

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS – CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

MARCILENE CARVALHO DE SOUZA

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICO PARA SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO DE AGRICULTURA FAMILIAR**

**PALMAS - TO
2023**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS – CAMPUS PALMAS**

CURSO DE GRADUAÇÃO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCILENE CARVALHO DE SOUZA

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICO PARA SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO DE AGRICULTURA FAMILIAR**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Graduação submetido à Coordenação do Curso do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Tocantins – *Campus Palmas*, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lima Albuquerque

PALMAS - TO
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S719u Souza, Marcilene Carvalho de
Utilização de sistemas fotovoltaico para sistemas de irrigação de
agricultura familiar / Marcilene Carvalho de Souza. – Palmas, TO,
2023.

44 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Fábio Lima Albuquerque

1. Fotovoltaica. 2. Bombeamento. 3. Agricultura familiar. I.
Albuquerque, Fábio Lima. II. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

MARCILENE CARVALHO DE SOUZA

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICO PARA SISTEMA
DE IRRIGAÇÃO DE AGRICULTURA FAMILIAR

Projeto do Trabalho de Conclusão de
Graduação submetido à Coordenação do
Curso do curso de Engenharia Elétrica do
Instituto Federal do Tocantins – *Campus*
Palmas, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 28/09/2023

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Fábio Lima Albuquerque (orientador)
IFTO - *Campus* Palmas



Prof. Me. Adail Pereira de Carvalho
IFTO - *Campus* Palmas



Engenheira Érika Rebeca Pereira Oliveira

RESUMO

A utilização de sistemas solares fotovoltaicos para sistemas de irrigação na agricultura familiar tem se mostrado uma solução promissora e sustentável para enfrentar os desafios de fornecimento de água e energia nesse setor. A agricultura familiar desempenha um papel importante na segurança alimentar e no desenvolvimento rural, mas muitas vezes enfrenta dificuldades de acesso a recursos, como água e eletricidade. A integração de tecnologias solares fotovoltaicas oferece benefícios significativos. Os sistemas solares fotovoltaicos convertem a luz solar diretamente em eletricidade, eliminando a necessidade de conexão à rede elétrica convencional. Isso é vantajoso para a agricultura familiar, que muitas vezes está localizada em áreas remotas e de difícil acesso. Esses sistemas podem alimentar bombas de água utilizadas em sistemas de irrigação, permitindo o uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis. A principal vantagem dos sistemas solares fotovoltaicos é a sua sustentabilidade ambiental. Eles não emitem gases de efeito estufa nem causam poluição do ar ou da água, reduzindo o impacto ambiental da agricultura. Além disso, a energia solar é uma fonte abundante e renovável, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Em termos econômicos, a utilização de sistemas solares fotovoltaicos pode resultar em economias significativas a longo prazo. Embora o investimento inicial possa ser relativamente alto, os custos operacionais e de manutenção são baixos. Isso é especialmente benéfico para agricultores familiares com recursos financeiros limitados, uma vez que os custos de energia podem ser uma parte significativa de seus gastos totais.

Palavras-chaves: Fotovoltaica, Bombeamento, Agricultura familiar.

SUMMARY

The use of photovoltaic solar systems for irrigation systems in family farming has proven to be a promising and sustainable solution to face the challenges of water and energy supply in this sector. Family farming plays an important role in food security and rural development, but often faces difficulties in accessing resources such as water and electricity. The integration of solar photovoltaic technologies offers significant benefits. Solar photovoltaic systems convert sunlight directly into electricity, eliminating the need for connection to the conventional electrical grid. This is advantageous for family farming, which is often located in remote and difficult to access areas. These systems can power water pumps used in irrigation systems, allowing efficient use of available water resources. The main advantage of photovoltaic solar systems is their environmental sustainability. They do not emit greenhouse gases or cause air or water pollution, reducing the environmental impact of agriculture. Furthermore, solar energy is an abundant and renewable source, reducing dependence on fossil fuels and contributing to climate change mitigation. In economic terms, the use of solar photovoltaic systems can result in significant savings in the long term. Although the initial investment may be relatively high, operating and maintenance costs are low. This is especially beneficial for family farmers with limited financial resources, as energy costs can be a significant part of their total expenses.

Keywords: Photovoltaics, Pumping, Family farming.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	6
1.1.1 JUSTIFICATIVA	7
1.2 OBJETIVOS	7
1.2.1 OBJETIVO GERAL	7
1.2.1.1 Objetivos Específicos	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1 AGRICULTURA FAMILIAR.....	8
2.1.1 TIPOS CULTIVOS DA AGRICULTURA FAMILIAR	9
2.2 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO FOTOVOLTAICO	9
2.3 COMPONENTES DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO.....	11
2.3.1 GERADORES FOTOVOLTAICO	12
2.3.2 CONJUNTO MOTOBOMBA	12
2.3.2.1 Motor	13
2.3.2.2 Bomba	13
2.3.2.3 Bombas Centrífugas	14
2.3.2.4 Bombas Volumétricas	15
2.4 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	16
2.4.1 Sistemas de Irrigação por Superfície.....	17
2.4.2 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO	17
2.4.3 Sistemas de Irrigação Localizada	17
2.4.4 Sistemas de Irrigação Subterrâneo	18
3 METODOLOGIA	19
3.1 TIPO DE PESQUISA	19
3.2 COLETA DE DADOS.....	20
3.3 TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	20
3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO.....	20
3.4.1 Determinação da demanda de água.....	22
3.4.2 Diâmetro da tubulação	23
3.4.3 Determinação da altura manométrica do sistema	25
3.4.4 Determinação da demanda e potência requerida pela bomba.....	28
3.4.5 Determinação do Motobomba	28
3.4.6 Determinação dos módulos fotovoltaicos	29
4 DIMENSIONAMENTO E APLICAÇÃO	31
4.1 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA.....	32
4.1 DETERMINAÇÃO DA ALTURA MANOMÉTRICA DO SISTEMA	33
4.2 DETERMINAÇÃO DO MOTOR BOMBA	35
4.4 DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	37
4.5 – ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO	38
5 CONCLUSÃO.....	40
6 REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A agropecuária brasileira, que está entre as maiores produtoras de grãos e proteína animal do mundo devido aos solos férteis, ao clima bastante favorável, e avanços nas técnicas de plantio e criação de animais, tem sido cada vez mais cobrado pela comunidade internacional a desenvolver práticas sustentáveis. Além disso, o setor é obrigado a lidar com mudanças climáticas, que em 2021 causaram diversos danos nas regiões Sul e Centro-Sul, com secas, inundações e geadas, fazendo com que essas regiões sofressem com a falta de água, dependendo da irrigação para manter a lavoura, principalmente para a agricultura familiar. Então, cada vez mais é preciso buscar meios de reduzir riscos na atividade agrícola. Uma das formas de fazer isto, é por meio da irrigação de pastos e lavouras e instalação de bebedouros para animais, utilizando a energia solar, pois ela favorece a implantação ou expansão das áreas de cultivo (BITTENCOURT, 2021). Bombas de irrigação movidas a energia solar são soluções inteligentes para os produtores rurais, evitando o custo com a expansão da rede elétrica e com a tarifa de energia (HCC ENERGIA SOLAR, 2022).

Assim, a energia solar vem crescendo no Brasil e já é uma tendência no setor de bombeamento para a agropecuária, principalmente em relação aos pequenos agricultores. Os avanços tecnológicos proporcionam ferramentas que ajudam o produtor a otimizar a produtividade e os lucros da lavoura. Por isso, o uso dessa tecnologia para irrigação é uma alternativa para solucionar alguns problemas na agricultura, para que tenha uma produção em boa quantidade e continuada.

1.1 Problema de pesquisa

Através de análises técnicas têm-se observado dificuldades de produção agrícola e do desenvolvimento da agricultura familiar, devido à ausência de tecnologia para uso em irrigação, fazendo com que esses plantios se tornem ineficientes e fiquem à disposição das condições climáticas.

1.1.1 Justificativa

Assim, esse trabalho se justifica, pois ao estudar meios de viabilizar a aplicação sistemas fotovoltaico para bombeamento de água, com objetivo de fornecer energia elétrica para o sistema de irrigação agrícola, esta poderá ter uma produção maior e mais constante de alimentos, tanto para a venda como para consumo próprio, melhorando assim a qualidade de vida dessas comunidades rurais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de um estudo de aplicação da tecnologia fotovoltaica para irrigação agrícola em comunidades familiares, verificando qual a melhoria na produção de alimentos e o quanto isso se torna rentável para esse fim, levando-se em consideração a melhoria das condições alimentares e econômicas.

1.2.1.1 Objetivos Específicos

- Levantamentos das características das técnicas de plantio e irrigação da agricultura familiar;
- Levantamentos dos equipamentos de bombeamento de água e sistemas solares fotovoltaicos utilizados nas irrigações de plantios e produção agrícola dessas comunidades;
- Análise técnica e econômica da utilização de sistemas fotovoltaicos integrado com bombeamento de água para irrigação dessas lavouras;
- Análise dos benefícios da utilização da irrigação na lavoura, para maior produção agrícola.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Agricultura Familiar

A agricultura familiar não existe uma definição universal. Em alguns países o conceito é bastante amplo no que se refere ao tamanho da propriedade e os diferentes níveis de renda e de produção, sendo que a referência básica é a condução de ser exclusivamente familiar. Nos estados Unidos este conceito inclui propriedades de todos os tamanhos e diferentes níveis de renda e administrada pela família (EMBRAPA,2014).

