



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

VINÍCIUS CASAGRANDE LEAL

Sistema de bombeamento fotovoltaico para fornecimento de água: estudo de caso
Colégio SOPHUS

Rosana - SP
2022

VINÍCIUS CASAGRANDE LEAL

**Sistema de bombeamento fotovoltaico para fornecimento de água: estudo de caso
Colégio SOPHUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria de Curso de Engenharia de
Energia do Campus Experimental de Rosana,
Universidade Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia de Energia.

Orientador(a): Profa. Dra. Cláudia Gonçalves
de Azevedo

Rosana - SP
2022

L435s Leal, Vinícius Casagrande
Sistema de bombeamento fotovoltaico para
fornecimento de água : estudo de caso Colégio SOPHUS /
Vinícius Casagrande Leal. -- Rosana, 2022
81 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado -
Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana
Orientadora: Claudia Gonçalves de Azevedo

1. Energia. 2. Fotovoltaico. 3. Bombeamento. 4. Água.
5. Solar. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

VINÍCIUS CASAGRANDE LEAL

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Cláudia Gonçalves de Azevedo
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva
UNESP-Rosana

Prof. Dr. Kleber Rocha de Oliveira
UNESP-Rosana

Dezembro 2022

Dedico este trabalho
de modo especial, aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Quero por meio deste agradecer primeiramente a Deus, por minha vida e de minha família, por ter nos sustentado até aqui, por ter nos dado forças, discernimento, conhecimento e perseverança para conseguirmos vencer todas as dificuldades diárias.

À minha mãe Maria Luisa Casagrande Leal, por ser uma mulher exemplar, companheira, guerreira e conselheira, ao meu pai Valdinei José Leal, por ter me ensinado a ser forte e nunca desistir dos meus objetivos.

A minha namorada Bruna Maria Valente, pelo suporte e compaixão dados durante os períodos mais difíceis da minha graduação.

Aos meus amigos e colegas por terem me apoiado sempre com uma palavra de incentivo ou conforto, sempre estando ao meu lado em momentos de necessidades.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer aos professores, aos funcionários da UNESP - Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana por sempre estarem dispostos a me ajudar, e principalmente minha orientadora Professora Dra Cláudia Gonçalves de Azevedo.

“Por mais difícil que a vida possa parecer, sempre a
algo que podemos fazer em que podemos obter sucesso.
Enquanto houver vida, haverá esperança.”

Stephen Hawking

RESUMO

A água é um dos recursos do planeta mais indispensáveis para a subsistência da vida humana, seja para consumo próprio, agricultura, pecuária e até em diversos processos industriais, entretanto com a expansão das ações antrópicas este recurso está se tornando cada vez mais escasso e aumentando seu valor. Cerca de 30% da água doce se encontra no subsolo e de difícil acesso a uma grande parcela da população, por este motivo a perfuração de poços e sistemas de bombeamento tem sido uma excelente alternativa a este problema. Estes sistemas necessitam de energia elétrica, que pode ser obtida pela conversão da energia solar, diminuindo custos e/ou levando sistemas de bombeamento de água a lugares desprovidos de redes de energia elétrica. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é projetar um sistema de bombeamento de água abastecido por energia solar que garanta a autossuficiência deste recurso ao colégio SOPHUS, localizado no município de Rosana – SP, bem como realizar o estudo da viabilidade econômica para implementação deste sistema. A partir dos resultados obtidos na análise econômica verificou-se que a implementação do sistema proposto é viável para o Colégio SOPHUS, gerando uma receita de aproximadamente R\$ 66.333,27/ano devido a redução dos gastos de energia para o bombeamento e com a redução dos gastos com o consumo de água. Além disso, a análise econômica também demonstrou que o projeto proposto é viável, apresentando Valor Presente Líquido de R\$ 422.390,80, Taxa Interna de Retorno de 163% e o *Payback* dentro de 8 meses. Os resultados indicam um investimento com retorno rápido e de alta lucratividade, sendo economicamente atrativo para o colégio SOPHUS.

PALAVRAS-CHAVE: Água, energia, sistema, bombeamento, fotovoltaico, SOPHUS.

ABSTRACT

Water is one of the indispensable resources for the subsistence of human life on the planet, whether for personal consumption, agriculture, livestock and even in various industrial processes. However, it is becoming increasingly scarce and growing its value due to the expansion of anthropic actions. About 30% of clean water is located in the subsoil where a large part of the population does not have access to it. The drilling of wells and installation of pumping systems have been shown as a solution to this problem. The electrical demands of these systems may be provided through the conversion of solar energy, which would reduce costs and enable the installation of water pumping systems in places deprived of electrical power grids. Therefore, the aim of this study was to design a water pumping system supplied by solar energy that guarantees water self-sufficiency to the SOPHUS school, located in the municipality of Rosana - SP, and present an economic viability analysis for the implementation of the system. The results obtained in the economic analysis demonstrate that the implementation of the proposed system is feasible in the SOPHUS school, generating revenue of approximately R\$ 66.333,27/year due to the reduction of energy costs for pumping and the reduction of costs with water consumption. In addition, the economic analysis also demonstrated that the proposed project is viable, presenting Net Present Value of R\$ 422.390,80, Internal Rate of Return of 163% and the Payback within 8 months. The results indicate an investment with a quick return and high profitability, being economically attractive for the SOPHUS school.

