

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DIOGO RUIZ DIAZ PATUZZO

**PROJETO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA PARA
IRRIGAÇÃO DE ÁREA RURAL USANDO GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA OFF-GRID**

MEDIANEIRA

2023

DIOGO RUIZ DIAZ PATUZZO

**PROJETO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA PARA
IRRIGAÇÃO DE ÁREA RURAL USANDO GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA OFF-GRID**

**Project of an automatic water pumping system for irrigation in rural area using
off-grid photovoltaic energy generation**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Cristiane Lionço de Oliveira

MEDIANEIRA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DIOGO RUIZ DIAZ PATUZZO

**PROJETO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE BOMBEAMENTO DE
ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DE ÁREA RURAL USANDO GERAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA OFF-GRID**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 20/junho/2023

Cristiane Lionço de Oliveira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Leandro Antonio Pasa
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Yuri Feruzzi
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2023

Dedico este trabalho à toda minha família, pelo apoio a todas as dificuldades encontradas no caminho até a finalização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a toda a minha família que foi minha base para qualquer parte da minha vida, em especial minha mãe que sonhava em ver seu primeiro filho a conquistar seu diploma acadêmico, principalmente na minha vida acadêmica sempre me apoiando

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Cristiane Lionço de Oliveira pela ajuda e sabedoria com que me guiou nesta trajetória até a finalização do trabalho.

A todos os meus colegas de sala que me ajudavam em todas as dúvidas e me ajudando com muitas coisas.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente me ajudaram na realização e na chegada do final do curso.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo!”
(MAHATMA GANDHI, 2022).

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo dimensionar um sistema de geração de energia solar *off-grid* para alimentar um sistema de irrigação automático em uma área rural de difícil acesso ou acesso inexistente à rede de distribuição de energia elétrica. A usina fotovoltaica é capaz de abastecer um sistema de irrigação automático, composto por uma motobomba de 1CV que é a responsável pela retirada de água de um açude, que está em desnível em relação ao reservatório de água utilizado para a irrigação, para atender uma horta de aproximadamente 40m² com a finalidade de produção de verduras para consumo próprio. A usina fotovoltaica é composta por um painel fotovoltaico de 60 pW, por um inversor com potência de 1000W, um banco de 2 baterias estacionárias com capacidade de 105Ah cada uma delas, sendo que o controle da carga gerada até o armazenamento feito por um controlador de carga com capacidade de suportar até 20A. O sistema é capaz de gerar 0,29355 KWh por dia.

Palavras-chave: células solares; energia solar; recursos energéticos.

ABSTRACT

This work aims to design an off-grid solar energy generation system to feed an automatic irrigation system in a rural area with difficult access or non-existent access to the electricity distribution network. The photovoltaic plant is capable of supplying an automatic irrigation system, consisting of a 1CV motor pump that is responsible for withdrawing water from a dam, which is uneven in relation to the water reservoir used for irrigation, to serve a vegetable garden. of approximately 40m² with the purpose of producing vegetables for own consumption. The photovoltaic plant is composed of a 60 pW photovoltaic panel, an inverter with a power of 1000W, a bank of 2 stationary batteries with a capacity of 105Ah each, and the control of the generated load until storage is done by a 20A SPPM load. the system is capable of generating 0,29355 KWh per day.

Keywords: cells solar; solar energy; energy resources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Forma de incidência da radiação solar na superfície	8
Figura 2 – Processo de conversão de uma célula fotovoltaica.....	9
Figura 3 – Controlador paralelo (shunt) com LVD opcional.....	10
Figura 4 – Controlador série com LVD opcional.....	10
Figura 5 – Estrutura genérica de uma célula de bateria eletroquímica	12
Figura 6 – comparação entre sistemas de bombeamento	15
Figura 7 - sistema de bombeamento de água com energia solar fotovoltaica	17
Figura 8 - Média radiação solar Paraná	27
Figura 9 - Irradiação Solar no Plano Horizontal.....	27
Figura 10 - Irradiação Solar no Plano Inclinado	28
Figura 11 - Perda de carga em conexões PVC	30
Figura 12 - Perda de carga em tubulações de PVC	31
Figura 13 - Motobomba BCR-2010 Schneider	32
Figura 14 - Características hidráulicas motobomba centrífuga	32
Figura 15 - Curva rendimento motobomba.....	33
Figura 16 - Placa solar RS060P	35
Figura 17 - Dados da placa escolhida	35
Figura 18 - Dados da placa	36
Figura 19 - Controlador de Carga XTRA2210N.....	37
Figura 20 - especificações Controlador de Carga	38
Figura 21 – Bateria estacionária Freedom DF2000.....	39
Figura 22 - especificações da bateria.....	40
Figura 23 - Inversor 1000W.....	41
Figura 24 - Modelo de válvula motorizada escolhida	42
Figura 25 - Switch sonoff RFR2	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de distâncias	26
Tabela 2 - Dados para cálculo manométricos	29
Tabela 3 - Componentes utilizados	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	OBJETIVO	6
2.1	Objetivo geral.....	6
2.2	Objetivos específicos.....	6
3	PROJETO FOTOVOLTAICO	7
3.1	Energia solar.....	7
3.2	Radiação solar	7
3.3	Célula e módulos fotovoltaicos.....	8
3.4	Controladores de carga	9
3.5	Sistema de armazenamento de energia	11
3.6	Irrigação do local.....	13
3.7	Sistema automático de irrigação	13
3.8	Bombeamento de água	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1	Metodologia para projetar e automatizar um sistema de irrigação..... suprido por geração de energia fotovoltaica	16
4.1.1	Bomba	16
4.1.2	Irradiação solar.....	19
4.1.3	Consumo e demanda	19
4.1.4	Escolha módulo, controlador e baterias	20
4.1.5	Dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica	21
4.1.6	Automação da irrigação.....	24
5.	RESULTADOS.....	25
5.1	Irrigação por gotejamento	25
5.2	Área cultivada	25
5.3	Cultura cultivada	26
5.4	Bombeamento de água	26
5.5	Potência solar	26
5.6	Suprimento hídrico.....	28
5.7	Determinação componentes hidráulicos	28
5.8	Determinação demanda energética mensal.....	33
5.9	Determinação usina fotovoltaica	33
5.10	Automação do sistema	41

6	CONCLUSÃO	44
6.1	Trabalhos futuros	45
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Sistema Interligado Nacional (SIN), em 2001, 90% da geração de energia do país possuía como fonte hidrelétricas, em 2021, o percentual estava em 72% apenas, devido aos impactos ambientais causados por este tipo de geração, como o alagamento de áreas florestais importantes, destruição do habitat de algumas espécies de animais ameaçadas de extinção, sendo substituído por outros tipos de geração de energia que afetem menos o meio ambiente, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2022).

A energia solar fotovoltaica é umas das alternativas de geração de energia menos poluentes, com custo não tão elevado em comparação à outras alternativas, baixa necessidade de manutenção e não precisa necessariamente estar conectada a uma linha de transmissão (IMOFF, 2007) pois além da geração de energia fotovoltaica ligada na rede elétrica, há também a geração solar fotovoltaica off-grid comumente chamada de autônoma.

A agricultura familiar corresponde a 75% dos alimentos que vão para as mesas dos brasileiros, dentre os estabelecimentos agropecuários 77% destes foram classificados como agricultura familiar (IBGE, 2019). Sistemas de irrigação são muito importantes para esses agricultores já que o desempenho de sua atividade é dependente das variações climáticas.

Usinas fotovoltaicas vem sendo adotadas também para a eletrificação rural, como uma de suas principais aplicações no bombeamento de água seja para abastecimento de animais, poços ou irrigação de lavouras (ABINEE, 2012).

A usina fotovoltaica possui um baixo valor de investimento para sua instalação, e sua instalação é relativamente fácil quando aplicada ao bombeamento de água para a irrigação da lavoura (CAMPOS, BEZERRA, ALCANTARA, 2020).

Este trabalho teve como objetivo dimensionar um sistema de geração de energia solar *off-grid* para alimentar um sistema de irrigação automático, para que a irrigação pudesse ser controlada à distância, através de aplicativos de smartphone dos fabricantes dos equipamentos utilizados para automatização do sistema em uma área rural de difícil acesso ou acesso inexistente à rede de distribuição de energia elétrica. A usina fotovoltaica foi capaz de abastecer um sistema de irrigação automático para atender uma horta de aproximadamente 40m² com a finalidade de produção de verduras para consumo próprio.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo para a implementação de um projeto de sistema de irrigação autônomo que também possibilite o controle remoto a distância em uma área rural que não possua acesso à rede de distribuição de energia elétrica alimentado por uma fonte de geração fotovoltaica *off-grid*.

2.2 Objetivos específicos

- Escolha do local que será implantado o sistema bombeamento;
- Escolha do tipo de irrigação a ser utilizada;
- Estudo solarimétrico do local selecionado para a implementação do sistema bombeamento;
- Dimensionamento os equipamentos para a implementação do sistema de geração fotovoltaico *off-grid*;
- Elaboração da automatização o sistema de irrigação para que o controle possa ser feito à distância por meio do celular;

3 PROJETO FOTOVOLTAICO

Os fatores que influenciam o projeto do sistema fotovoltaico *off-grid* de uma área rural são, o sistema de irrigação utilizado, a quantidade de energia necessária para suprir, a radiação solar incidida no local, o sistema de módulos utilizado para a geração dessa energia, a área disponível para utilização das placas utilizadas e como é feita a automação desse sistema para que possa ser controlado remotamente de algum aparelho celular.

A seguir será apresentado o embasamento teórico sobre estes temas descritos com o intuito de demonstrar suas influências para a implementação de um projeto fotovoltaico.

3.1 Energia solar

A energia solar é a fonte de energia mais promissora para este milênio, ela não é uma fonte de energia renovável, mas sim uma fonte inesgotável. Esta energia é irradiada pelo Sol como resultado das reações de fusão nuclear dos átomos de hidrogênio (Atlas Brasileiro de Energia solar, 2017).

A energia solar é transmitida através da energia do Sol que se dá através da radiação emitida por ele em que 97% possuem o comprimento de onda entre 0,3 a 3,0 μm , caracterizado por radiação de ondas curtas (FADIGAS, 2015).