No Brasil a agricultura familiar foi definida pela Lei 11.326/2006 que determinou as seguintes características da categoria, a delimitação de área, o uso predominante de mão de obra familiar nas atividades econômicas, e um percentual mínimo da renda originada das atividades econômicas desenvolvidas no estabelecimento (RECoDAF, pg.43,2022).

O Censo Agropecuário de 2017, levantamento feito em mais de 5 milhões de propriedades rurais de todo o Brasil, aponta que 77% dos estabelecimentos agrícolas do país foram classificados como da agricultura familiar. Em extensão de área, a agricultura familiar ocupava no período da pesquisa 80,9 milhões de hectares, o que representa 23% da área total dos estabelecimentos agropecuários brasileiros (CENSO AGRO,2017).

De acordo com o levantamento, a agricultura familiar empregava mais de 10 milhões de pessoas em setembro de 2017, o que representa 67% do total de pessoas ocupadas na agropecuária. A agricultura familiar também foi responsável por 23% do valor total da produção dos estabelecimentos agropecuários (CENSO AGRO,2017).

A agricultura familiar tem um papel muito importante na alimentação das famílias, os pequenos agricultores familiares atendem às demandas do comércio locais, sendo, portanto, responsáveis pela produção de alimentos em pequenas cidades brasileiras, que ficam fora do grande centro comerciais de alimentos. Este tipo de agricultura não produz commodities e não visa à exportação, não é concorrente

dos grandes sistemas patronais e é uma atividade que não usa agrotóxico na produção (UNIDERP,2020).

2.1.1 Tipos Cultivos da agricultura familiar

A agricultura familiar desenvolve vários tipos de cultura e que, apesar da pequena produção, tem qualidade e característica altamente distribuída, ou seja, está próxima do consumidor. As práticas ambientais adotado pela agricultura familiar são mais sustentáveis, devido, a sua característica de produção em pequena escala e por evitar os riscos proporcionados pelas monoculturas de grandes propriedades. Com isso estimulando à produção de alimentos orgânicos ou obtidos por meio da agroecologia, sendo um produto que apresenta um diferencial e competitivo na busca por qualidade e responsabilidade socioambiental (CODAF,2006).

De acordo com dados do IBGE (2017), os alimentos que foram para a mesa dos brasileiros, a agricultura familiar teve uma participação significativa. Nas culturas permanentes, o segmento responde por 48% do valor da produção de café e banana; nas culturas temporárias, são responsáveis por 80% do valor de produção da mandioca, 69% do abacaxi e 42% da produção do feijão.

2.2 Sistema de Irrigação Fotovoltaico

A instalação de um sistema de bombeamento de água utilizando a energia elétrica fotovoltaica, contribui para o desenvolvimento de uma comunidade, diversificando a cadeia produtiva, melhorando a geração de renda e o abastecimento do uso doméstico, proporcionando melhores condições de vida através da energia limpa (ALBUQUERQUE, p.146.2007).

A tecnologia fotovoltaica segundo Campos (2018), consolidou-se tecnicamente e vem sendo adotada para eletrificação rural, tendo como uma das principais aplicações o bombeamento de água, uma vez que, é imprescindível o contínuo fornecimento de energia elétrica para os sistemas de irrigação que atendam as unidades agrícolas, pois, a agricultura familiar, hoje, é responsável por 75% dos alimentos que vai para mesa do brasileiro.

As primeiras aplicações comerciais do bombeamento fotovoltaico, foi em 1978 na ilha de Córsega, desenvolvido na tese de doutorado de Dominique Campana e instalado em campo. Utilizando módulos da empresa Philips e bomba de corrente contínua desenvolvida em conjuntos com engenheiros de empresa Guinard, o sistema abastecia uma fazenda de criação de ovelhas. Após este primeiro sistema, alguns outros foram instalados na Europa. No entanto, o primeiro em grande escala foi no continente africano, mais especificamente em Mali, onde em 1970, após fracassadas experiências com abastecimento de água por meio de bombas a diesel, manual e a pedal as primeiras bombas fotovoltaicas foram instaladas para reduzir os efeitos da seca (FEDRIZZI; SAUER,2002).

Segundo FREDRIZZI e SAUER (2002), entre 1979 e 1981 em Mali nas Filipinas e no Sudão, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), World Bank Group e Intermediate Technology Development Group (ITDG), executaram um projeto para avaliação e realização de testes de um sistema fotovoltaico para pequenas irrigações (100Wp a 300Wp).

Já entre 1998 e 2002, German Cooperation Agency, deu início a um Projeto Piloto de Irrigação por Bombeamento Fotovoltaico onde 90 sistemas foram instalados no Brasil, Jordânia, Indonésia, Argentina, Filipinas e Zimbábue. Outro local de instalação de projetos foi o norte da África, onde o Programa Regional Solar instalou 1.040 sistemas com total de 1,3MWp, para oito países da região do Saara. Com objetivo de fornecer água para comunidades e para agricultura, 50 sistemas também foram instalados em Marrocos com apoio da União Europeia (FLORES, p.33,2019).

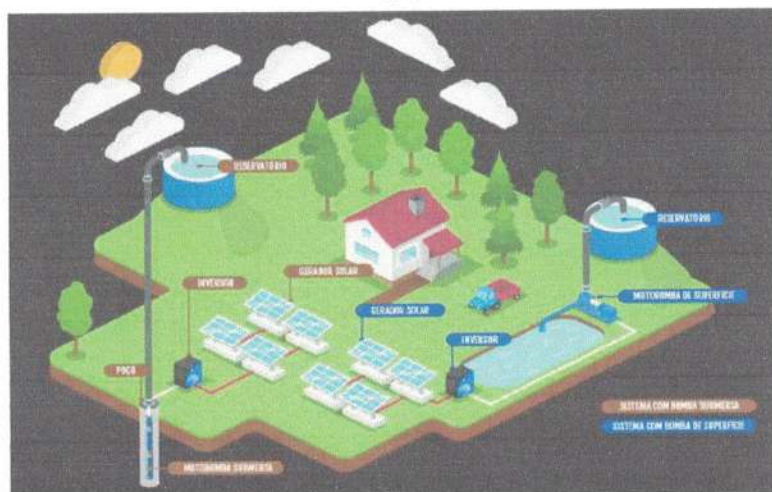
De acordo com European Photovoltaic Industry Association (EPIA), em 2010, havia 150.000 sistemas instalados no mundo. Em média cada sistema possuía uma potência de 800 Wp, com altura de 60 m e vazão de 40m³/dia. No Brasil, até 2002, 3.921 sistemas foram instalados, sendo 32 para produção agrícola (FLORES, p.34,2019).

2.3 Componentes do Sistema de Bombeamento Fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação mais simples incluem um sistema de geração fotovoltaica conectado diretamente a um conjunto de motor bomba em CC, sendo este último conectado diretamente ao sistema de distribuição de água para a agricultura. Existem sistemas que pode incluir armazenamento com baterias ou reservatório de água, que tem condicionamento de potência para otimizar o acoplamento entre o gerador e a motobomba, e seguimento solar para maximizar a quantidade de água bombeada. Além disso, quando necessário, pode haver o uso de um subsistema de bombeamento para a elevação da pressão (MORALES, pg.46,2011).

As bombas de água acionadas por meio de geração fotovoltaica são as mais viáveis para abastecimento regular e confiáveis em regiões remotas, pois dispensam a compra e transporte de combustível. Normalmente, essas bombas de água utilizando o sistema fotovoltaico com vazões menores do que 50 m³/dia e alturas volumétricas menores do que 20 m são mais baratas do que as com sistemas a diesel (CRESESB, p.90,1999). A Figura 01 apresenta um diagrama de um sistema de bombeamento com aplicações para o consumo humano e irrigação.

Figura 01- Diagrama de um sistema fotovoltaico de bombeamento com aplicações para consumo humano e irrigação.



Fonte:(IRRIGASSOL, 2022).

As bombas aplicadas em bombeamento de água com geração fotovoltaica, podem ser usadas as bombas centrífugas e volumétricas de deslocamento positivo. Elas possuem características e princípios diferentes. As bombas centrífugas se classificam como submersas e superficiais e as bombas volumétricas como bombas de pistão com contrapeso e bombas de cavidade progressiva (CRESESB, p.90,91,1999).

2.3.1 Geradores Fotovoltaico

O gerador fotovoltaico é constituído por módulos conectados em associações em series e/ou paralelo, para poder atingir os parâmetros de trabalho requeridos pela motobomba. O gerador fotovoltaico deve ser montado sobre uma estrutura feita de material resistente as condições de intempéries. Essa estrutura pode ser do tipo fixa ou móvel. O gerador fotovoltaico deve ser instalado na direção ao Norte para a localidades do hemisfério sul em direção ao sul para as localidades do hemisfério norte, com inclinação no ângulo da latitude local (MORALES, p.47, 2018).

De acordo com ALVARENGA et al. (2014), a quantidade de água bombeada varia de acordo com nível de insolação, a qual a capacidade máxima de bombeamento só ocorre durante alguns poucos momentos do dia. Por isso, que a capacidade do sistema de bombeamento solar deve ser especificada em m^3/dia e não em m^3/hora como nos sistemas convencionais.