KEYWORDS: Water, energy, system, pumping, photovoltaic, SOPHUS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição de água do planeta	15
Figura 2 – Consumo de água por fontes	16
Figura 3 – Mapa global de irradiação solar horizontal	18
Figura 4 – Matriz global de irradiação solar horizontal no Brasil	19
Figura 5 – Incidência solar global média anual no estado de São Paulo	20
Figura 6 – Semicondutores tipo P e tipo N	21
Figura 7 – Junção PN	21
Figura 8 – Dopagem do Silício	22
Figura 9 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício	22
Figura 10 – Potencial fotovoltaico global	23
Figura 11 – Geração solar fotovoltaica 2010-2030	24
Figura 12 – Repartição da oferta de “Outros renováveis” de 2021	25
Figura 13 – Matriz elétrica brasileira de 2021	25
Figura 14 – Componentes dos sistemas fotovoltaicos	26
Figura 15 – Sistemas conectados à rede	27
Figura 16 – Sistemas híbridos	28
Figura 17 – Sistemas isolados	29
Figura 18 – Diagrama esquemático de um sistema de bombeamento fotovoltaico	30
Figura 19 – Diagrama de um sistema de bombeamento fotovoltaico sem armazenamento de energia elétrica	31
Figura 20 – Tecnologias utilizadas em sistemas de bombeamento fotovoltaico	32
Figura 21 – Composição de um módulo fotovoltaico	34
Figura 22 – Motobomba submersa	36
Figura 23 – Localização geográfica do município de Rosana	44
Figura 24 – Localização e vista do colégio SOPHUS	45
Figura 25 – Tela inicial do <i>software</i> RETScreen	46
Figura 26 – Dados climáticos fornecidos pelo <i>software</i> RETScreen para Quebec-Canadá	47
Figura 27 – Diagrama esquemático de um sistema de bombeamento fotovoltaico para um poço	49
Figura 28 – Caixa d’água Incofima	55
Figura 29 – Posição do colégio em relação ao local de referência	56

Figura 30 – Dados climáticos fornecidos pelo <i>software</i> RETScreen para Nova Andradina – Mato Grosso do Sul	56
Figura 31 – Poço do colégio SOPHUS.....	57
Figura 32 – Dados geológicos fornecidos pelo SIAGAS	58
Figura 33 – Perfil construtivo fornecido pelo SIAGAS	58
Figura 34 – Teste de bombeamento fornecido pelo SIAGAS	59
Figura 35 – Esquema do reservatório	60
Figura 36 – Bombeamento fotovoltaico - nível 1	62
Figura 37 – Bombeamento fotovoltaico - nível 2.....	63
Figura 38 – Bombeamento fotovoltaico – inversor e resumo	63
Figura 39 – Micro inversor hoymiles HMS-1800	65
Figura 40 – Datasheet do microinversor.....	65
Figura 41 – Custos, economia e receitas	66
Figura 42 – Fluxo de caixa anual.....	67
Figura 43 – Fluxo de caixa cumulativo	67
Figura 44 – Viabilidade financeira	68
Figura 45 – Análise de emissões	71
Quadro 1 – Conceitos relacionados aos parâmetros.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perda de carga em tubulações PVC	50
Tabela 2 – Perdas de carga em conexões PVC	50
Tabela 3 – Consumo diário de água em litros	54
Tabela 4 – Capacidade do reservatório em litros.....	55
Tabela 5 – Características do poço	57
Tabela 6 – Dimensões do sistema hidráulico e potência da bomba.....	61
Tabela 7 – Resumo do projeto do sistema fotovoltaico.....	64
Tabela 8 – Especificações do módulo fotovoltaico selecionado	64
Tabela 9 – Viabilidade financeira do sistema de bombeamento fotovoltaico proposto	69

