



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA CCHA – POLO DE SOUSA DE
SOUSA – PB CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ENERGIA RENOVAVEL

JOSUÉ FERREIRA MARCELINO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA INSTALAÇÃO DO
BOMBEAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO EM ZONA RURAL DE
MARIZOPOLIS - PB**

SOUSA -PB
2024

JOSUÉ FERREIRA MARCELINO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA INSTALAÇÃO DO
BOMBEAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO EM ZONA RURAL DE
MARIZOPOLIS - PB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao CCHA, da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Energias Renováveis.

Área de concentração: Energia Solar
Fotovoltaica

Orientador: Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Tôrres.

**SOUSA-PB
2024**

M314e Marcelino, Josué Ferreira.
Estudo de viabilidade técnica da instalação do
bombeamento solar fotovoltaico em zona rural de Marizópolis -
PB [manuscrito] / Josué Ferreira Marcelino. - 2024.
45 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Energias
Renováveis) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de
Ciências Humanas e Agrárias, 2024.

"Orientação : Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Tôres,
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas
de Energias Renováveis - CCHA. "

1. Radiação. 2. Agricultura. 3. Comunidade rural. 4.
Bombeamento solar. I. Título

21. ed. CDD 621.47

JOSUÉ FERREIRA MARCELINO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA INSTALAÇÃO DO
BOMBEAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO EM ZONA RURAL DE
MARIZOPOLIS - PB**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao CCHA, da Universidade
Estadual da Paraíba – UEPB, como
requisito parcial para obtenção do título de
Tecnólogo em Energias Renováveis.

Área de concentração: Energia Solar
Fotovoltaica

Aprovado em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Anderson Alberto Pinto Tôres

Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Tôres (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Gabriella Moreira Campos

Prof. Ma. Gabriella Moreira Campos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Thomas Tadeu de Oliveira Pereira

Prof. Me. Thomas Tadeu de Oliveira Pereira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre o impacto socioeconômico da implementação de sistema de bombeamento solar fotovoltaico em uma propriedade rural no município de Marizópolis-PB. O bombeamento de água é uma atividade essencial para a agricultura e a pecuária, e o uso de energia solar pode representar uma solução sustentável e econômica para esta demanda. A energia solar fotovoltaica emergiu como uma alternativa viável e sustentável para suprir demandas de energia em áreas remotas, especialmente para a agricultura e fornecimento de água em comunidades rurais. A escolha por essa região de estudo levou-se em consideração que Marizópolis possui uma alta incidência de radiação solar ao longo do ano, proporcionando condições ideais para a captação de energia solar. Este fator é essencial para a eficiência e a viabilidade econômica do sistema de bombeamento solar. Além disso, as áreas rurais de Marizópolis enfrentam desafios relacionados ao acesso a fontes de energia confiáveis e econômicas. A implementação de sistemas de bombeamento solar pode reduzir a dependência de combustíveis fósseis e de redes elétricas instáveis, promovendo o uso de uma fonte de energia renovável e sustentável. O estudo adota uma abordagem mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos para analisar os efeitos da adoção de energia solar fotovoltaica na vida socioeconômica da propriedade rural, incluindo acesso à água, produtividade agrícola, e desenvolvimento do local. Os resultados demonstram que a implementação de sistemas de bombeamento solar tem o potencial de transformar positivamente as comunidade rural, promovendo o desenvolvimento sustentável e a resiliência frente às mudanças climáticas.

Palavras chave: Radiação, agricultura, comunidade rural, bombeamento solar

ABSTRACT:

This work presents a study on the socioeconomic impact of implementing a photovoltaic solar pumping system on a rural property in the municipality of Marizópolis-PB. Water pumping is an essential activity for agriculture and livestock, and the use of solar energy can represent a sustainable and economical solution to this demand. Photovoltaic solar energy has emerged as a viable and sustainable alternative to meet energy demands in remote areas, especially for agriculture and water supply in rural communities. The choice for this study region took into account that Marizópolis has a high incidence of solar radiation throughout the year, providing ideal conditions for capturing solar energy. This factor is essential for the efficiency and economic viability of the solar pumping system. Furthermore, rural areas of Marizópolis face challenges related to access to reliable and economical energy sources. The implementation of solar pumping systems can reduce dependence on fossil fuels and unstable electrical grids, promoting the use of a renewable and sustainable energy source. The study adopts a mixed approach, combining quantitative and qualitative methods to analyze the effects of adopting solar photovoltaic energy on the socioeconomic life of the rural property, including access to water, agricultural productivity, and site development. The results demonstrate that the implementation of solar pumping systems has the potential to positively transform rural communities, promoting sustainable development and resilience in the face of climate change.

Keywords: Radiation, agriculture, rural community, solar pumping

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Delimitação do semiárido brasileiro	11
Figura 2 - Demonstração da Caatinga	12
Figura 3 - Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP.....	15
Figura 4 - Composição de um modulo fotovoltaico	18
Figura 5 - Sistema solar conectado à rede on-grid.....	19
Figura 6 - Sistema solar desconectado da rede elétrica	19
Figura 7 - Sistemas fotovoltaico / eólico híbrido e componentes.....	20
Figura 8 - Sistema fotovoltaico hibrido	20
Figura 9 - Sistema de bombeamento	22
Figura 10- Mapa de localização do município de Marizópolis	29
Figura 11 - População e densidade demográfica do censo de 2022	30
Figura 12 - Médias mensais da irradiação normal direta.....	31
Figura 13 - Horas de sol pleno Marizópolis - PB	32
Figura 14 - Cacimão da propriedade	34
Figura 15 - Vista aérea da propriedade	35
Figura 16 - kit bombeamento solar proposto	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Consumo de água irrigação	27
Tabela 2 - Consumo diário de água dos animais	28
Tabela 3 - Economia mensal e anual	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas

OFF GRID – Sistema de energia solar desconectado da concessionária com uso de baterias

ON GRID – Sistema de energia solar conectado a concessionária local

CC – Corrente contínua

CA – Corrente alternada

OMS – organização mundial da saúde

W/m² – watt por metro quadrado

HSP – Horas de sol pleno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
2.1	Geral	10
2.2	Específico	10
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1	Semiárido nordestino	11
3.2	Energias renováveis em comunidades rurais	12
3.3	Impactos sócio econômicos da energia solar	13
3.4	Energia solar fotovoltaica	14
3.4.1	<i>Radiação solar</i>	15
3.4.2	<i>Células fotovoltaicas</i>	16
3.4.3	<i>Módulos fotovoltaicos</i>	17
3.4.4	<i>Associação de módulos fotovoltaicos</i>	18
3.4.5	<i>Tipos de sistemas de energia solar fotovoltaica</i>	18
3.5	Bombeamento solar fotovoltaico	21
3.5.1	<i>Histórico do bombeamento solar</i>	21
3.5.2	<i>Definição e funcionamento do bombeamento solar</i>	22
3.5.3	<i>Alguns projetos de bombeamento solar</i>	23
3.6	Aplicações do bombeamento solar fotovoltaico em áreas rurais	24
3.7	Desafios e limitações	25
4	METODOLOGIA	27
4.1	O município de Marizópolis	29
4.2	Dimensionamento bombeamento solar	31
4.3	Dimensionamento módulos fotovoltaicos	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
6	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro, conhecido como Sertão, é uma das regiões mais áridas e desafiadoras do país. Com um clima marcado por longos períodos de seca e temperaturas extremas, as comunidades que habitam enfrentam inúmeras dificuldades, sendo uma das maiores dificuldades a escassez de água para abastecimento humano, agricultura e pecuária. Diante desse contexto adverso, a busca por soluções sustentáveis e inovadoras se torna fundamental para melhorar a qualidade de vida e promover o desenvolvimento socioeconômico da região. (Freitas, 2017).

A existência de água em condições para uso e de saneamento básico pode promover o desenvolvimento humano em vários aspectos. Atualmente em região onde se há escassez hídrica a realidade é bem mais desafiadora, nos dias atuais cerca três em cada dez pessoas no mundo, um total de 2,1 bilhões, não têm acesso a água potável em casa em todo o mundo segundo o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2013).

A região onde se encontra o semiárido do Brasil é uma grande área de terra que percorre quase por inteiro o território nordestino, seguindo por áreas com grandes importâncias como o rio São Francisco, é uma área com grande potencial de aproveitamento energético, devido ao clima local, altas incidências de ventos, sol e baixa quantidade de chuvas que só ocorrem com mais frequência em um certo período do ano, (Correia. *et al.*, 2011).

A área onde se encontra a região semiárida brasileira é formada por sua vez de uma extensa área com um lençol freático rochoso sedimentar, ocorrendo significativa reserva de água doce por grande parte de sua área, o que torna a perfuração de poços uma excelente medida no atendimento à demanda de água, desde que critérios técnicos sejam atendidos. (Rebouças; Carvalho, 2018, p. 16)

O utilização de energia fotovoltaica para a alimentação de sistemas com bombeamento solar tem e mostrado uma maneira muito proveitosa, principalmente nos últimos anos devido ao aumento no preço de combustíveis fósseis, além de evitar impacto ambiental, e as condições relacionadas ao acesso de água em comunidades remotas, em locais que muitas vezes não existe rede elétrica de uma concessionária (Li *et al.*, 2017).

Os estudos na área começaram na década de 1970 com o intuito de promover ainda mais seu caráter multidisciplinar, os seus avanços em componentes do sistema e sua importante viabilidade econômica estão sempre sendo estudados por cientistas de diferentes especializações e nacionalidades (Li *et al.*, 2017).

2 OBJETIVO

2.1 Geral

- Investigar o impacto socioeconômico da adoção um sistema de bombeamento solar em uma propriedade rural. (Estudo de caso).

