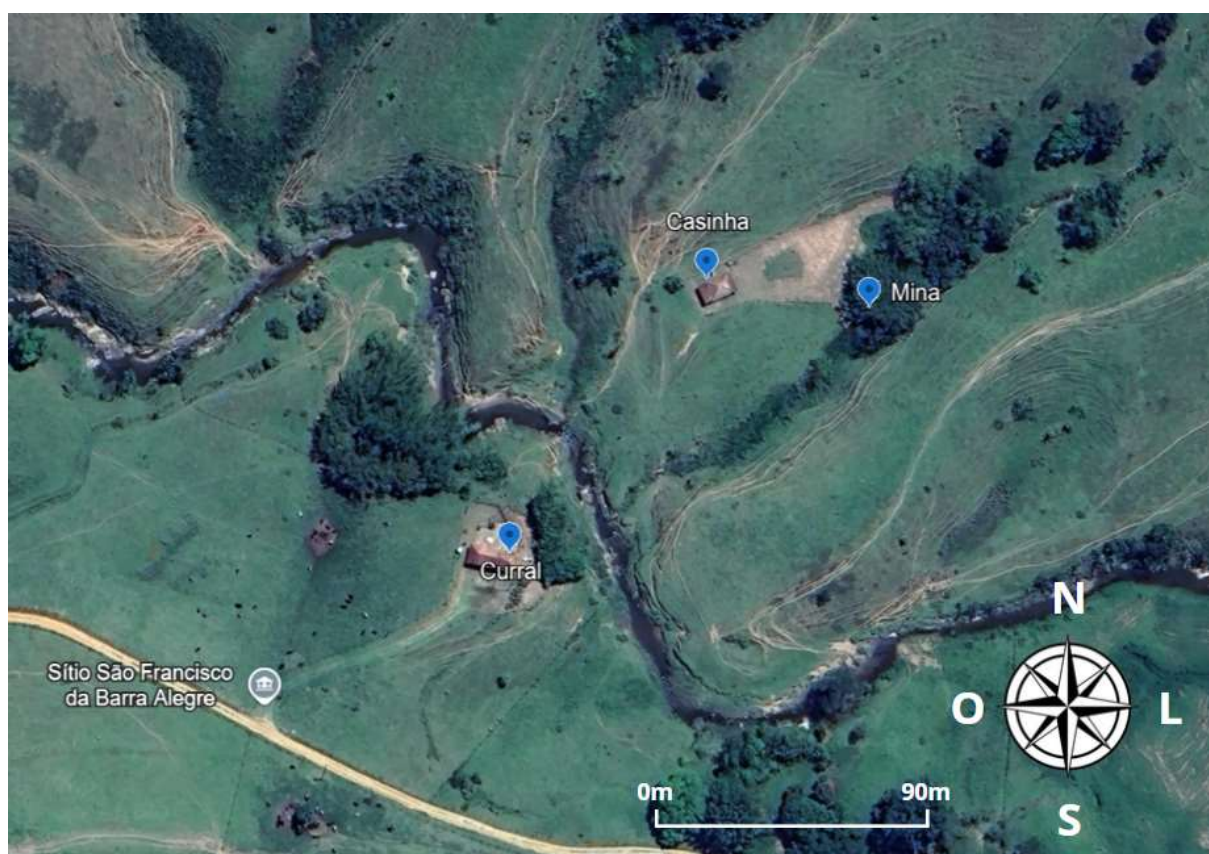
Em ambos os sistemas apresentados, na configuração de linhas laterais, há um ramal principal, também chamado de adutora, que geralmente possui maior dimensão para conduzir maior volume de água. Desses ramais são feitas as derivações das linhas laterais, nas quais serão instalados os aspersores ou gotejadores (Testezlaf, 2017).

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 PREMISSAS DO ESTUDO

O estudo de caso para validação da proposta apresentada será feito para a propriedade rural Sítio São Francisco da Barra Alegre, que possui 24,83 hectares de área, localizada no município de Piquete – SP, com suas coordenadas sendo latitude 22,61° sul e longitude 45,15° oeste (Google, 2024). A Figura 32 exibe uma imagem via satélite da propriedade de estudo.

Figura 32 – Localização da propriedade em estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth (2024)

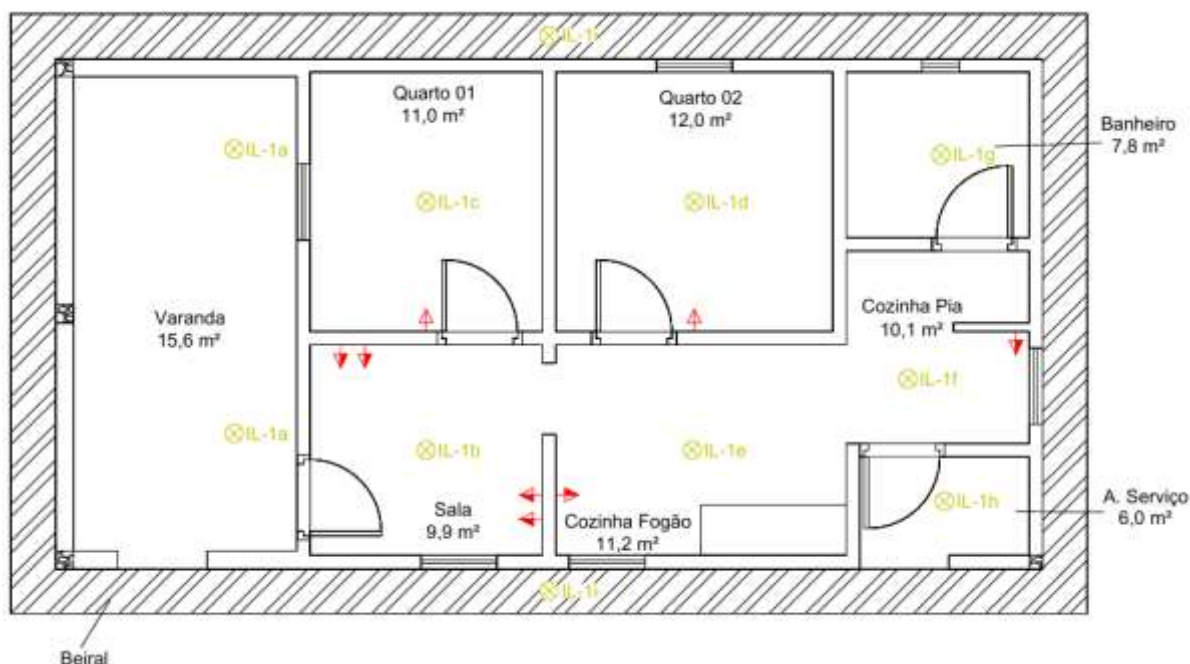
A propriedade em questão possui uma mina onde a água é captada por meio de uma bomba, a qual é recalçada para realizar o abastecimento do curral e “casinha”. A ideia do estudo consiste em analisar a viabilidade de um sistema de geração de energia fotovoltaica *off-grid*, responsável por gerar energia elétrica para a bomba e o sistema de iluminação e tomadas da “casinha”. A água bombeada será armazenada em um reservatório, em local mais elevado que

a captação, para posteriormente ser utilizado em um sistema de irrigação de hortaliças e árvores frutíferas.

4.2 LEVANTAMENTO DE CARGA

O primeiro passo para realizar o estudo é determinar a quantidade de energia consumida pelos equipamentos que serão alimentados pelo sistema fotovoltaico. Para isso foi realizado um levantamento em campo dos componentes elétricos da “casinha”, Figura 33, que serão transferidos para o sistema renovável.

Figura 33 - Circuitos iluminação e tomadas “casinha”



Fonte: Autoria própria

Além desses elementos, estará presente no sistema também a bomba d'água do modelo Anauger Sappo 800-5G, a qual será o principal consumidor de energia do sistema. Sua potência foi obtida a partir de seu catálogo, enquanto para as luminárias são consideradas lâmpadas LED de 9W cada. Desenvolveu-se a Tabela 3 para determinar o consumo de energia diário que o sistema fotovoltaico deve suprir, considerando fatores de demanda para cada circuito.

Tabela 3 – Levantamento das cargas

Equipamento	Quantidade	Potência [W]	Horas de consumo diárias	Fator de demanda	Consumo [Wh/dia]
Bomba Sappo (0,5cv)	1	368	5	1	1840
Lâmpadas	12	9	2	0,8	172,8
Lâmpada varanda	1	9	12	1	108
Tomadas	8	100	1	0,8	640
Total [kWh]					2,761

Fonte: Autoria própria

As quantidades de horas de funcionamento de cada sistema foram valores estimados de acordo com as necessidades de uso. A lâmpada que se encontra na varanda permanece ligada e para uma economia, será utilizado soquetes com fotocélulas para que funcionem somente durante a noite. Já para o a quantidade de horas de funcionamento da bomba, levou-se em conta a estimativa de vazão contidos em sua folha de dados.

O primeiro passo para a determinação da vazão, segundo o manual, é definir a altura manométrica total da instalação. Levando-se em conta que o reservatório está instalado a uma altura de 20 metros da bomba, são utilizados aproximadamente 100 metros de tubulação, obtém-se o valor da altura manométrica de 28 metros a partir da Tabela 4.