LISTA DE SÍMBOLOS

m^2 :	metros quadrados
m^3 :	metros cúbicos
%:	porcento
L:	litros
R_0 :	investimento inicial
R_n :	valor do fluxo de caixa gerado pelo projeto
$^{\circ}$:	graus
$'$:	minutos
$''$:	segundos
C_m :	consumo diário de água
N_p :	potência hidráulica requerida
P_H :	altura manométrica
Q_m :	vazão média
h_{mc} :	altura manométrica corrigida
h_t :	carga nas tubulações
h_c :	carga nas conexões
h_e :	altura estática
h_d :	altura dinâmica
h_r :	altura do reservatório
H_{TE} :	altura equivalente
Q_{Max} :	vazão máxima
$L_{corrigido}$:	comprimento equivalente total linear
$L_{tubulação}$:	comprimento da tubulação
$L_{válvula}$:	perda de carga por válvulas
L_{joelho} :	perda de carga por joelhos
ρ_a :	densidade da água
m:	metros
s^2 :	segundos ao quadrado
Kg:	quilogramas
E_H :	energia hidráulica
g:	aceleração da gravidade
E_{EL} :	energia elétrica diária
Q_d :	volume diário de água
P_{FV} :	potência do gerador fotovoltaico
S:	sul
W:	oeste
mm:	milímetros
h:	horas
mca:	metros de coluna de água
Wh:	watt hora
V:	volts
Hz:	frequência
W_p :	watt pico
A:	amperes
$^{\circ}C$:	graus celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
1.2	OBJETIVOS.....	17
1.2.1	Objetivo geral.....	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	ENERGIA SOLAR NO MUNDO E NO BRASIL	18
2.2	ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	20
2.2.1	Energia solar fotovoltaica na matriz mundial e brasileira	23
2.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	26
2.3.1	Sistemas conectados à rede	27
2.3.2	Sistemas híbridos	27
2.3.3	Sistemas isolados.....	28
2.4	SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICOS.....	29
2.4.1	Módulos fotovoltaicos.....	33
2.4.2	Inversor	34
2.4.3	Conjunto motobomba	34
2.4.4	Reservatório de água	37
2.4.5	Poço – fonte de água	37
2.4.6	Estudos antecedentes.....	39
2.5	ANÁLISE ECONÔMICA	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	44
3.2	DISPONIBILIDADE DE ENERGIA SOLAR.....	45
3.3	PROJETO DO SISTEMA HIDRÁULICO.....	47
3.3.1	Determinação do consumo de água.....	47
3.3.2	Dimensionamento do sistema de geração	48
3.4	PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1	CÁLCULO DO CONSUMO E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA NA ESCOLA	54
4.2	RADIAÇÃO DOLAR NA LOCALIDADE EM ESTUDO	55

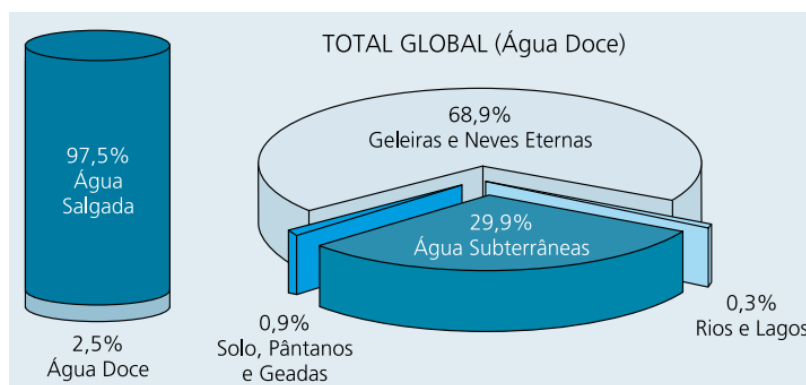
4.3	DESCRIÇÃO DO POÇO	57
4.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO	59
4.5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	60
4.6	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO... ..	66
4.7	ESTIMATIVA DA ECONOMIA COM OS CUSTOS DE ÁGUA.....	68
4.8	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO PROPOSTO	69
4.9	ANÁLISE DE RISCO DO INVESTIMENTO.....	70
4.10	ANÁLISE DE EMISSÃO	70
5	CONCLUSÃO.....	72
6	REFERÊNCIAS	73

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A água é um dos recursos mais importantes e necessários para o planeta, uma vez que permite que todos os seres vivos possam manter seu ciclo de vida, seja através de sua utilização de maneira direta ou indireta. Entretanto, apesar da água cobrir cerca de 2/3 da superfície terrestre, a água doce corresponde a apenas 2,5% do total disponível (Figura 1), sendo aproximadamente 70% da água potável encontrada em geleiras e calotas polares localizadas em regiões montanhosas (BRITO *et al.*, 2007).

Figura 1 - Distribuição de água do planeta



Fonte: BRITO *et al.*, 2007

Para os seres humanos a água se faz ainda mais importante, pois além de ser utilizada para o consumo no uso doméstico é utilizada em larga escala para agricultura e inúmeros processos industriais, influenciando de modo direto a economia global (JIMÉNEZ, 2017).