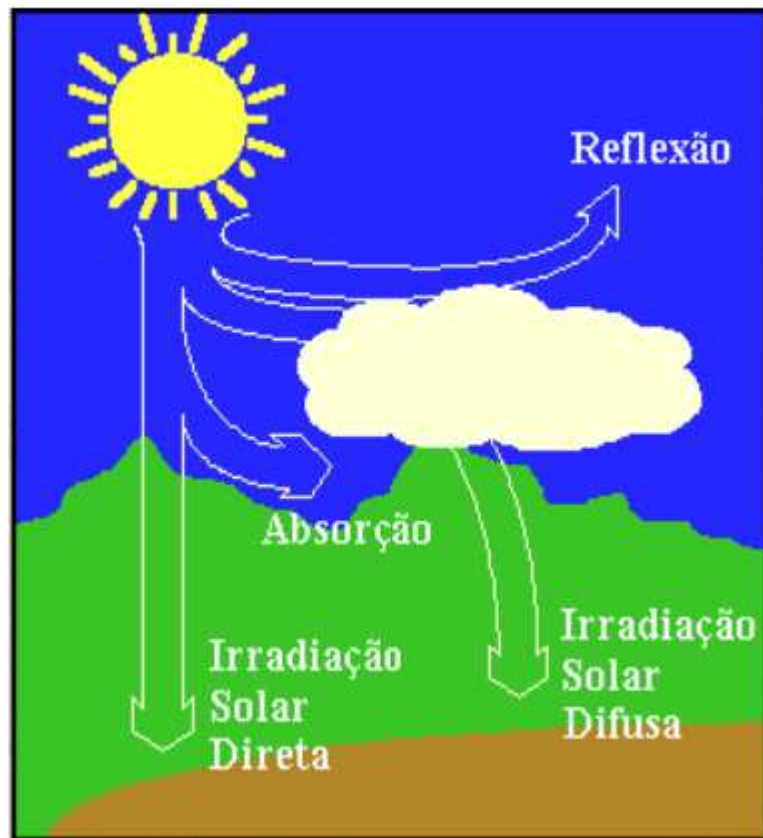
3.2 Radiação solar

A energia irradiada pelo sol é de extrema importância para a manutenção da vida no planeta fazendo parte de vários processos térmicos, dinâmicos e químicos, sejam eles naturais ou artificiais. Dentre os processos naturais os mais conhecidos são a fotossíntese, ciclo hidrológico e os ventos e correntes oceânicos (Atlas Brasileiro de Energia solar, 2017).

A radiação solar sobre um local pode ser feita de três formas diferentes, como é mostrada na Figura 1, sendo elas radiação direta que é proveniente dos raios que atingem diretamente o local sem sofrer qualquer mudança de direção, pode ser

também radiação difusa que é a ocorrida quando o local é incidido pela radiação após ela ter sofrido reflexão ou espalhamento na atmosfera ou ainda pode ser pela radiação refletida que depende das características do solo e a inclinação do local receptor (FADIGAS, 2015).

Figura 1 – Forma de incidência da radiação solar na superfície



Fonte: Fadigas (2015)

A energia total que chega do sol calculada é de aproximadamente $1,5 \times 10^{18}$ Kwh/ano (CRESESB, 2008).

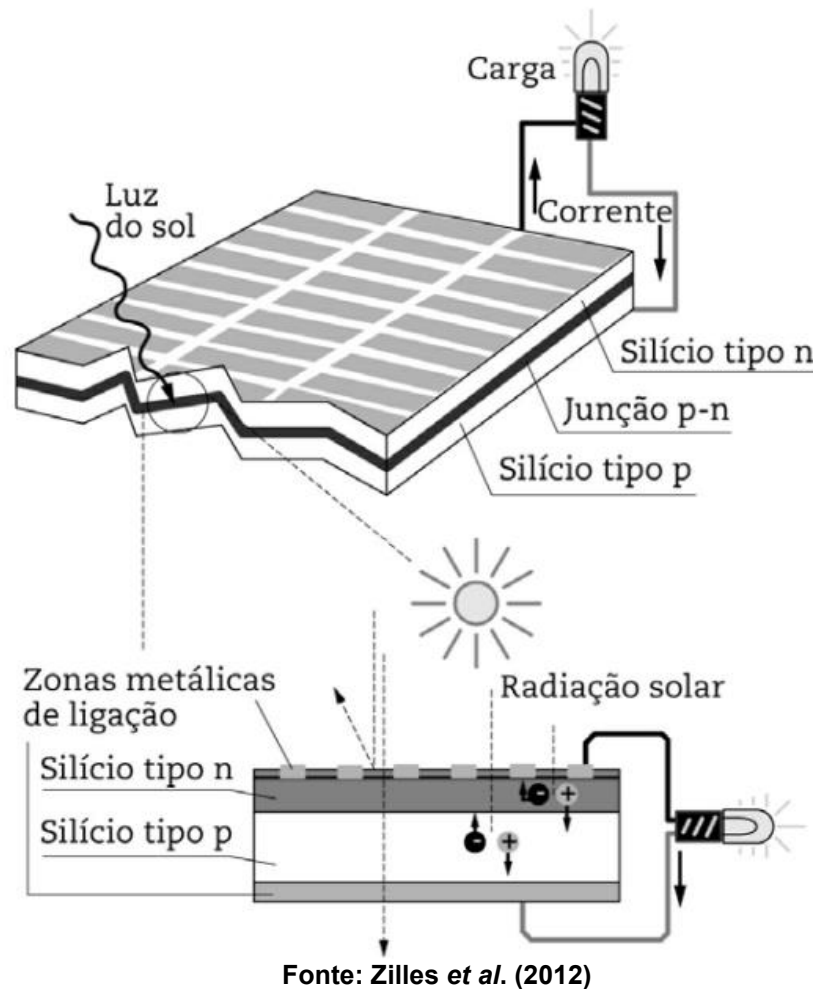
3.3 Célula e módulos fotovoltaicos

As células fotovoltaicas são os dispositivos capazes de transformar a energia luminosa em energia elétrica. um modulo fotovoltaico é constituído por um agrupamento de células fotovoltaicas, podendo ser fabricada de vários materiais diferentes, os mais comuns e populares são os de silício (FIGUEIREDO *et al.*, 2018).

Uma célula solar clássica de silício é composta por duas camadas de silício contaminadas com diferentes impurezas, a camada que esta virada para o Sol está

negativamente contaminada com fósforo, chamada de camada n, e a camada inferior, chamada camada p, positivamente com boro. Com o contato da luz solar e a junção das duas camadas é gerado um campo elétrico com o intuito de gerar uma corrente elétrica. Na Figura 2 é mostrado o processo de conversão de uma célula fotovoltaica (GREENPRO, 2004).

Figura 2 – Processo de conversão de uma célula fotovoltaica



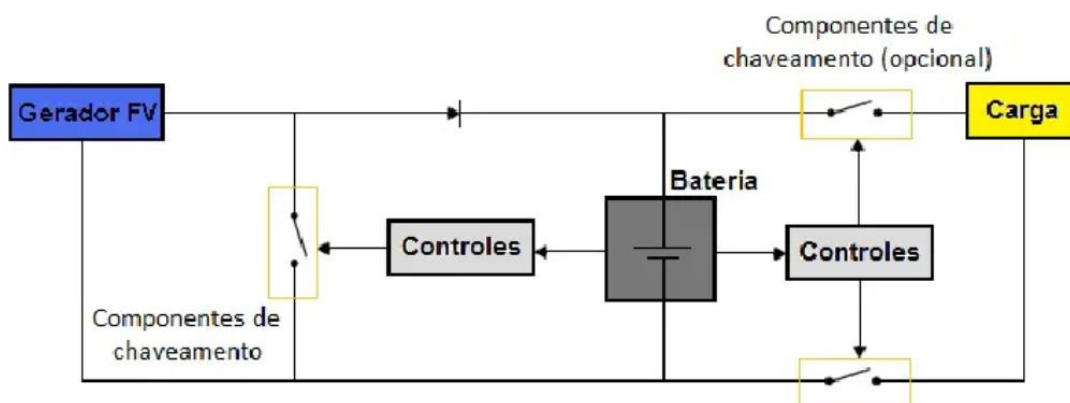
3.4 Controladores de carga

O controlador de carga é um componente essencial para um sistema de geração fotovoltaico off-grid, pois ele que gerencia a carga que será armazenada ou retirada das baterias, respeitando os níveis mínimos e máximos de carga e descarga para uma maior longevidade do equipamento, sendo eles um dos mais caros neste tipo de sistema fotovoltaico (FADIGAS, 2014).

Como as estações do ano fazem com que a geração fotovoltaica seja diferente durante grande período do ano é necessária a instalação de controladores para melhor eficiência do sistema, para uma maior segurança no desempenho das baterias pode ser adicionado um sensor de temperatura externo ao controlador para compensar o efeito da variação da temperatura nos parâmetros da bateria (Pinho e Galdino, 2014).

Controladores de carga podem ser utilizados de duas maneiras, em série ou em paralelo como mostra nas Figuras 3 e 4 a seguir:

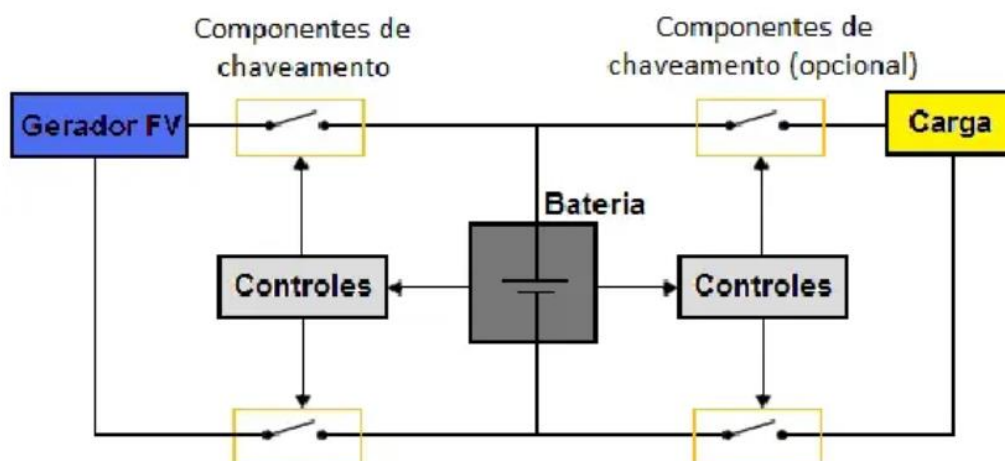
Figura 3 – Controlador paralelo (shunt) com LVD opcional



Fonte: Pinho e Galdino (2014)

A ligação do controlador em série utiliza um dispositivo de chaveamento para desconectar o gerador quando a bateria se encontra totalmente carregada, normalmente são utilizados IGBTs ou MOSFETs de potência (Pinho e Galdino, 2014).

Figura 4 – Controlador série com LVD opcional.



Fonte: Pinho e Galdino (2014)

3.5 Sistema de armazenamento de energia

Existem diversas maneiras para o armazenamento de energia tais como, campos elétricos, campos magnéticos, energia mecânica, etc. Entretanto as baterias eletroquímicas ainda é o mais utilizado em sistemas isolados por ser a maneira mais prática e fácil de se armazenar o excesso produzido (Pinho e Galdino, 2014).

O sistema de armazenamento de energia é um dos temas centrais no aproveitamento de energia solar em sistemas autônomos, quase sempre utiliza de sistemas de baterias para armazenar o excedente de energia gerada no período de maior potencial fotovoltaico do dia (GREENPRO, 2004).

Em sistemas fotovoltaicos isolados o uso de dispositivos para o armazenamento de energia é indispensável para suprir a demanda em períodos nos quais a geração é nula ou insuficiente como a noite ou em dias nublados (Pinho e Galdino, 2014).