2.3.2 Conjunto Motobomba

A motobomba é o elemento do sistema responsável por transformar a energia elétrica em energia mecânica (FLORES, p.40, 2019). A motobomba pode ser movido a diesel, gasolina ou a eletricidade. Um conjunto de motobomba pode funcionar para um único agricultor ou compartilhada, desde que a irrigação seja setorizada, isto é, o tempo de funcionamento da motobomba seja dividido entre os agricultores (COELHO et al, p.8, 2014).

2.3.2.1 Motor

O motor elétrico é um componente que transforma a energia elétrica em energia mecânica, a qual será aproveitada pela bomba. Os motores podem ser de corrente contínua ou corrente alternada. Os motores CC são atrativos para pequenas potências, principalmente porque permitem um acoplamento direto com o gerador fotovoltaico. Para maiores potências, o uso de motores CA com inversores CC-CA é mais atrativo, devido ao seu custo (MORALES, p. 51,2011).

Os motores CC são aplicados em poços rasos e outras fontes superficiais de água. O motor e a bomba são acoplados formando um único equipamento, que pode flutuar na água. Utilizando os motores CC com operação por comutação eletrônica, aumenta a confiabilidade e exige pouca manutenção. Um sistema de tamanho médio pode bombear cerca de 100 m³/dia para uma altura manométrica de 4 metros (CRESESB, p.93,1999).

Os motores CA são utilizados em Sistemas Fotovoltaicos de bombeamento de água submersos, adequados para grandes profundidades. Em sistemas projetados para poços profundos, o conjunto motobomba é colocado no interior do poço. O motor é acionado por um inversor, especialmente projetado para dar partida no motor e possuir frequência variável, casando a tensão de saída do arranjo com a carga do motor. A combinação da bomba e o inversor, podem alcançar uma eficiência superior a 90%. Um sistema de tamanho médio pode bombear cerca de 20 m³ por dia através de uma altura manométrica de 30 metros (CRESESB, p.93,1999).

2.3.2.2 Bomba

As bombas são equipamento responsável pelo deslocamento de fluidos através do acionamento do motor. É por meio dela que se transfere a energia cinética do eixo de interligação do motor para o fluido, aumentando sua pressão e velocidade (CARVALHO, p.30, 2019). Existem duas categorias que podem ser usadas no Sistemas fotovoltaico, bombas centrífugas e volumétricas.

2.3.2.3 Bombas Centrifugas

As bombas centrifugas são bombas rotativas, que possuem pás giratórias, que giram em alta velocidade, criando uma pressão e forçando o fluxo da água. São adequadas para grandes volumes de água e pequenas alturas manométricas. Elas têm sido utilizadas para capacidade de bombeamento de até 1.200 m³/dia e alturas manométricas entre 5 e 6 metros. As mesmas devem ser projetadas com uma pressão e vazões específicas, pois quando é utilizada fora da faixa de projeto reduz a sua eficiência. Quanto maior é a sua rotação maior é o volume de água bombeada (ALVARENGA, p. 4,2019).

Segundo FEDRIZZI (p.37,1997), o tipo de mecanismo das bombas centrifugas requer potência de partida do motor próximo do normal da bomba. Este funcionamento do motor próximo ao normal é uma característica muito importante para os sistemas de bombeamento fotovoltaicos, uma vez que não exige uma potência instalada acima do necessário para o funcionamento normal do sistema ou até mesmo a necessidade de acumulador específico para o arranque do sistema. Existem dois tipos de bombas centrifugas: Bombas superficiais e as de superfície. Na Figura 02 mostra uma configuração de sistemas fotovoltaico de bombeamento com bomba de superfície.

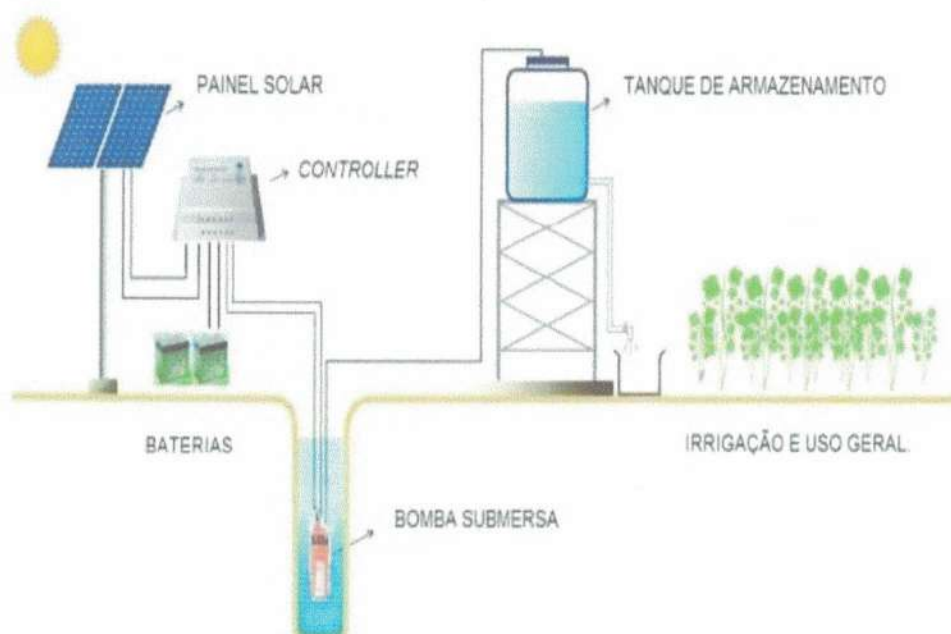
Figura 02 – Configuração de sistemas fotovoltaico de bombeamento com bomba superfície.



Fonte: (SUNGOLD,2022).

As bombas de superfície são instaladas nas proximidades da superfície da água, bombeando água para o reservatório. São bombas econômicas e fácil manutenção (PORTAL SOLAR,2022). A Figura 03 mostra uma configuração de sistemas fotovoltaico de bombeamento com bomba submersa.

Figura 03 - Configuração de sistemas fotovoltaico de bombeamento com bomba submersa.



Fonte:(SANTOS, 2018).

As bombas submersas solares, são instaladas imersa na água, seja em um reservatório, poço ou na água corrente. Ela possui uma simples manutenção, é econômica e está disponível em pequeno e médio porte (PORTAL SOLAR,2022).

2.3.2.4 Bombas Volumétricas

As bombas volumétricas são equipamentos que tem um deslocamento positivo, muito utilizada quando se deseja atingir grandes alturas manométricas com pequenos ou moderados volumes de água. A eficiência das bombas manométricas aumenta conforme com o aumento da altura manométrica. A vazão de água das bombas

volumétricas tem menor dependência com altura manométrica, se comparada com as centrífugas (PINHO, p.271,2014)

As bombas volumétricas apresentam algumas características de operação, que não permite um ajuste perfeito com a saída do arranjo fotovoltaico quanto as das centrífugas. Devido essas características, elas não são muito adequadas para ligação direta aos arranjos fotovoltaicos, uma vez que a corrente necessária muda a cada ciclo da bomba (DOMOND, p.15,2018)

Segundo PINHO (2014), os tipos de bombas volumétrica mais usada em sistemas fotovoltaicos são as bombas de diafragma, adequadas para apenas a pequenas alturas manométricas, e as bombas de 'pistão com contrapeso (também chamadas bombas cavalete, de bombas jack ou donkey) ou as bombas de cavidades de progressivas (algumas vezes, chamadas de bombas de parafuso), para grandes alturas volumétricas.

2.4 Sistemas de Irrigação

A irrigação é uma técnica milenar que nos últimos anos têm-se desenvolvido acentuadamente, apresentando equipamentos e sistemas para mais distintas condições. No passado, a irrigação era uma opção técnica de aplicação de água que visava principalmente a luta contra a seca. Atualmente, na visão do foco empresarial do agronegócio, a irrigação tem o conceito de estratégia para o aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade agrícola de forma sustentável, preservando o meio ambiente e criando condições para manutenção do homem no campo, através da geração de emprego e renda (MANTOVANI, p.13, 2013).

De acordo com BERNARDO (2013), mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos na agricultura irrigada. Com o crescimento contínuo da população mundial, vem exigindo uma agricultura competitiva e técnica, que produza alimentos de melhor qualidade e maior quantidade.

2.4.1 Sistemas de Irrigação por Superfície

Os sistemas de superfície a água, é aplicada diretamente no solo, através do efeito da gravidade que se movimenta e infiltra no solo. Os sistemas de irrigação por superfície pode ser sistemas de irrigação por sulcos que é aplica parcialmente no solo e sistema por inundação onde a água é aplicada na área plantada e acumula na superfície do solo e infiltrando no mesmo. (TESTEZLAF p.11,2017). A Figura 04 mostra os sistemas de irrigação por sulcos e por inundações.

Figura 04- Sistema de irrigação por superfície: sulcos (esquerda) e inundação (direita).



Fonte: (TESTEZLAF,2017)

2.4.2 Sistemas de Irrigação por Aspersão

A irrigação por aspersão água é aplicada na área plantada como se fosse uma chuva artificial, através de um mecanismo giratório que esparge água da tubulação sobre pressão. Geralmente são utilizados os aspersores de rotação lenta, ao redor de um eixo vertical, movimento gerado pelo impacto constante de um braço móvel, que aciona o jato do próprio aspersor, mais podem também ser utilizados aspersores de rotação rápida e do tipo pivô central ou canhão giratório. Este sistema consome muita energia elétrica (MORALES, p.24,2011).