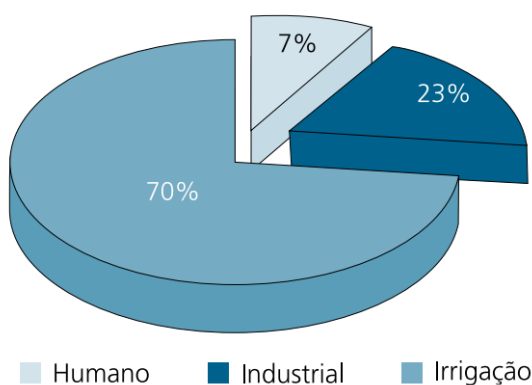
De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018), conforme indica a Figura 2, a maior parte do consumo mundial de água ocorre no setor de irrigação, responsável por 70% da água consumida no mundo, seguido pelo setor industrial (23%) e uso humano (7%). Entretanto o consumo por setores varia de acordo com a região, em regiões desenvolvidas o uso industrial é responsável pelo maior consumo de água enquanto que em regiões subdesenvolvidas o uso agrícola é responsável pelo maior consumo de água (FAO, 2018).

As águas subterrâneas representam aproximadamente 99% de toda a água doce líquida na Terra e fornecem metade do volume de água captado para uso doméstico pela população

global, incluindo a água potável para a grande maioria da população rural que não recebe água entregue via rede pública ou sistemas de abastecimento privados, e cerca de 25% de toda água retirada para irrigação, atendendo 38% das terras irrigadas do mundo (UNESCO, 2022). As águas subterrâneas também são utilizadas para suprir outras demandas em países desenvolvidos ou não, tais como, para produção de energia bem como na indústria, dentre outras aplicações.

Neste contexto, estima-se que nas últimas três décadas foram perfurados cerca de 300 milhões de poços artesianos ao redor do mundo à fim de suprir as demandas da população, sendo os Estados Unidos responsável por um terço destes reservatórios (REBOUÇAS, 2001).

Figura 2 - Consumo de água por fonte



Fonte: BRITO *et al.*, 2007

Para realizar a captação da água dos poços artesianos se faz necessária a utilização de sistemas de bombeamento de água, compostos por motobombas. Um conjunto motobomba é formado por um motor elétrico, que converte a energia elétrica em energia mecânica, e uma bomba, que transfere a energia mecânica do motor para o líquido a ser transportado. Portanto, se faz necessário o fornecimento de energia elétrica para que o sistema de bombeamento de água possa operar.

Uma vez que a água e energia são fatores importantes para o desenvolvimento socioeconômico da comunidade em geral, principalmente em localidades remotas ou situações de falta de energia.

Nesse contexto, tem destaque o desenvolvimento de sistemas de bombeamento de água em poços artesianos e/ou poços simples utilizando a energia solar fotovoltaica, uma vez que tais sistemas apresentam praticidade, baixo custo inicial, excelente retorno econômico a longo prazo e elevada vida-útil (VICENTIN, 2014; CAMPOS, 2018). Portanto, o bombeamento de

água utilizando energia fotovoltaica consiste em uma alternativa bastante viável para comunidades rurais e isoladas da rede elétrica, e devido a simplicidade de tais sistemas, pode-se solucionar o problema crucial da falta de água, principalmente para água utilizada para irrigação, pecuária e consumo humano (TRINDADE JÚNIOR, 2012). Além disso, tais sistemas são confiáveis e seguros, eficientes, são de fácil instalação e necessitam de pouca manutenção, sendo, portanto, uma alternativa sustentável e econômica que permite reduzir consideravelmente o custo de energia elétrica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise teórica para avaliar a possibilidade da implementação de um sistema de bombeamento fotovoltaico de água para o Colégio SOPHUS.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a disponibilidade de energia solar na localidade;
- Dimensionar o sistema solar fotovoltaico para suprir a demanda de água;
- Estimar o consumo médio de água do colégio SOPHUS;
- Realizar o estudo de viabilidade econômica proposto;
- Realizar a simulação do sistema de bombeamento hidráulico proposto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