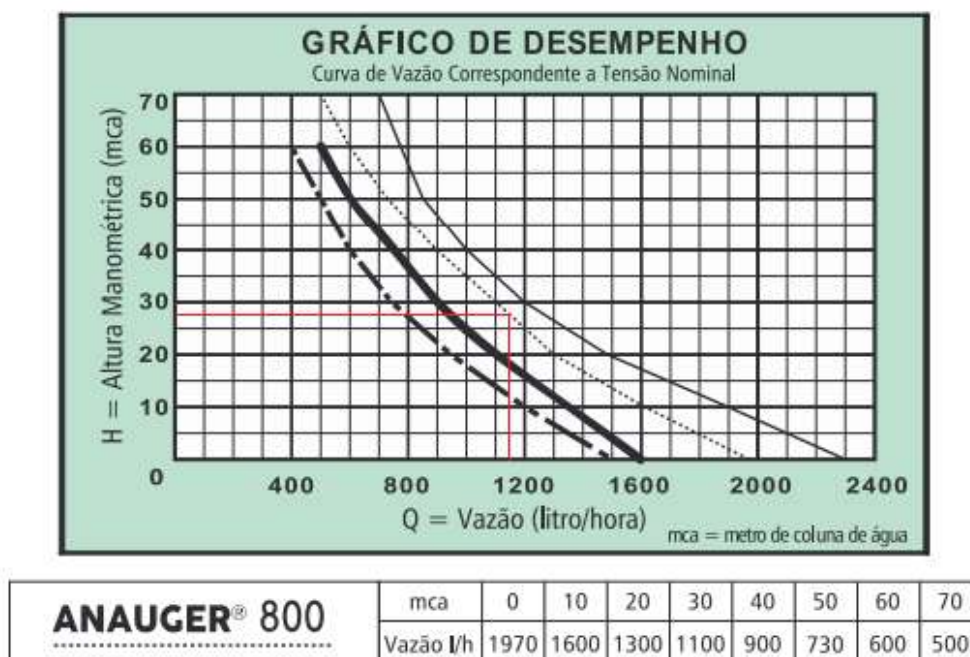
Tabela 4 – Cálculo baseado no ponto médio da curva manométrica da bomba, com aplicação de conceitos de Colebrook, Bernoulli e Darcy Weissbach

		L = Comprimento total da tubulação (em metro), da bomba até o reservatório.																				
		10	20	40	60	80	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900
		H = Altura manométrica total, em metro																				
h = Altura (em metro) da entrada de água na bomba até o reservatório.	5	6	7	8	10	11	13	14	16	18	20	21	23	27	30	34	37	41	48	55	62	70
	10	10	12	13	15	16	18	19	21	23	25	26	28	32	35	39	42	46	53	60	67	
	15		17	18	20	21	23	24	26	28	30	31	33	37	40	44	47	51	58	65		
	20		20	23	25	26	28	29	31	33	35	36	38	42	45	49	52	56	63	70		
	25			28	30	31	33	34	36	38	40	41	43	47	50	54	57	61	68			
	30			33	35	36	38	39	41	43	45	46	48	52	55	59	62	66				
	35			38	40	41	43	44	46	48	50	51	53	57	60	64	67					
	40				45	46	48	49	51	53	55	56	58	62	65	69						
	45				50	51	53	54	56	58	60	61	63	67	70							
	50				55	56	58	59	61	63	65	66	68									
	55				60	61	63	64	66	68	70											
	60					66	68	69	70													
	65					70																
	70																					

Fonte: Anauger (2024)

Com o valor da altura manométrica, é possível obter a vazão da bomba a partir de seu gráfico de desempenho visto na Figura 34, com a bomba em análise sendo a destacada pela linha pontilhada.

Figura 34 – Gráfico de desempenho



Fonte: Adaptado de Anauger (2024)

Nele observa-se que a vazão da bomba a essa altura será de aproximadamente 1100 litros por hora, sendo assim, será necessário que a bomba permaneça ligada por volta de 5 horas para abastecer o reservatório de 5000 litros, que supri as necessidades diárias da propriedade, justificando a quantidade de tempo utilizada no levantamento das cargas da Tabela 3.

4.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.3.1 EQUIPAMENTOS

Para realizar os cálculos do sistema fotovoltaico, é necessário definir alguns parâmetros antes de inicia-los. O modelo de painéis que serão utilizados são os ZTROON ZTP-340M com seus dados presentes em seu *datasheet* no Anexo A e o banco de baterias vai possuir 12 V de tensão de referência. Primeiramente é realizado os cálculos aplicando o método da corrente

máxima, encontrando então a partir da equação (5) a potência do módulo em questão.

$$P_M = I_{SC} \cdot V_{BAT} = 9,06 \cdot 12 = 108,72 \text{ W}$$

A seguir, calcula-se a energia que ele gera a partir da equação (6) considerando que é exposto a radiação solar durante 5 horas.

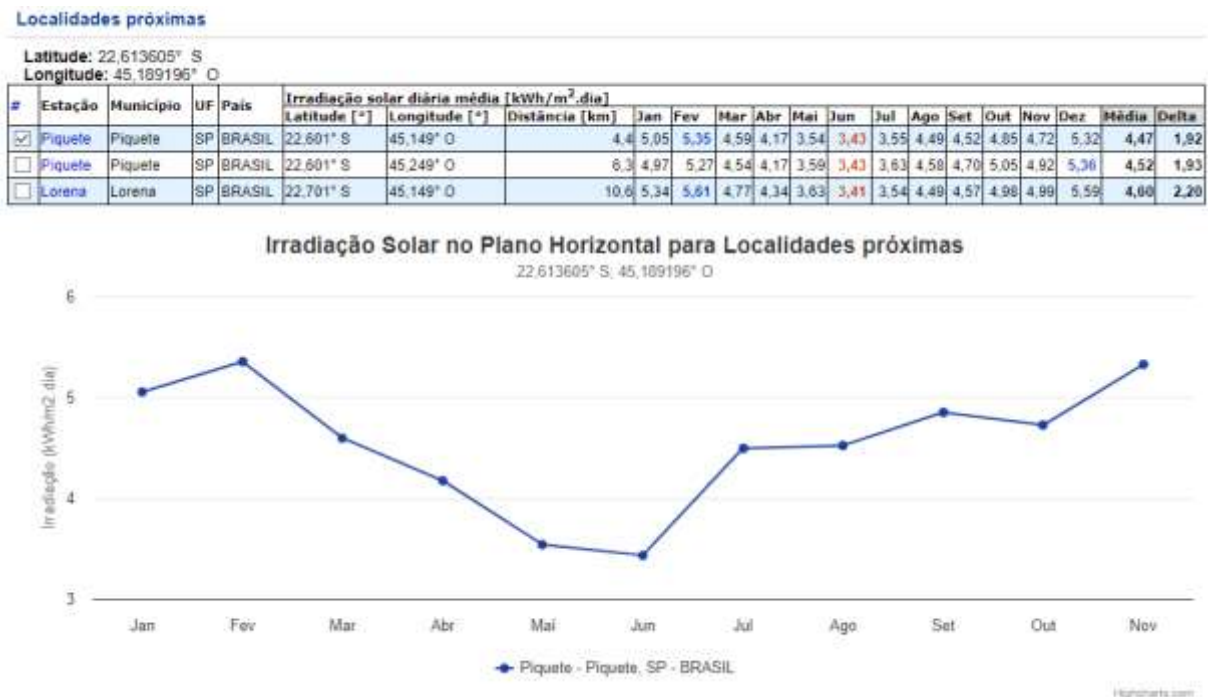
$$E_P = P_M \cdot H_S = 108,72 \cdot 5 = 543,6 \text{ Wh}$$

Por fim encontra-se o número de painéis que serão necessários a partir da equação (4).

$$N_M = \frac{E}{E_P} = \frac{2760,8}{543,6} = 5,08 \text{ painéis}$$

Para uma análise mais completa também é feito o dimensionamento utilizando o método da insolação. Sendo assim, será necessário obter os dados de irradiação no local de estudo, utilizando o aplicativo SunData 3.0, obteve-se os dados presentes na Figura 35.

Figura 35 – Dados de insolação para a localidade do estudo



Fonte: CRESESB (2024)

Antes de iniciar os cálculos é feita uma validação da eficiência informada pelo fabricante fazendo-se uso da equação (2).

$$\eta_M = \frac{P_M}{A_M \cdot I_{RAD}} = \frac{340}{(1,87 \cdot 0,88) \cdot 1000} \cdot 100\% = 20,7\%$$

Após confirmado o valor informado pelo fabricante, calcula-se a energia gerada por um módulo na localidade em questão a partir da equação (3). Visando uma economia quanto a quantidade de módulos, utilizou-se a insolação média no local, mesmo sabendo que no inverno pode ser que não se gere a energia total diária, entretanto como as temperaturas são menores nessa época, a evaporação de água no solo também será menor, fazendo com que se mantenha úmido por mais tempo, havendo uma necessidade menor de irrigação e consequentemente de acionamento da bomba e consumo de energia.

$$E_P = E_S \cdot A_M \cdot \eta_M = 4,47 \cdot (1,87 \cdot 0,88) \cdot 0,207 = 1,52 \text{ kWh}$$

Determinando então o número de painéis necessário utilizando da equação (4).

$$N_M = \frac{E}{E_P} = \frac{2760,8}{1520} = 1,82 \text{ painéis}$$

Comparando os dois métodos, observou-se a diferença entre o número de módulos em cada método, a qual se dá pela limitação que a tensão das baterias impõe na geração quando não se utiliza um controlador de carga com a função de rastreamento do ponto de máxima potência. Sendo assim, optou-se por utilizar um controlador de carga com essa função, diminuindo o número de módulos que são necessários. Para escolha do controlador de carga, avaliou-se a corrente que ele suporta a partir da equação (11), considerando que os painéis serão instalados em paralelo.

$$I_{CONT_CARGA} > 1,3 \cdot I_{SC} \cdot N_S$$

$$I_{CONT_CARGA} > 1,3 \cdot 9,27 \cdot 2$$

$$I_{CONT_CARGA} > 24,1 \text{ A}$$

Deste modo, escolheu-se para utilização o controlador de carga EPEVER XTRA 3210N, com seus dados presentes no Anexo B.