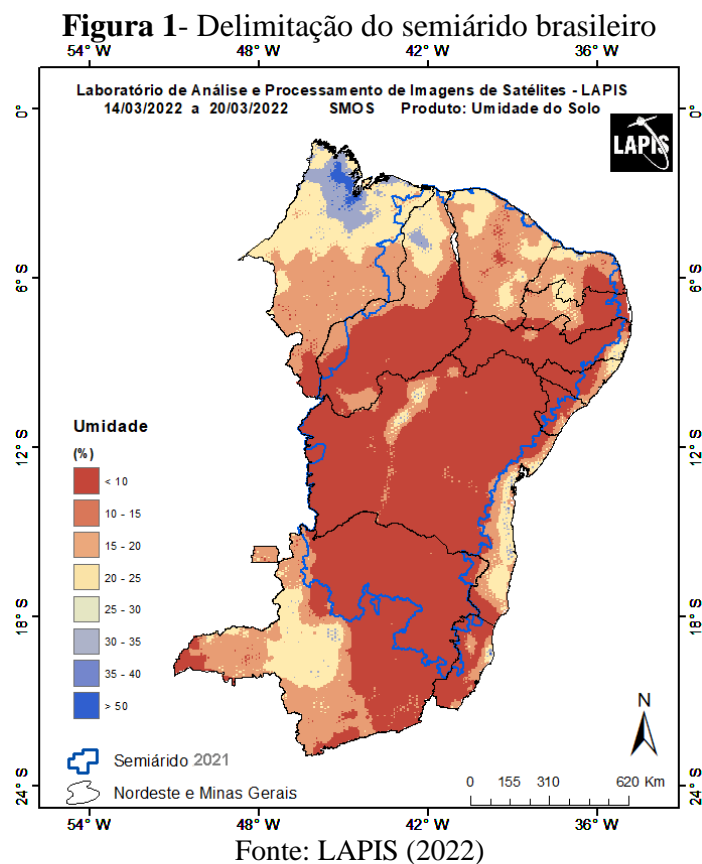
2.2 Específicos

- Analisar o acesso atual à água e as condições socioeconômicas da propriedade rural selecionada no estudo de caso;
- Analisar o impacto do bombeamento solar na disponibilidade e qualidade da água para uso agrícola e outras atividades locais;
- Avaliar as mudanças nos padrões de vida e nas oportunidades econômicas das comunidades rurais decorrentes da adoção de sistemas de bombeamento solar;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Semiárido nordestino

No semiárido nordestino o principal obstáculo para que haja vida é a disponibilidade de água potável para a sobrevivência das pessoas e animais. A vulnerabilidade exposta por conta das instabilidades climáticas dos últimos anos é dramatizada por longos períodos de secas que muitas vezes ocorrem em períodos vários anos (Cavalcanti, 2020). Na Figura 1, tem-se:



Nesta análise, é importante destacar a geração de energia, especialmente através de fontes renováveis de energia, pois o Brasil, devido à sua localização, possui fatores muito importantes para a geração de energia renovável, é grande o potencial para o uso desses recursos naturais. As áreas remotas podem gerar sua própria energia elétrica e, utilizando o bombeamento, destiná-la à problemática da falta d'água (Carvalho, 2018).

Conforme o Diário de Pernambuco (2023), o Nordeste está entre as regiões em que mais sofreram com mudanças climáticas nos últimos anos em decorrência de vários fatores. As fortes ondas de calor registradas em todo o país são resultadas das alterações climáticas ao longo de

60 anos, mostrando que nesse período houve redução nas chuvas e um aumento nas temperaturas em cerca de 1,5 °C. (Inmet, 2020).

Para Madeiro (2022) as mudanças climáticas no Nordeste, já apontam um quadro irreversível ao longo dos anos. Esse processo que durou décadas, vem causando uma grande degradação do solo, inclusive com algumas espécies que são nativas da região sem resistir as altas temperaturas. Na figura 2, tem-se:

Figura 2 - Demonstração da Caatinga



Fonte: Getty (2022)

3.2 Energias renováveis em comunidades rurais

Conforme explica Menezes (2017) a produção de energia renovável é uma aliada para garantir estabilidade econômica para propriedades rurais, reduzir os custos e proteger o meio ambiente. Com as tecnologias corretas, é possível evitar que a propriedade fique sem fonte de energia para a produção e consumo das famílias que existem naquele local. Com isso, as tecnologias mais conhecidas são: criação de micro e minicentrals hidrelétricas; biomassa; biogás; biocombustíveis; energia solar fotovoltaica; e eólica.

Os impactos da elevação dos preços da energia é sentido nas comunidades rurais de baixa renda uma área menor em quesito de recursos financeiros, com menores condições de arcar com custos tanto para uso doméstico como para uso de atividades produtivas. (Walker, 2009).

De acordo com Walker (2009), a grande problemática é se buscar uma maneira do acesso à energia elétrica para todos os lares das famílias em condições menos favoráveis a recursos energéticos, as fontes de energias limpas como as renováveis podem ser uma opção para solucionar este problema. A energia fotovoltaica, a eólica e a biomassa, entre outras, são algumas dessas alternativas viáveis.

Segundo Lacerda *et al.* (2022), Uma realidade em boa parte das propriedades rurais são projetos agro voltaicos, que consistem em aproveitar um mesmo espaço de terra, antes ocupado apenas por cultivos, mas agora junto com energia solar, tornando melhor o aproveitamento da radiação solar em meio aos cultivos da propriedade

3.3 Impactos socioeconômicos da energia solar

De acordo com Hernandez *et al.* (2014), a grande diversidade dos elementos que fazem parte um sistema de energia solar fotovoltaica permite a criação de inúmeros projetos variados, desde projetos residenciais até grandes usinas, assim a matriz de sistemas de energia solar é dividida entre projetos centralizados e distribuídos. A geração distribuída são sistemas que funcionam de maneira relativamente independente das redes de transmissão e com uma certa baixa capacidade produtiva.

A geração centralizada, de outra maneira, caracteriza-se pela sua elevada capacidade, alta economicidade decorrente de sua produção em grande escala e centralização em um dado espaço geográfico, não necessariamente próximo ao local de consumo efetivo da energia gerada.

Segundo Hernandez *et al.* (2014), os impactos das usinas de energia solar fotovoltaica ocorrem de forma um pouco diferente ao longo de sua vida de funcionamento, onde suas principais fases que são a de planejamento, instalação e operação. De certa maneira os impactos socioeconômicos segundo a Internacional Renewable Energy Agency (IRENA) e Clean Energy Ministerial (CEM) (2014), os principais seriam a geração de empregos um ponto a se destacar é a grande quantidade de empregos em diversas regiões, melhoria do desempenho econômico da região onde se está sendo instalada, mudanças nos níveis de bem-estar, estímulos à cadeia produtiva, crescimento da produção interna e a distribuição da renda que é gerada.

De certo modo, a geração centralizada de energia elétrica por meio de sistemas de energia solar fotovoltaicos é tema de importante interesse público, justamente por conta de seus

efeitos sobre a coletividade. Por conseguinte, tal atividade se sujeita à regulação por parte do Estado também no que se refere à promoção do desenvolvimento socioeconômico.

3.4 Energia solar fotovoltaica

O efeito fotovoltaico foi primeiramente observado em 1839 por Edmond Becquerel. Observou que placas de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito geravam uma pequena diferença de potencial ao serem expostas à luz.

Ao longo de muitos anos diante da história da humanidade, sempre desfrutada energia proveniente do sol. Mas a utilização do sol como fonte de eletricidade é muito recente, existem inúmeras formas de se aproveitar a energia solar. As mais utilizadas são o aproveitamento fotovoltaico e o aproveitamento por coletores. O tipo de tecnologia que é utilizado é determinado ao final entre térmico ou na forma para aproveitamento elétrico.

Quando se é utilizado coletores ou concentradores a energia do sol é transformada em calor esse é o princípio de funcionamento de aquecedores solares. Já para a produção de energia elétrica existem atualmente duas tecnologias muito importantes que são como a fotovoltaica e a heliotérmica. (ANEEL, 2008).

Segundo Tolmasquim (2016), O aquecimento de um fluido gerando vapor através da energia solar é chamado de geração heliotérmica que muitas vezes é utilizada em usinas termelétricas para a produção de eletricidade.

A outra forma de energia, é chamada de energia fotovoltaica que é a energia proveniente da conversão direta da luz do sol em eletricidade, que tem sua fundamentação através do efeito fotovoltaico, esse efeito ocorre através de diferença de potencial na extremidades de um material semicondutor, é determinada pela absorção da luz esse fenômeno foi descoberto pelo físico francês Eduardo Becquerel em 1839 (Tolmasquim, 2016).

Porém, a história da energia fotovoltaica ficou parada até o início do século XX, com a explicação por Einstein do efeito fotoelétrico, o surgimento da mecânica quântica, a teoria de bandas e a física dos semicondutores. Com essas descobertas, foi possível atingir níveis de rendimento que tornaram viável a produção de energia solar elétrica (Cançado, 2018, p. 22).

A energia solar utiliza o sol como fonte de geração de energia, na qual pode ser aproveitado através de diferentes tecnologias existentes, como: a fotovoltaica, o aquecimento solar e a heliotérmica. As tecnologias existentes captam parte específica do espectro eletromagnético que irão converter a energia do sol dependendo de sua utilização.

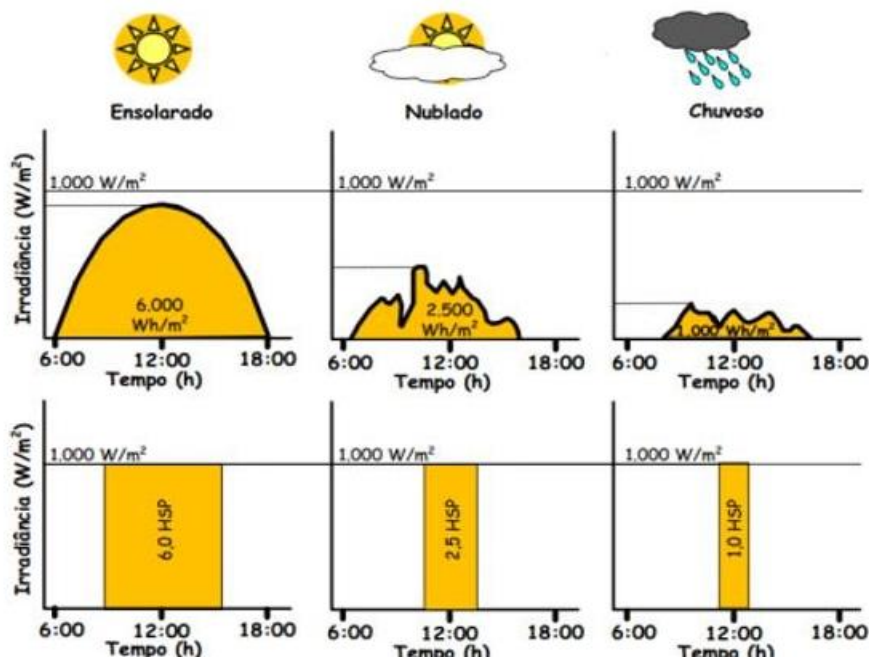
Quando a faixa de frequência referente à luz visível é captada, tem-se a geração de energia elétrica e quando a frequência dos raios infravermelhos é captada, tem-se fonte de calor para aquecimento de líquidos. (Eleksolar, 2016).