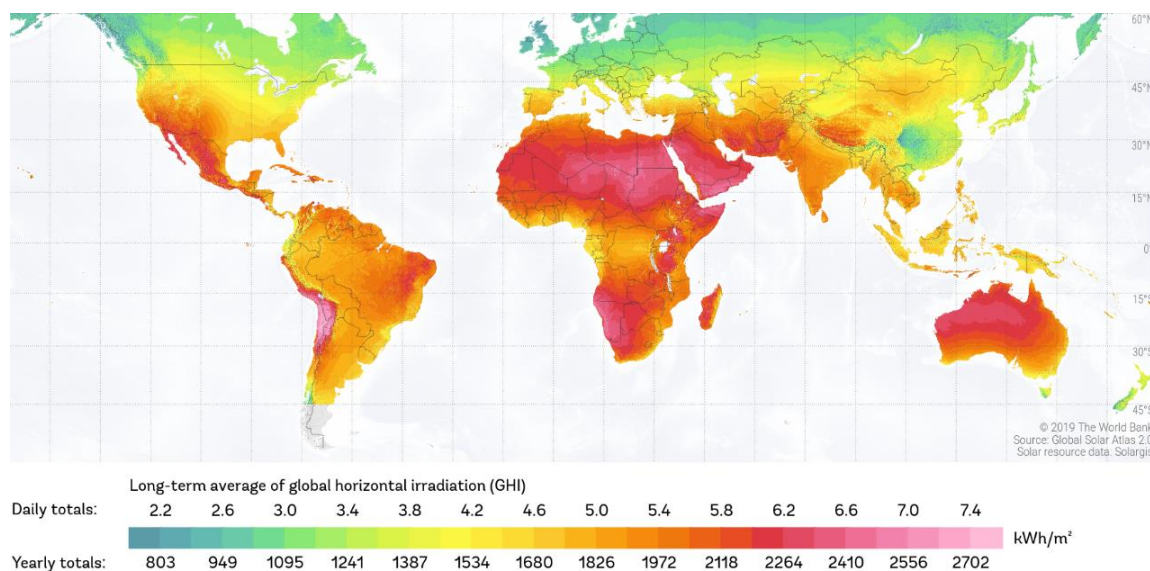
2.1. ENERGIA SOLAR NO MUNDO E NO BRASIL

A energia solar sempre desempenhou um papel primordial e indispensável para a vida na terra, desde os tempos mais remotos o homem foi capaz de perceber a importância do sol para o ciclo de vida dos vegetais e animais.

A energia proveniente do sol é tão elevada que é emitida para os planetas do sistema solar através de ondas de radiação, as quais emitem energia térmica e luminosa, e quanto mais próximo o planeta estiver do sol mais energia receberá (HELEBROCK, 2019).

Toda a superfície terrestre recebe energia proveniente do Sol, entretanto, sua distribuição varia de acordo com a região, sendo o potencial de energia solar de cada região determinado a partir de as três componentes: variabilidade temporal, distribuição espacial e as incertezas associadas a estas componentes (PEREIRA *et al.*, 2017). A Figura 3 apresenta o potencial de radiação solar global no mundo.

Figura 3 – Mapa global da irradiação solar horizontal



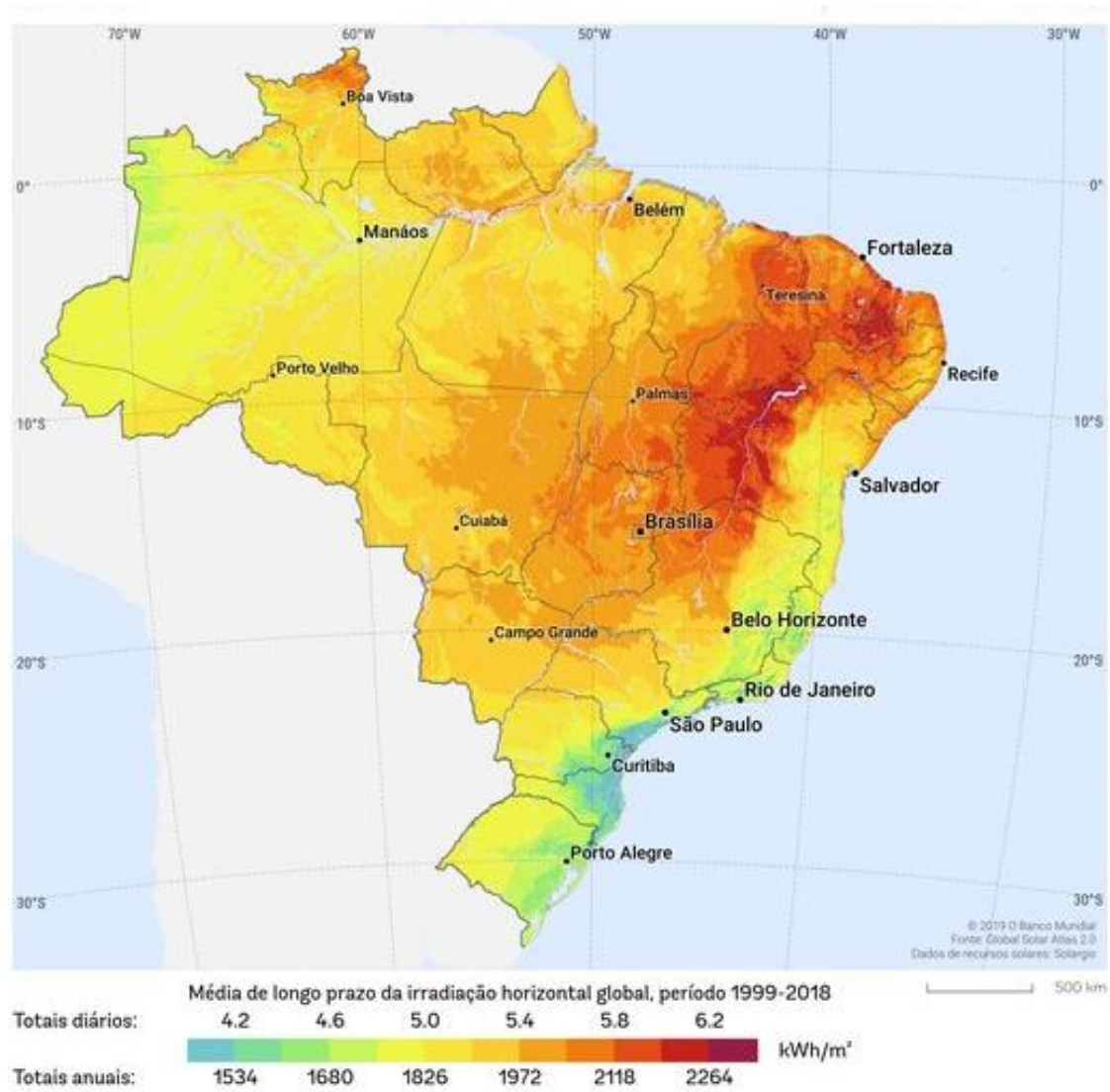
Fonte: SOLARGIS, s.d.