2.4.3 Sistemas de Irrigação Localizada

Define-se como sistema de irrigação localizada a aplicação de água diretamente na região radicular com baixa vazão e alta frequência, para mantendo a

umidade do solo próximo a capacidade de campo. Os principais sistemas de irrigação localizada são gotejamento e micro aspersão. A irrigação localizada por gotejamento ou micro aspersão tem se expandido de forma muito rápida no cultivo de frutas e verduras (MANTOVANI, p.227,2013).

O sistema de irrigação por gotejamento é aplicado diretamente em um ponto específico, onde a superfície do solo fica com uma área molhada em forma circular e o seu volume molhado na forma de bulbo. Quando os pontos de gotejamento são próximos, forma uma faixa molhada contínua. No caso da microaspiração, a área é molhada em forma de discos ou faixas molhadas embaixo da copa das plantas (BERNARDO, p.484, 2013). A Figura 05 apresenta o sistema de irrigação localizada por gotejamento e micro aspersão.

Figura 05 - Sistemas de irrigação localizada: gotejamento (esquerda) e micro aspersão (direita)



Fonte: (TESTEZLAF,2017)

2.4.4 Sistemas de Irrigação Subterrâneo

É o sistema em que a água é aplicada abaixo da superfície do solo, formando ou controlando o lençol freático, na região em que pode ser aproveitada pelas raízes das plantas (ANA, p.11,2021).

Na Figura 06 mostra o sistema de irrigação subterrânea.

Figura 06 - Sistema de irrigação subterrânea.



Fonte: (TESTEZLAF,2017)

De acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA (2021), a princípio não existem um sistema de irrigação ideal, apenas tem que ser avaliado qual o sistema é adequado para cada tipo de solo e manejo. A irrigação de superfície exige menos investimento e menos tecnologia. O sistema por aspersão não é indicado para um terreno com alta taxa de infiltração e maior declividade. Os sistemas localizados não são ideais para o cultivo do milho, feijão e soja, pois requer uma boa qualidade da água e possuem alto custo de implantação e manutenção.

3 Metodologia

3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa científica é estudo de caso, baseado em pesquisa bibliográfica e documental em livros, artigos, monografias e dissertações de mestrado que abordam conteúdos sobre aplicação de bombeamento fotovoltaico em sistema de irrigação de forma que permita um conhecimento amplo e detalhado sobre o objeto de estudo.

O estudo de caso se adequa ao tipo de pesquisa exploratória, definindo esta como um objeto que visa uma proximidade maior com o problema, explicitando-o.

Observa-se que os elementos que compõem o estudo de caso vão ao encontro do objetivo principal deste trabalho, que é buscar fazer uma análise da necessidade

do aumento da produção agrícola, visando a melhoria alimentar e econômica ao aplicar esta tecnologia em campo.

3.2 Coleta de dados

Os dados para o dimensionamento do sistema de bombeamento fotovoltaico, foram definidos através do volume de água necessário a ser utilizado na irrigação diariamente. Para determinação desse volume de água, deve-se fazer um levantamento do tamanho da área a ser irrigada e o tipo de cultivo a ser plantada.

3.3 Tratamento e análise de dados

A metodologia aplicada neste trabalho está fundamentada em pesquisa bibliográfica e coleta de dados e parâmetros técnicos.

Para coleta dos dados, foi realizada um levantamento teórico aplicado a um local determinado, para a medição da área a ser irrigada e o tipo de atividade agrícola a ser utilizada. Foi feito um levantamento dos equipamentos a serem utilizados (módulos solares, bombas e acessórios), de acordo com a necessidade aplicada ao trabalho, juntamente com os custos de aquisição e implementação desses nos locais a serem analisados.

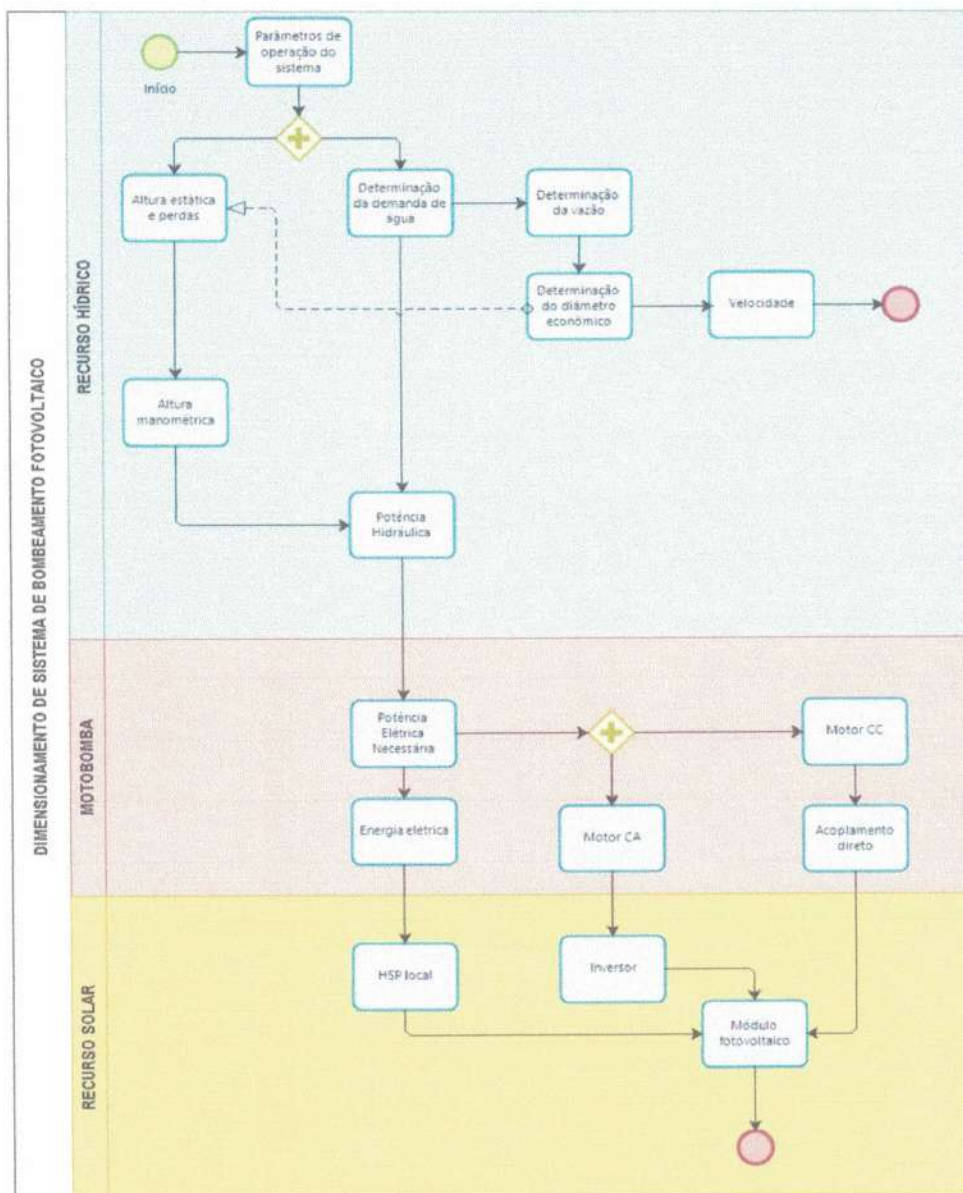
Após feito todo esse levantamento de dados, baseado nesses valores dos gastos e ganhos com a produção agrícola, será feita uma análise de viabilidade técnica e econômica do trabalho.

3.4 Dimensionamento do Sistema de Bombeamento Fotovoltaico

Um Sistema de Bombeamento Fotovoltaico (SBFV) deve ser projetada de acordo com a estrutura socioeconômica da área específica, tendo como principal objetivo: melhorar a qualidade de vida das pessoas, criar postos de trabalho na localidade, promover empregos, empregar recursos e materiais locais, ser compatível com a cultura e as práticas locais e maximizar o uso de energias renováveis (FURTADO, pg.07, 2020). Além disso é necessário conhecer os parâmetros de

operação do sistema para determinar a demanda, a vazão, altura manométrica e disponibilidade de recurso. A Figura 07 mostra o fluxograma que deve ser seguido nas etapas de dimensionamento do sistema de bombeamento fotovoltaico (FLORES, pg.48,2019).

Figura 07- Fluxograma para dimensionamento de sistema de bombeamento fotovoltaico.



Fonte: (FLORES,2019)

3.4.1 Determinação da demanda de água

A estimativa do consumo diário de água é a primeira etapa de um projeto de SBFV, uma vez que, este consumo equivale ao consumo de energia elétrica em um projeto para eletrificação. Essa etapa é fundamental para o correto dimensionamento do sistema de geração, especificação da bomba, reservatórios e tubulações (GALDINO et al, pg.319,2014).

Os sistemas de bombeamento fotovoltaico podem ser utilizados para abastecer de água as comunidades rurais e para fins de irrigação. O abastecimento de água a comunidades rurais inclui usos como horticultura e criação de pequenos animais (FRAIDENRAICH, pg.71,1999). Para cada finalidade, assim como as características de uso próprios de cada local, apresenta necessidades variadas. As informações de consumo por atividade da Tabela 01, é uma alternativa quando não dispões de um valor exato de consumo. Devido ao clima, tipo de solo e período de safra, a necessidade de água para o cultivo pode variar bem mais que a necessidade humana e animal. (GALDINO et al, pg.319,2014). A Tabela 01 apresenta a estimativa de consumo médio de água por uso final de cada atividade.