Através de processos químicos espontâneos todas as baterias se descarregam gradualmente, este processo é chamado de autodescarga. A taxa de autodescarga normalmente é especificada em porcentagem da capacidade nominal que é perdida a cada mês (Pinho e Galdino, 2014).

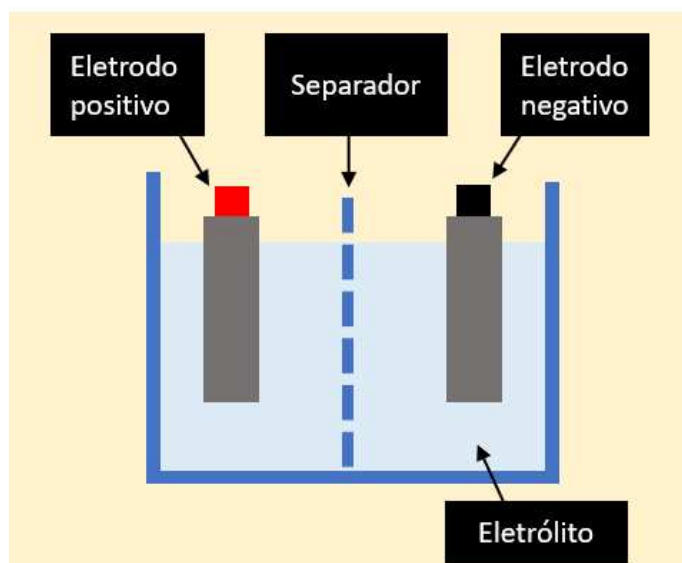
Para uma maior longevidade das baterias sabendo que diariamente ela se deteriora é necessária uma boa manutenção do banco de baterias visando diminuir os danos causados ao longo do tempo às baterias, sendo analisado a temperatura das baterias, um bom controlador de carga que não demande mais do que o necessário das baterias. Outros procedimentos que também, contribuem para o aumento da vida útil das baterias são manutenção do estado de carga com equalização e flutuação (Pinho e Galdino, 2014).

Por questões de segurança e para não haver danificação nas baterias que compõem o sistema para que altas tensões não afetem o sistema algumas sugestões de seguranças são sugeridas como manter os terminais das baterias bem isolados, um manuseio adequado das baterias, sempre respeitadas as polaridades e instruções do fabricante e sempre desconectar qualquer fonte de carga e descarga quando for trabalhar nas baterias (Pinho e Galdino, 2014).

3.5.1 Baterias eletroquímicas

As baterias possuem a estrutura composta por células constituídas de dois eletrodos, uma substância eletrolítica, comumente chamado de eletrólito e um separador como mostra na Figura 5: (VILLALVA, 2021).

Figura 5 – Estrutura genérica de uma célula de bateria eletroquímica



Fonte: Villalva (2021)

Os dispositivos de armazenamento podem ser avaliados de acordo com alguns critérios sendo eles, a energia específica (Wh/kg), a densidade de energia (Wh/L), a capacidade de carga (Ah) e a taxa C-rate conhecida por taxa C, que determina a velocidade que a bateria carrega e descarrega em um sistema de armazenamento (VILLALVA, 2021).

As baterias utilizadas nos sistemas fotovoltaicos são baterias recarregáveis, possuem uma constituição química que permite reações reversíveis. Os principais atributos para avaliação de uma bateria recarregável é a eficiência, capacidade, vida cíclica e taxa de autodescarga (Pinho e Galdino, 2014).

A eficiência das baterias é afetada por diversos fatores entre eles os que se destacam são o estado de carga, temperatura de operação e taxa de carga e descarga. A vida útil e o desempenho da bateria também dependem destes fatores entre outros como número de ciclos, controle de carga e descarga, papel do controlador de carga, e manutenção periódica (Pinho e Galdino, 2014).

As baterias de Li-íon são consideradas promissoras e possuem espaço para novos desenvolvimentos, atualmente é a mais utilizada, sendo encontrada em muito equipamentos eletrônicos como câmeras fotográficas, notebooks, celulares, veículos, etc. ela apresenta alta densidade energética na faixa de 80-150 Wh/kg. Outra vantagem deste tipo de célula é poder atingir a tensão de 3,5V onde se utilizada 4 células em série para compor o bloco de 12V, alta densidade energética e possibilidade de suportar altas taxas de carga e descarga. Em contrapartida este tipo de arranjo necessita de uma proteção para sobrecarga, descarga excessiva, sobrecorrente, curto-circuito, altas temperaturas e tensões elevadas (Pinho e Galdino, 2014).

3.6 Irrigação do local

A irrigação tem como objetivo principal corrigir a falta de água no solo, permitindo um melhor fluxo de nutrientes para as plantas auxiliando no processo de crescimento e desenvolvimento, aumentando assim a qualidade e produtividade da colheita (COELHO *et al.*, 2011).

Antes de escolher e instalar seu sistema de irrigação alguns pontos devem ser analisados como por exemplo (PEREIRA, 2014).

- Exigências climáticas do local
- Solo utilizado
- Necessidade de água nos diferentes estágios da cultura

3.7 Sistema automático de irrigação

Antes de instalar o sistema de irrigação é necessário conhecer a cultura a ser irrigada para adequar o tipo de irrigação mais eficiente, além de estudar algumas exigências como o clima que pode mudar durante o período do cultivo, as diferentes exigências de água nos diferentes estágios de cultivo e solo (PEREIRA, 2014).

A irrigação é necessária para o melhor desempenho do cultivo em áreas rurais, podendo ser feita de várias maneiras (Pereira, 2014). A automação é uma forma de reduzir o esforço humano com o surgimento de novas tecnologias tornando algumas tarefas mais praticas (ROGGIA e FUENTES, 2016).

O sistema de irrigação pode ser feito de diversas maneiras diferentes como, microaspersão artesanal, localizada, “bubbler”, gotejamento, mangueira perfurada, etc. Depende do que será cultivado na terra, e quase sempre visando um baixo custo de instalação e manutenção (Santos *et al.*; 2012).

A automação torna os processos mais eficientes, sem a necessidade de intervenção humana no processo. Diversas variáveis são responsáveis pelo manejo da água na irrigação sendo as com maior destaque a umidade do solo, temperatura do ambiente e ocorrência de chuva sendo elas utilizadas para a automatização do sistema (GUIMARÃES, 2011).

O sistema fotovoltaico autônomo para bombeamento de água em sistemas de irrigação por gotejamento vem se tornando uma opção muito competitiva na agricultura familiar (Ferreira e Fortes, 2014).

3.8 Bombeamento de água

O bombeamento de água serve para levar a água de um local ao outro com a ajuda de motobombas, em um sistema de irrigação funciona da mesma maneira levanta a água de um poço ou açude e colocando pressão nela para o funcionamento da irrigação do cultivo.

O sistema de bombeamento em áreas rurais pode ser executado de 3 maneiras diferentes são eles, com a rede elétrica convencional, por motores a combustão e com sistemas fotovoltaicos, e possuem suas vantagens e desvantagens em relação aos outros como mostra na Figura 6 (MORALES, 2011).

Figura 6 – comparação entre sistemas de bombeamento

	Rede elétrica convencional	Motores de combustão interna	Fotovoltaico
Custo inicial	Baixo se tiver acesso à rede elétrica	Moderado	Elevado
Custo de operação	Baixo	Alto	Nulo
Custo de manutenção	Baixo	Alto	Moderado
Disponibilidade de equipamentos	Ampla	Ampla	Difícil em alguns lugares
Impactos ambientais	Na construção da rede elétrica e na geração dependendo da fonte (hidrelétrica, nuclear ou combustíveis)	Altos impactos ambientais na operação (emissão de gases contaminantes e ruídos)	Impactos ambientais (na fabricação dos equipamentos)
Outras vantagens			Operação autônoma
Outros problemas	Custo e dificuldade de extensão de rede em alguns lugares	Custo e dificuldade de fornecimento contínuo de combustíveis em alguns lugares	É necessário um sistema de armazenamento hídrico ou eletroquímico.

Fonte: Morales (2011)

O sistema de bombeamento utilizando sistema fotovoltaicos para alimentar as motobombas é uma ótima opção pois pode ser aplicado em todos os tipos de áreas e possui muitas vantagens como a independência de fontes de combustíveis ou rede elétrica convencional, baixa necessidade de manutenção relativa facilidade de instalação, longa vida do gerador e operação autônoma (MORALES, 2011).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Metodologia para projetar e automatizar um sistema de irrigação suprido por geração de energia fotovoltaica

O projeto de um sistema fotovoltaico requer análise de dados como a irradiação no local onde haverá a unidade consumidora, características dos dispositivos fotovoltaicos instalados para determinar a energia disponível para atender o local (Pinho, 2008).

Procedimentos para elaboração do projeto:

- a) Analisar os dados de irradiação solar do local
- b) Definir o tipo de irrigação utilizada para a cultura
- c) Realizar o levantamento do projeto de bombeamento
- d) Calcular a demanda de consumo da unidade consumidora
- e) Dimensionar o sistema de geração de energia fotovoltaica
- f) Automação da irrigação para um controle remoto

4.1.1 Bomba

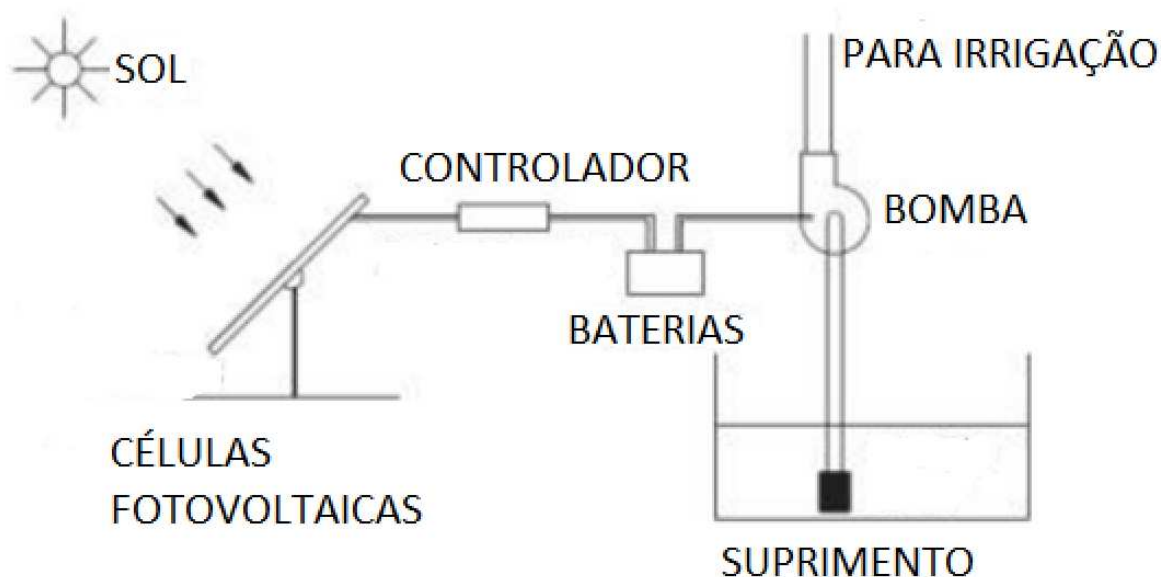
Os sistemas de irrigação dependem do abastecimento de água necessário podendo ser eles bombeados de lagoas, rios, açudes ou poço para chegar a água no local a ser irrigado (ASAWA, 2008).