O planeta apresenta um imenso potencial de energia solar de modo que a energia proveniente do Sol incidente na superfície do planeta deve ser, aproximadamente, 10 mil vezes o que é consumido em escala mundial (PINHO, 2014).

Em virtude do seu clima intertropical, o Brasil apresenta altos valores de radiação solar

em todo o seu território, conforme mostra a Figura 4, favorecendo a utilização da energia solar para geração de energia térmica ou elétrica em quase a totalidade de seu território.

Figura 4 – Mapa global da irradiação solar horizontal no Brasil

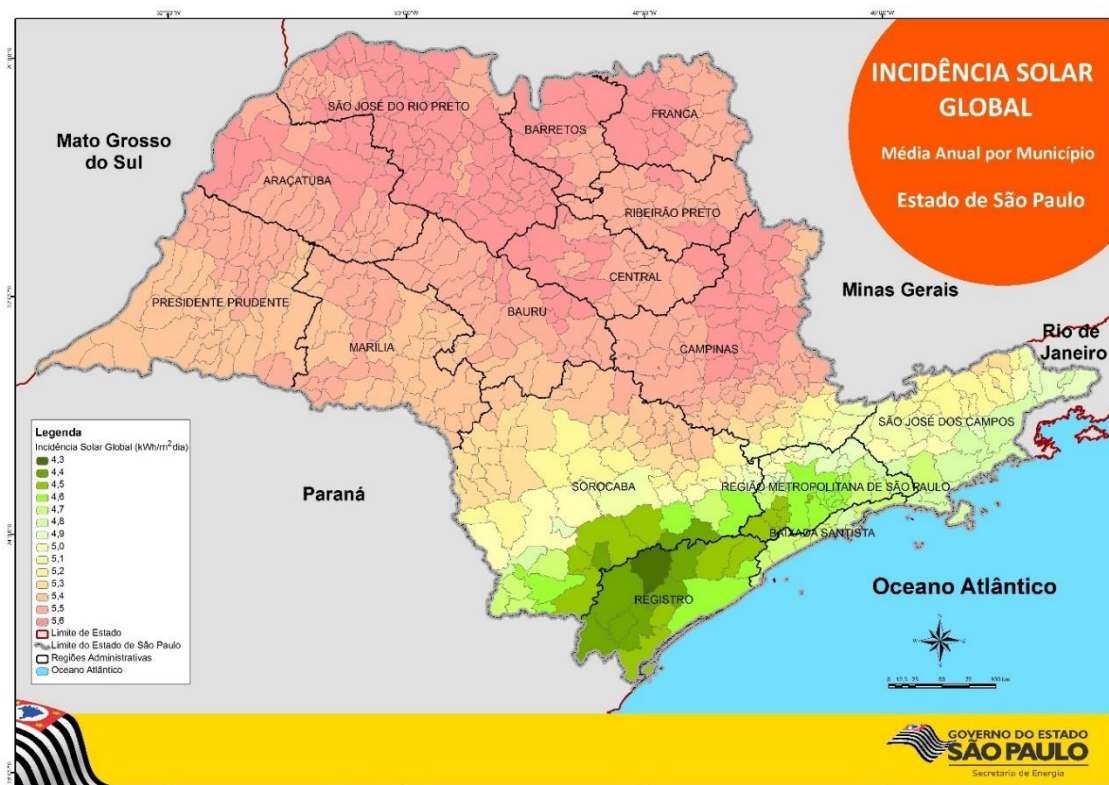


Fonte: SOLARGIS, s.d.