Ao iniciar os estudos sobre como sistemas fotovoltaicos funcionam, é de suma importância o entendimento básico de alguns fatores climáticos que são envolvidos neste processo de conversão de energia. (Eleksolar, 2016).

Resumidamente, a radiação solar é a forma de transferência da energia proveniente do sol. O termo que define a potência dessa radiação em função da área é nomeado irradiância, sua unidade de medida é o watt por metro quadrado (W/m^2). A integração da irradiância em função do tempo é chamada de irradiação, tendo como unidade de medida o watt-hora por metro quadrado (Wh/m^2) (Eleksolar, 2016).

Esta forma de energia é uma ótima fonte de eletricidade para telecomunicação, iluminação, televisores, ferramentas, computadores, rádios, refrigeração de vacinas, ventiladores, bombas, telefones e eletrônicos (Lopez, 2013).

Figura 3 - Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP



Fonte: Andrade (2014)

3.4.1 Radiação solar

De acordo com o ministério de minas e energia MME (2017), a energia solar que é irradiada em direção a terra é suficiente para abastecer a terra por milhares de vezes. Com isso

essa mesma radiação não atinge a superfície do planeta terra de forma uniforme, sendo assim necessário um estudo mais profundo sobre os componentes de radiação e um análise dos níveis de intensidade com relação a variações sazonais.

De acordo com associação brasileira de normas técnicas ABNT NBR 10899 (2013), A radiação solar pode significar irradiância solar e também pode significar irradiação solar. Essas definições e especificações são encontradas na norma, que estabelece termos em relação a conversão fotovoltaico e energia solar em energia elétrica. Com isso a irradiância solar que é o fluxo de potência total que chega a uma superfície por unidade de área é a irradiância solar durante um período de tempo.

A constante solar que é o valor de irradiância que atinge a camada atmosférica da terra, é por volta de $1367/m^2$, quando a radiação solar passa pela atmosfera da terra, ela se divide em dois componentes, que são: a radiação na forma difusa e direta, observadas de uma forma horizontal (Pinho; Galdino, 2014).

A radiação direta se envolve diretamente com os raios que atingem a superfície terrestre em linha reta com o sol, sem nenhum tipo de perturbação. Já a difusa se origina de diversas direções que atingem a superfície e podem sofrer alterações devido a presença de nuvem, poeira em suspensão e outras complicações presentes na atmosfera da terra. Analisando um plano na forma inclinada é importante observar a presença de um terceiro componente, resultado do ambiente ao entorno do plano esse componente é o albedo (Pereira; Oliveira, 2015).

3.4.2 Células fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é a menor parte de um sistema fotovoltaico, sua produção de eletricidade não se é suficiente para abastecer sistemas, com a intenção de se oferecer potencias mais elevadas várias células são ligadas entre si assim formando os módulos solares, as técnicas de fabricação das células atualmente se dividem em três gerações diferentes (Villalva; Gazoli, 2016).

A primeira geração as células são compostas por silício classificadas entre silício monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si), essas matérias passam por outros processos para melhorar sua pureza, as células monocristalinas atingem o seu maior estágio de pureza em até 99%, são feitas a partir de silio cristalizado único por isso apresentam um aspecto uniforme e um alto teor de pureza (Villalva; Gazoli, 2016). As células policristalinas são feitas de silício

não uniforme seu processo de fabricação é mais simples por conta de temperaturas inferiores do que as de monocristalino, isso no final se dá um preço menor de custo (Braga, 2008).

A segunda geração surgiu devido a uma necessidade na diminuição de custos operacionais, nessa geração o que mais é destacado é o silício amorfo (a-Si), por conta do seu menor custo devido a menor temperatura precisa para sua fabricação, muito menor do que os da primeira geração (Villalva; Gazoli, 2016).

Já a terceira geração é composta por matérias com características orgânicas, como alguns polímeros e algumas moléculas, tem o objetivo de melhorar a produção de energia solar devido a suas características como um processo de produção mais rápido e de baixo custo, no momento essa tecnologia se encontra em pesquisa e desenvolvimento (Braga, 2008).

As células fotovoltaicas mais utilizadas no mercado são produzidas a partir de silício modificado por um processo chamado de dopagem, pelo qual são adicionadas algumas impurezas de forma a permitir que aconteça uma diferença de potencial, criando duas camadas, a camada de tipo p, que possui um excesso de cargas positivas, e a camada de tipo n, com excesso de cargas negativas (Cançado, 2018).

Entre as duas camadas, é criada a chamada junção p-n, que, ao ser atingida por fótons, libera elétrons para a camada n, e cria lacunas na região p, que se comportam como cargas positivas. Ligando essa célula a uma carga, é criada uma corrente elétrica (Cançado, 2018).

3.4.3 Módulos fotovoltaicos

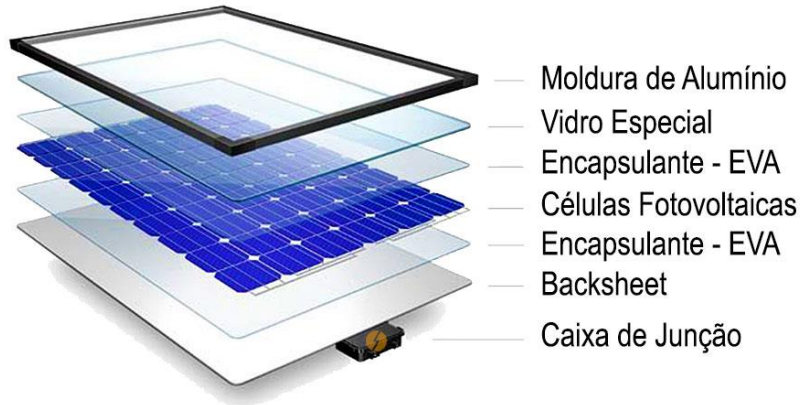
De acordo com associação brasileira de normas técnicas ABNT NBR 10899 (2013), os módulos fotovoltaicos são constituídos por células fotovoltaicas associadas entre si, para o seu funcionamento é necessário um material semicondutor exposto a radiação, assim permitindo o fluxo de partículas, as células possuem duas camadas dopadas, uma camada N com excesso de elétrons e outra camada P com lacunas de elétrons. Assim quando atingido pelo sol o mesmo dá início ao fluxo de corrente na forma contínua (ANEEL, 2008).

Um dos maiores exemplos de utilização de materiais com características semicondutoras é o Silício devido a sua alta facilidade de se adquirir e também por ter um custo menor (Villalva; Gazoli, 2016).

Na figura 4 é apresentado os elementos que compõe a estrutura de um modulo fotovoltaico, O mesmo é composto por um vidro temperado e por camadas finas de EVA, garantindo assim a resistência e estabilidade a radiação ultravioleta, além de ser um material

translúcido e não refletor da radiação, obtendo-se assim uma melhor qualidade no aproveitamento da energia solar (Pereira; Oliveira, 2015)

Figura 4 - Composição de um modulo fotovoltaico



Fonte: Portal solar (2020)

3.4.4 Associação de módulos fotovoltaicos

Os módulos solares são associados de duas principais formas, primeiramente a mais comum é a ligação em serie utilizando terminal positivo e o ligando ao terminal negativo do outro painel, isso altera a característica da tensão a tornando maior, já a corrente se mantém a mesma (Braga, 2008).

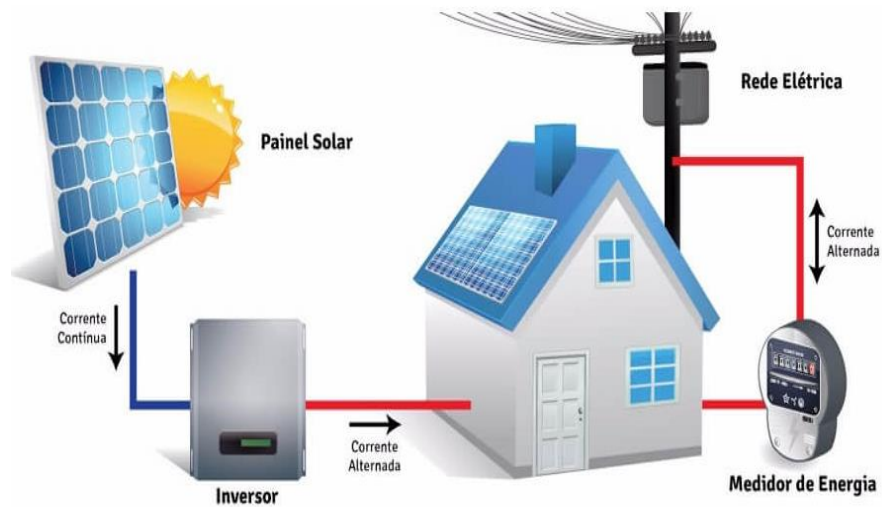
Já em ligações em paralelo e interligado terminais positivos a os positivos do outro painel fotovoltaico, e negativos aos negativos do outro painel, as características que se pode observar em questão da tensão se mantem a mesma e já corrente se soma (Braga, 2008)

3.4.5 Tipos de sistemas de energia solar fotovoltaica

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em isolados, híbridos ou ligados à rede de energia. Podem ser instalados em qualquer lugar do planeta onde haja radiação solar suficiente para funcionar o sistema. (Lopez, 2013).

Em instalações solares residenciais, na maioria das vezes se adota o sistema convencional conectado à rede (Figura 5), também conhecido como on-grid. Não tem a necessidade de dispositivos que armazenem energia, como baterias, e funcionam fornecendo uma parcela da sua geração de energia para a concessionária local (Lopez, 2013).