Tabela 01 – Índice de Consumo de Água.

Setor	Consumo (1)	Base (unid)	Consumo Específico Inferior (2)	Consumo Específico Superior (3)	Effluente (%)
Grandes consumidores					
Siderurgia					
Alto Forno	43m ³ /h	t	1,7m ³ /t		
Aciaria	228m ³ /h	t	8,6m ³ /t		
Laminação	78m ³ /h	t	5,0m ³ /t		
Trefilação	75m ³ /h	t	0,8m ³ /t		
Eletrometalurgia		t	37m ³ /t		
Refino de Petróleo	12.000m ³ /di	m ³	0,5m ³ /m ³		60%
Gasolina	a	t	7m ³ /t	34m ³ /t	
Petroquímica		t	150m ³ /t	800m ³ /t	
Cerâmica	16.000m ³ /m ² ês	m ²	0,01m ³ /m ² azulejo		
Celulose e Papel					
Pasta de Celulose	200m ³ /h	t		93m ³ /t	
Papel		t	53m ³ /t		
Consumidores médios					
Agroindústria					
Soja		t	0,2m ³ /t	0,9m ³ /t	65%
Algodão		t	0,3m ³ /t		
Cacau		t	1,2m ³ /t		20%
Café		t	0,1m ³ /t		
Mandioca		t	2m ³ /t	4m ³ /t	

Fonte: (ANA ,2013)

- 1 - Faixa de Consumo de água por linha de produção.
- 2 - Consumo mínimo por unidade de produção.
- 3 - Consumo máximo por unidade de produção.

Na finalidade de irrigação, as estimativas de demandas de água visando a outorga consideram as necessidades hídricas dos diferentes estágios de desenvolvimento das culturas e um balanço hídrico local para atendimento da irrigação em anos críticos quanto ao clima. Alguns dados importante para determinação da demanda de água, a evapotranspiração de referência mensal - Eto (mm/mês), a precipitação efetiva provável mensal - Pp% (mm/mês), tipo sistema de irrigação, tipos de culturas irrigadas em cada sistema de irrigação, área irrigada a partir do ponto de captação (ha), eficiência de cada sistema de irrigação (%), coeficientes de culturas mensais - Kc (conforme a cultura e etapa fenológica) e correções dos coeficientes de culturas - Kaj (caso for necessário) (ANA,pg.61,2013).

O cálculo do volume necessário de água é baseado na quantidade de água que cada tipo de plantação necessita por hectares (FURTADO, pg.31,2020). Então, a vazão Q (m³/dia) está expressa na Equação 3.1.

$$Q = \frac{A * C}{1000} \quad (3.1)$$

Q - Vazão, m³/dia.

C – Consumo de água litros/(ha.dia).

A – Área de plantio, hectares.

O tamanho do reservatório, deve atender os dias de autonomia solicitado pelo usuário, conforme ao sistema para eletrificação (GALDINO et all, pg.320,2014).

3.4.2 Diâmetro da tubulação

O diâmetro interno é fundamental na escolha da canalização, uma vez que, quanto maior a vazão a ser bombeada, maior deverá ser este diâmetro interno, tem por finalidade diminuir as velocidades e, conseqüentemente as perdas de cargas. Existem várias fórmulas para dimensionar o diâmetro interno mais indicado para uma

determinada vazão. As perdas dos tubos e conexões são tabeladas por seus fabricantes. No entanto, para efeito de cálculos, utiliza-se a fórmula de Bress da Equação 3.2 para dimensionar os diâmetros dos tubos (FRANCISCO, pg.29,2011).

$$D = K\sqrt{Q} \quad (3.2)$$

D- Diâmetro interno do tubo (m);

K-Coeficiente de custos de investimentos x custo operacional, que varia entre 0,8 e 1,0;

Q- Vazão, m³/s.

O valor de K depende de diversas variáveis que envolvem o projeto, cabe ao projetista determinar o valor a ser adotado, utilizar a fórmula de Bresse equivale a fixação da velocidade do sistema. Como o sistema de bombeamento fotovoltaico depende da radiação local é um sistema muito variável, assim sob condição de funcionamento intermitente a fórmula recomendada é definida na ABNT NBR 5626 (3.3), onde T é o período de funcionamento da bomba por dia em horas fotovoltaico (FLORES, pg.50,2019).

$$D = 1,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{T}{24}} \cdot \sqrt{Q} \quad (3.3)$$

Dr = diâmetro de recalque – em metros ou milímetros (m ou mm);

T = período- número horas de funcionamento da bomba por dia;

Q = vazão - em metros cúbicos por segundo ou metros cúbicos por hora (m³/s ou m³/h).

O Ds = diâmetro de sucção é o diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro de recalque calculado pela fórmula anterior – em metros ou milímetros (m ou mm).

A Equação 3.3 calcula o diâmetro da tubulação de recalque, sendo que, na prática, para a tubulação de sucção adota-se um diâmetro comercial superior.

Segundo JUSTINO (2012), se o valor encontrado pela fórmula da ABNT não coincidir com um diâmetro comercial, o diâmetro de recalque (D_r) deverá ser um diâmetro comercial inferior ou superior ao calculado. Portanto, devemos submetê-lo ao cálculo da velocidade econômica para comprovação, em que a velocidade econômica (v) fica entre 0,5 e 4,0 metros por segundo (m/s), dada pela equação 3.4.

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2 \times r} \quad (3.4)$$

V- Velocidade econômica, m/s;

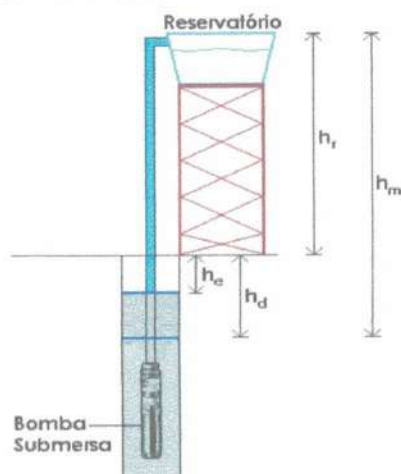
Q – Vazão, m³/s;

D_r – Diâmetro da tubulação, m.

3.4.3 Determinação da altura manométrica do sistema

A altura manométrica (h_m) de um reservatório de água (Figura 8) é determinada pela soma das alturas do sistema de bombeamento como; altura estática (h_e), altura dinâmica (h_d) e altura do reservatório (h_r), conforme a Equação 3.5. Devido as perdas na tubulação e nas conexões a altura manométrica deve ser corrigida conforme a Equação 3.6. As perdas estão definidas nas Tabelas 1 e 2 (GALDINO et, pg.321,2014).

Figura 08 - Variáveis de um sistema de bombeamento



Fonte: (GALDINO et al, 2014)

$$h_m = h_e + h_d + h_r \quad (3.5)$$

h_e - Altura estática (m);

h_d - Altura dinâmica (m);

h_r - Altura do reservatório (m);

h_m - Altura manométrica (m).

$$h_{mc} = h_m + h_t + h_c \quad (3.6)$$

h_{mc} - Altura manométrica corrigida (m);

h_m - Altura manométrica (m);

h_t - perdas na tubulação (m);

h_c - perdas nas conexões (m).

- **Altura estática (h_e)** - Distância vertical em metros, entre o nível do solo e o nível da água em repouso no poço.
- **Altura dinâmica (h_d)** - Distância vertical em metros, entre o nível do solo e o nível da água durante o bombeamento da vazão desejada.
- **Altura do reservatório (h_r)** - Distância vertical em metros, entre o nível do solo e o nível do ponto mais alto do reservatório.
- **Altura manométrica (h_m)** - Soma do nível dinâmico e do nível do reservatório.
- **Altura manométrica corrigida (h_{mc})** - A soma da altura manométrica e as perdas da tubulação e das conexões.
- **Perda de carga nas tubulações (h_t)** - Atrito exercido na parede interna do tubo pela passagem da água no seu interior. É mensurada obtendo-se, através de coeficientes, um valor percentual sobre o comprimento total da tubulação, em função do diâmetro interno da tubulação e da vazão desejada. A tabela 3.1 apresenta a perda de carga em tubulações.
- **Perdas de cargas nas conexões (h_c)** - Atrito exercido na parede interna das conexões pela passagem da água no seu interior. O quadro 02 apresenta a perda de carga em conexões.

A tubulação aplica na distribuição e captação de água mais usada atualmente é o tubo PVC, devido apresentar uma perda menor que os tubos de ferro, que apresentam mais problemas com ferrugem, assim diminuindo a vida útil, conseqüentemente variando o diâmetro dependendo da vazão e potência do sistema (DOMOND, pg.26 -27, 2018).

Quadro 01 – Perdas de cargas em tubulações de PVC

Perdas de Carga (perda equivalente em metros de altura manométrica para cada 100 m de tubulação)							
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: (GALDINO et al ,2014)

Quadro 02 – Perdas de cargas em conexões de PVC

Perdas de Carga (m) por tipo de conexão – Equivalência em metros lineares de tubulação de mesmo diâmetro interno			
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: (GALDINO et al ,2014)

3.4.4 Determinação da demanda e potência requerida pela bomba

Uma instalação para bombeamento não necessariamente necessita ser para uso domiciliar. Ela deve ter um arranjo que supre a demanda. Essa demanda é determinante para o dimensionamento e deve ser estimada de acordo com sua instalação.