De modo geral, incidência solar diária no Brasil varia entre 4,5 e 6,3 kWh/m², e a região nordeste do país apresenta a maior média de irradiação horizontal global, 5,49 kWh/m², bem como a menor variabilidade anual, sendo os valores máximos observados na região central da Bahia (PEREIRA *et al.*, 2017; JÚNIOR & SOUZA, 2020). Na região sudeste, o total diário da irradiação global horizontal é de aproximadamente 5,07 kWh/m² (PEREIRA *et al.*, 2017).

A Figura 5 apresenta o mapa da incidência solar média anual no estado de São Paulo, cujos valores variam entre 4,3 e 5,6 kWh/m².

Figura 5 – Incidência solar global média anual no estado de São Paulo



Fonte: SÃO PAULO, 2013

Uma vez que o estado de São Paulo apresenta valores de irradiação bastante expressivos, o governo estadual tem aumentado o incentivo e investimento para o desenvolvimento e implantação de sistemas de aproveitamento da energia solar em diferentes modalidades: solar térmica, através de coletores solares para geração de calor para aquecimento de água, arquitetura solar, a partir de projetos que utilizem a energia solar diretamente para iluminação ou aquecimento de ambientes, energia solar heliotérmica, a partir de usinas onde a radiação solar é convertida em calor para geração de energia elétrica, e solar fotovoltaica, a partir da utilização de materiais semicondutores para converter a radiação solar diretamente em energia elétrica (SÃO PAULO, 2013).

2.2. ENERGIA FOTOVOLTAICA

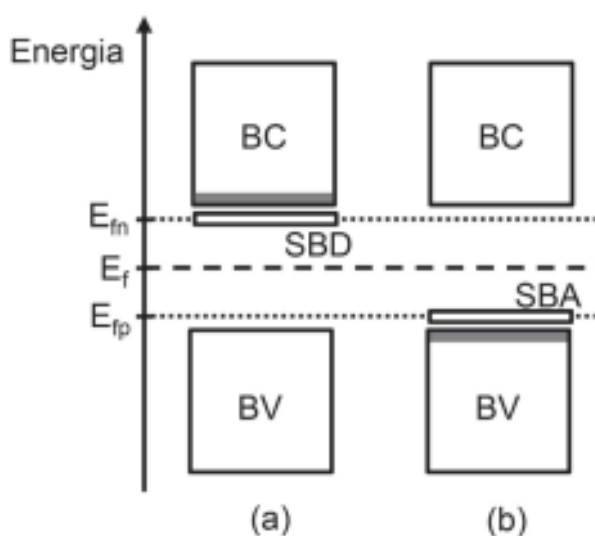
A energia fotovoltaica é obtida através da conversão direta da radiação solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico (LANA, 2015; HOSENUZZAMAN *et al.*, 2015).

O efeito fotovoltaico ocorre em materiais semicondutores dopados, os quais são sólidos que se comportam como condutores, quando polarizados diretamente e isolantes quando polarizados reversamente devido a existência de uma pequena camada proibida (GAP)

intermediária entre a banda de valência e a banda de condução em sua composição. Para a obtenção de um material adequado para o efeito fotovoltaico, é necessário realizar o processo de dopagem no semiconductor, o qual consiste na adição de átomos com um elétron em excesso e átomos com um elétron a menos que o átomo de semiconductor na banda de valência, resultando em camadas de valência com elétrons livres e lacunas de elétrons (BACCARO, 2017).

Devido a existência dos dopantes, haverá dois níveis a mais na banda proibida do semiconductor (Figura 6), sendo o do tipo N formado pelos elétrons livres e ficando mais próximo da banda de condução, enquanto o do tipo P é formado pelas lacunas de elétrons e ficando mais próximo da banda de valência (BACCARO, 2017). Estes níveis formam uma camada de depleção denominada de junção PN, conforme mostra a Figura 7.

Figura 6 - Semicondutores tipo P e tipo N



Fonte: BACCARO, 2017

Figura 7 - Junção PN

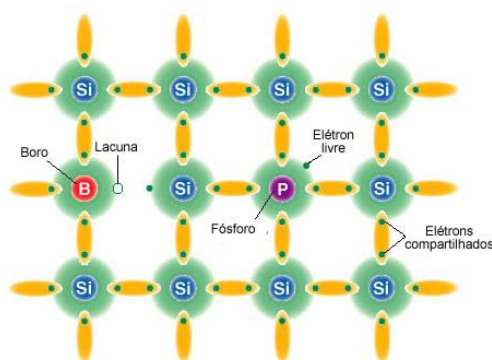


Fonte: CORTEZ, 2016

Quando a junção PN é exposta a fótons com energia superior que a banda vazia (*gap*), ocorrem os pares elétrons-lacunas, acelerando-se as cargas e gerando corrente elétrica na junção PN (SAMPAIO, 2017; CRESESB, 1999).