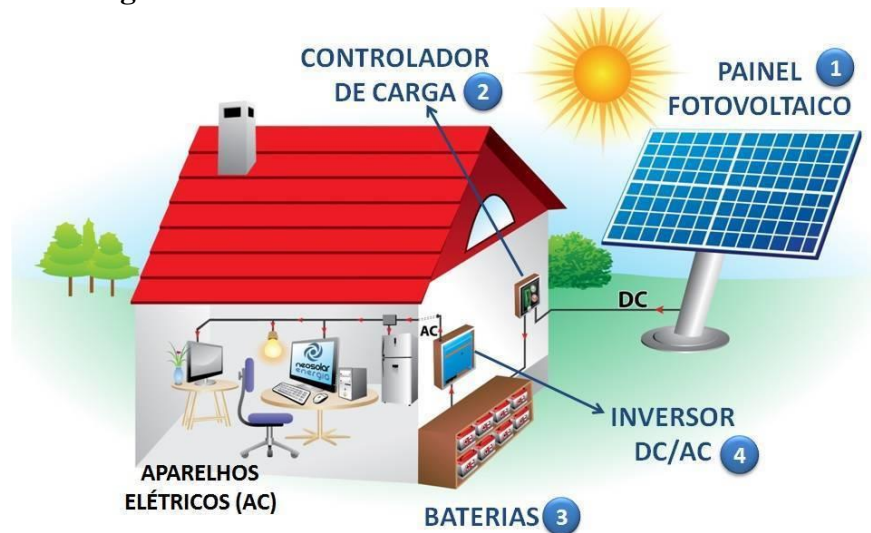
Figura 5 - Sistema solar conectado à rede on-grid



Fonte: BAO RIBEIRO (2022)

Os sistemas isolados da rede possuem um dispositivo de armazenamento (baterias), uma unidade geradora (painel fotovoltaico) e um driver de carga que regula o carregamento da bateria. Além disso, é necessário instalar um conversor ao sistema (inversor CC-CA), que contribui para uma alimentação adequada das cargas que vem das baterias. (Lopez, 2013).

Figura 6 - Sistema solar desconectado da rede elétrica



Fonte: Neosolar (2020)

Segundo Lopez (2013), os sistemas híbridos são aqueles que empregam duas ou mais fontes (Figura 7), não se limitando ao uso da geração solar. Esses sistemas apresentam uma

maior complexidade devido ao uso de fontes, pois exigem um tipo de controle para que uma agregação entre os vários geradores seja possível.

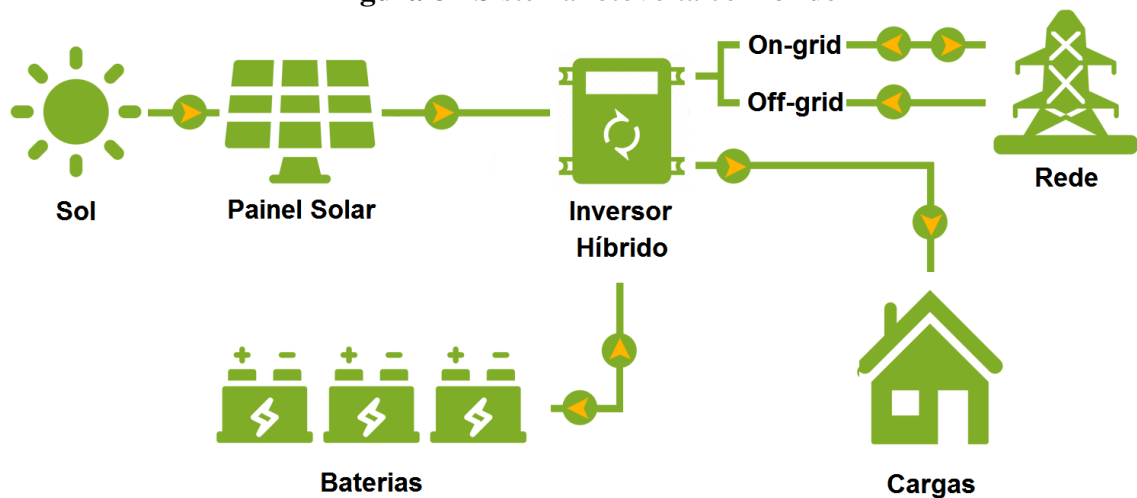
Figura 7 - Sistemas fotovoltaico / eólico híbrido e componentes



Fonte: Solar Brasil (2022)

Lopez (2013), o sistema fotovoltaico híbrido é uma tecnologia que trabalha em conjunto a concessionária local sendo possível injetar energia e também armazenar, como é explicado na figura 8;

Figura 8 - Sistema fotovoltaico híbrido



Fonte: Blog energy (2019)

3.5 Bombeamento solar fotovoltaico

Por meio da captação da energia radiante do sol, essa tecnologia possibilita a elevação de água de poços profundos e reservatórios, tornando-a acessível para fins diversos. O uso de sistemas de bombeamento solar não apenas viabiliza o acesso à água, mas também reduz os custos de mão de obra e as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo assim para a sustentabilidade ambiental (Mesquita, 2015).

Apesar de uma grande variedade de modelos de bombeamentos, as que mais são utilizadas e difundidas são as centrífugas, compostas por: uma carcaça, responsável por conter e direcionar o fluido para a descarga da bomba e converter a energia cinética em energia de pressão; um rotor, responsável por transformar a energia mecânica aplicada nele em energia cinética no fluido; e um selo mecânico, que é responsável por evitar vazamentos na parte hidráulica do sistema (Mélendez, 2009).

Ao girar, o rotor leva a água do seu centro em direção à carcaça da bomba, gerando uma zona de baixa pressão no seu centro. A água direcionada para a carcaça é redirecionada por essa em direção à descarga da bomba (Mesquita, 2015).

3.5.1 Histórico do bombeamento solar

De acordo com os conhecimentos de Fraidenraich e Vilela (1999), a importante descoberta do efeito fotovoltaico citado anteriormente, foi de grande importância na utilização das mesmas em situações que envolvem mais o dia a dia.

Tendo em vista a busca de países inferiores no quesito tecnológico para por meio de uma nova tecnologia suprir a demanda hídrica, em 1977 deu-se o início a tecnologia do bombeamento solar fotovoltaico vários países, como África, Ásia e América do Sul (Andrade *et al.*, 2008).

As primeiras aplicações comerciais do bombeamento fotovoltaico datam de 1978. Em uma ilha chamada de Córsega, dando continuidade à sua tese de doutorado, Dominique Campana desenvolveu e instalou o primeiro sistema de utilização a campo de que se tem registro na história. Com módulos da empresa Philips e bomba em corrente contínua desenvolvida em conjunto com engenheiros da empresa Guignard, o sistema abastecia uma fazenda de criação de ovelhas (Fredrizzi, 1997).

Após este primeiro sistema, alguns outros foram instalados no continente europeu. No entanto, o primeiro empreendimento em larga escala noticiado se deu no continente africano, mais especificamente em Mali (Fredrizzi, 1997).

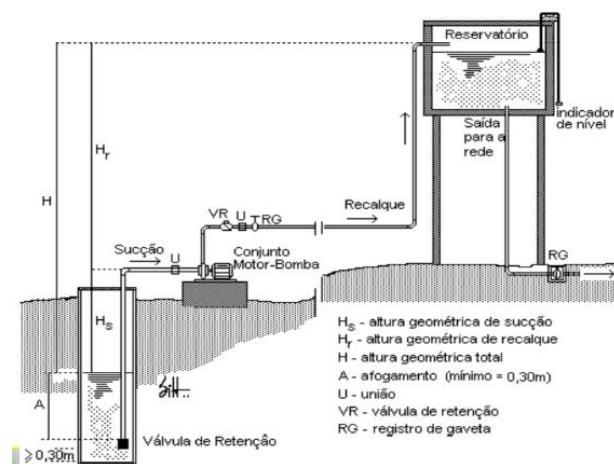
Em estimativa até o ano 2002 mais de 3290 sistemas fotovoltaicos foram instalados em todo o Brasil, sendo que os primeiros bombeamentos só foram colocados por cooperação internacional. Desses, 2485 sistemas pertenciam ao Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios, mostrando a necessidade um incentivo para a aquisição dos projetos, (Fedrizzi; Sauer, 2002).

3.5.2 Definição e funcionamento do bombeamento solar fotovoltaico

Os sistemas de bombeamento solares usam vários tipos de bomba, na irrigação são muito importantes para transformar a luz do sol em eletricidade, bombeando a água da fonte até a plantação, na qual podem ser extraídas do lençol freático no subsolo (cacimba ou poços). (Mélendez, 2009).

Com isso, o sistema fotovoltaico para o bombeamento do volume de água, apresenta-se como uma maneira bastante eficaz e largamente adotada e acessível com relação a custos de produção, pois, se tratam de sistemas duráveis, e apresentam benefícios de forma econômica pra produtores rurais a longo tempo (Campos, 2018), Na figura 9, tem-se um exemplo de bombeamento.

Figura 9 - Sistema de bombeamento



Fonte: Fernandes (2017).

De acordo com Mélendez (2009), a bomba que faz parte do sistema de bombeamento solar fotovoltaico, recebe energia solar de um painel, que permite bombear a água de um reservatório, poço ou até mesmo aquífero para o local pretendido. São diversos tipos de bombas que são utilizadas em sistemas de bombeamento solar de acordo com cada tipo de localização e instalação, com relação a classificação do bombeamento solar tem-se: bombas superficiais, submersas ou flutuantes.

De acordo com as classificações de bombas tem-se (Li *et al*, 2017).

- Bombeamento solar submerso: A bomba solar é instalada na água, seja na água corrente, em um poço ou um açude. Ela está disponível em modelos de pequeno e médio porte, requer pouca manutenção e é barata melhorando a condição financeira da propriedade da zona rural.
- Bombeamento solar superficial: Além disso, essas bombas são baratas e de fácil manutenção. Elas extraem a água da fonte e a transportam para o reservatório para uso. O gerador é projetado para operar com bombas de corrente alternada. As bombas de corrente alternada (CA) tradicionais podem ser usadas com ele, conectadas a um gerador de energia.
- Motor que fornece energia: Segundo Sontake (2016), é importante prestar atenção ao tipo de solução e motor que será usado no sistema de bombeamento solar. A bomba solar CC (em corrente contínua) é superior à bomba CA (em corrente alternada) normal. Mas a decisão deve levar em consideração o preço de cada solução, o porte e se há uma bomba CA no local. A bomba solar CC PM-BLDC, que possui controlador e motor de ímã permanente sem escovas integrados, é fácil de instalar e mantém o sinal elétrico mesmo a grandes profundidades e distâncias, não requer muita manutenção.