O primeiro passo do processo, seguindo fluxograma é a definição da demanda de água, considerando o uso final e os requisitos do usuário. Após definir a demanda, inicialmente a potência hidráulica $Ph(Wh)$ pode ser calculada pela Equação (3.7), em função da altura manométrica total do sistema $Hm(m)$ e da vazão $Q (m^3/h)$ (FLORES, pg.50, 2019). Em todo sistema energético para resolver o problema de fornecimento de água deve -se calcular a potência hidráulica $Ph (Wh)$ requerida, para elevar uma determinada vazão $Q (m^3/h)$ de água a uma certa altura manométrica $Hm(m)$. Este cálculo é fundamental para determinação do tipo e tamanho do sistema (FEDRIZZI. pg, 43,1997).

$$Ph = 2,725 \cdot Q_m \cdot h_{mc} \quad (3.7)$$

Ph - Potência hidráulica (Wh/dia);

H_{mc} - Altura manométrica corrigida (m);

Q - Vazão (m^3/dia);

2,725 – Representa uma Constante Hidráulica quando o fluído bombeado é água.

3.4.5 Determinação do Motobomba

A potência elétrica (P_{el}) do sistema de bombeamento, é determinada através da potência hidráulica (P_h) e a eficiência (η_m) do motobomba. A potência hidráulica (Ph) é expressa pela Equação 3.3, que tem como dados a vazão (Q) que satisfaça as necessidades diárias do sistema, da altura manométrica (hm) ou altura manométrica equivalente (h_{te}) e a constante hidráulica (CHILUNDO et al, 62, 2018).

Com a potência hidráulica (Ph) determinada, deve ser escolhida uma bomba de acordo com o catálogo de bombas de fabricantes. Após a seleção da bomba, e

com motor associado, calcula – se a potência elétrica (Equação 3.8) requerida pela bomba de acordo com sua eficiência (η_m) (FLORES, pg.52, 2019).

$$P_{el} = \frac{P_h}{\eta_m} \quad (3.8)$$

P_{el} - Potência elétrica (W);

P_h - Potência hidráulica (W);

η_m - Rendimento do motor-bomba ou eficiência.

O Quadro 03 apresenta os valores de eficiência para os valores de diferentes configurações de SBFVs (Sistema de bombeamento fotovoltaico).

Quadro 03 – Eficiência de SBFVs

Tipo de Motobomba	Eficiência(%)
Centrífuga de Superfície	15 - 25
Submersa	25 - 35
Deslocamento Positivo	35 - 45

Fonte: (FLORES,2019)

3.4.6 Determinação dos módulos fotovoltaicos

Um módulo ou painéis são várias células fotovoltaicas interligadas em série para produzir um intervalo de características de tensão e corrente. Em cada célula gera uma tensão DC de aproximadamente 0,5 V. Os módulos tem várias formas e tamanhos. Esses módulos produzem normalmente entre 5 W a mais de 300 W DC (BALFOUR, pg.175.).

Segundo SANTOS (2018), na implantação de um sistema é necessário ter o conhecimento da tensão, corrente e potências geradas pelo módulo, as características do conjunto do motor bombas e a irradiação média da região ao longo do ano. As especificações dos módulos solar a serem utilizado dever compatível com a capacidade de vazão da bomba L/dia, altura manométrica, bem como os níveis de irradiação solar. A energia consumida diariamente pelo sistema é dimensionada de

acordo com a carga do sistema e o tempo de funcionamento, expressa na Equação 3.9 (FLORES, pg.54,2019).

$$E = P_{el} \cdot T \quad (3.9)$$

E- Energia consumida (kWh);

P_{el} - Potência elétrica (W);

T- Tempo de funcionamento do sistema (horas);

Para realizar o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos deve-se inicialmente determinar a quantidade de energia gerada por um módulo. Com características do módulo escolhido determina-se a energia gerada (E_g), através da Equação 3.12. O HSP (horas de sol pleno) é determinado pela equação 3.11.

$$HSP = \frac{kWh / m^2 \cdot dia}{1000 W / m^2} \quad (3.11)$$

$$E_g = HSP \times A_m \times \eta_m \quad (3.12)$$

E_g - Energia gerada;

HSP - Horas de Sol Pleno;

A_m - Área da superfície do módulo;

η_m - Eficiência do módulo.

Com o módulo fotovoltaico escolhido e conhecendo a sua potência nominal (PN) como a energia fotovoltaica (EFV) é possível determinar o número de módulos necessário através da Equação 3.11.

$$N^o = \frac{E}{E_g} \quad (3.13)$$

N^o - Número de módulos ;

E_g - Energia gerada por módulo;

E- Energia consumida.

4 DIMENSIONAMENTO E APLICAÇÃO

A área estimada para ser irrigada é de 1/2 hectares em formato quadrada e será destinada a plantação de mandioca. O sistema de irrigação será alimentado exclusivamente pelo arranjo fotovoltaico, e será dimensionado para funcionamento durante todas as épocas do ano. Esta área foi definida apenas para dimensionar o sistema de bombeamento.

A cultura selecionada é a mandioca devido ao fato que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais e a cultura mais produzida pela agricultura familiar.

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), também conhecida como mandioca mansa, mandioca doce, aipim ou macaxeira, é uma planta pertence à classe das dicotiledôneas e à família Euphorbiaceae (GONÇALVES, pg.12,2021). Por ter uma adaptação às condições climáticas do cerrado, baixo custo de exploração e elevado potencial produtivo, a mandioca torna-se a mais promissoras das culturas, na agricultura familiar, para a região (FIALHO et al, pg.07,2011).

A cultura da mandioca é predominantemente cultivada em sistema sequeiro, mais o uso de irrigação tem despertado interesse dos produtores que destinam a sua produção ao consumo in natura. A irrigação aumenta a produção e diminui o tempo de colheita. A produtividade esperada em 8 meses em região subúmida, a média de 25 ton/há e máximos de 45 ton/há e mínimos de 11 ton/ha), essas variações depende da variedade ou seja do tipo da mandioca, solo, época do plantio e variabilidade de chuvas (FILHO, pg.2,2020).

Segundo dados obtidos na ANA (Agência Nacional das Águas) o índice de consumo de água na produção de mandioca é de 2m³/t.

Segundo PEREIRA (2022), os principais produtos que fazem parte da cesta básica, a mandioca ocupava o lugar de destaque em vários países. A Organização das a produção mundial de mandioca, diferentemente de outros produtos alimentícios, tem apresentado um contínuo crescimento. O último dado registrado pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação) foi indicado no ano de

2019, uma área ocupada com a mandioca de 27.520 mil hectares uma produção de 303.569 mil toneladas e a produtividade média de 11.030 kg/hectare.

A raiz da mandioca no mês de julho de 2023, custou em média R\$ 632,47 /tonelada. A Tabela 02 apresenta a média de custo da tonelada de mandioca.

Tabela 02 – Preço médio da tonelada da raiz da mandioca.

Período	Raiz de mandioca (R\$/T)'
05 a 09/06/23	634,94
12 a 16/06/23	626,60
19 a 23/06/23	631,98
26 a 30/06/23	636,38
Média	632,47

Fonte: CONAB-MS,2023.

A irrigação favorece ao produtor uma estimativa de ganho de R\$ 15.811,75 por hectares, a cada oito meses, no qual se produz uma média de 25 toneladas/hectares. A produção prevista para este projeto é 12,5 tonelada a cada 8 meses e estimativa de ganho de R\$ 7.905,88.

4.1 Determinação da demanda de água

O sistema foi projetado para bombear 25.000 litros por dia, por 8 horas durante o dia, segundo a Tabela 1, a qual foi adotado o índice de consumo médio para a produção da mandioca. Esse índice diz que o consumo de água por tonelada de mandioca é de 2m³/ton. Como são produzidas 25 toneladas/hectare, têm-se um consumo de 50m³. Desse modo temos a vazão média para 0,5 hectares igual à:

$$Q = \frac{0,5 * 50.000}{1000} = 25,00 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A vazão média será de 25,0 m³/ dia, para irrigar 1/2 hectares de mandioca.

4.1 Diâmetro da tubulação

O sistema funcionará de forma intermitente, devido ao seu funcionamento depender da irradiação solar. O diâmetro econômico é calculado pela equação 3.3, onde a vazão é adotada em m^3/s .

$$D = 1,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{T}{24}} \cdot \sqrt{Q} \quad (3.3)$$

$$D = 1,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{8}{24}} \cdot \sqrt{0,000868} = 1,3 \cdot 0,7598 \cdot 0,02946 = 0,0291m \quad D = 29,10 \text{ mm}$$

O diâmetro interno da tubulação calculado é de 29,10 mm. Portanto, o diâmetro comercial superior adotado foi de 32 mm. Para validação do diâmetro, o cálculo da velocidade foi realizado conforme equação 3.4:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2 \times r} = \frac{4 \times 0,000868}{\pi \times 0,032^2} = \frac{0,003472}{0,0031} = 1,11 \text{ m/s}$$

A velocidade obtida foi de 1,11 m/s sendo aceito entre a velocidade econômica. Sendo o parâmetro aceito entre $0,5 \leq 0,86 \leq 4,0$.

4.1 Determinação da altura manométrica do sistema

Para determinar a altura a do sistema de acordo com a equação 3.5 o cálculo das perdas dos acessórios e conexões utilizadas na tubulação, de acordo com a Figura 09.

A Figura 09 apresenta o esquema de recalque do sistema de bombeamento.

Figura 09 – Esquema de recalque.