No caso das baterias, são utilizadas visando suprir o fornecimento de energia quando não há geração, ou seja, no período noturno, momento que não há necessidade de irrigar as culturas. Portanto, considerou-se que o banco deve suportar um quarto do consumo diário, visando alimentar o sistema de iluminação e tomadas. O modelo de bateria utilizado será a FREEDOM DF2000 com 115 Ah de capacidade, e com suas demais características contidas no Anexo C, onde o fabricante informa que se pode utilizar a bateria até uma profundidade de descarga de 20%, entretanto optou-se por utilizar até 70% de sua carga para haver um aumento na sua vida útil. A capacidade de carga necessária do banco de baterias é calculada através da equação (9).

$$C_{BANCO} = \frac{E_A}{V_{BANCO} \cdot \delta} = \frac{2,76 \cdot 0,25}{12 \cdot 0,7} = 82,17 \text{ Ah}$$

A seguir determina-se então que será necessário um arranjo de baterias pela equação (10).

$$N_{BP} = \frac{V_{BANCO}}{V_{BAT}} = \frac{82,17}{115} = 0,71 \text{ arranjos}$$

O último equipamento necessário no sistema fotovoltaico é o inversor de frequência, o qual deve operar na entrada com a mesma tensão da bateria e sua saída sendo 220 V, que é a tensão de operação da bomba, consequentemente os outros circuitos do sistema de carga devendo possuir essa mesma tensão e com o inversor comportando-os. Sendo assim, foi selecionado o inversor ZTROON Z1000-12, que atende essas características. Suas especificações estão contidas no Anexo D.

4.3.2 CABOS E PROTEÇÃO

Como citado anteriormente, o dimensionamento dos cabos para o projeto será feito com auxílio do *software* Prysmian DCE 4.0. A partir de sua utilização montou-se a Tabela 5 que contém um resumo com a seção dos cabos, suas respectivas distâncias para cada circuitos e o critério utilizado para o dimensionamento. As demais informações utilizadas nos cálculos para o dimensionamento estão contidas no Apêndices A.

Tabela 5 – Resumo de cabos

De	Para	Distância [m]	Corrente [A]	Critério adotado	Configuração	Disjutor
Painéis Fotovoltaicos	Controlador de Carga	5	25	Capacidade de corrente	2P(#4mm ²)	25
Controlador de Carga	Bateria	2	30	Queda de tensão / Recomendação fabricante	2P(#10mm ²)	-
Bateria	Inversor	2	30	Recomendação fabricante	2P(#10mm ²)	32
Inversor	QDG	10	10,1	Seção mínima	2F(#2,5mm ²)	16
QDG	Iluminação e tomadas	10	3,6	Reaproveitamento dos condutores existentes	2F(#2,5mm ²)	10
QDG	Conjunto motobomba	50	6,5	Reaproveitamento dos condutores existentes	2F(#16mm ²) (Al)	10
QDG	Comando bomba	140	0,5	Seção mínima	#0,5mm ²	2

Fonte: Autoria própria

Apenas no circuito de comando da bomba, que será apresentado no próximo capítulo, não se utilizou o software para seu dimensionamento ou verificação, pois a seção mínima presente é de 1,5 mm². Sendo assim, para validação de sua seção foi utilizado o método da queda de tensão, apresentado na equação (14), por conta de possuir correntes baixas, onde foi estimado 0,5 A para operação dos componentes, e uma grande distância.

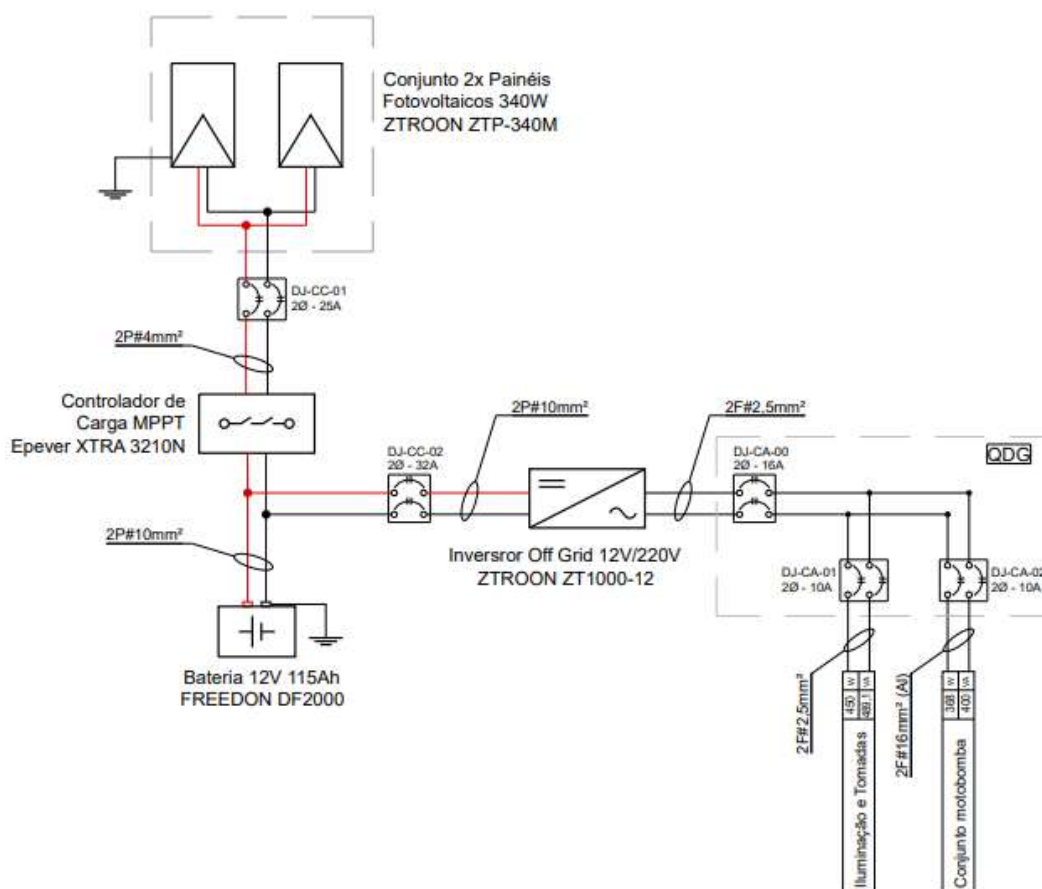
$$S = \frac{2 \cdot \rho}{\varepsilon \cdot U^2} \sum_1^n (P_n \cdot l_n) = \frac{2 \cdot (1,7 \cdot 10^{-8})}{0,03 \cdot 220^2} \cdot ((0,5 \cdot 220) \cdot 140) = 0,36 \text{ mm}^2$$

Portanto utilizou-se a seção do condutor de valor comercial logo acima, sendo ele o de 0,5 mm² e para sua proteção foi selecionado o disjuntor de menor valor comercial, sendo ele o de 2 A.

4.4 SISTEMA ELÉTRICO

Para haver uma melhor representação e entendimento do sistema elétrico proposto, desenvolveu-se o diagrama contido na Figura 36, contendo o resumo do projeto com seus componentes e devidos modos de conexão.

Figura 36 - Diagrama trifilar

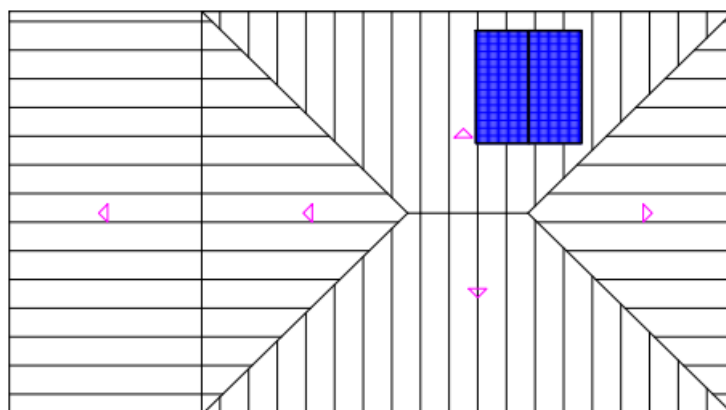


Fonte: Autoria própria

As derivações dos circuitos devem ser feitas com os conectores adequados para cada caso, sendo a conexão dos painéis feita através de conectores MC4 de tipo Y, própria para conexão de strings em sistemas fotovoltaicos. Por meio do diagrama nota-se que a conexão do inversor ao controlador de carga não é feita nos terminais de saída do controlador, isso pois o próprio fabricante alerta em seu manual técnico que a conexão deve ser feita diretamente a bateria devido às altas correntes que a carga pode requerer, podendo superar a corrente máxima do controlador e danificando-o (Epever, 2024). Apesar conexão direta a bateria, o inversor utilizado possui mecanismo de segurança e controle do nível de tensão da bateria evitando que opere em sub ou sobrecarga (Ztroon, 2024).