As bombas CA são as melhores opções de custo em dois cenários: um é em sistemas grandes com mais de 5 HP ou 10 HP, onde as bombas custam muito mais barato. O outro é em sistemas já existentes, onde você não precisa substituir a bomba (Sontake, 2016).

3.5.3 Alguns projetos de bombeamento solar

Segundo Cançado *et al*. (2018):

O Programa das nações unidas, com apoio do Banco Mundial, levou a cabo entre 1979 e 1981, um projeto de teste e avaliação de pequenos SBF a campo, na irrigação de pequenas áreas. O trabalho mostrou o grande potencial para aplicações rurais, mas apontou a necessidade de melhora na confiabilidade, e redução dos preços dos equipamentos. No início da década de 90, a agência alemã, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), em cooperação com as autoridades responsáveis pelo abastecimento de água dos países receptores (Argentina, Brasil, Indonésia, Jordânia, Filipinas, Tunísia e Zimbábwe), instalou 90 SBF, totalizando cerca de 180 kWp, para demonstrar os custos reais de implementação e a maturidade da tecnologia.

A conabilidade mostrou uma melhora visível com o Programa Regional Solar (PRS) para abastecimento de água a populações rurais em países da África Saheliana, com 1.040 sistemas de bombeamento instalados. O projeto buscava uma melhora para população no acesso à água, em quantidade e qualidade. O projeto se preocupou muito com a qualidade técnica dos equipamentos, de forma a melhorar o seu rendimento, 25 e também uma melhora estética, visando aumentar a aceitação dos usuários. Esse modelo de projeto incluía equipamentos que viabilizavam testes de funcionamento, bem como coleta de dados através de hidrômetros, receptor para manômetro, e orifício na tampa do poço permitindo o uso de sensores de nível. Falhas ocorridas nos testes iniciais indicavam que, apesar da adequação técnica dos módulos e motobombas, havia uma falta no padrão de qualidade dos equipamentos periféricos. Numa cooperação entre Brasil e Alemanha, o projeto Eldorado realizado em Pernambuco contava com padrão de qualidade PRS, e permitia a execução de testes em campo, mas constatou-se que apenas alguns testes foram realizados.

Segundo Frainderaich *et al.* (2001) alguns pesquisadores da universidade federal de Pernambuco (UFPE), juntaram-se para tornar o bombeamento solar melhor no sertão pernambucano e nordestino. A pesquisa desenvolvida foi para aproveitar melhor a irradiação solar durante todo o dia, melhorando assim a eficiência do sistema.

O trabalho feito Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) acabou na criação do painel móvel que acompanha a trajetória do sol durante todo o dia, o trabalho ajudou bastante o interior nordestino, bombeando uma quantidade maior de água, ajudando o pequeno produtor em um lugar que muitas vezes só existe escassez (Frainderaich *et al.*, 2001)

3.6 Aplicações do bombeamento solar fotovoltaico em áreas rurais

Segundo Santiago (2014) o bombeamento solar no interior do estado do Piauí vem sendo bastante aproveitado em algumas comunidades, principalmente a comunidade de Exu, onde foi criado um pequeno oásis no meio da caatinga através do bombeamento solar. O projeto “Sol e Água no Sertão”, vem beneficiando diversos produtores rurais na comunidade Oeiras também no interior piauiense, onde se aproveita a água em abundância vinda do lençol freático para servir aos animais e as plantações.

De acordo com Azevedo (2020) a seca no Nordeste, de certa maneira, já está imortalizada pela busca de água. Antes quase todas as propriedades rurais da região utilizavam cata-vento para retirar água do solo, com a chegada do bombeamento solar, trouxe uma nova esperança para o povo tão sofrido, Se falta água na superfície, a solução seria buscá-la embaixo da terra. Se as plantações dos agricultores rurais sofriam com a falta das chuvas e o gado buscava o pasto em um terreno seco. Agora, as cores nas plantações refletem a grande

diversidade em legumes, verduras, forragem, frutas, cana de açúcar. Alguns agricultores já começaram a criar peixes em suas propriedades, o sol que antes castigava hoje bombeia esperança no sertão pernambucano.

3.7 Desafios e limitações

De acordo com Fedrizzi (2006), a melhor forma para fornecimento de água, é analisando a captação e o uso final da água. Se dão em pontos coletivos ou internamente a residências por meio de uma rede de distribuição que a fornece de forma direta ou não.

O conhecimento do relevo e da drenagem do terreno são de suma importância na instalação de um sistema de bombeamento, para assim não vir a causar problemas sanitários no futuro, Ou seja, o volume de água que é utilizado e eliminado deve acompanhar a capacidade de drenagem e saneamento, sob pena de agravar problemas sanitários na comunidade – algumas vezes, o que define o limite do abastecimento de água é a capacidade de esgotamento da água servida. Fedrizzi (2006)

À primeira vista, os problemas de abastecimento de água a populações rurais podem parecer de solução padronizada, no entanto, não é o que a realidade tem mostrado. Conceber um projeto de abastecimento de água para uma população localizada em zona árida, na qual não existe outra fonte de abastecimento, pode diferir em muito de um projeto de abastecimento a uma população localizada em zona úmida e com outras fontes como a água da chuva, de açudes, rios e minas d'água (Fedrizzi, 2006).

No primeiro caso, reduções ou interrupções do fornecimento de água poderão causar transtornos muito mais graves do que no segundo – por isso a importância em determinar a autonomia do sistema para cada caso. O tipo de manancial, a geologia local, a qualidade da água, além de características geográficas e culturais, vão ter seu papel no desenho final do projeto e não devem ser negligenciados. Conhecer em profundidade o problema a ser solucionado, bem como as formas de abastecimento preexistentes ao projeto é de grande utilidade, com vistas à otimização dos recursos, à melhor aceitação do serviço pelos usuários e à redução de impactos negativos do empreendimento. Outra questão básica para a solução do problema está relacionada às características socioeconômicas e culturais da população envolvida (Fedrizzi, M.; Zilles, R.; Sauer, I., 2006 p.2).

A forma de introdução da nova tecnologia, as condições materiais e de formação dos usuários desempenham papel importante na utilização e manutenção dos equipamentos. Para tanto, são úteis visitas à comunidade receptora do empreendimento, bem como o contato com entidades que trabalhem com aquela população há mais tempo, tais como instituições de extensão rural, de saúde e educação, organizações religiosas, e distintas organizações não-governamentais, dentre outras. (Fedrizzi, M.; Zilles, R.; Sauer, I., 2006 p.2)

Uma dos fatores que alteram a qualidade da geração de energia solar são fontes de sujeira que em sua maioria são a poligem e a poeira, que em certos casos muitas vezes são eliminadas através de uma quantidade considerada de chuva têm um maior acúmulo durante estações de seca e em regiões com baixo índice pluviométrico. Folhas, galhos e excrementos de animais também podem impactar, porém são menos comuns. (Cruz, R. *et al.*, 2024 p. 68)

4 METODOLOGIA

O presente estudo trata de uma pesquisa que se configura como descritiva e comparativa. No que diz a respeito aos procedimentos, compreendendo-se como descritivas tentativas de explorar e explicar sobre determinado tema, fornecendo informações adicionais sobre ele. E comparativa buscar dados e os comparar a resultados. (Diana, 2017)

Para a aplicação desta metodologia foi desenvolvida: uma feita uma pesquisa em campo; entrevista com uma família; levantamento de informações sobre o local; análise de fatura de energia; verificação do padrão de entrada da concessionária de energia; e verificação das características do motor existente.

Realizou-se uma visita a propriedade com o objetivo de coletar dados detalhados sobre o sistema de bombeamento de água existente, propondo a substituição do sistema atual que atualmente serve para abastecer as atividades agropecuárias.

A primeira parada foi no cacimbão, a principal fonte de água da propriedade, onde foi observado o funcionamento dos dois motores elétricos de 3 cv e 1,5 cv o produtor tem um gasto mensal aproximado em R\$ 350,00 com conta de energia elétrica, esses motores fazem o bombeamento de água para a irrigação e para os animais. Registrou-se a capacidade do cacimbão, o volume diário de água bombeada, conforme explicado na tabela 1;

Tabela 1- Consumo de água irrigação

Tipo da plantação	Dimen são	Área Total (m ²)	Consumo de Água por Semana (litros)	Consumo de Água por Dia (litros)	Consumo Total de Água por Semana (litros)
Capim	100m x 25m	2500	7.5	2679	18750
Feijão	20m x 50m	1000	25	3571	25000
Milho	20m x 50m	1000	35	5000	35000

Fonte: Autoria própria (2024)

Em seguida, foi analisado o consumo de água nas áreas de plantio e nos bebedouros dos animais, são aproximadamente 50 animais entre porcos e carneiros. Está localizado na zona rural de Marizópolis-PB no interior paraibano, possuindo uma área significativa dedicada ao

cultivo de capim e à criação de porcos e carneiros, foram recebidos pelo proprietário, que os acompanhou durante toda a inspeção.

Foram feitas medições dos volumes de água utilizados em diferentes horários do dia, bem como a identificação das horas de pico de consumo. Para entender melhor os padrões de uso da água e as possíveis variações. Conforme é explicado na Tabela 2;

Tabela 2 - Consumo diário de água dos animais

Animal	Quantidade	Consumo Diário (litros/animal)	Consumo Médio Total Diário (litros)
Porcos	30	10	300
Carneiros	20	5	100

Fonte: Aatoria própria (2024)

Outro aspecto crucial foi o levantamento dos custos operacionais atuais do sistema de bombeamento, incluindo a análise detalhada da fatura de energia elétrica, forneceu-se uma visão clara do consumo energético e dos custos associados. Também considerou os custos de manutenção do motor elétrico e eventuais interrupções no fornecimento de água devido a falhas mecânicas.