Um sistema fotovoltaico de bombeamento típico é constituído pelo gerador fotovoltaico, equipamentos de condicionamento de potência, grupo de motobombas, sistema de armazenamento e sistema de distribuição. Sendo nos sistemas voltados exclusivamente para irrigação os geradores fotovoltaicos são ligados diretamente às motobombas em CC (MORALES, 2011).

Durante o horário de maior irradiação solar os painéis solares convertem a energia solar em corrente elétrica que acumula carga nas baterias, essas fornecem energia para o bombeamento de água necessária em cada horário do dia, podendo

assim aumentar a duração do bombeamento em dias nublados ou em períodos que não está sendo gerada energia nos painéis fotovoltaicos como mostra na figura 7 (SOTANKE e KALAMKAR, 2016).

Figura 7 - sistema de bombeamento de água com energia solar fotovoltaica



Fonte: Sotanke e Kalamkar (2016).

O sistema de bombeamento foi realizado em algumas etapas, como o cálculo das tubulações que serão utilizados no sistema hidráulico, altura manométrica e também o potencial hidráulico do sistema para o dimensionamento dos componentes hidráulicos do sistema (JUSTINO; NOGUEIRA, 2017).

Utilizando a fórmula de Bresse mostrada na equação (1) para determinar o diâmetro das tubulações D_r , onde K é o coeficiente que varia em função dos custos dos materiais, mão de obra e manutenção do sistema e Q a vazão que pode ser calculada pela equação (2) demandada pelo sistema (MACINTYRE, 1997).

$$D_r = K\sqrt{Q} \quad (1)$$

$$Q = \frac{V}{T} \quad (2)$$

Para calcular o valor de K que está na equação (1), como o bombeamento fotovoltaico depende da radiação do local tornando o sistema altamente variável o valor de K é dado pela equação (3), onde T é o período de funcionamento da bomba em horas (MACINTYRE, 1997).

$$K = 1,3. \sqrt[4]{\frac{T}{24}} \quad (3)$$

No caso do tamanho do diâmetro não possua um valor próximo comercializado, pode ser escolhido um valor diferente contanto que os valores obtidos na equação (4) estejam entre 0,5m/s e 4,0m/s (JUSTINO; NOGUEIRA, 2017).

$$v = \frac{4. Q}{\pi. D_r^2} \quad (4)$$

A altura manométrica a ser calculada deve ser corrigida considerando as perdas no deslocamento do líquido até o reservatório, a correção desta altura é mostrada através da equação (5) onde H_{mc} se refere a altura manométrica corrigida, H_m a altura manométrica total, H_t perda de cargas nas tubulações e H_c a perda de carga nas conexões (Pinho e Galdino, 2014).

$$H_{mc} = H_m + H_t + H_c \quad (5)$$

A correção da altura manométrica é necessária pois o deslocamento de algum líquido pela tubulação e conexões que compõem o sistema hidráulico influenciam muito no desempenho do sistema, através da equação (6) é feita a correção do tamanho da tubulação adicionando as conexões que fazem parte do sistema (Pinho e Galdino, 2014).

$$L_{corrigido} = L_{tubulação} + L_{válvula} + L_{joelho} \quad (6)$$

Com o comprimento do sistema corrigido já com as perdas de carga resultado das conexões do sistema utilizando a equação (7) é calculada a perda de carga por conta do deslocamento do líquido nas tubulações, onde F_{pc} é o coeficiente de perda de carga que varia de acordo com a vazão e diâmetro da tubulação escolhida (Pinho e Galdino, 2014).

$$H_{m+c} = F_{pc} \cdot \frac{L_{corrigido}}{100} \quad (7)$$

A soma corrigida da altura manométrica feita, é necessário somar a correção de 15% por questões de segurança com a altura manométrica corrigida já existente para ter a altura total mostrada na Equação (8).

$$H_f = H_{mc} * 1,15 \quad (8)$$

Com a altura manométrica é possível calcular a potência hidráulica através da Equação (8) do sistema para o dimensionamento dos componentes.

$$P_h = g. \rho. Q. \quad (9)$$

A escolha da motobomba é feita através do catalogo fornecido pelo fabricante de forma a suprir todas as necessidades de vazão e altura manométrica exigidas pelo sistema, deve-se calcular a potência elétrica requerida através da equação (10) (Pinho e Galdino, 2014).

$$P_{EL} = \frac{P_H}{\eta_m} \quad (10)$$

4.1.2 Irradiação solar

O índice de irradiação solar (KWh/m²) global consiste em três tipos diferentes de irradiação são elas, normal, direta e difusa. É usado para o dimensionamento de usinas solar (Atlas de energia solar, 2017).

Para um cálculo de potencial de geração ao longo do ano de um local é utilizado a taxa média de irradiância e o potencial de geração dos módulos instalados na unidade geradora (PINHO e GALDINO, 2014).

Todos os dados da irradiação local podem ser consultados no banco de dados Sundata do CRESESB, a partir das unidades geográficas da unidade consumidora (CRECESBE, 2023)

4.1.3 Consumo e demanda

Os dados de consumo e demanda da unidade consumidora foram obtidos por meio do cálculo da bomba necessária para a irrigação e dos aparelhos utilizados para a automação do projeto, tendo em vista que a energia fotovoltaica estará voltada exclusivamente para alimentar a irrigação automatizada do local.

Para dimensionar o sistema de geração foi necessário saber a demanda diária e também mensal que foi necessária para suprir as máquinas utilizadas no sistema, com a bomba que será utilizada e seu consumo foi feito o cálculo a partir do T_u que é o tempo de utilização de trabalho necessária diariamente para saber o gasto diário em Kwh como mostra na Equação (11).

$$E_g = P_{EL} * T_u \quad (11)$$

Feito o cálculo diário de energia gasta pela bomba é considerado uma média de 30 dias todos os meses para o cálculo da média de consumo mensal do sistema pela Equação (12).

$$E_m = E_g * 30 \quad (12)$$

4.1.4 Escolha módulo, controlador e baterias

Existem diversas tecnologias de fabricação diferentes quanto a células e módulos fotovoltaicos como de filmes finos, Silício cristalino, células orgânicas e de corantes, entre outras. A mais comum de se encontrar no mercado são as células de silício cristalino que em 2011 representavam cerca de 87,9% do mercado mundial (PINHO e GALDINO, 2014).

Sistemas fotovoltaicos com células de Silício possuem de 3 a 5 anos de garantia contra defeitos de fabricação, e garantia de rendimento mínimo durante 25 anos (PINHO e GALDINO, 2014). Por sua confiabilidade é quase sempre recomendado este tipo de arranjo para um menor custo com manutenções e problemas ao longo do tempo.

Os módulos são geralmente identificados pela potência de pico (Wp), e antes de sua escolha deve ser analisado se seus parâmetros irão atender ao projetado e desejado para isso é avaliado sua potência máxima para em seguida ser feita a escolha do controlador de carga com seguimento de ponto de potência máximo (SPPM) (PINHO e GALDINO, 2014).

Para a seleção das baterias deve-se ter o número de ciclos, capacidade, profundidade de descarga que é a forma que é expressada a vida útil de uma bateria antes de que ela comece a apresentar falhas em satisfazer as especificações, sendo o número de ciclos a quantidade de vezes que a bateria foi totalmente descarregada, a capacidade é a quantidade de amperes hora que pode ser retirada quando está com carga plena e a profundidade de descarga que indica em termo percentual quanto da capacidade nominal da bateria foi retirado a partir do estado de plena carga quantidade máxima de baterias ligadas em serie, e limite de corrente e tensão de carga e descarga. Para assim poder dimensionar o número necessária de baterias em paralelo e em série capaz de suprir a necessidade do local (PINHO e GALDINO, 2014).

4.1.5 Dimensionamento do sistema de geração fotovoltaica

O cálculo de consumo de energia diário (L_i), leva em consideração tanto cargas em corrente contínua quanto cargas em corrente alternada, juntamente com a eficiência dos equipamentos que fazem parte do processo de armazenamento, distribuição e conversão da potência instalada como foi mostrado na Equação (13) (Pinho e Galdino, 2014).

$$L_i = \left(\frac{L_{CCi}}{n_{bat}} \right) + \left(\frac{L_{CAi}}{n_{bat} * n_{inv}} \right) \quad (13)$$

L_i (Wh/dia) – Energia consumida diariamente no mês i

L_{CCi} (Wh/dia) – Energia consumida diariamente em corrente contínua em determinado mês

L_{CAi} (Wh/dia) – Energia consumida diariamente em corrente alternada em determinado mês

n_{bat} (%) – Eficiência da bateria

n_{inv} (%) – Eficiência do inversor

Com o consumo corrigido já utilizando a Equação (12), deve ser calculada a potência do painel fotovoltaico (Wp) para todos os meses do ano conforme a Equação (14) (Pinho e Galdino, 2014).

$$P_m = \max_{i=1}^{12} \left(\frac{L_i}{HSP_i * Red_1 * Red_2} \right) \quad (14)$$

P_m (Wp) – Potência do painel fotovoltaico;

L_i (Wh/dia) – Energia consumida diariamente no mês i ;

HSP_i (h/dia) – Horas de sol pleno no mês i ;

Red_1 (%) – Fator de redução (derating) da potência dos módulos fotovoltaicos;

Red_2 (%) – Fator de redução da potência devido a perdas do sistema (Baterias, inversor e controlador de carga);

Com o módulo dimensionado e escolhido pode ser então calculado o potencial máximo de geração dos painéis utilizando o valor do potencial médio da região que foi instalado, utilizando os dados fornecidos pelo fabricante do painel através da equação (15).

$$E_{pg} = P_{med} * \eta_p * A_p \quad (15)$$

Após calculada a energia consumida diariamente no mês e a potência do painel fotovoltaico pelas equações (13) e (14) e selecionados os módulos a serem utilizados no sistema de geração de energia solar fotovoltaico, é necessário escolher o controlador de carga com seguimento do ponto de potência máxima (SPPM), dispositivos capazes de encontrar os pontos máximos de potência que o dispositivo entrega para o sistema (Pinho e Galdino, 2014).

Com o módulo escolhido e seus dados de especificações do fabricante obtidos possível calcular determina-se a quantidade e disposição de módulos necessários para suprir a demanda calculada pela Equação (11) a quantidade e disposição dos módulos foram calculados de acordo com a Equação (16) e a Equação (17) apresentadas (Pinho e Galdino, 2014).