O controlador, inversor e as baterias devem ser posicionados no forro da “casinha”, devidamente espaçados, para haver menor distância aos módulos que serão instalados no telhado, conforme a Figura 37, de modo que a face do telhado escolhida é a que possui melhor direcionamento para o norte, garantindo um melhor aproveitamento do “deslocamento do sol”.

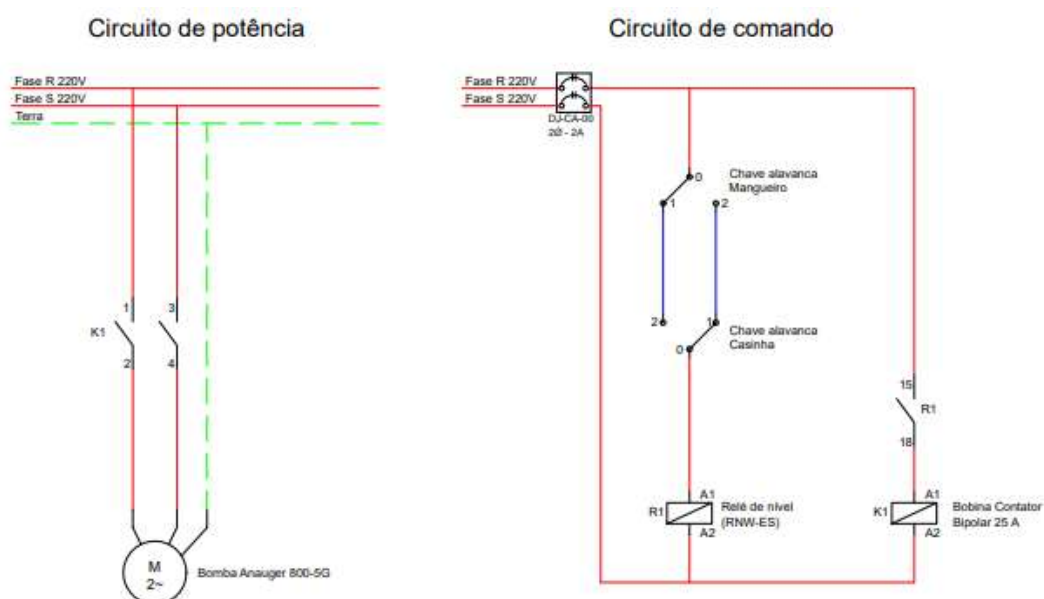
Figura 37 – Vista superior da “casinha” com posição dos painéis



Fonte: Autoria própria

Além disso, para o acionamento do conjunto motobomba, desenvolveu-se um sistema de controle e proteção utilizando um relé de nível para monitorar a quantidade de água presente no reservatório que a bomba se encontra (captação), não permitindo que ela funcione no caso dele estar com nível baixo de água, não permitindo sua operação em vazio, danificando-a. Para que fosse possível um controle mais prático da bomba, foram adicionadas duas chaves interruptoras com ligação em paralelo, as quais se localizam uma no mangueiro e outra na “casinha”, permitindo ligar ou desligar a bomba a partir dos dois pontos (controle de forma remota). Os circuitos de comando e potência estão representados na Figura 38.

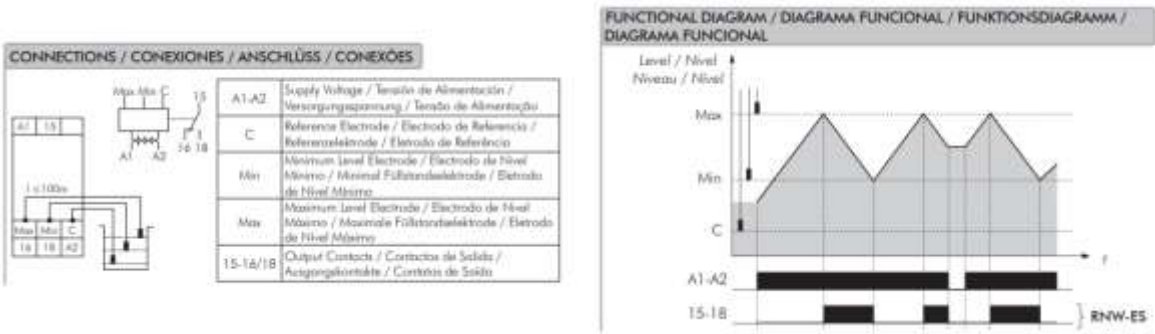
Figura 38 - Diagrama de comando da bomba



Fonte: Autoria própria

O relé de nível utilizado, WEG RNW-ES, possui controle mais eficiente do nível do reservatório, pois ao atingir o nível baixo ele desenergiza a bobina, desligando a bomba, e com o aumento de nível do reservatório, para que não haja chaveamento constante do conjunto, ele só energiza as bobinas novamente quando for identificado nível alto de água do reservatório (WEG, 2024). Esse sistema de controle, o modo de ligação dos eletrodos do relé e suas conexões estão exemplificados na Figura 39.

Figura 39 - Conexões e funcionamento do relé WEG RNW-ES



Fonte: Adaptado de WEG (2024)

4.5 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

O sistema de irrigação da propriedade será feito pelo desnível do reservatório até o local que será irrigado, utilizando a pressão proporcionada pela força da gravidade. Ele será dividido em dois, sendo a irrigação por aspersão para hortaliças e por gotejamento para as árvores frutíferas. No sistema de aspersão serão utilizados aspersores Senninger do modelo mini-wobbler vertical, com o bocal número 6, na cor dourada (Senninger, 2024), com suas características contidas na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados técnicos mini-wobbler vertical

MINI-WOBBLER VERTICAL DADOS TÉCNICOS	bar		
	1,03	1,38	1,72
Bocal Nº 6 - Dourado (2,38 mm)			
Vazão (L/h)	216	250	284
Diâmetro a 0,46 m de altura	10,1	11,0	11,3
Diâmetro a 0,91 m de altura	12,0	12,8	12,8

Fonte: Adaptado de Senninger (2024)

Considerando o pior caso, para a menor pressão de 1,03 bar e a altura dos aspersores sendo de 0,46 metros desenhou-se uma estimativa do sistema de irrigação, visto na Figura 40.

Figura 40 – Possível sistema de irrigação



Fonte: Autoria própria

No sistema de irrigação proposto o recalque é feito por meio de canos de PVC de uma polegada (25,4 mm) até o reservatório e junto a ele segue o cano de descida que representa a adutora do sistema. Essa tubulação deve estar enterrada em uma valeta para evitar possíveis danificações devido a presença de gado bovino na propriedade. Da adutora derivam-se as linhas laterais onde estão contidos os aspersores e as mangueiras para o sistema de gotejamento.

4.6 CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Para a avaliação de custos para implementar o sistema proposto, desenvolveu-se a Tabela 7, que contém a discriminação de cada item, assim como seu custo unitário e quantidades necessárias. Vale ressaltar que os componentes já presentes e que serão reaproveitados não foram contabilizados nesta lista.

Tabela 7 – Lista de materiais com devida precificação

ITEM	DESCRIÇÃO DO COMPONENTE	UN.	QTD. REV.0	Preço unitário
1	PAINÉIS E EQUIPAMENTOS			
1.1	Painel fotovoltaico ZTROON 340W (Modelo ZTP-340M)	UN.	2	R\$ 1510,29
1.2	Controlador de Carga Epever MPPT 30A 12/24V (Modelo XTRA 3210N)	UN.	1	
1.3	Inversor de Frequência Off Grid de onda senoidal pura ZTROON 1000W - 12/220V (Modelo: ZT1000-12)	UN.	1	R\$ 999,00
1.4	Bateria estacionária Heliar 12V 115 Ah (Modelo FREEDOM DF2000)	UN.	1	R\$ 999,00
Subtotal				R\$ 3508,29
2	SISTEMA DE PROTEÇÃO			
2.1	Disjuntor bipolar modular corrente contínua 25A Brasiltec (Modelo C2S-901499801)	UN.	1	R\$ 59,69
2.2	Disjuntor bipolar modular corrente contínua 32A Brasiltec (Modelo C2S-901499901)	UN.	1	R\$ 59,69
2.3	Disjuntor bipolar modular corrente alternada 10A Elgin	UN.	2	R\$ 23,00
2.4	Disjuntor bipolar modular corrente alternada 16A Elgin	UN.	1	R\$ 29,90
Subtotal				R\$ 195,28
3	CABOS E ACESSÓRIOS			
3.1	Cabo elétrico flexível 750V #2,5mm ² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Preto (Fase)	m	20	R\$ 2,70
3.2	Cabo elétrico flexível 750V #4mm ² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Vermelha (Polo positivo)	m	5	R\$ 3,80
3.3	Cabo elétrico flexível 750V #4mm ² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Preto (Polo negativo)	m	5	R\$ 3,80
3.4	Cabo elétrico flexível 750V #10mm ² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Vermelha (Polo positivo)	m	3	R\$ 9,70
3.5	Cabo elétrico flexível 750V #10mm ² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Preto (Polo negativo)	m	3	R\$ 9,70
3.6	Par conectores plug MC4 30A para condutores de corrente contínua (#2,5mm ² a 6mm ²)	UN.	2	R\$ 10,36
3.7	Par conectores MC4 tipo Y 30A para condutores de corrente contínua	UN.	1	R\$ 29,94
3.8	Conector de tipo parafuso fendido (<i>split bolt</i>) simples para cabos de #10mm ²	UN.	2	R\$ 3,22
3.9	Terminais adequados para a conexões aos equipamentos (tipos forquilha e olhal)	UN.	-	-
3.10	Quadro de sobrepor para 12 disjuntores com barramentos	UN.	1	R\$ 74,95
Subtotal				R\$ 282,25
4	CONTROLE E COMANDO			
4.1	Contator Modular Exatron 2 polos, 2NA, 25A, 220V (Modelo LECT4000)	UN.	1	R\$ 50,35
4.2	Relé de nível WEG 100 a 240V (Modelo RNW-ES)	UN.	1	R\$ 155,59
4.3	Kit com 3 eletrodos para relé de nível tipo pêndulo	UN.	1	R\$ 29,90
4.4	Chave alavanca 2 posições e 3 pinos	UN.	2	R\$ 3,08
4.5	Disjuntor bipolar modular corrente alternada 6A Elgin	UN.	1	R\$ 24,99
4.6	Cabo elétrico flexível 750V #0,5mm ² Cabomac, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Preto (Fase)	m	450	R\$ 0,60
4.7	Terminais adequados para a conexões aos equipamentos (tipos forquilha e olhal)	UN.	-	-
Subtotal				R\$ 536,99