A principal finalidade desta visita foi a coleta de dados que são essenciais para o dimensionamento de um sistema de bombeamento solar. Os dados obtidos permitiram não apenas projetar um sistema eficiente, mas também analisar de forma socioeconômica a viabilidade de sua instalação.

Para o dimensionamento, levou-se em conta a radiação solar média da região, a eficiência dos painéis solares os painéis utilizados no sistema são da marca JA JAM72S30 possuindo uma potência média de 550w. Durante a visita, foi tirado fotos detalhadas da propriedade, incluindo o motor bomba elétrico e as áreas de cultivo. Essas imagens serão úteis para tomada de decisões sobre o projeto.

Em resumo, a visita à propriedade foi fundamental para reunir todas as informações necessárias para o dimensionamento de um sistema de bombeamento solar, que pode transformar a maneira como a água é gerida na propriedade, promovendo a sustentabilidade e a eficiência. A análise socioeconômica da possível instalação do sistema solar destacará suas vantagens.

4.1 O município de Marizópolis

O município de Marizópolis está localizado no Alto Sertão Paraibano, possui 97 hab./km² e uma população, de acordo com o último censo em 2022 de 6.705 hab. possui um território de 63,609 km², índice de irradiação de 2.137,6 kwh/m² por ano (IBGE, 2022).

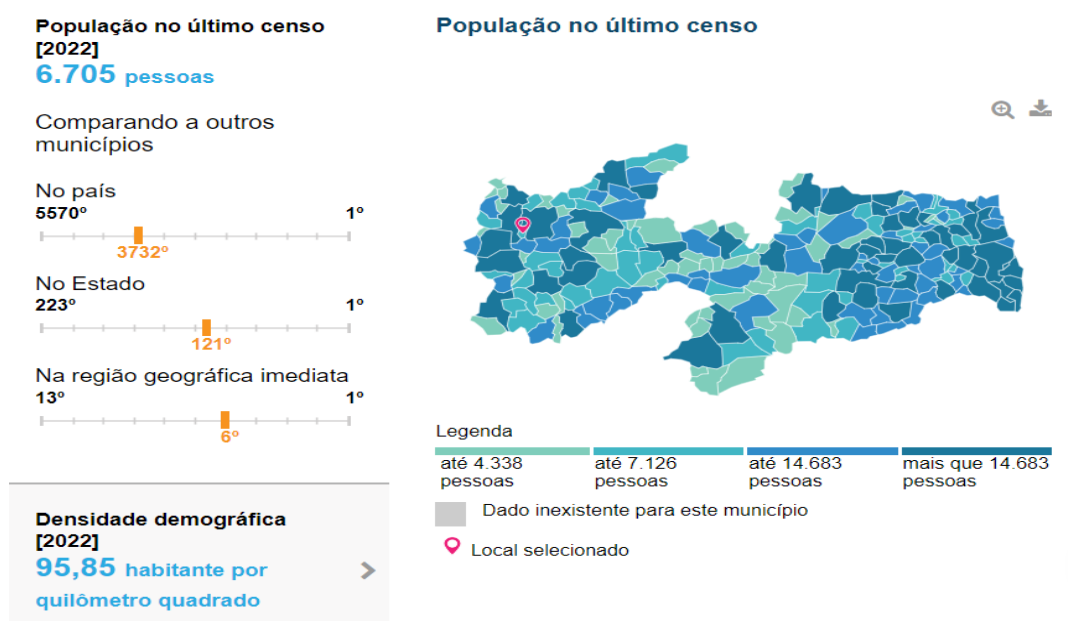
A densidade demográfica é de 95,85 habitantes por km² no território do município. Vizinho dos municípios de Sousa, Nazarezinho e São João do rio do peixe, Marizópolis é situada a 18 km a Sul-Oeste de Sousa, a cidade mais próxima nos arredores. Situado a 257 metros de altitude, de Marizópolis tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 6° 50' 19" Sul, Longitude: 38° 21' 7" Oeste (IBGE, 2022). Com isso na próxima figura tem-se um mapa de localização do município de Marizópolis na Paraíba, (Figura 10):

Figura 10- Mapa de localização do município de Marizópolis



Fonte: FUNASA, 2019

Apresenta 16,5% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 93,2% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 0% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Quando comparado com os outros municípios do estado, fica na posição 158 de 223, 89 de 223 e 170 de 223, respectivamente. Já quando comparado a outras cidades do Brasil, sua posição é 3886 de 5570, 1155 de 5570 e 4835 de 5570, respectivamente. (IBGE, 2022). Na Figura 11, tem-se:

Figura 11 - População e densidade demográfica do censo de 2022

Fonte: IBGE (2022)

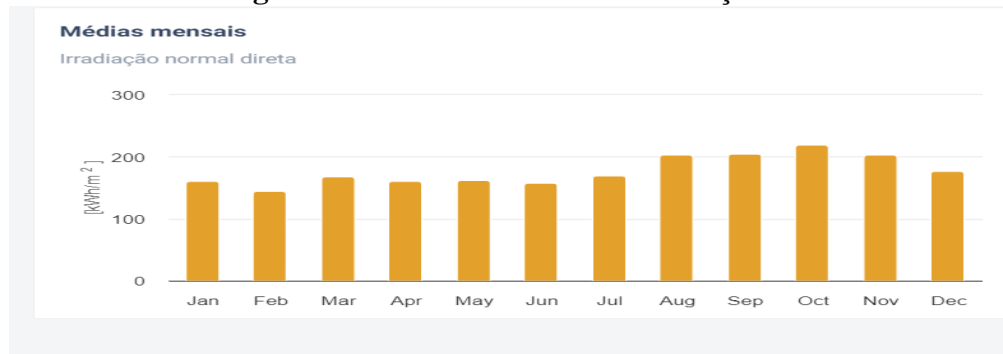
Em 2021, o PIB per capita era de R\$ 12.250,49. Na comparação com outros municípios do Estado, ficava nas posições 75 de 223 entre os municípios do estado e na 4326 de 5570 entre todos os municípios. Já o percentual de receitas externas em 2015 era de 97,8%, o que o colocava na posição 20 de 223 entre os municípios do estado e na 117 de 5570. Em 2023, o total de receitas realizadas foi de R\$ 47.433.321,14 (x1000) e o total de despesas empenhadas foi de R\$ 39.217.218,45 (x1000). Isso deixa o município nas posições 101 e 107 de 223 entre os municípios do estado e na 3956 e 3886 de 5570 entre todos os municípios (Ibge, 2022).

Em 2010, a taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade era de 97,3%. Na comparação com outros municípios do estado, ficava na posição 122 de 223. Já na comparação com municípios de todo o país, ficava na posição 3221 de 5570. Em relação ao IDEB, no ano de 2021, o IDEB para os anos iniciais do ensino fundamental na rede pública era 5,2 e para os anos finais, de 4,8. Na comparação com outros municípios do estado, ficava nas posições 61 e 41 de 223. Já na comparação com municípios de todo o país, ficava nas posições 3296 e 2559 de 5570. (IBGE, 2022).

O Atlas Solar é uma ferramenta essencial que fornece dados detalhados sobre a disponibilidade e intensidade da radiação solar em diferentes regiões. Ele é utilizado para avaliar o potencial de energia solar de uma área específica, auxiliando no planejamento e desenvolvimento de projetos solares fotovoltaicos. Este atlas inclui informações sobre a

irradiação solar diária e anual, o que ajuda a determinar a viabilidade econômica e técnica de instalações solares. Com isso na figura 12, tem-se:

Figura 12 - Médias mensais da irradiação normal direta



Fonte: Atlas solar global (2024)

4.2 Dimensionamento bombeamento solar

A vazão volumétrica é utilizada para um correto dimensionamento da motobomba que vai compor o sistema de bombeamento, para se calcular a vazão volumétrica que a bomba precisa bombear, é necessária saber a quantidade da vazão diária necessária em cada aplicação e a quantidade de horas de sol pleno da região em que o sistema será instalado (Reis; Correia, 2020)

Como mostrado na equação 01 abaixo.

$$Q_{mb} = \frac{Q_d}{HSP} [\text{m}^3/\text{h}] \quad (01)$$

Onde:

Q_{mb} é a vazão volumétrica da bomba (m^3/h)

Q_d é a vazão volumétrica diária (m^3/dia)

HSP é a quantidade de horas de sol pleno (h/dia)

Há algumas maneiras para se dimensionar um bombeamento entre essas formas existe, a análise de tabelas/gráficos e por equação, (Reis; Correia, 2020) é necessária para calcular a potência da motobomba:

Como mostrado na equação 02 abaixo.

$$P_{mb} = \frac{g \cdot H_m \cdot \rho_a \cdot Q_{mb}}{\eta_{mb} \cdot 3600} = W \quad (02)$$

Onde:

P_{mb} é a potência da motobomba (W)

g é a aceleração da gravidade ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$)

H_m é a altura manométrica (metros)

ρ_a é a densidade volumétrica da água ($\approx 997 \text{ kg/m}^3$)