Fonte: própria autora, 2023.

M- Manômetro;

VR - Válvula de retenção;

VG-Válvula de gaveta;

CX- Caixa d'água;

he - Altura estática (m);

hd - Altura dinâmica (m);

hr -Altura do reservatório (m);

hm – Altura manométrica (m).

$$h_m = h_e + h_d + h_r \quad (3.5)$$

$$h_m = 5,0 + 7,0 + 9,40 = 16,40 \text{ m}$$

$$h_{mc} = h_m + h_t + h_c \quad (3.6)$$

$$h_{mc} = 16,40 + 0,41 + (0,183 + 0,914 + 1,83) = 19,74 \text{ m}$$

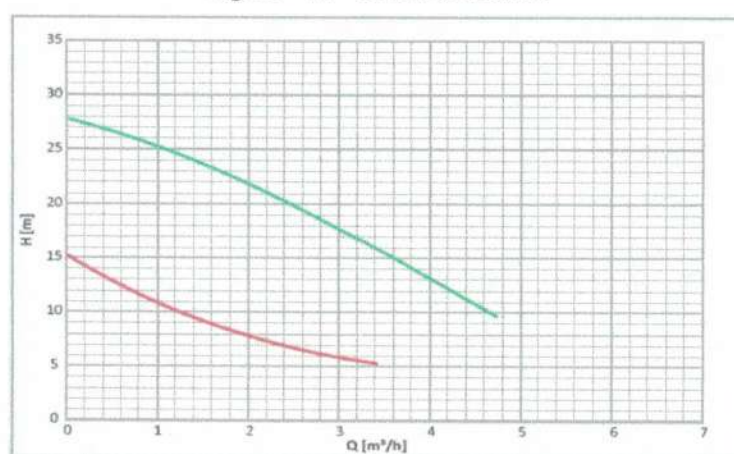
A altura manométrica corrigida, foi determinado através da Equação 3.6, sendo h_t a perda na tubulação, h_c a perda de carga por válvulas, a perda de carga por

joelhos obtidos respectivamente da Tabelas 1 e 2. Portanto, obtemos uma altura manométrica de 19,74 m.

4.2 Determinação do motor bomba

Com os dados de vazão e altura definidos, foi escolhido o modelo adequado pelo catálogo de acordo com o fabricante de bombas EBARA/Thebe. A Figura 10 apresenta as séries de trabalho do fabricante de acordo com a vazão e altura pretendida.

Figura – 10 – Séries de trabalho



Fonte: EBARA, 2023.

A EBARA/Thebe possui uma linha de bombas solar para bombeamento de água, com séries de potências de 1 à 3 cv monofásica e de 4 a 6,0 cv trifásica de corrente alternada e os motobomba de superfície com motor de imã permanente.

A Figura 11 mostra o motor bomba de superfície com motor de ímã permanente, que pode ser conectado a duas placas de 560 W.

Figura – 11- Kit Completo Bomba Solar B-10 560W IP44 Thebe.



Fonte: EBARA/THEBE,2023.

Com uma vazão média necessária de 25 m³/dia e HSP (horas de sol pleno) de 5,334h para a região de Palmas – TO, dá-se uma vazão média de 4,68m³/h, atendendo essa demanda, conforme dados especificados pela bomba – B10 ci^{SOLAR} escolhida (Tabela 03). Para a altura manométrica de 19,70 m, a bomba – B10 ci^{SOLAR} atende a demanda do sistema de bombeamento também, pois a mesma atende uma altura máxima de 28 metros (Tabela 03 – EBARA, 2023).

Tabela 03 - Características da bomba – B10 ci^{SOLAR}

Potência (W)	560
Vazão (m ³ /h)	4,7
Tensão máxima (Vcc)	100
Tensão (Vcc)	72
Altura máxima de bombeamento (m)	28
Potência do módulo (W)	560
Quantidade de módulos utilizados na bomba	2

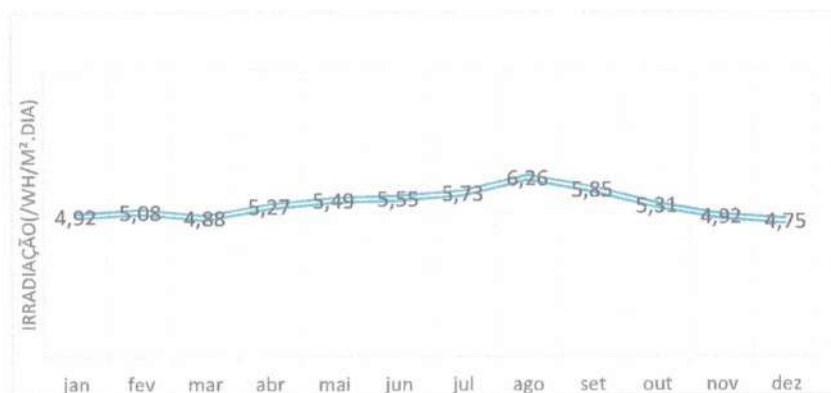
Fonte: Adaptado, EBARA,2023.

4.4 Determinação dos módulos fotovoltaicos

Para determinar a energia máxima gerada pelos módulos fotovoltaicos é necessário levar em consideração o local de instalação e o recurso solar do local. Com dados obtidos no ATLAS SOLAR é possível avaliar a irradiação local de Palmas/TO. Com os valores das coordenadas de latitude $-10,3005S$ e longitude $-48,349$, temos o valor médio diário anual de HSP de Palmas/TO de como $5,334 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$. O Gráfico 1 apresenta os valores médio de irradiação por mês. Esse valor será importante no dimensionamento do sistema fotovoltaico, já que é equivalente ao índice de Horas de Sol Pleno (HSP) da região de instalação. Esse índice é definido como o intervalo de tempo médio, em horas, em que a irradiância permaneceria em 1000 W/m^2 (valor da irradiação no STC – Standard Test Conditions), durante o dia.

O uso estimado de funcionamento da bomba por dia é de aproximadamente oito horas, porém devemos considerar para Palmas $5,334$ horas de sol pleno (HSP).

Gráfico 1 - Irradiação solar no plano horizontal para Palmas/TO.



Fonte: Adaptado, Atlas solar, 2023.

Para este projeto foi dimensionado um sistema com 2 painéis de 560 W , para funcionamento da bomba de 560 W , conforme mostrado na Tabela 03, sendo possível bombear nas 8 horas diárias a quantidade de 25 m^3 de água desejados, assim atendendo a demanda. A Figura 11 apresenta as características elétricas dos painéis utilizado no sistema.

Figura 11- Características elétrica dos painéis.

ELECTRICAL DATA (STC)	
Model Type	ODA560-36V-MH
Peak Power(Pmax)	560.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	41.77
Maximum Power Current(Imp)	13.41
Open Circuit Voltage(Voc)	50.47±3%
Short Circuit Current(Isc)	14.15±3%
Module Efficiency(%)	21.68

* STC: irradiance 1000 W/m², AM 1.5, and cell temperature of 25°C

Fonte: OSDA,2023.

Os painéis fotovoltaicos serão conectados em série, uma série com 2 painéis para acionar a bomba com potência de 560 W. O tipo de ligação, quantidade e potência dos painéis são recomendações do fabricante da bomba.

4.5 – Análise Econômica do sistema de bombeamento fotovoltaico

O levantamento de custo de implantação do sistema de bombeamento fotovoltaico está descrito na Tabela 5. Os principais itens estão listados com seus respectivos quantitativos e preços. O valor de instalação e montagem do sistema foi estimado em 40% do valor total do sistema proposto.

Tabela 5 – Estimativa de custo de implantação do sistema

Descrição	Marca	Und	Quant.	Preço Unit.	Preço Total
Painel Solar 560W Mono – OSDA	OSDA SOLAR	Und.	2	967	1.934,00
Bomba Solar B-10 560W IP44 72V Ci	EBARA/THEBE	Und.	1	1272,6	1.272,60
Multi-Contact Conector Macho-Femea (Par)	Multi-contact	Und.	2	32,68	65,36
Cabo Vermelho 6mm 1,8kV – Metro	Solar	m	5	9,5	47,50

Cabo Solar Preto	m	5	9,5	47,50
6mm 1,8kV - Metro				
Estrutura Solar para Romagnole	Und.	1	1.399,00	1.399,00
4 placas - Solo				
(4,80m)				
Tubulações	VB	1	498,93	498,93
/conexões e				
válvulas				
Frete	Und.	1	324,08	324,08
Instalação e	Sv	1	2235,59	2.235,59
montagem - 40% do				
valor do material				
Total				7.824,56

Assim, pela Tabela 05 observa-se que o investimento no sistema solar fotovoltaico utilizado em bombeamento para irrigação em agricultura familiar é consideravelmente baixo em relação aos benefícios da produção ininterrupta de alimentos.

Para o caso em particular, no qual o foco é a produção de mandioca de forma interrupta, teve-se um investimento no sistema de bombeamento, juntamente com os módulos solares, de R\$7.824,56. Os equipamentos utilizados são, normalmente de longa durabilidade, baixa manutenção e de fácil operação, fazendo com que um breve treinamento com o agricultor seja o suficiente para manuseá-lo.

Segundo dados de (FILHO,2020), a produção média da mandioca irrigada por hectare foi de 25 toneladas. Então, para o caso analisado em particular de irrigação 1/2 hectare, com produção de 12,5 toneladas a cada oito meses, dará uma produção anual de 18,75 toneladas.