Cálculo para módulos em séries

$$\frac{V_{SPPMmin}}{V_{moTmax}} < N^{\circ} \text{módulos série} < \frac{V_{SPPMmax}}{V_{mpTmin}} \quad (16)$$

$V_{SPPMmax}$ – Máxima tensão de operação

$V_{SPPMmin}$ – Mínima tensão de operação;

V_{mpTmax} – Tensões de máxima potência do modulo fotovoltaico nas duas máximas temperaturas de operação;

V_{mpTmin} – Tensões de mínima potência do módulo fotovoltaico nas suas máximas temperatura de operação;

Cálculo para módulos em paralelo

$$N^{\circ} \text{módulos paralelo} = \frac{P_m}{N^{\circ} \text{módulos série} * P_{mod}} \quad (17)$$

P_{mod} (Wp) – Potência nominal do módulo adotada

Deve-se Verificar a I_m com a Equação (18) para verificar se as correntes dos painéis estão de acordo com a especificações do fabricante do controlador que foi utilizado no sistema (Pinho e Galdino, 2014).

$$I_m = N^{\circ} \text{módulos paralelo} * I_{mp} \quad (18)$$

I_m (A) – Corrente do painel

I_{mp} (A) – Corrente do módulo no ponto de máxima potência, nas condições de ensaio

Quando feito o dimensionamento do controlador de carga deve ser avaliado os limites máximos e mínimos de operação, tanto de tensão quanto de corrente (CC), a corrente máxima do controlador I_c é dada pela Equação (19) (Pinho e Galdino, 2014).

$$I_c = 1,25 * N^{\circ} \text{módulos paralelo} * I_{sc} \quad (19)$$

I_c (A) – Corrente máxima do controlador

I_{sc} (A) – Corrente de curto circuito do módulo

Com o maior valor de consumo, controlador e potência necessária foi possível calcular a capacidade do sistema de armazenamento usando a Equação (20) e a Equação (21), estipulando 3 dias de autonomia para o sistema e profundidade de descarga de 20% (Pinho e Galdino, 2014).

$$CB (Wh) = \frac{L_m * N_{dias}}{P_d} \quad (20)$$

L_m (Wh) – Consumo máximo do mês L_i

CB (Wh) – Capacidade do banco de baterias

N_{dias} – Número de dias de autonomia do sistema

P_d – Profundidade de descarga;

$$CBI (Ah) = \frac{CB}{V_{sist}} \quad (21)$$

V_{sist} – Tensão nominal do sistema;

Após o cálculo da capacidade dos bancos de baterias foi calculado o número de baterias em série e em paralelo que serão suficientes para suprir a demanda utilizando a Equação (22) e a Equação (23) (Pinho e Galdino, 2014).

$$N^{\circ} \text{ baterias paralelo} = \frac{CBI}{CBI_{bat}} \quad (22)$$

$$N^{\circ} \text{ baterias série} = \frac{V_{sist}}{V_{bat}} \quad (23)$$

CBI_{bat} (Ah) – Capacidade da bateria escolhida

V_{bat} – Tensão nominal das baterias escolhidas

4.1.6 Automação da irrigação

A automação do sistema de irrigação pode ser feita através de rotinas criadas e programadas pelo proprietário do local que comandam em horários específicos o ligamento e desligamento das bombas de águas responsáveis por irrigar o local, sendo este o método mais prático para a automatização da irrigação. Ainda podendo ser feito através de sensores instalados como, sensores de temperatura, umidade do solo, umidade do ar e irradiação solar no momento ligados a um microcontrolador que determina o melhor momento para fazer a irrigação do local (GIOMO, 2019).

5. RESULTADOS

5.1 Irrigação por gotejamento

O tipo de irrigação automática utilizado para irrigar toda a plantação na horta foi o gotejamento que consiste em um sistema de micro irrigação que permite que a água escorra e penetre no solo através de tubulações pressurizadas de maneira mais eficiente para fornecer água e nutrientes para as plantas, pois entrega as quantidades ideais de acordo com a fase de cultivo em que a hortaliça se encontra (Vilas Boas, 2016).

Possibilitando alcançar o máximo rendimento do plantio e economia não apenas no uso de água pois evita problemas como evaporação da água e trabalha com baixa pressão, mas na sua montagem, também facilitando na hora de tomadas de decisões como ferramentas de automações e controle de monitoramento da irrigação.

5.2 Área cultivada

A área reservada para o canteiro e cultivo de hortaliças é uma área de 40 metros quadrados sendo as dimensões de 10 metros de comprimento para 4 metros de largura, sendo esta área o suficiente para o plantio de hortaliças para suprir as necessidades de consumo familiar que é necessária no local.

O canteiro que teve a área irrigada foi preparado para receber o plantio das culturas sendo preparado em uma área do terreno em que não há sombreamento durante o dia por conta de árvores ou estruturas construídas e com fácil acesso. Assim que escolhido a área que foi feito o canteiro deve-se delimitar a área com tijolos ou madeira, a terra em que foi utilizada para o cultivo deve ser preparada com uma proporção recomendada de 70% terra vegetal e 30% adubo orgânico para um melhor fornecimento de nutrientes para a plantação.

5.3 Cultura cultivada

O canteiro irrigado foi preenchido com hortaliças como alface, cebolinha, salsinha e couve para o consumo no próprio local de colheita.

5.4 Bombeamento de água

A água necessária para a irrigação da cultura foi retirada de um açude que está situado nas proximidades do local de plantio, a água foi transportada pela bomba de água do açude até uma caixa de água instalada em um reservatório com capacidade para 500L de água que está em um lugar elevado para ação da gravidade a água consiga ser levada para irrigar o local desejado.

Tabela 1 - Dados de distâncias

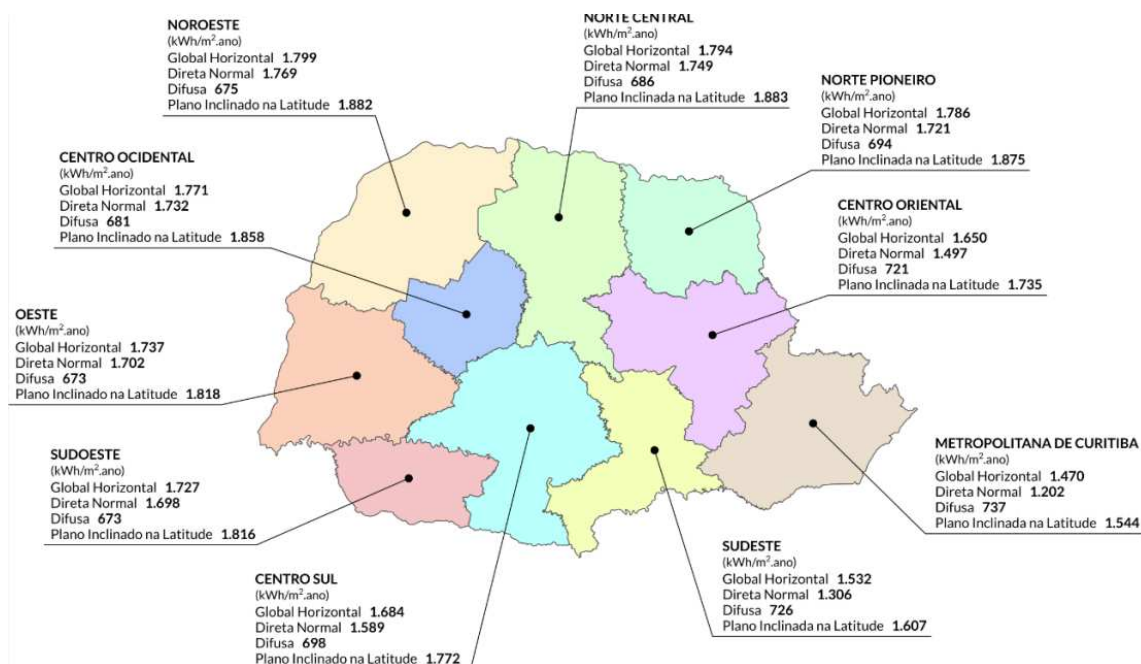
<i>Distâncias</i>	<i>Altura</i>	<i>Mangueira</i>
Distância bomba até açude	4 metros	8 metros
Distância Bomba até reservatório	15 metros	35 metros
Total	19 metros	43 metros

Fonte: Autoria própria (2023)

5.5 Potência solar

Os autores Tiepolo et al. (2018) apontaram o Paraná com um potencial de radiação dólal média de: 4, 89KWh/m².dia horizontal; 4, 40KWh/m².dia direta normal e 4,89 KWh/m².ano global horizontal.

Figura 8 - Média radiação solar Paraná



Fonte: Tiepolo et al. (2018)

Todos os dados da irradiação local foram consultados no banco de dados Sundata do CRESESB, a partir das unidades geográficas da unidade consumidora De acordo com as coordenadas de Medianeira em que se encontra na Latitude 25,3° e Longitude 54,11° utilizando o banco de dados SUNDATA do CRESESB possuímos um gráfico da irradiação solar nesta área mostradas nas figuras 9 e 10.

Figura 9 - Irradiação Solar no Plano Horizontal

Latitude: 25,3° S
Longitude: 54,11° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
<input checked="" type="checkbox"/>	Medianeira	Medianeira	PR	BRASIL	25,301° S	54,149° O		3,9	6,32	5,78	5,25	4,23	3,27	2,84	3,07	4,06	4,32	5,27	6,09	6,50	4,75	3,66
<input checked="" type="checkbox"/>	Medianeira	Medianeira	PR	BRASIL	25,301° S	54,049° O		6,1	6,25	5,75	5,19	4,21	3,26	2,86	3,09	4,07	4,32	5,26	6,04	6,46	4,73	3,60
<input checked="" type="checkbox"/>	Medianeira	Medianeira	PR	BRASIL	25,201° S	54,149° O		11,7	6,27	5,83	5,32	4,25	3,28	2,86	3,11	4,09	4,37	5,29	6,14	6,52	4,78	3,66

Fonte: CRESESB (2023)

Primeiro o CRESESB fornece a irradiação solar apenas no plano horizontal das coordenadas utilizadas para fazer a análise dos dados, em seguida ele passa mais alguns gráficos com as inclinações e os rendimentos de acordo com qual inclinação para saber qual era a que supriria melhor as necessidades dos geradores fotovoltaicos instalados.

Figura 10 - Irradiação Solar no Plano Inclinado

Estação: Medianeira
 Município: Medianeira, PR - BRASIL
 Latitude: 25,201° S
 Longitude: 54,149° O
 Distância do ponto de ref. (25,3° S; 54,11° O): 11,7 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,27	5,83	5,32	4,25	3,28	2,86	3,11	4,09	4,37	5,29	6,14	6,52	4,78	3,66
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	25° N	5,63	5,57	5,54	4,92	4,14	3,78	4,04	4,95	4,70	5,18	5,59	5,75	4,98	1,97
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	5,81	5,68	5,56	4,84	4,01	3,64	3,90	4,83	4,68	5,26	5,76	5,96	4,99	2,32
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	45° N	4,65	4,84	5,16	4,94	4,40	4,12	4,36	5,12	4,50	4,61	4,68	4,67	4,67	1,04

Fonte: CRESESB (2023)

5.6 Suprimento hídrico

A quantidade de água utilizada para o trato cultural depende de muitos fatores, como tipo do solo, espécies plantadas, fase em que se encontra a cultura e fatores climáticos também influenciam muito na irrigação para um melhor aproveitamento da cultura. Para hortaliças e frutos cultivados em canteiros recomenda-se que seja utilizado de 4 a 10 litros por metro quadrado de acordo com (AMARO, 2007).