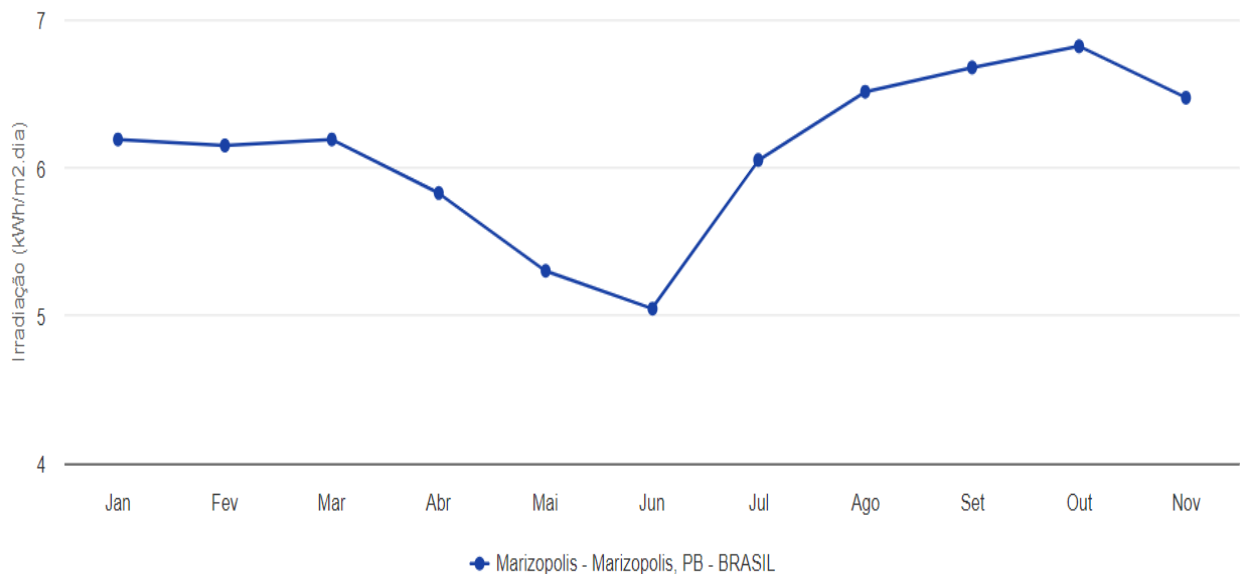
η_{mb} é o rendimento da bomba

Q_{mb} é a quantidade volumétrica da bomba (m^3/h)

Outro fator importante para o dimensionamento é a análise do HSP (Horas de sol pleno), conforme é explicado na figura 14: o município tem uma média de 6,05 Horas de sol por dia

Figura 13 - Horas de sol pleno Marizópolis - PB

6,843172° S; 38,34915° O



Fonte: Cresesb (2024)

4.3 Dimensionamento módulos fotovoltaicos

Para se determinar a potência de pico do sistema fotovoltaico é importante levar-se em consideração a potência que a motobomba deverá receber quando estiver em plena operação. (Reis; Correia, 2020).

Como mostrado na equação 03 abaixo.

$$P_{mpp} = \frac{V_{mb} \cdot I_{mb}}{PR} \quad (03)$$

Onde:

P_{mpp} = Potência de pico do sistema (Watt-pico)

V_{mb} = Tensão nominal da motobomba (Volts)

I_{mb} = Corrente nominal da motobomba (Âmperes)

PR = Taxa de desempenho do sistema FV (razão decimal)

Após o cálculo da potência de pico do sistema, é preciso realizar a escolha de um módulo fotovoltaico para dimensionar a quantidade de módulos que o sistema será composto, o próximo passo é determinar o número de módulos fotovoltaicos a serem utilizados para compor o sistema.

Como mostrado na equação abaixo 04.

$$N_p = \frac{P_{mpp}}{P_{mpp_mod}} \quad (04)$$

Onde:

N_p = Quantidade mínima de módulos FV para atender a demanda

P_{mpp} = Potência de pico do sistema FV (Watt-pico)

P_{mpp_mod} = Potência de pico dos módulos FV (Watt-pico)

Para compor os arranjos em que serão dispostos os módulos fotovoltaicos, é importante definir a tensão de alimentação do inversor de frequência em função da potência da motobomba. Com essa tensão definida, deve se coletar os dados de tensão inferior de limite e tensão superior de limite no barramento do inversor escolhido. A partir dessas informações, é possível calcular o número máximo e mínimo de módulos fotovoltaicos que irão compor o sistema. (Reis; Correia, 2020)

Como mostrado na equação abaixo 06.

$$N_p \text{ max} = \frac{V_{CFW_max}}{V_{oc_mod}}$$

$$N_p \text{ min} = \frac{V_{CFW_min}}{V_{mpp_mod}} \quad (05)$$

Onde:

$N_p \text{ max}$ = Número máximo de módulos FV conectados em série em cada arranjo

$N_p \text{ min}$ = Número mínimo de módulos FV conectados em série em cada arranjo

$VCFW_{\text{max}}$ = Tensão máxima admissível no barramento CC do inversor (Volts)

Durante a inspeção à propriedade, foram tiradas algumas fotos de alguns locais, como é mostrado a partir da figura 14:

Figura 14 - Cacimbão da propriedade



Fonte: Autoria própria (2024)

Foi analisado uma altura manométrica de 4 metros, sendo 3 metros em relação as bombas dentro do cacimbão até a superfície e 1 metro em desnível do terreno até a plantação e animais.

Figura 15 - Vista aérea da propriedade



Fonte: Google Earth (2024)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi dimensionado as principais partes um sistema de bombeamento solar fotovoltaico, vazão; potência da motobomba; módulos fotovoltaicos; e estipulado valor do sistema, que atendesse a demanda de recursos hídricos da propriedade, seguindo análises detalhadas do local, conforme explicado nas equações abaixo:

Motobomba:

$$Q_{mb} = \frac{Q_d}{HSP} [m^3/h] \quad Q_{mb} = \frac{11,9m^3}{5,05hsp} = [2,35m^3/h] \quad (06)$$

O Sistema necessita de 2,35m³/h

$$P_{mb} = \frac{g.Hm.Pa}{\eta_{mb}} \cdot \frac{Q_{mb}}{3600} [W] \quad \frac{9,81.4.997}{\eta_{mb}} \cdot \frac{2,35}{3600} = 1103,25 \quad (07)$$

Módulos fotovoltaicos:

No primeiro cálculo é estimado a demanda da motobomba

$$P_{mpp} = \frac{220.5.9}{0,80} = 1622.5Wp \quad (08)$$

No segundo cálculo é estabelecido a quantidade de módulos fotovoltaicos

$$N_p = \frac{P_{mpp}}{P_{mpp_mod}} = \frac{1622.5}{550} = 2,95 \text{ módulo} \approx 7 \text{ módulos fotovoltaicos} \quad (09)$$

Será utilizado no sistema 7 módulos de 550w de potência, devido a um desejo do proprietário em um possível aumento da plantação no futuro, por esse motivo o sistema escolhido terá 7 módulos fotovoltaicos, com isso na figura 19, temos:

Figura 16 - kit bombeamento solar proposto



IMAGEM MERAMENTE ILUSTRATIVA

Fonte: Kasatec solar (2024)

O sistema mais aquedado para a propriedade será com o uso de uma motobomba de 1,5 CV, devido a um desejo futuro do produtor em se ter culturas permanentes, que necessitam de uma quantidade de água maior, como uma plantação de coco, o sistema será usado durante o dia, na parte da manhã e tarde, não havendo bombeamento à noite. O sistema custará ao produtor rural um valor aproximado em R\$ 9000,00.

Foram dimensionados no projeto 7 módulos fotovoltaicos com potência de 550w da marca JA JAM72S30, justamente devido a um comentário do produtor rural em se aumentar a plantação em um futuro próximo. O sistema não precisará de inversor pois a motobomba é em corrente contínua, precisando somente de uma proteção antes da entrada da energia na motobomba; por exemplo um disjuntor CC.

Uma das maiores vantagens desse tipo de sistema é por conta de não se haver burocracia na concessionária local de energia onde está sendo instalado o sistema, por conta que o sistema é desconectado da rede elétrica, e desse modo também a não necessidade de armazenamento em um bando de baterias, assim favorecendo o uso em áreas cada vez mais remotas.

Nesta análise o produtor rural terá uma economia aproximada em R\$ 4080,84 durante um ano, destinando este valor economizado em possíveis melhorias na estrutura da propriedade. Na tabela 3, é explicado a economia mensal e anual da propriedade

Tabela 3 - Economia mensal e anual

Descrição	Antes (R\$)	Depois (R\$)	Economia Mensal (R\$)
Energia	350	9,93	340,07
Alimentação dos animais	400	400	0
Total	750	409,93	340,07
Mensal			
Economia Anual			4080,84

Fonte: Autoria própria (2024)

A implementação de energia solar no bombeamento de água resultou em uma economia mensal de R\$ 340,07 na conta de energia, reduzindo os custos. Essa redução representa uma economia anual de R\$ 4.080,84, aliviando significativamente o orçamento doméstico e demonstrando o impacto positivo das tecnologias sustentáveis na redução de despesas. Além disso, essa mudança promove benefícios ambientais ao reduzir a dependência de fontes de energia convencionais, contribuindo para um desenvolvimento socioeconômico mais sustentável de áreas rurais.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar o impacto socioeconômico e o dimensionamento de um sistema de bombeamento solar fotovoltaico. Os resultados indicaram que uma possível implementação desse sistema irá trazer mudanças significativas e melhorias tanto no aspecto econômico quanto social para a propriedade estudada. O proprietário da área estudada se mostrou bastante entusiasmado com a possibilidade da adoção de um sistema fotovoltaico, pois o mesmo ainda conhecia tão bem essa tecnologia.

Ao final da visita, discutiu-se com o proprietário sobre as possíveis vantagens da transição para a energia solar, como a redução dos custos operacionais e a menor dependência da rede elétrica. Ele se mostrou bastante interessado e esperançoso com a possibilidade de tornar sua propriedade mais sustentável e economicamente viável a longo prazo, assim podendo manter plantações que necessitam de uma quantidade maior de água durante um ano inteiro como exemplo do feijão, milho e coco.

A adoção do bombeamento solar reduzirá drasticamente os custos operacionais associados ao bombeamento de água, substituindo fonte de energia convencional por uma fonte de energia limpa e renovável. Este impacto econômico positivo foi observado através da redução de despesas com energia elétrica, o que permitiu um aumento na disponibilidade financeira para outros investimentos locais, o proprietário terá uma economia da energia elétrica aproximada em R\$ 4.080,84 durante um ano.

Como propostas futuras para melhoria desse estudo é sugerido a realização de simulações computacionais detalhadas. Essas simulações vão permitir modelar diferentes cenários e avaliar a performance do sistema em diversas condições operacionais. Através dessas análises, será possível identificar o dimensionamento ideal dos painéis solares, detalhes sobre emissões de gases do efeito estufa, determinar a melhor localização para a instalação e prever o desempenho durante um ano do sistema. Esse processo de simulação é essencial para antecipar e acabar com possíveis problemas, garantindo que o sistema opere de forma eficiente e confiável.