A produção de mandioca irrigada é rentável, a estimativa de ganho anual deste projeto é de R\$ 11.860,00 por ano. Este projeto foi dimensionado exclusivamente para atender as necessidades da agricultura familiar, visando a melhoria nas condições de vida dos pequenos agricultores. Apesar de ter um custo baixo para implantação de

um sistema de bombeamento fotovoltaico, os pequenos agricultores necessitam de incentivos governamentais para ter acesso a este tipo de tecnologia.

Estes valores de produção e a mandioca na forma in natura, mas nada impede que os agricultores, possam montar uma cooperativa para o beneficiamento da mesma, produzindo os subprodutos, como a farinha e polvilho.

5 CONCLUSÃO

A tecnologia FV é muito promissora e vem sendo bastante utilizada em sistemas de bombeamento de água em diversos países que possuem regiões com problemas escassez de água. As regiões do norte e nordeste brasileiro, tem recurso solar com abundância, sendo às melhores regiões nessa variável.

O uso de água na irrigação, é de suma importância para o desenvolvimento das regiões rurais dependentes das atividades agrícolas. A escassez de água diminui a capacidade de produção agrícola e a possibilidades de mudanças dos métodos produtivos para cultivos com melhores valores de mercado. O sistema de bombeamento fotovoltaico é uma tecnologia que tem se destacado como viável e segura para o fornecimento de água para irrigação.

No entanto, o desafio é dimensionar um sistema adequado, gerir a captação de água e a capacitação técnica dos agricultores para garantir o sucesso desses projetos. É importante o treinamento e suporte técnico aos agricultores familiares, a fim de garantir a operação eficiente dos sistemas solares e a manutenção adequada das bombas de água.

6 REFERÊNCIAS

Albuquerque, FABIO; MOURA, Ricardo; SILVA, Sérgio; PAREJA, Eliana. **Uso da energia solar fotovoltaica como alternativa para irrigação, visando à geração de renda em uma comunidade rural no município de Pium, Tocantins.** II Jornada Nacional da Produção Científica em Educação Profissional e Tecnológica 2007- ETF TOCANTINS.

ALVARENGA, A. C.; FERREIRA, V. H.; FORTES, M. Z. **Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar.** Sinergia, São Paulo, v.15, n.4, p.311-318, 2014.

ALVARENGA, C. A. **Bombeamento de água com energia solar fotovoltaica.** Engenharia Solenerg, 2019.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada.** Brasília, DF. 2ª ed. 130p. 2021.

Avanços em sistemas de abastecimento de água com bombeamento Fotovoltaico para comunidades rurais. UFPE - Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 4 n.3 Jul/Set 1999, 69-81.

BARROSO, Lidia S. L. **Os povos indígenas do Tocantins.** Secretaria de Estado da Cultura – SECULT. Tocantins, 2000.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. Ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p

BITTENCOURT, Mário Bittencourt. **Como usar e obter lucros com a energia solar na agricultura.** Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/energia-solar-na-agricultura/>>. Acesso em 12 de Novembro de 2022.

CAMPOS, Mayara Soares. **Sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar.** Braz. J. Anim. Environ. Res., Curitiba, v. 1, n. 1, p. 205-214, jul./set. 2018.

CARVALHO, Carlos Eugênio Barreto. **Bombeamento fotovoltaico de água para pequenas propriedades rurais do semiárido.** Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Bahia – IFBA, campus de Paulo Afonso -2019.

CHILUNDO, R. J. **Sistema fotovoltaico aplicado à irrigação de uma unidade agrícola de produção familiar.** 2014. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

COELHO, Eugenio Ferreira. **Sistemas e manejo de irrigação de baixo custo para agricultura familiar** /Eugenio Ferreira Coelho... [et al.].- Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2014.

DOMOND, Pierre Rubens. **Sistema de bombeamento fotovoltaico de água subterrânea com armazenamento hidráulico: caso de ecole nationale de lacroix-jacmel-haiti**. Trabalho de conclusão de curso submetido ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa -2018.

FEDRIZZI, M. C.; SAUER, I. L. **Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos**. *Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural*, SciELO Brasil, 2002.

FLORES, A. A. B. **Dimensionamento de bombeamento hidráulico para elevação de água alimentado por energia solar fotovoltaica**. 2019. Monografia (Engenharia de Energia) -Universidade de Brasília, Brasília. 2019.

FRAIDENRAICH, VILELA. NAUM FRAIDENRAICH E OLGA DE CASTRO VILELA. FRANCISCO, ADELAIDE B.A. FRANCISCO. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para bombeamento de água**. *Dissertação para obtenção da graduação no curso de licenciatura em física aplicada*. Universidade Eduardo Mondlane/Faculdade de ciências/ Departamento de Física – Moçambique- Março de 2011.

FURTADO, JOSIANNY PATRÍCIA S. FURTADO. **Dimensionamento e Otimização de um Sistema de Bombeamento Fotovoltaico para Irrigação: Ilha de Santiago, Santa Cruz**. *Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Energia Renovável e Eficiência Energética*. Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2020.

IRRIGASSOL. **Como Funciona o sistema de bombeamento solar**. Disponível em: <<https://www.irrigasol.com.br/>>. Acesso em 22 de Novembro de 2022.

MACEDO. Gabriela Martins Macedo, Wildes Souza Andrade. **Agroecologia entre o povo indígena xerente**. 12ª Jornada de Iniciação Científica e de Extensão do IFTO, Palmas/TO, 2021.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação - Princípios e Métodos**. Viçosa: Editora UFV, 3a. Edição, 2013, 355p

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PORTAL SOLAR. **O que é bombeamento solar e como funciona**. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-bombeamento-solar-e-como-funciona> >. Acesso em: 23 de novembro de 2022.

SÁ, Daniel Augusto Pereira. **Sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SANTOS, WILLIAM P.R. SANTOS, WILHAMES S. SANTOS. **Evidências da viabilidade da ampliação de sistemas fotovoltaicos no polígono das secas.** Centro Universitário Jorge Amado, Engenharia Ambiental e Sanitária. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018.

SOUSA, M. L. A. **Uso de bombeamento fotovoltaico para irrigação de unidades de produção agrícola de pequeno porte.** 2014. 78p. Trabalho de conclusão de curso - Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SUNGOLD. **Bombeamento D' água** Disponível em: <<http://sungoldenergia.com/Publicacao.aspx?id=202958>>. Acesso em 23 de Novembro de 2022.

UNIDERP. **Agricultura familiar: por que ela se destaca no mercado.** Disponível em: <<https://blog.uniderp.com.br/agricultura-familiar>>. Acesso em 28 de maio 2023.

CODAF. **A importância da agricultura familiar.** Disponível em: <https://codaf.tupa.unesp.br/agricultura-familiar/a-importancia-da-agricultura-familiar>. Acesso em 28 de maio de 23

GONÇALVES, Tiago Maretti. **Caracterização, divergência genética e estrutura populacional de cultivares tradicionais de mandioca-de-mesa coletadas na Região Sul de Minas Gerais** . — Iguatu, CE : Quipá Editora, 2021.

PEREIRA, Joabe R. Pereira. **Prognóstico agropecuário mandioca 2021 /2022.** Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-01/Mandioca.pdf>. I S S N 2 7 6 4 - 2 8 8 7 V O L 1 3 N. 3 4 - 2 0. Acesso em 05 de junho de 23.

FIALHO, VIEIRA. Josefino de F. Fialho, Eduardo A. Vieira. **Mandioca no cerrado: Orientações Técnicas.** Planaltina – DF: Embrapa Cerrados 2011.

JUSTINO, Damião; nogueira, Élcio. **Dimensionamento do Sistema de Recalque para abastecimento de água da comunidade de Macundú, distrito de São João Marcos, município de Rio Claro, Rio de Janeiro.** Cadernos UniFOA. Volta Redonda, Ano VII, n. 18, abril 2012. Disponível em: <<http://www.unifoa.edu.br/cadernos/edicao/18/11.pdf>>

BALFOUR, John. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos.** / John Balfour, Michael Shaw, Nicole Bremer Nash; Tradução Luiz Claudio de Queiroz Faria; Revisão técnica Marco Aurélio dos Santos. – 1. ed. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2019.il.; 24 cm

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.

ANA. **Agência Nacional de Águas (Brasil) Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos 2013/ Agência Nacional de Águas – ANA**, Brasília: 2013.

FILHO. MAURICIO ANTONIO COELHO FILHO. Irrigação da cultura da mandioca. Comunicado técnico 172. Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem), pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia, 2020.

ENERGYSHOP. **Acessorios-para-energia-solar/estruturas-para-placa-solar/estrutura-solar-para-4-placas-solo-4-80m**. Disponível em: <<https://www.energyshop.com.br/acessorios-para-energia-solar/estruturas-para-placa-solar/estrutura-solar-para-4-placas-solo-4-80m>>. Acesso em 23 de agosto de 2023.

ENERGIATOTAL. **Bomba-solar-b-10-560w-ip44-72v-até-25000-litros-por-dia**. Disponível em: <<https://www.energiatotal.com.br/bomba-solar-b-10-560w-ip44-72v-ate-25000-litros-por-dia>>. Acesso em 23 de agosto de 2023.

CONAB. **Analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analise-regional-do-mercado-agropecuário/analise-regional-ms-mandioca**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analise-regional-do-mercado-agropecuário/analise-regional-ms-mandioca/item/21060-mandioca-analise-junho-julho-2023>. Acesso em 23 de agosto de 2023.