Analísado o clima de medianeira nos últimos meses foi notado que por ser uma área com temperaturas muito elevadas, como consequência maior requerimento de água para a irrigação das culturas foi escolhido o uso da quantidade de 10 litros por metro quadrado.

Notado no site da Simepar que no inverno no mês de agosto a chuva poderia ser de 40mm² neste mês, mostrando que a necessidade em tempos críticos pode chegar a 10 litros de água por metro quadrado.

5.7 Determinação componentes hidráulicos

Considerando a área reservada para a preparação do solo e do canteiro sendo de 4 metros de largura para 10 metros de comprimento totalizando 40m², levando em consideração as recomendações do trabalho publicado pelo EMBRAPA, a quantidade de água necessária diária ficaria perto de 400L desconsiderando perdas de água nas tubulações.

Foi instalado então um reservatório elevado com capacidade de 500L para conseguir suprir a necessidade diária para a irrigação de toda a área de cultivo, para

realizar o dimensionamento da bomba de água a ser utilizada neste processo foi necessário saber a vazão que seria requerida da bomba pela Equação (2).

$$Q = \frac{V}{T} \quad (2)$$

Q = Vazão L/h ou m³/h

V = Volume de água necessário em litros L ou m³

T = Tempo necessário para encher o reservatório em horas h

Com os dados obtidos pelo fabricante utilizando a Equação (2)

$$Q = \frac{2,8}{1} \quad Q = 2,8m^3/h \quad (2)$$

Juntamente com a vazão necessária, foi calculada a altura manométrica total (AMT) para saber a pressão em que a bomba deve trabalhar.

Sabendo que os dados necessários para o cálculo são:

AS = Altura de sucção (DIFERENÇA ENTRE ÁGUA E BOMBA)

AR = Altura de recalque (DIFERENÇA BOMBA CAIXA D ÁGUA)

MT = Medida da tubulação (m)

Tabela 2 - Dados para cálculo manométricos

Dados necessários	Distancia
AS	4 Metros
AR	15 Metros
MT	43 Metros

Fonte: Aatoria própria (2023)

Com os componentes escolhidos e sabendo de todas suas especificações foi feito então o cálculo do diâmetro das tubulações que levaram a água até o reservatório, com um reservatório de 500L e a bomba trabalhando na capacidade de 2,8m³/h então demoraria em média 0,1785 horas para encher totalmente o reservatório.

Utilizando a Equação (3) para calcular a constante K tem-se a Equação (1).

$$K = 1,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,1785}{24}} = 0,3817 \quad (3)$$

Com o valor de K o cálculo do diâmetro da tubulação foi feito conforme a Equação (3) tem-se a Equação (1).

$$D_r = 0,3817 \cdot \sqrt{\frac{2,8}{3600}} = 0,0106m \quad (1)$$

Devido ao diâmetro calculado ser muito pequeno e não ser comercializado foi utilizado um de tamanho 32mm e de acordo com a Equação (4) determina-se a velocidade econômica que não pode ser maior que 4m/s ou menor que 0,5m/s.

$$v = \frac{4 \cdot \frac{2,8}{3600}}{\pi \cdot 0,032^2} = 0,96757 \quad (4)$$

Após feito o cálculo das tubulações que serão utilizadas no sistema, foi calculada a altura manométrica para assim determinar a potência hidráulica necessária para o sistema.

A altura manométrica geométrica é a soma das alturas de recalque e sucção que juntas somam 20 metros, porem ao percorrer a tubulação e nas conexões existe uma resistência e para compensar essa resistência no deslocamento do liquido é calculado a altura manométrica corrigida H_{mc} .

Primeiro foi considerado as conexões que foram utilizadas pelo sistema de bombeamento que era composta por um joelho 90° e uma válvula globo, que seus respectivos valores na soma de comprimentos apresentados na Figura 11 0,457m e 7,62m e aplicados os valores na equação (6) para ter o comprimento corrigido da tubulação.

Figura 11 - Perda de carga em conexões PVC

Conexão	Diâmetro interno da tubulação (mm)		
	32	50	63
Joelho 45°	0,274	0,457	0,610
Joelho 90°	0,457	0,762	1,067
T	0,762	1,067	1,524
Válvula Globo	7,620	13,716	16,764
Válvula Gaveta	0,183	0,305	0,396
Válvula de Retenção	0,914	1,524	2,134

Fonte: Pinho e Galdino (2014)

$$L_{corrigido} = 35 + 0,457 + 7,62 = 51,077 \quad (6)$$

Para calcular o valor final que isso representa na correção da altura manométrica, com o valor da Figura 12 juntamente com os valores das conexões da Figura 11 e utilizando a Equação (6) é calculada o comprimento corrigido da tubulação.

Figura 12 - Perda de carga em tubulações de PVC

Vazão (L/h)	Diâmetro interno da tubulação (mm)						
	19	26	32	38	50	63	75
500	1,15						
1.000	4,65	1,15	0,23				
2.000	22,40	5,30	1,43	0,55			
3.000		9,90	2,50	1,00	0,50	0,18	
4.000		16,25	4,55	2,00	0,83	0,38	0,14
5.000			6,45	2,60	1,15	0,48	0,17
6.000			9,25	4,30	1,55	0,58	0,20
7.000			12,85	5,45	2,00	0,68	0,25
8.000			16,60	7,50	2,50	0,90	0,30
9.000				9,45	3,05	1,13	0,40
10.000				12,50	4,25	1,40	0,58
12.000				15,45	5,45	1,90	0,75
15.000				23,50	8,10	3,00	1,18

Fonte: Pinho e Galdino (2014)

Sabendo que o diâmetro escolhido para as tubulações foram de 32mm e que a vazão é 2800L/h, analisando a tabela e usando a Equação (7) temos:

$$H_{m+c} = 2,5 \cdot \frac{51,077}{100} = 1,2769m \quad (7)$$

Com a correção feita foi obtido a altura manométrica final que é a soma da altura das perdas mais a altura geométrica como mostra a Equação (5).

$$H_f = 19 + 1,2769 = 20, \quad (5)$$

Por questões de segurança após calculada a altura final é adicionado 15% para questões de segurança utilizando a Equação (8).

$$H_T = 20,2769 \cdot 1,15 = 23,31 \quad (8)$$

Agora com todos os resultados foi calculado a potência hidráulica utilizando a Equação (9).

$$P_h = 9,81 \cdot 1000 \cdot \frac{2,8}{3600} \cdot 23,31 = 177,8553W \quad (9)$$

Calculada as necessidades que a bomba deve suprir para funcionar o sistema de irrigação que foi utilizado para o canteiro tem-se que a bomba ideal para suprir a utilização foi uma motobomba centrífuga monofásica BCR-2010 de 1 CV, mostrada na figura 13, da marca Schneider, com capacidade de 2,8m³/h a uma altura

manométrica (AMT) de 24 metros, mostrada na figura 14, de acordo com o catálogo da fabricante.

Figura 13 - Motobomba BCR-2010 Schneider



Fonte: Site da Schneider (2023)

Através do Cálculo de alguns requisitos que a bomba deve ser suficiente para suprir as necessidades de demanda para o bombeamento de água analisando as especificações de dados fornecidas pelo fabricante na Figura 14.

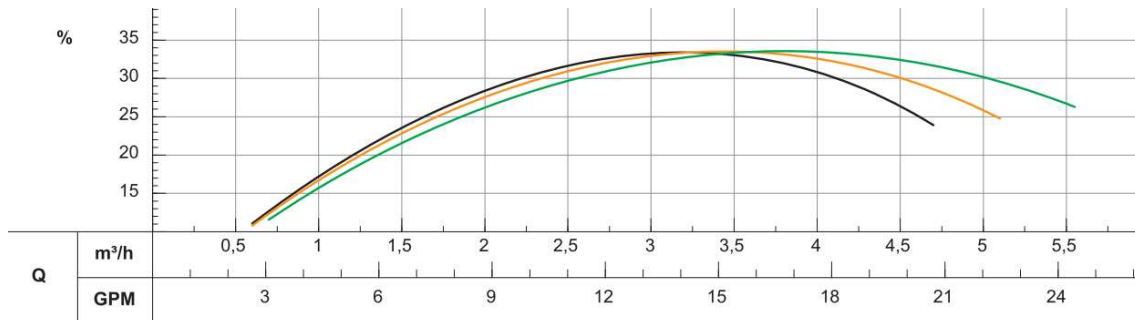
Figura 14 - Características hidráulicas motobomba centrífuga

Modelo	Potência (cv)	Monofásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m c.a.)	Altura máxima de sucção (m c.a.)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS										
							Altura Manométrica Total (m.c.a.)										
							8	13	14	15	16	17	18	19	20	21	24
							Vazão em m ³ /h válida para sucção de 0 m c.a.										
BCR-2010	1/2	x	1	1	25	8	4,7	3,8	3,6	3,4	3,1	2,9	2,7	2,4	2,1	1,8	0,6
	3/4	x	1	1	27	8	*	4,6	4,4	4,2	4,0	3,8	3,5	3,3	3,1	2,8	1,8
	1	x	1	1	29	8	*	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	3,9	3,7	2,8

Fonte: Manual Schneider (2023)

Para calcular a potência elétrica necessária para deslocar a água até o reservatório foi feito o cálculo baseado na eficiência fornecida pelo fabricante conforme o gráfico na figura 15.