Além disso a implementação deste sistema de bombeamento solar também pode ser viabilizada através da arrecadação de recursos junto à prefeitura do município estudado. Projetos que promovem a sustentabilidade ambiental têm grande potencial para receber apoio governamental, especialmente em iniciativas que resultam em economia de recursos públicos a longo prazo. Além disso, é possível buscar apoio por meio de projetos de iniciação científica

da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). A Universidade possui programas de pesquisa que podem fornecer tanto os recursos financeiros quanto o suporte técnico necessário para a realização de estudos e uma possível implementação do projeto.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. H. et al. Sistema de bombeamento de água com energia solar fotovoltaica utilizando motor de indução trifásico. In: *CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUIDA E ENERGIA NO MEIO RURAL*. [S.l.: s.n.], 2008

ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Edição 3. Brasília, Brasil, 2008.

APV. Pesquisadores traçam gargalos e soluções para o semiárido nordestino. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/sem-categoria/pesquisadores-tracam-gargalos-esolucoes-para-o-semiarido-nordestino/>. Acesso em: 27 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10899: Energia solar fotovoltaica - terminologia*. Rio de Janeiro, 2013. 5 p.

AZEVEDO. Poços artesianos com energia solar transformam a realidade em Pernambuco.

Dci. Disponível em: <https://www.dci.com.br/servicos/energia/pocos-artesianos-com-energiasolar-transformam-a-realidade-em-pernambuco/24032/> acesso em: 10 nov 2023

BRAGA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA ENERGIA SOLAR

FOTOVOLTAICA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES Rio de Janeiro, RJ -Brasil

Novembro de 2008. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7372/1/monopoli10001103.pdf>. Acesso em 19 jun 2024

CAMPOS, M. S.; ALCANTARA, L. D. S. DE. Sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 1, n. 1, p. 205–214, 13 nov. 2018.

CANÇADO, J. C. S. Análise de um sistema de bombeamento fotovoltaico. monografias.ufop.br, 2018.

CARLOS MADEIRO - Nordeste está secando com mudanças climáticas, alerta relatório do IPCC. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/colunas/carlos-madeiro/2022/03/07/nordeste-esta-secando-com-mudancas-climaticas-alerta-relatorio-do-ipcc.htm>. Acesso em: 1 dez. 2022.

CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em:

<https://cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em 20 jun. 2024

CRUZ, R. et al. PROCESSO AUTOMÁTICO PARA LIMPEZA DE SISTEMA

FOTOVOLTAICO. *Projectus*, v. 8, n. 2, p. 67–85, 11 mar. 2024.

DIANA - Quais as diferenças entre pesquisa descritiva, exploratória e explicativa. Disponível em: <https://www.diferenca.com/pesquisa-descritiva-exploratoria-e-explicativa/>. Acesso em 18 jun. 2024

DS New Energy, Introdução ao Sistema Solar Híbrido – Sistema fotovoltaico híbrido
Conhecimento - DS New Energy. Disponível em: <https://pt.dsisolar.com/info/introduction-to-hybrid-solar-system-36644506.html>. Acesso em: 23 jun. 2024.

ELEKTSOLAR INNOVATIONS. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações. 2016.

Energias renováveis na agricultura. Disponível em:
<https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/energias-renovaveis-agricultura>. Acesso em: 22 maio. 2024.

FEDRIZZI, M. C.; SAUER, I. L. Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas

FEDRIZZI, M.; ZILLES, R.; SAUER, I. Impreso en la Argentina. v. 10, 2006.

FRAIDENRAICH, N. Tecnologia solar no brasil. os próximos 20 anos. In: *Conferência sobre Sustentabilidade na geração e uso da energia no Brasil: os próximos 20 anos*. [S.l.: s.n.], 2004.

FRAINDERAICH. Bomba de água com rastreador solar no sertão. (Pesquisa FAPESP).disponivel em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/bomba-de-agua-com-rastreadorsolar-no-sertao/> acesso em: 5 nov. 2023

FREDRIZZI, M. C. Fornecimento de Água com Sistemas de Bombeamentos Fotovoltaicos. Dissertação de Pós- Graduação em Energia da Universidade de São Paulo 1997.

FREITAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AGROECOLOGIA OSMAR FREITAS DOS SANTOS VARIABILIDADE ESPACIAL DA CHUVA DE SEMENTES EM ÁREA CILIAR DA CAATINGA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO. SUMÉ -PB 2017. [s.l: s.n.]. Disponível em:
<<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/4954/1/OSMAR%20FREITAS%20DOS%20SANTOS%20-%20TCC%20Agroeocologia%202017.pdf>>.

HERNANDEZ, R. R.; EASTER, S. B.; MURPHY-MARISCAL, M. L.; MAESTRE, F. T.; TAVASSOLI, M.; ALLEN, E. B.; BARROWS, C. W.; BELNAP, J.; OCHOA-HUESO, R.; RAVI, S.; ALLEN, M. F. Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, vol. 29,pp. 766-779. 2014.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY; CLEANENERGY MINISTERIAL. 2014. The socio-economic benefits of solar and wind energy: an econValue report.

JR SOLAR, projeto Fotovoltaico Off-grid - Dimensionamento solar off-grid - JrSolar Empresa de Energia Solar - Fotovoltaico. Sistema solar desconectado da rede elétrica. Disponível em: <<https://jrsolar.com.br/projeto-fotovoltaico-offgrid/>>. Acesso em 2 de jun. 2024

LACERDA, F. F. et al. Conceito de sistemas agrovoltáicos no Nordeste: uma solução de desenvolvimento ecossustentável para o Semiárido nordestino. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 42, p. e189543–e189543, 8 set. 2022.

LI, G. et al. Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 79, p.440- 458, nov. 2017. Elsevier BV.

LOPEZ, RICARDO ALDABÓ. *Qualidade na energia elétrica - Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções*. 2. Ed.2013

MARIZÓPOLIS - PMSB PB. Disponível em: <https://pmsb-funasa.uaec.ufcg.edu.br/municipios/marizopolis>. Acesso em: 18 jun. 2024.

MÉLENDEZ, T. A. F. *Avaliação de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento*. Dissertação (Mestrado em Energia) — Universidade de São Paulo - USP, 2009.

MESQUITA, G. F. de. Estudo comparativo de consumo energético de uma motobomba centrífuga com o controle da vazão na forma tradicional e com a utilização do inversor de frequência. Monografia (Projeto de Graduação) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: . Acesso em: 20 nov. 2023.

MME. *Plano Nacional de Energia - 2030*. Brasília, 2017.
OMS / UNICEF. Programa Conjunto de Monitoramento de Abastecimento de Água e Saneamento, 2013.

PEREIRA, F. A. S.; OLIVEIRA, M. A. S. *Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica*. [S.l.]: Publindústria, 2015.

PERNAMBUCO, D. DE. Nordeste está entre as regiões que mais sofreram mudanças climáticas. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/brasil/2023/08/nordeste-esta-entre-as-regioes-que-mais-sofreram-mudancas-climaticas.html>. Acesso em 15 jun. 2024

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, Brasil, 2014.

PORTAL EMBRAPA, escassez de desperdício de água de chuva em comunidades do semiárido do Nordeste. - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/155829/escassez-de-desperdicio-de-agua-de-chuva-em-comunidades-do-semi-arido-do-nordeste>. Acesso em: 20 maio. 2024.

PORTAL SOLAR, passo a passo da fabricação do painel solar - Tudo sobre energia solar fotovoltaica. Composição de um módulo fotovoltaico Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passos-a-passos-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em 20 jun 2024.

POTÊNCIA, R. Energia solar: sistemas on-grid e off-grid. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/eletricista-consciente/instalacao-fotovoltaica/energia-solar-sistemas-on-grid-e-off-grid/>. Acesso em 10 jun. 2024

REBOUÇAS, Aldo da C. O Potencial de Água do Semiárido Brasileiro: Perspectivas do Uso Eficiente. Universidade de São Paulo. American Institute of Hydrology, 2002.

REIS, CORREIA. *Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para acionamento de bombas submersas*. Farroupilha, 2020.

SANTIAGO, Pedro. No sertão do PI, energia solar bombeia água do subsolo para irrigar plantação. G1 Piauí. Disponível em: <http://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2014/11/no-sertao-do-pi-energia-solar-bombeiaagua-do-subsolo-para-irrigar-plantacao.html> acesso em: 4 nov 2023

SEBRAE, a importância das energias renováveis em propriedades rurais. Disponível em: <https://sebraers.com.br/energia/importancia-das-energias-renovaveis-em-propriedades-rurais/#:~:text=A%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energias%20renov%C3%A1veis.> Acesso em: 21 maio. 2024.

SHAPEFILE, Semiárido. Disponível em: <https://mapadamina.org.br/shapefile>. Acesso em: 18 jun. 2024.

SISTEMA ON- GRID: O processo de produção de energia solar fotovoltaica - Bao Ribeiro Advogados. Disponível em: <https://baoribeiro.com.br/blog/sistema-de-energia-on-grid-como-funciona/>. Acesso em 9 jun. 2024

SOELMA, M. et al. 3 21 Rebert Coelho Correia Lúcia Helena Piedade Kiill. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54762/1/01-A-regiaosemiarida-brasileira.pdf-18-12-2011.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2023

SOLAR BRASIL, sistema fotovoltaico hibrido e componentes. O que é energia solar fotovoltaica? Disponível em: <https://www.solarbrasil.com.br/energia-solar/>>. Acesso em 10 jun 2024

SONTAKE, V C; KALAMKAR, V R. Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 59, p.1038-1067, jun. 2016. Elsevier BV.

TECNOLOGIA, T. Kit bombeamento solar 1,5cv 220v - até 32.000 Litros/dia kit bombeamento solar proposto. Disponível em: https://www.lojakasatec.com.br/kit-bombeamento-solar-1-5cv-220v?variant_id=819&parceiro=1158&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwvvmzBhA2EiwAtHVrb_PM-rmW2qw_S0e6RtFbaH0IFy0Obt-xsazaiZ1C5zVA9-0Nk5B0IxoCfXwQAvD_BwE. Acesso em: 25 jun. 2024.

TOLMASQUIM, M. T. *Energia Renovável - Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica*. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. *Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados a Rede*. São Paulo: Saraiva, 2016.

WALKER, E. Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/server/api/core/bitstreams/37bdf562-ba21-4c40-9562-3a6ca7df9cdf/content>. Acesso em: 23 jun. 2024.