Fonte: Autoria própria

Desta forma, para uma implementação somente com os componentes essenciais para funcionamento do sistema fotovoltaico, são necessários os equipamentos dos itens 1 a 3, totalizando um valor de R\$ 3985,82. Já com a inserção do sistema de controle e comando, há uma adição de R\$ 536,99, porém proporcionando uma operação mais prática e segura do sistema. Para mais detalhes e referências dos equipamentos, ver Apêndice B.

Fazendo uma avaliação simplificada do tempo de retorno do investimento (*payback*), considerou-se a implementação do projeto com seus componentes de controle e comando (I), possuindo então dois painéis que tem sua energia produzida considerada mensalmente (E), com a concessionária local sendo a Neoenergia Elektro com a tarifa para o consumidor rural de padrão de entrada bifásico a R\$ 0,75377 por kWh e assumindo uma taxa de juros (i) de 0,8% ao mês, aplicando essas informações na equação (18), obtém-se o *payback* descontado, que representa a quantidade de tempo para o retorno do investimento (Hirschfeld, 2015).

$$PB_D = \frac{I}{\frac{(E \cdot \text{tarifa})}{1 + i}} = \frac{4522,81}{\frac{((2 \cdot 1,52 \cdot 30) \cdot 0,75377)}{1 + 0,008}} = 66,32 \text{ meses} \cong 5,5 \text{ anos} \quad (18)$$

Ao se considerar a vida útil dos painéis fotovoltaicos estimada em 25 anos, também levando em conta a durabilidade dos outros componentes do sistema, um tempo de retorno do investimento igual a 5,5 anos torna a implementação viável do ponto de vista econômico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização deste trabalho, concluiu-se que a utilização dos sistemas fotovoltaicos é uma alternativa sustentável e econômica válida a ser aplicada em propriedades onde o fornecimento de energia elétrica pela concessionária não é possível ou com baixa confiabilidade. Devem ser analisadas as particularidades da propriedade quanto ao consumo energético, localização geográfica, tipo de cultura cultivado para obtenção de um sistema mais eficiente, reduzindo os custos operacionais e proporcionando uma independência do fornecimento de energia pela concessionária local.

O estudo demonstrou que a integração entre o sistema fotovoltaico e a irrigação pode contribuir significativamente para a autonomia energética e a redução de custos operacionais para pequenos produtores. Além disso, ao adotar fontes de energia renováveis, há uma diminuição dos impactos ambientais, incentivando práticas agrícolas mais sustentáveis e menos dependentes de combustíveis fósseis. Apesar do custo inicial elevado, programas de incentivo, como o PRONAF, oferecem apoio financeiro que facilita a adesão dos produtores a essa tecnologia.

Para a propriedade estudada, constatou-se que a instalação do sistema fotovoltaico é viável e adequada, considerando os fatores como consumo energético, características climáticas e tipo de cultura cultivada. As análises de consumo e o dimensionamento do sistema revelaram que a adoção dessa solução proporciona não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também uma economia de longo prazo.

Algumas possíveis melhorias que podem ser implementadas ao sistema sugerido na propriedade são a adição de outro relé de nível para monitorar o nível do reservatório, fazendo com que desligue a bomba automaticamente, evitando o desperdício de água e necessidade de desligamento manual. Outra possibilidade é adicionar temporizadores e válvulas solenoides no sistema de irrigação, de modo a automatizar seu acionamento e atender as necessidades hídricas das culturas de maneira constante. Nesse mesmo caso pode-se incluir sensores de umidade, os quais evitariam o acionamento do sistema caso o solo já esteja devidamente úmido.

Outros estudos que podem ser realizados para complementar este trabalho são a respeito de verificar a necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), utilizando dispositivos de proteção contra surtos (DPS), que assim como os disjuntores possuem diferenças para as seções de corrente contínua e alternada do sistema. Também é válido realização de um estudo mais detalhado para avaliar o retorno financeiro do sistema,

comparando-o a um sistema on-grid e considerando as devidas necessidades de adequar a rede de distribuição no local.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16149: sistemas fotovoltaicos – Características da interface com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AGSOLVE. **A agricultura movida a energia solar e a ameaça à água subterrânea**. AGSOLVE, 2024. Disponível em: <https://www.agsolve.com.br/noticias/10503/a-agricultura-movida-a-energia-solar-e-a-ameaca-a-agua-subterranea>. Acesso em: 10 set. 2024.

ANAUGER. **Manual de instrução bomba submersa vibratória**. Itupeva: Anauger, 2024. 11p.

ARMANDO, P. **Dimensionamento de condutores**. Santa Catarina: Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). Disponível em: https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/4/47/Dimensionamento_Condutores.pdf. Acesso em: 18 out. 2024.

BAPTISTA, M. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 472p.

BELIC, G.; FRIOLI, G. **Negacionistas minimizam impacto da crise climática em tragédia no Rio Grande do Sul**. Estadão, 2024. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/estadao-verifica/negacionistas-mudancas-climaticas-teorias-conspiratorias/#:~:text=Dados%20históricos%20conseguem%20demonstrar%20o,a%20cada%20década%20desde%201961>. Acesso em: 24 mai. 2024.

CATI. **DAP - Declaração de aptidão ao Pronaf**. São Paulo: CATI. Disponível em <https://cati.sp.gov.br/portal/produtos-e-servicos/dap-declaracao-de-aptidao-ao-pronaf->. Acesso em: 13 set. 2024.

CATI. **Programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar (Pronaf)**. São Paulo: CATI. Disponível em [https://www.cati.sp.gov.br/portal/projetos-e-programas/programa-nacional-de-fortalecimento-da-agricultura-familiar-pronaf#:~:text=A%20CATI%20é%20a%20principal,Aquisição%20de%20Alimentos%20\(PA A\)](https://www.cati.sp.gov.br/portal/projetos-e-programas/programa-nacional-de-fortalecimento-da-agricultura-familiar-pronaf#:~:text=A%20CATI%20é%20a%20principal,Aquisição%20de%20Alimentos%20(PA A)) . Acesso em: 13 set. 2024.

COELHO, E.; SILVA, A. **Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação**. Bahia: Embrapa, 2013. 28p.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 500p

CRESESB. **Potencial solar: SunData v 3.0**. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 15 out. 2024.

EIA. **Matriz energética da Índia**. EIA, 2022. Disponível em <https://www.eia.gov/international/analysis/country/IND>. Acesso em: 10 set. 2024.

EPEVER. **Folha de dados controlador de carga solar MPPT série XTRA.** São Paulo: EPEVER, 2024. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/amfile/file/download/file/15/product/1283/>. Acesso em: 29 out. 2024.

EPEVER. **Manual do usuário controlador de carga solar.** São Paulo: EPEVER, 2024. 52p. Disponível em <https://www.neosolar.com.br/amfile/file/download/file/53/product/1283/>. Acesso em: 29 out. 2024.

FAESP/SENAR-SP. **Chuvras mal distribuídas causam impacto na agricultura paulista.** FAESP/SENAR-SP, 2020. Disponível em: <https://faespsenar.com.br/chuvras-mal-distribuidas-causam-impacto-na-agricultura-paulista/> Acesso em: 25 mai. 2024.

GENARIA, R. **Prosa rural:** benefícios do uso da energia solar na pequena propriedade rural. EMBRAPA, 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2451856/prosa-rural---beneficios-do-uso-da-energia-solar-na-pequena-propriedade-rural>. Acesso em: 11 set. 2024.

GOOGLE. **Sítio São Francisco da Barra Alegre.** Google Earth, 2024. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/S%C3%ADtio+S%C3%A3o+Francisco+da+Barra+Alegre>. Acesso em: 24 out. 2024.

GRIMM, A. M. **Meteorologia básica:** Notas de Aula. UFPR, 1999. Disponível em <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>. Acesso em: 06 out. 2024.

HELIAR. **Catálogo técnico baterias linha FREEDOM.** Sorocaba: Heliar, 2024. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/amfile/file/download/file/85/product/548/>. Acesso em 29 out. 2024.

HELIAR. **Manual técnico bateria estacionária FREEDOM.** Sorocaba: Enertec, 2008. 23p. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/amfile/file/download/file/116/product/548/>. Acesso em: 29 out. 2024.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos:** aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores. 7. Ed. São Paulo, SP: Atlas, 2015. 519p.

INSTITUTO SOLAR. **Conceitos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.** INSTITUTO SOLAR, 2020. Disponível em: <https://institutosolar.com/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 06 out. 2024.