Figura 15 - Curva rendimento motobomba



Fonte: Manual Schneider (2023)

Após observado a curva característica de rendimento do modelo da motobomba escolhido foi obtido o rendimento nas condições de trabalho em que ela funciona, sendo ele perto dos 32%, aplicando os valores obtidos foi calculada a potência elétrica necessária pela Equação (10).

$$P_{EL} = \frac{177,8553}{0,32} = 555,7978W \quad (10)$$

5.8 Determinação demanda energética mensal

Multiplicando a potência elétrica necessária calculada pelo tempo de funcionamento para encher o reservatório foi obtido a energia gasta durante o período de funcionamento diário do sistema como é feito na Equação (11).

$$E_g = 555,7978 * 0,17857 = 99,2488W.h \quad (11)$$

Levando em consideração que todos os meses do ano possuem 30 dias foi calculado a demanda energética mensal exemplificado na Equação (12).

$$E_m = 99,2488 * 30 = 2977,464W.h \quad (12)$$

5.9 Determinação usina fotovoltaica

Avaliado todas as peculiaridades do local a ser instalado a usina, foi feito o cálculo de todas as cargas a serem utilizadas utilizando como fonte de energia a usina, sejam elas corrente contínua ou corrente alternada utilizando a Equação (13) citada no referencial teórico (Pinho e Galdino, 2014).

$$Li = \left(\frac{L_{CCi}}{n_{bat}} \right) + \left(\frac{L_{CAi}}{n_{bat} * n_{inv}} \right) \quad (13)$$

Sendo:

$$L_{CCi} \text{ (Wh/dia)} - 0W$$

$$L_{CAi} \text{ (Wh/dia)} - 99,2488W$$

$$n_{bat} \text{ (\%)} - 90\% \text{ SUGERIDO POR PINHO } 86\%$$

$$n_{inv} \text{ (\%)} - 90\% \text{ (De acordo com Pinho e Galdino, 2014)}$$

Obtidos os valores necessários é possível jogar eles na Equação (13) para realizar o cálculo.

$$Li = \left(\frac{0}{0,9} \right) + \left(\frac{99,2488}{0,9*0,9*0,9} \right) = 136,14Wh/dia \quad (13)$$

Após o consumo em Wh/dia calculado foi calculado a potência do painel em Wp para todos os meses conforme a Equação (14)

$$Pm = \max_{i=1}^{12} \left(\frac{Li}{HSP_i * Red_1 * Red_2} \right) \quad (14)$$

Utilizado o método do mês crítico foi selecionado o mês com maior Wp, que será definido como a potência de saída do gerador fotovoltaico, levando em consideração a média de KWh/m².dia no plano horizontal do mês de junho que foi uma média de 2,84Kwh/m². dia temos uma ideia da hora de sol pleno no mês mais crítico do ano.

Sendo:

$$Li \text{ (Wh/dia)} - 136,14Wh/dia;$$

$$HSP_i \text{ (h/dia)} - 2,84h;$$

$$Red_1 \text{ (\%)} - 0,75 \text{ de acordo com a apostila de (Pinho e Galdino, 2014);}$$

$$Red_2 \text{ (\%)} - 0,9*0,9*0,98 = 0,7938;$$

Com os valores já em mãos foi utilizada a Equação (14) para o cálculo da potência de saída do gerador.

$$Pm = \max_{i=1}^{12} \left(\frac{136,14}{4,73*0,75*0,7938} \right) = 48,345Wp \quad (14)$$

Tendo feito o dimensionamento corretamente da potência em Wp (watt-pico) necessária para suprir o sistema a placa fotovoltaica Resun RS060P mostrada na Figura 16 da marca Canadian Solar.

Figura 16 - Placa solar RS060P



Fonte: Datasheet fabricante Resun (2023)

Com as especificações mostradas da Figura 17 de acordo com o Datasheet da fabricante é possível ver que a placa é suficiente para o projeto feito e também mostra todos os seus dados de operação necessários para um melhor dimensionamento do sistema elétrico.

Figura 17 - Dados da placa escolhida

Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	60W
Open Circuit Voltage-Voc(V)	22.68V
Short Circuit Current-Isc(A)	3.75A
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	18.54V
Maximum Power Current-Imp(A)	3.36A
Module Efficiency (%)	13.99%

Fonte: Manual fabricante Resun (2023)

Com o módulo escolhido e a demanda diária calculada foi escolhido a utilização de um módulo apenas de 60Wp que foi o suficiente para suprir o dimensionamento sem a necessidade da utilização das equações (13) e (14) (Pinho e Galdino, 2014).

Calculado o potencial máximo de geração dos painéis utilizando o valor médio de do potencial solar da região que é P_{med} 4,89Kwh/m², sabendo a eficiência do módulo que é representada por η_p visto na figura 17 e utilizando sua área,

representada por A_p que pode ser obtida na figura 18 sendo capaz de gerar diariamente pela Equação (15).

$$E_{pg} = P_{med} * \eta_p * A_p \quad (15)$$

Figura 18 - Dados da placa

Solar cells	Poly-crystalline 156x63mm 4 or 5 Bus bars
Cell configuration	36 cells(4x9)
Module dimensions	640x670x25 mm
Weight	4.8KGS
Front Cover	3.2mm Tempered Glass
Frame Material	Anodized Aluminum Alloy
J-BOX	IP65 or IP67, 1 Diodes
Cable	2.5mm2(IEC)/12AWG(UL),900mm
Connectors	MC4 or MC4 Comparable

Fonte: Datasheet fabricante Resun (2023)

Com todos os dados colhidos foi calculado o potencial diário da placa escolhida pela Equação (23).

$$E_{pg} = 4,89 * 0,14 * 0,4288 = 293,55648Wh \quad (15)$$

Após escolhido os painéis e feito o cálculo para dimensionar a disposição dos módulos instalados para suprir a energia necessária utilizando as Equações (16) e (17), com base nos dados informados pelo fabricante das placas foi escolhido um modelo de controlador de carga.

$$\frac{V_{SPPMmin}}{V_{moTmax}} < N^{\circ}módulos\ série < \frac{V_{SPPMmax}}{V_{mpTmin}} \quad (16)$$

Com a Equação (14) foi possível o cálculo de baterias em série necessárias, utilizado a Equação 15 foi calculado o número de baterias em série necessárias para o sistema.

$$N^{\circ}módulos\ paralelo = \frac{P_m}{N^{\circ}módulos\ série * P_{mod}} \quad (17)$$

Após escolhido os painéis e feito o cálculo para dimensionar a disposição dos módulos instalados para suprir a energia necessária, com base nos dados informados pelo fabricante das placas foi escolhido um modelo de controlador de carga.

Por serem encarregados de fazer todo o gerenciamento da carga gerada para ser armazenada da forma correta, com a melhor eficiência possível visando sempre também a maior longevidade do banco de baterias que será utilizado no

armazenamento, por isso o mais recomendado é a escolha de um controlador de carga MPPT que possui um melhor aproveitamento se comparado aos controladores PWM (Pinho e Galdino, 2014).

Com o modelo de controlador de carga escolhido da marca EP Solar Technology modelo XTRA2210N mostrado na figura 19 que de acordo com as especificações do fabricante suporta até 20 amperes como mostrado na Figura 16.

Figura 19 - Controlador de Carga XTRA2210N



Fonte: Manual Epever (2022)

Para saber se o controlador escolhido foi o suficiente para suprir as necessidades da usina fotovoltaica foi feito o cálculo da corrente fornecida pelo painel para ver se o controlador suporta tal corrente, utilizando a Equação (18) (Pinho e Galdino, 2014).

$$I_m = N^{\circ} \text{módulos paralelo} * I_{mp} \quad (18)$$

Figura 20 - especificações Controlador de Carga

Model	XTRA 1206N	XTRA 2206N	XTRA 1210N	XTRA 2210N	XTRA 3210N	XTRA 4210N	XTRA 3215N	XTRA 4215N
Nominal system voltage	12/24VDC/ Auto	12/24VDC/ Auto	12/24VDC/ Auto	12/24VDC/ Auto	12/24VDC/ Auto	12/24VDC/ Auto	12/24VDC/ Auto	12/24VDC/ Auto
Battery type	Lead-acid (Sealed/Gel/Flooded)/Lithium (LiFePO ₄ /Li(NiCoMn)O ₂)/User							
Battery input voltage range	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V	8~32V
Rated charge current	10A	20A	10A	20A	30A	40A	30A	40A
Rated discharge current	10A	20A	10A	20A	30A	40A	30A	40A

Fonte: Manual Epever (2023)

Sendo:

I_{mp} (A) – 3,75 A (Retirado do datasheet do fabricante do painel)

N° módulos paralelo – 1 pois será utilizado apenas um módulo

Com os dados obtidos pelo fabricante do controlador de carga foi calculado a corrente dos painéis pela Equação (18).

$$I_m = 1 * 3,75 = 3,75A \quad (18)$$

Como a corrente do painel é de 3,75A e o controlador escolhido suporta até 20A será o suficiente para conseguir fazer seu papel no sistema.

Finalizado o dimensionamento de todos estes componentes do sistema de geração, foi feito então o dimensionamento do banco de baterias que foi o encarregado de armazenar toda a energia gerada pela usina. Utilizando os dados já calculados e as formulas (20) e (21) citadas foi calculado a quantidade de baterias necessárias (Pinho e Galdino, 2014).

$$CB (Wh) = \frac{L_m * N_{dias}}{P_d} \quad (20)$$

$$CBI (Ah) = \frac{CB}{V_{sist}} \quad (21)$$

Sabendo que:

L_m (Wh) – 136,14 Wh Consumo máximo do mês L_i

N_{dias} – 3 recomendado por Pinho e Galdino

P_d – 0,2

Aplicando os valores na Equação (20) foi calculado a capacidade do banco de baterias.

$$CB (Wh) = \frac{136,14 \cdot 3}{0,2} = 2042,1Wh \quad (20)$$

Para o dimensionamento correto do banco de baterias, deve ser usado o CBI que é a capacidade do banco de baterias em amperes por hora.

$CBI (Ah)$ - Capacidade do banco de baterias

V_{sist} – Tensão nominal do sistema

Como recomendado e comumente usados foram utilizadas duas baterias de 12V em série para formar uma bateria de 24V como tensão do sistema. Foi utilizado a Equação (21) para calcular a capacidade da bateria em Ah.

$$CBI (Ah) = \frac{2042,1}{24V} = 85,0875Ah \quad (21)$$

Para o cálculo do número de baterias necessárias no sistema, foram escolhidas baterias do modelo DF2000 da marca Freedom, modelo homologado pela Anatel, como apresentada na figura 21.

Figura 21 – Bateria estacionária Freedom DF2000



Fonte: Manual técnico Freedom (2023)

Com as especificações colhidas direto do fabricante mostrada na figura 22, foi então visto que sua capacidade C20 é de 105Ah.

Figura 22 - especificações da bateria

Modelos		DF300	DF500	DF700	DF1000
Capacidade @25°C (Ah)	10 h	24	30	41	54
	20 h	26	36	45	60
	100 h	30	40	50	70
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	244
	Largura	175	175	175	175
	Altura	175	175	175	175
Peso (Kg)		8,8	9,7	12,5	14,7

Fonte: Manual técnico Freedom (2023)

Com os dados de especificação do modelo de bateria que foi utilizado foi realizado o cálculo para o dimensionamento da quantidade de baterias em série e paralelo que foram utilizadas no banco de baterias.

$$CBI_{bat} \text{ (Ah)} - 105\text{Ah}$$

$$V_{bat} - 12\text{V}$$

Para o cálculo das baterias em paralelo foi utilizada a Equação (22).

$$N^{\circ} \text{ baterias paralelo} = \frac{85,0875\text{Ah}}{105\text{Ah}} = 0,809 \text{ baterias} \quad (22)$$

E para o cálculo da quantidade de baterias em série foi utilizada a Equação (23).

$$N^{\circ} \text{ baterias série} = \frac{24}{12} = 2 \text{ baterias} \quad (23)$$

Para o banco de energia foram necessárias 1 bateria em paralelo e 2 em série formando um total de 2 baterias a serem utilizadas para o armazenamento. Para uma maior longevidade das baterias e menos risco de falhar foi utilizado o CB_{20} que é a capacidade do banco de baterias em Wh descarregar em 20 horas, e CBI_{20} é a respectiva capacidade em Ah (Pinho e Galdino, 2014).