KUMAR, P. **Perspectives of solar photovoltaic water pumping for irrigation in India.** Elsevier, 2018.

MARIN, B. **Projeto no Paraná incentiva agricultores a investirem em painéis solares.** Globo, 2024. Disponível em <https://globoplay.globo.com/v/12679926/?s=0s>. Acesso em: 10 set. 2024.

MOREIRA M.; MORAES I. **Hortalças hidropônicas**. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/hortalicas-hidroponicas>. Acesso em: 13 set. 2024.

NASCIMENTO, S. **Problemas de energia elétrica no campo são levados à Aneel**. Belo Horizonte: FAEG SENAR, 2023. Disponível em: <https://www.faemg.org.br/noticias/problemas-de-energia-eletrica-no-campo-sao-levados-a-aneel>. Acesso em: 25 mai. 2024.

NEOENERGIA. **Neoenergia Elektro**. Disponível em: <https://www.neoenergia.com>. Acesso em: 04 nov. 2024.

NEOSOLAR. **Tipos de placa solar**. NEOSOLAR. Acesso em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/placa-solar-fotovoltaica/tipos>. Acesso em: 05 out. 2024.

NETTO, V. **Com irrigação movida a energia solar agricultores multiplicam produção no semiárido brasileiro**. Brasil: ClimateTracker, 2024. Disponível em: <https://climatetrackerlatam.org/historias/com-irrigacao-movida-a-energia-solar-agricultores-multiplicam-producao-no-semiarido-brasileiro/>. Acesso em: 12 set. 2024.

PINHEIRO, C. **FEAP: crédito rural que transforma vidas no campo**. CATI, 2023. Disponível em <https://www.cati.sp.gov.br/portal/imprensa/noticia/feap:-credito-rural-que-transforma-vidas-no-campo>. Acesso em: 26 mai. 2024.

PRYSMIAN. **Cabos e sistemas de energia e telecomunicações**: Prysmian. Disponível em: <https://br.prysmian.com/pt>. Acesso em: 23 out. 2024.

RIBEIRO, E. **Jovens agricultores utilizam energia solar no cultivo de biofortificados**. EMBRAPA, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/21503660/jovens-agricultores-utilizam-energia-solar-no-cultivo-de-biofortificados>. Acesso em: 26 mai. 2024.

SENNINGER. **Mini-Wobbler**. Senninger, 2024. Disponível em: <https://www.senninger.com/pt/product/mini-wobblertm-0>. Acesso em: 29 out. 2024.

SILVA, C. T. **Baterias de chumbo ácido**. EMBARCADOS, 2020. Disponível em: <https://embarcados.com.br/baterias-de-chumbo-acido/>. Acesso em: 12 out. 2024.

SILVA, D. *et al.* **Controle automático da umidade do solo com energia solar para pequenos produtores**. Corumbá: In: SIMPAN, 2013. 5p.

SQM VITAS. **Hidroponia**: o cultivo sobre água. SQM VITAS. Disponível em <https://sqm-vitas.com.br/nutricao/aplicacao-via-hidroponia/>. Acesso em: 13 set. 2024.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: Métodos, Sistemas e Aplicações. Campinas: UNICAMP, 2017. 209p.

TOPSUN. O que muda com o marco legal da micro e minigeração de energia?

Globo.com, 2022. Disponível em <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2022/09/15/o-que-muda-com-o-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-de-energia.ghtml>. Acesso em 16 out. 2024.

VILLALVA, M. G. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2015. 224p.

WEG. Instruções de instalação relé de nível RNW. WEG, 2024. Disponível em:

<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h34/ha5/WEG-instrucoes-de-instalacao-installation-instructions-instrucciones-de-instalacion-rnw-10000041109-installation-guide-english.pdf>. Acesso em: 29 out. 2024.

ZTROON. Folha de dados inversor de onda senoidal pura série ZT. ZTROON, 2024.

Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/amfile/file/download/file/253/product/31924/>. Acesso em: 29 out. 2024.

ZTROON. Folha de dados painel solar ZTP-340M. 2024. Disponível em:

<https://www.neosolar.com.br/amfile/file/download/file/293/product/1283/>. Acesso em 29 out. 2024.

ZTROON. Manual do usuário inversores de onda senoidal pura série ZT. São Paulo:

ZTROON, 2024. 20p. Disponível em:

<https://www.neosolar.com.br/amfile/file/download/file/119/product/31924/>. Acesso em 29 out. 2024.

APÊNDICE A – RELATÓRIOS DE DIMENSIONAMENTO PRYSMIAN 4.0



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1

02/11/2024

Projeto : Projeto_DCE_BAIXA_sem_nome

Circuito : painel - controlador

Dados de entrada

Maneira de instalar:	Eletroduto aparente de seção circular
Sistema:	Corrente contínua
Cabo:	Cabo SUPERASTIC FLEX 450/750V
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm ²
Temperatura ambiente:	35 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	5.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	3.00 %
Tensão fase/fase :	39 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	15.0 kA
Número de circuitos ou de cabos multipolares	1
Corrente do circuito :	25.0 A
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 4 mm ²
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 30.1 A
Fator de correção de agrupamento :	1.00
Fator de correção de temperatura :	0.94
Resistência em CA de cada condutor :	4.6100 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.0000 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	2.96 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	2.67e+002 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	2.13e+005 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	2.86e+005 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	9.45e-004 s

Os resultados apresentados foram baseados nas características dos produtos fabricados pela Prysmian



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1

02/11/2024

Projeto : Projeto_DCE_BAIXA_sem_nome

Circuito : Controlador-baterias

Dados de entrada

Maneira de instalar:	Eletroduto aparente de seção não circular
Sistema:	Corrente contínua
Cabo:	Cabo AFUMEX PLUS 450/750V
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor imposta :	10 mm ²
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm ²
Temperatura ambiente:	35 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	1.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	2.00 %
Tensão fase/fase :	12 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	15.0 kA
Número de circuitos ou de cabos multipolares	2
Corrente do circuito :	30.0 A
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 10 mm ²
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	1 x 42.9 A
Fator de correção de agrupamento :	0.80
Fator de correção de temperatura :	0.94
Resistência em CA de cada condutor :	1.8300 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.0000 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	0.92 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	1.03e+003 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	1.33e+006 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	1.48e+006 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	5.92e-003 s

Os resultados apresentados foram baseados nas características dos produtos fabricados pela Prysmian



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1

02/11/2024

Projeto : Projeto_DCE_BAIXA_sem_nome

Circuito : Baterias - Inversor

Dados de entrada

Maneira de instalar:	Eletroduto aparente de seção circular
Sistema:	Corrente contínua
Cabo:	Cabo AFUMEX PLUS 450/750V
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm ²
Temperatura ambiente:	35 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	2.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	3.00 %
Tensão fase/fase :	12 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	15.0 kA
Número de circuitos ou de cabos multipolares	2
Corrente do circuito :	30.0 A
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 10 mm ²
Critério de dimensionamento:	Queda de tensão
Capacidade de condução de corrente :	1 x 42.9 A
Fator de correção de agrupamento :	0.80
Fator de correção de temperatura :	0.94
Resistência em CA de cada condutor :	1.8300 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.0000 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	1.83 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	5.13e+002 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	1.33e+006 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	1.68e+006 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	5.92e-003 s

Os resultados apresentados foram baseados nas características dos produtos fabricados pela Prysmian



DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0

Página:1

02/11/2024

Projeto : Projeto_DCE_BAIXA_sem_nome

Circuito : Inversor-QDG

Dados de entrada

Maneira de instalar:	Eletroduto aparente de seção circular
Sistema:	Monofásico (2F)
Cabo:	Cabo AFUMEX PLUS 450/750V
Número de condutores por fase :	Automático
Seção nominal do condutor :	Automática
Seção mínima de cada condutor:	2.5 mm ²
Temperatura ambiente:	30 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos	
Dispensada verificação contra sobrecarga	
Comprimento do circuito	10.0 m
Queda de tensão máxima admitida :	3.00 %
Tensão fase/fase :	220 V
Fator de correção de agrupamento :	Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):	15.0 kA
Número de circuitos ou de cabos multipolares	1
Tipo de conduto fechado	Não magnético
Corrente do circuito :	10.1 A
Fator de potência do circuito :	0.90
Fator de demanda :	1.00

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	1 x 2.5 mm ²
Critério de dimensionamento:	Seção mínima
Capacidade de condução de corrente :	1 x 24.0 A
Fator de correção de agrupamento :	1.00
Fator de correção de temperatura :	1.00
Resistência em CA de cada condutor :	8.8661 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.1459 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	0.74 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	4.70e+002 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	8.29e+004 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	9.33e+004 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	3.69e-004 s

Os resultados apresentados foram baseados nas características dos produtos fabricados pela Prysmian

APÊNDICE B – LISTA DE MATERIAS COMPLETA

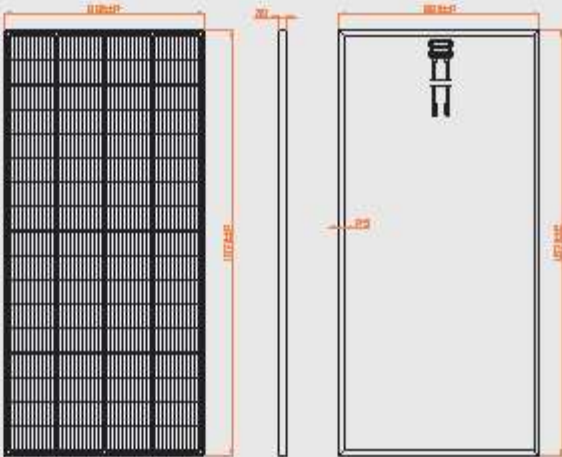
ITEM	DESCRIÇÃO DO COMPONENTE	UN.	QTD. REV.0	Preço unitário	Endereço na internet (29/10/2024)
1 PAINÉIS E EQUIPAMENTOS					
1.1	Painel fotovoltaico ZTROON 340W (Modelo ZTP-340M)	UN.	2	R\$ 1510,29	https://www.neosolar.com.br/loja/kit-energia-solar-fotovoltaico-mppt-680wp.html
1.2	Controlador de Carga Epever MPPT 30A 12/24V (Modelo XTRA 3210N)	UN.	1		
1.3	Inversor de Frequência Off Grid de onda senoidal pura ZTROON 1000W - 12/220V (Modelo: ZT1000-12)	UN.	1	R\$ 999,00	https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-off-grid-senoidal-ztroon-zt1000-12-1000w-12-220v.html
1.4	Bateria estacionária Heliar 12V 115 Ah (Modelo FREEDOM DF2000)	UN.	1	R\$ 999,00	https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df2000-115ah-105ah.html
2 SISTEMA DE PROTEÇÃO					
2.1	Disjuntor bipolar modular corrente contínua 25A Brasittec (Modelo C2S-901499801)	UN.	1	R\$ 59,69	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3661151535-disjuntor-fotovoltaico-10a-16a-20a-senoidal-ztroon-zt1000-12-1000w-12-220v.html
2.2	Disjuntor bipolar modular corrente contínua 32A Brasittec (Modelo C2S-901499901)	UN.	1	R\$ 59,69	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3661151535-disjuntor-fotovoltaico-10a-16a-20a-senoidal-ztroon-zt1000-12-1000w-12-220v.html
2.3	Disjuntor bipolar modular corrente alternada 10A Elgin	UN.	2	R\$ 23,00	https://www.amazon.com.br/Mini-disjuntor-2-polos-10A/
2.4	Disjuntor bipolar modular corrente alternada 16A Elgin	UN.	1	R\$ 29,90	https://www.amazon.com.br/Mini-disjuntor-2-polos-16A/
3 CABOS E ACESSÓRIOS					
3.1	Cabo elétrico flexível 750V #2,5mm² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Preto (Fase)	m	20	R\$ 2,70	https://megacobre.com.br/produto/fio-cabo-eletrico-25mm-750v-por-metro/
3.2	Cabo elétrico flexível 750V #4mm² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Vermelha (Polo positivo)	m	5	R\$ 3,80	https://megacobre.com.br/produto/fio-cabo-eletrico-4mm-750v-por-metro/
3.3	Cabo elétrico flexível 750V #4mm² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Preto (Polo negativo)	m	5	R\$ 3,80	https://megacobre.com.br/produto/fio-cabo-eletrico-4mm-750v-por-metro/
3.4	Cabo elétrico flexível 750V #10mm² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Vermelha (Polo positivo)	m	3	R\$ 9,70	https://megacobre.com.br/produto/fio-cabo-eletrico-10mm-750v-por-metro/
3.5	Cabo elétrico flexível 750V #10mm² Cobrecom, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 4 a 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Preto (Polo negativo)	m	3	R\$ 9,70	https://megacobre.com.br/produto/fio-cabo-eletrico-10mm-750v-por-metro/
3.6	Par conectores plug MC4 30A para condutores de corrente contínua (#2,5mm² a 6mm²)	UN.	2	R\$ 10,36	https://loja.soprano.com.br/conector-plug-mc4-para-cabos-4mm-6mm-painel-
3.7	Par conectores MC4 tipo Y 30A para condutores de corrente contínua	UN.	1	R\$ 29,94	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4919009724-par-conector-mc4-tipo-y-painel-
3.8	Conector de tipo parafuso fendido (split bolt) simples para cabos de #10mm²	UN.	2	R\$ 3,22	https://loja.hocamp.com.br/conectores-e-terminais/conector-split-bolt-parafuso-fendido-para-
3.9	Terminais adequados para a conexões aos equipamentos (tipos forquilha e olhal)	UN.	-	-	https://www.intelli.com.br/produtos/terminais
3.10	Quadro de sobrepor para 12 disjuntores com barramentos	UN.	1	R\$ 74,95	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3609714981-kit-caixa-quadro-sobrepor-p-12-
4 CONTROLE E COMANDO					
4.1	Contator Modular Exatron 2 polos, 2NA, 25A, 220V (Modelo LECT4000)	UN.	1	R\$ 50,35	https://www.mercadolivre.com.br/contator-modular-bipolar-25a-2na-2-polo-magnetico-220v-exatron-
4.2	Relé de nível WEG 100 a 240V (Modelo RNW-ES)	UN.	1	R\$ 155,59	https://www.dimensional.com.br/rele-nivel-liquido-100-a-240-vca-vcc-mwes-mwese09-
4.3	Kit com 3 eletrodos para relé de nível tipo pêndulo	UN.	1	R\$ 29,90	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3248081465-kit-3-eletrodo-para-rele-de-nivel-tipo-
4.4	Chave alavanca 2 posições e 3 pinos	UN.	2	R\$ 3,08	https://www.baudaeletronica.com.br/produto/chave-hh-alavanca-mts102-2-
4.5	Disjuntor bipolar modular corrente alternada 6A Elgin	UN.	1	R\$ 24,99	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3684731167-disjuntor-bipolar-duplo-elgin-6a-10a-
4.6	Cabo elétrico flexível 750V #0,5mm² Cabomaq, condutor metálico em fio de cobre eletrolítico, classe 5 de encordamento, isolamento PVC. Cor: Preto (Fase)	m	450	R\$ 0,60	https://megacobre.com.br/produto/cabo-flexivel-050mm-750v/
4.7	Terminais adequados para a conexões aos equipamentos (tipos forquilha e olhal)	UN.	-	-	https://www.intelli.com.br/produtos/terminais
5 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO					
5.1	Aspersor mini-wobbler boval nº 6 dourado, rosca 1/2"	UN.	11	R\$ 13,71	https://www.safrairrigacao.com.br/aspersor-mini-wobbler-rosca-12-macho-bocal-n6-dourado-
5.2	Fita de gotejamento, 50 m, com espaçamento de 50cm entre gotejadores	m	1	R\$ 29,99	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3664501617-50m-manguera-irrigacao-gotejamento-
5.3	Tubo PVC 3/4" (25mm), PN40, cor azul, em barras de 6m	UN.	15	R\$ 21,73	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/tubo-pvc-agropecuario-soldavel-de25-pn60-54
5.4	Tubo PVC 1" (32mm), PN40, cor azul, em barras de 6m	UN.	33	R\$ 23,57	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/tubo-pvc-agropecuario-soldavel-de32-pn40-
5.5	Luva roscável de PVC 3/4" x 1/2"	UN.	11	R\$ 1,25	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/luva-soldavel-roscavel-pvc-agropecuario-de25-
5.6	Tê de PVC com redução de 3/4" x 1/2"	UN.	4	R\$ 3,00	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/tee-reducao-pvc-agropecuario-de32-x-de25-
5.7	Tê de PVC 3/4"	UN.	8	R\$ 2,11	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/tee-pvc-agropecuario-soldavel-de25-518
5.8	Curva longa 90° de PVC 3/4"	UN.	3	R\$ 4,29	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/curva-longa-90-graus-pvc-agropecuario-bb-
5.9	Curva longa 90° de PVC 1"	UN.	3	R\$ 5,10	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/curva-longa-90-graus-pvc-agropecuario-bb-
5.10	Tampão de PVC 3/4"	UN.	3	R\$ 1,18	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/cap-pvc-agropecuario-soldavel-de25-520
5.11	Tampão de PVC 1"	UN.	1	R\$ 1,35	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/cap-pvc-agropecuario-soldavel-de32-519
5.12	Registro esfera de PVC 3/4"	UN.	4	R\$ 7,38	https://www.asperbrastuboseconexoes.com.br/produto/registro-irrigacao-pvc-soldavel-de25-542

ANEXO A – FOLHA DE DADOS PAINEL ZTP-340M



PAINÉIS SOLARES

ZTP-340M | 340W



ESPECIFICAÇÕES

Potência Máxima (Pmax)	340W
Tolerância de potência	0 ~ 3%
Tensão Máxima (Vmp)	38,65V
Corrente Máxima (Imp)	8,8A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	45,2V
Corrente de Curto-circuito (Isc)	9,27A
Eficiência (%)	20,66%
Tensão máxima do sistema	1000V
Categoria	Classe A
Tecnologia da célula	Silício Monocristalino PERC
Número de células	68
Dimensão do módulo (mm)	1670x880x30mm
Área do módulo (m²)	1,65m²
Peso (kg)	16,57kg
Grau de Proteção	IP67
Busbars	12 Busbars
Agrupação das células	4x17S
MMQT	44°C ±2
Coefficiente de temperatura Pmax	-0,4%/K
Coefficiente de temperatura Voc	-0,37%/K
Coefficiente de temperatura Isc	+0,05%/K
temperatura ambiente de operação	44°C ± 2
Corrente reversa máxima suportada	20A
Garantia	Garantia de 3 anos (já incluído os 90 dias de garantia legal).*

*Consulte o termo de garantia na [Central de Suporte ao Cliente](#).