Para uma maior longevidade das baterias e menos risco de falhar foi utilizado o CB_{20} que é a capacidade do banco de baterias em Wh descarregar em 20 horas, e CBI_{20} é a respectiva capacidade em Ah (Pinho e Galdino, 2014).

Como última parte do dimensionamento do projeto da usina fotovoltaica foi escolhido um inversor em que sua potência é maior do que a potência utilizada pela bomba de água, sendo dimensionada para trabalhar no máximo a 70% de sua capacidade máxima por questões de segurança, foi analisado alguns modelos de inversores e escolhido um inversor de potência 1000W modelo UP1000 MP3222 da marca Epeper, mostrado na figura 23.

Figura 23 - Inversor 1000W

Fonte: Manual Epeper (2023)

5.10 Automação do sistema

Para a automatização de todo o sistema de irrigação foi implantada um sistema automática de liga e desliga no reservatório onde foram instalados sensores para quando o nível do reservatório estiver em 20% ligar automaticamente a motobomba até chegar ao nível de 100% de capacidade do reservatório, e para a irrigação a válvula de escoamento da água para irrigar todo o espaço reservado para o plantio foi automatizada para abrir 3 vezes ao dia durante um período de 1 hora, tendo sua rotina programada, porém também possui acesso remoto ambas as automações, podendo serem controladas a qualquer momento pelo proprietário em casos de urgência.

A automatização do sistema consiste em uma válvula motorizada modelo 637 da marca Caleffi mostrada na figura 24 que foi instalada na saída do reservatória de água que está situado em um local a 6 metros de altura para que a pressão de queda da água fosse suficiente para correr a água na tubulação e irrigar toda a área separada para o cultivo.

Figura 24 - Modelo de válvula motorizada escolhida



Fonte: Manual Caleffi (2023)

O controle desta válvula foi alimentado por uma tomada inteligente ligada a rede wifi que foi criada e configurada uma rotina para irrigação que é feita 3 vezes ao dia sendo acionada a válvula por 1 hora todos os dias, podendo ela também ser forçada a funcionar diretamente pelo smartphone do proprietário para acionamento remoto caso haja alguma adversidade que necessite do acionamento ou parada da válvula fora de seu horário de rotina de trabalho.

Para a alimentação da válvula foi instalado na parte elétrica que alimenta a válvula um Switch inteligente do modelo RFR2 da Marca Sonoff mostrado na figura 25 que possibilita a passagem e interrupção de corrente até a tomada em que a válvula foi instalada.

Figura 25 - Switch sonoff RFR2



Fonte: Autoria própria (2023)

Finalizado o projeto foi feito a Tabela 3 para verificar todos os componentes que foram necessários para o projeto.

Tabela 3 - Componentes utilizados

Componente	Quantidade
Joelho 90 graus	1
Válvula globo	1
Reservatório Fortlev 500L	1
Sensor Boia nível	1
Motobomba 1CV BCR 2010	1
Disjuntor motor	1
Fio 4mm	8m
Painel fotovoltaico RS060P	1
Inversor UP1000 MP3222	1
Disjuntor CC	1
Controlador de carga XTRA2210N	1
Baterias estacionárias 105Ah	2
Fio 6mm	15m
Interruptor inteligente Sonoff	1

Fonte: Autoria própria (2023)

6 CONCLUSÃO

A metodologia aplicada neste trabalho tem como objetivo mostrar que as utilizações de sistemas fotovoltaicos possuem inúmeras aplicações, ajudando não apenas na geração ou economia de energia como comumente é difundido na sociedade, mas que adequando o método de geração e armazenamento da energia gerada por este tipo de usina, existem inúmeras possibilidades para sua aplicação.

Primeiramente foi feito o estudo de tudo o que deveria ser planejado, e analisado para a viabilidade da instalação do sistema no local, após isto foi feito o planejamento de como seria feito a retirada de água, o quanto de água seria necessário para irrigar a área limitada para o cultivo, seguindo do estudo solarimétrico do local e juntamente com a bomba escolhida para alimentar o sistema de irrigação foram dimensionados todos os componentes necessários para uma usina fotovoltaica *off-grid* como, painéis utilizados, controlador de carga, inversores, e banco de baterias.

Cada equipamento escolhido para este sistema foi selecionado através de cálculos que demonstravam a necessidade do sistema então para serem escolhidos os equipamentos que melhor atendessem a necessidade do sistema não apenas exercendo sua função mas também para uma maior segurança no funcionamento e na vida útil de todo o sistema de geração instalado.

Após o dimensionamento de toda a usina foi realizado o projeto de automatização da irrigação que foi feita por gotejamento. A pressão da água era a responsável pelo escoamento da água até o local, e um switch controlava a válvula motorizada para abrir e fechar, determinando uma rotina para ela seguir.

Ao final do trabalho foi observado vários pontos que influenciam muito na hora de fazer o planejamento e o dimensionamento de uma usina fotovoltaica como análise minuciosa da demanda energética que é requerida para o sistema que utilizará desta fonte de energia, estudo na viabilidade da instalação no local, dimensionamento e escolha de todos os componente não apenas os elétricos dependendo do que será necessário para o sistema final e também sendo de muita importância a manutenção de todos os componentes para evitar qualquer problema e aumentar a vida útil de todos os equipamentos instalados.

6.1 Trabalhos futuros

Com este trabalho foi mostrado o potencial não apenas econômico, mas também de aplicações de sistemas fotovoltaicos autônomos que pode ser utilizado para inúmeras aplicações.

No trabalho foi abordado apenas a utilização de sistemas fotovoltaicos autônomos para a irrigação de uma pequena horta familiar, mas a mesma aplicação pode ser aplicada em maior escala, como uma grande plantação de grandes comerciantes e fazendeiros, para uma maior facilidade e controle da irrigação de sua plantação, tornando o sistema totalmente autônomo e independente de concessionárias de energia e diminuindo a necessidade de maquinários ou trabalho humano para estas tarefas por possuir um sistema totalmente automático e com controle remoto para uma melhor segurança e versatilidade diante de adversidades de climas que são enfrentadas no período de cultivo de qualquer agricultor.

Pensando não apenas em agricultores e zonas rurais, estes projetos de sistemas independentes podem também ser utilizados em zonas urbanas, seja o projeto feito para não depender de concessionárias, escolha do proprietário ou por questões de segurança.

REFERÊNCIAS

- ABINEE - **Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica**, 2012. Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. [S.l.: s.n.], pp. 1-176. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 22/04/22.
- AMARO, Bernardo Amaro; *et al.* **Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar**. Brasília: Embrapa hortaliças, DF, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/781607/1/ct47.pdf>. Acesso em 14 de set. 2022
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2 ed. Brasília, 2005. 243p. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>
- ASAWA, G. L. Irrigation and Water Resources Engineering. New Delhi: Newage International (p) Limited, Publishers, 2008. 623 p
- CAMPOS, M. A.; BEZERRA, F.; ALCANTARA, L. D. S. Análise de viabilidade técnica e econômica do sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8., 2020, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza.
- CARNEIRO, Joaquim. **Módulos Fotovoltaicos: Características e Associações**. 2010. Uminho, Azurém, 2010. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf. Acesso em: 03 jun. 2022
- COELHO, E. F; OLIVEIRA, A. M. G; SILVA, J. G. F; COELHO FILHO, M. A; CRUZ, J. L. **Irrigação e fertirrigação na cultura do mamão**. Brasília: Livraria Embrapa, 2011. 32 p
- DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Texto para Discussão, 2018.
- ESTEVES, Bárbara dos Santos; DA SILVA, Dione Galvão; PAES, Herval Martinho Ferreira; DE SOUSA, Elias Fernandes. Irrigação por gotejamento. Niterói – RJ: Programa Rio Rural, 2012. (Programa Rio Rural. Manual Técnico, 32).
- FADIGAS, E. A. F. A. **Energia solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. 2015. GEPEA, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2015.
- FIGUEIREDO, F. M.; SCHULTZ, L. R. K.; PODOLAK, L. Projeto e desenvolvimento de um sistema fotovoltaico autônomo voltado a área rural. **Revista técnico-científica do CREA-PR**, (Guarapuava) 2018 p. 62-81, nov. 2018
- GANASCINI, Diandra.; *et al.* Comparação entre estimativa técnica e teórica de potencial de geração de energia solar fotovoltaica na área rural de cascavel. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 49., 2020,)

GIOMO, Diogo. **Desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado de baixo custo**. 2019. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

HAUPENTHAL, S. W. **Utilização de um sistema fotovoltaico amorfo em sistema de irrigação por microaspersão**. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

IRENA – International Renewable Energy Agency. Renewable capacity highlights. 31 mar. 2019. Disponível em https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE_capacity_highlights_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F

MATIAS, Jefferson Augusto Cardozo. **Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Sistemas Fotovoltaicos com Armazenamento em Baterias**. 2018. 74 f. Especialização em Eficiência Energética – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MORAES, A. M.; OLIVEIRA, E. N. C. S.; LIRA, M. A. T. Sistema fotovoltaicos de bombeamento na agricultura familiar piauiense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado.

MORALES, L. R. V. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais**. Dissertação (Pós-Graduação Stricto Sensu). Energia. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2011

NASCIMENTO, Laís F. J. **Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento com sistema fotovoltaico amorfo para bombeamento de água**. 2018 155 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Resultados da operação, boletim geração solar fotovoltaica. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/boletim-geracao-solar.aspx>. Acesso em: 07 jul. 2021.

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

PEREIRA, João B. A. **Manual prático de irrigação**. Niterói, 2014
PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESEB, 2014.

ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. **Automação Industrial**. Santa Maria: Ctism - Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2016.

SANTOS, G. H. F.; ALVES, G. M.; NASCIMENT, R. S. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Revista UNINGÁ review**, [S.l.], v. 29, n. 2, fev. 2017. ISSN 2178-2571. Disponível

em:<http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1966>. Acesso em 03 jun. 2022.

SOTANKE, V.C.; KALAMKAR, V.R. **Solar photovoltaic water pumping system** – A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 59, p. 1038 – 1067, 2016

STERZELECKI, Gustavo Remi Carneiro. **Tecnologias de armazenamento de energia elétrica e sua integração com sistemas fotovoltaicos de pequeno e médio porte**. 2018. 101f. Trabalho de Conclusão de Curso da Especialização em Energias Renováveis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

TIEPOLO, G. M. et al. ATLAS DE ENERGIA SOLAR DO ESTADO DO PARANÁRESULTADOS. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018. 2018

VINTURINI, Mateus. **Armazenamento de energia: tecnologias de baterias elétricas**. Canal solar, 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/armazenamento-deenergia-tecnologias-de-baterias-eletricas/>. Acesso em: 12 mai. 2022.

VINTURINI, Mateus. **Como adaptar um sistema fotovoltaico existente para o uso com baterias**. Canal solar, 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/como-adaptar-um-sistema-fotovoltaico-existente-para-o-uso-com-baterias/>. Acesso em: 12 mai. 2022.