Condições Padrão de Teste (STC):
Am = 1,5 E = 1000W/m² T = 25°C



Sujeito a mudança sem aviso prévio

V.1.0 - JUL/2024

ANEXO B - FOLHA DE DADOS CONTROLADOR DE CARGA XTRA

Especificações Técnicas

Modelo	XTRA 1206N	XTRA 2206N	XTRA 1210N	XTRA 2210N	XTRA 3210N	XTRA 4210N	XTRA 3215N	XTRA 4215N	XTRA 3415N	XTRA 4415N
Tensão Nominal do Sistema	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24Vcc Auto	12/24/36/48Vcc Auto	12/24/36/48Vcc Auto
Tipo de Bateria	Chumbo-ácido (Selada / Gel / Úmida) / Lítio (LiFePo ₄ / UCoMn ₂ O ₄) / Usuário									
Faixa de Tensão da Bateria	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~68V	8~68V
Corrente de Carga Nominal	10A	20A	10A	20A	30A	40A	30A	40A	30A	40A
Corrente de Descarga Nominal	10A	20A	10A	20A	30A	40A	30A	40A	30A	40A
Potência de Carga Nominal	130W/12V 260W/24V	260W/12V 520W/24V	130W/12V 260W/24V	260W/12V 520W/24V	390W/12V 780W/24V	520W/12V 1040W/24V	390W/12V 780W/24V	520W/12V 1040W/24V	390W/12V 780W/24V 1170W/36V 1560W/48V	520W/12V 1040W/24V 1560W/36V 2080W/48V
Eficiência Máxima na Conversão	97,90%	98,30%	98,20%	98,10%	98,60%	98,60%	97,60%	97,90%	98,10%	98,50%
Eficiência de Rastreamento	≥99,5%									
Tensão Máxima em Circuito Aberto do PV	60V (a mínima temperatura ambiente de operação) 48V (a temperatura ambiente de 25°C)		100V (a mínima temperatura ambiente de operação) 92V (a temperatura ambiente de 25°C)				150V (a mínima temperatura ambiente de operação) 138V (a temperatura ambiente de 25°C)			
Faixa de Tensão do MPPT	(Tensão da bateria +2V) ~36V	(Tensão da bateria +2V) ~36V	(Tensão da bateria +2V) ~72V	(Tensão da bateria +2V) ~72V	(Tensão da bateria +2V) ~72V	(Tensão da bateria +2V) ~72V	(Tensão da bateria +2V) ~108V	(Tensão da bateria +2V) ~108V	(Tensão da bateria +2V) ~108V	(Tensão da bateria +2V) ~108V
Tensão de Equalização	Selada:14,6V, Úmida:14,8V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Tensão de Carga Intensa (Boost)	Gel:14,2V, Selada:14,4V, Úmida: 14,6V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Tensão de Flutuação	Gel / Selada / Úmida:13,8V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Tensão de Reconexão por Baixa Tensão	Gel / Selada / Úmida:12,6V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Tensão de Desconexão por Baixa Tensão	Gel / Selada / Úmida:11,1V, Definido pelo usuário: 9-17V									
Autoconsumo	≤14mA(12V) ≤15mA(24V)	≤14mA(12V) ≤15mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V) ≤13mA(36V)	≤30mA(12V) ≤16mA(24V) ≤13mA(36V)
Compensação de Temperatura (Bat. Chumbo-ácido)	-3mV/°C/2V (Default)									
Umidade Relativa	≤95%, N.C.									
Gabinete	IP33									
Interface de Comunicação	RS485 (RJ45)									
Aterramento	Negativo comum									
Faixa de Temperatura de Operação	-25°C ~+30°C (LCD); -30°C ~+50°C (Sem LCD)					-25°C ~+45°C (LCD); -30°C ~+45°C (Sem LCD)				
Dimensões (A x L x P)	175x143x48	217x158x56,5	175x143x48	217x158x56,5	230x165x63	255x185x67,8	255x185x67,8	255x185x75,7	255x185x75,7	255x185x83,2
Peso Líquido	0,57kg	0,96kg	0,57kg	0,96kg	1,31kg	1,70kg	1,70kg	2,07kg	2,07kg	2,47kg

1. O controlador não irá identificar automaticamente a tensão do sistema quando conectado a baterias de lítio.

2. Os valores de tensão são para sistema de 12V. Multiplique por 2 para sistema em 24V, por 3 para sistema em 36V, por 4 para sistema em 48V

ANEXO C - FOLHA DE DADOS BATERIAS SÉRIE FREEDOM

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Principais Características Elétricas

Modelos		DF300	DF500	DF700	DF1000	DF1500	DF2000	DF2500	DF3000	DF4000/ DF4001	DF4100
Capacidade @25°C (Ah)	10 h	24	30	41	54	76	94	130	156	200	200
	20 h	26	36	45	60	80	105	150	170	225	220
	100 h	30	40	50	70	93	115	165	185	240	240
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	244	330	330	511	511	518	525
	Largura	175	175	175	175	172	172	213	213	274	275
	Altura	175	175	175	175	240	240	230	230	242	250
Peso (Kg)		8,8	9,7	12,5	14,7	23,9	27,1	44,6	48,3	60	60,3
Torque	Mínimo	9 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m	13,6 N.m	13,6 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m
	Máximo	11 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m	20,3 N.m	20,3 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m
Tensão de Flutuação		de 13,2 a 13,8V @ 25°C									
Tensão de carga / equalização		de 14,4 a 15,5V @ 25°C									
Compensação de temperatura		Para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033V Para cada 1°C acima de 25°C, adicionar 0,033V									

Correntes de descarga (A) em diferentes regimes a 25°C (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS																	MINUTOS		
Bateriz	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'	
DF300	0,3	1,3	2,4	2,6	2,9	3,3	3,8	4,4	4,9	5,4	6	7	8,2	10	12,8	18	21	25	40	
DF500	0,4	1,8	3	3,3	3,7	4,2	4,9	5,8	6,2	6,8	7,4	8,6	9,9	12	15	20	25,3	33	52	
DF700	0,5	2,3	4,1	4,5	5	5,6	6,5	7,5	8,2	9,2	10	11,5	13,6	16,3	21	27	32	43	65	
DF1000	0,7	3	5,4	5,8	6,4	7,3	8,2	9,8	10,5	11,5	12,5	14,5	17	19	25,2	35	42,5	55	84	
DF1500	0,93	4	7,6	8,2	9	10	11,5	13,2	14,5	16	18,2	21	25	29,5	38	54	69	90	130	
DF2000	1,2	5,3	9,4	10,2	11,5	13	14,5	17	18,4	20,3	22,6	25	29,5	34,5	44	60	75	96	150	
DF2500	1,7	7,5	13	14,4	16,2	18	20	23	25	28	31	34	40	47	58	81	99	130	200	
DF3000	1,9	8,5	15,6	17	19	21,4	24,7	28	30	33	36	41	48	57	72	95	112	152	231	
DF4000 DF4001 DF4100	2,4	11	20	21,5	24	26,5	30	35	38	41,5	46	52	60	72	90	120	145	191	290	

Capacidade em ampère-hora (Ah) a 25°C em diferentes regimes de descarga (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS																	MINUTOS		
Bateria	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'	
DF300	30	26	24	23,8	23,5	23,1	22,8	22	21,9	21,6	21	21	20,5	20	19,2	18	15,8	12,5	10	
DF500	40	36	30	29,9	29,8	29,7	29,4	28,8	27,7	27	26,6	25,8	24,8	24	22,5	20	19	16,5	13	
DF700	50	45	41	40,5	40	39,5	39,2	37,5	37,1	36,8	35	34,5	34	32,5	31,5	27	24	21,5	16,3	
DF1000	70	60	54	51,8	51,6	51,1	49,2	49	47,3	46	43,8	43,5	42,5	38	37,8	35	31,9	27,5	21	
DF1500	93	80	76	73,8	72	70	69	66	65,3	64	63,7	63	62,5	59	57	54	51,8	45	32,5	
DF2000	115	105	94	92	91,8	91	87	85	82,8	81,2	79,1	75	73,8	69	66	60	56,3	48	37,5	
DF2500	165	150	130	129,8	129,6	126	120	115	112,5	112	108,5	102	100	94	87	81	74,3	65	50	
DF3000	185	170	156	153	152	150	148,2	140	135	132	126	123	120	114	108	95	84	76	57,8	
DF4000 DF4001 DF4100	240	220	200	193,5	192	185,5	180	175	171	166	161	156	150	144	135	120	108,8	95,5	72	

Watts (W) a 25°C (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS																	MINUTOS		
Bateria	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'	
DF300	4	16	29	32	35	40	46	53	58	65	72	84	98	120	154	216	253	300	480	
DF500	5	22	36	40	45	51	59	69	74	81	91	103	119	144	180	240	304	396	576	
DF700	6	27	49	54	60	68	78	90	99	110	120	138	163	195	252	324	384	502	750	
DF1000	8	36	65	69	77	88	98	118	126	138	150	174	204	228	302	420	459	594	907	
DF1500	11	48	91	98	108	120	138	158	174	192	218	252	300	354	456	648	746	972	1404	
DF2000	14	63	113	123	138	156	174	204	221	244	271	300	354	414	528	720	811	1037	1620	
DF2500	20	90	156	173	194	216	240	276	300	336	372	408	480	564	696	972	1070	1404	2160	
DF3000	22	102	187	204	228	257	296	336	360	396	432	492	576	684	864	1140	1210	1642	2497	
DF4000 DF4001 DF4100	29	132	240	258	288	318	360	420	456	498	552	624	720	864	1080	1440	1567	2063	3110	