Atualmente o semiconductor mais utilizado é o silício, em virtude da sua abundância, sendo o mesmo dopado normalmente com fósforo, chamado dopante n, de modo a ocorre o excesso de elétrons e formar a banda de valência, e boro, chamado dopante p, cuja característica é a falta de elétrons, ou seja, maior presença de lacunas formando assim a banda de condução. A Figura 8 apresenta a dopagem do silício com fósforo e boro.

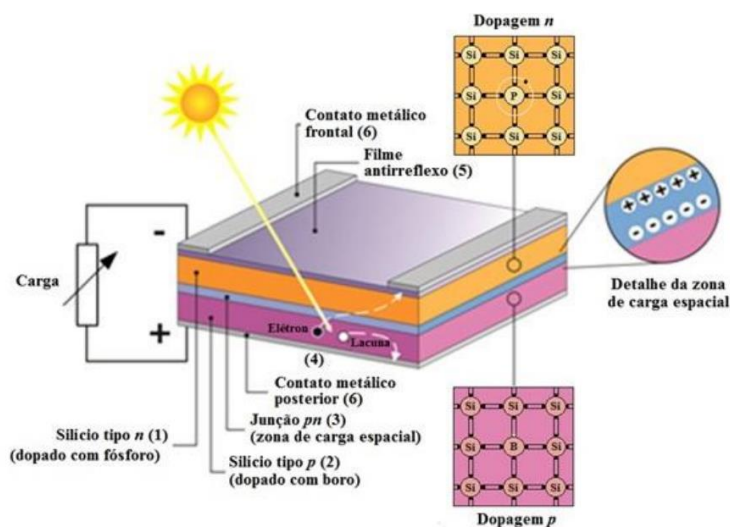
Figura 8 – Dopagem do silício



Fonte: PEREIRA, 2012

A Figura 9 mostra a estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício dopada com fósforo e boro.

Figura 9 - Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício



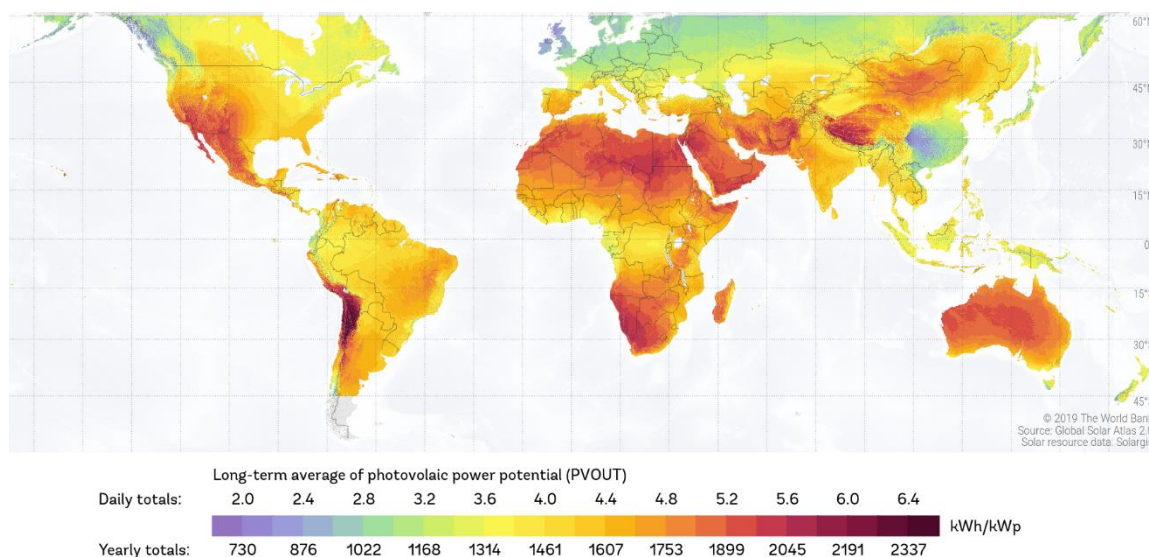
Fonte: PINHO, 2014

2.2.1. Energia solar fotovoltaica na matriz mundial e brasileira

Ao longo dos últimos anos a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma fonte alternativa para geração de energia elétrica, especialmente, para atender a demanda de energia em áreas remotas onde não há rede elétrica (ALVARENGA *et al.*, 2014). Desse modo, a energia fotovoltaica tem aumentado a sua participação na matriz energética mundial e brasileira.

A Figura 10 apresenta os recursos solares e o potencial de desenvolvimento de usinas fotovoltaicas em escala de utilidade pública na perspectiva mundial.

Figura 10 - Potencial Fotovoltaico Global



Fonte: SOLARGIS, s.d.

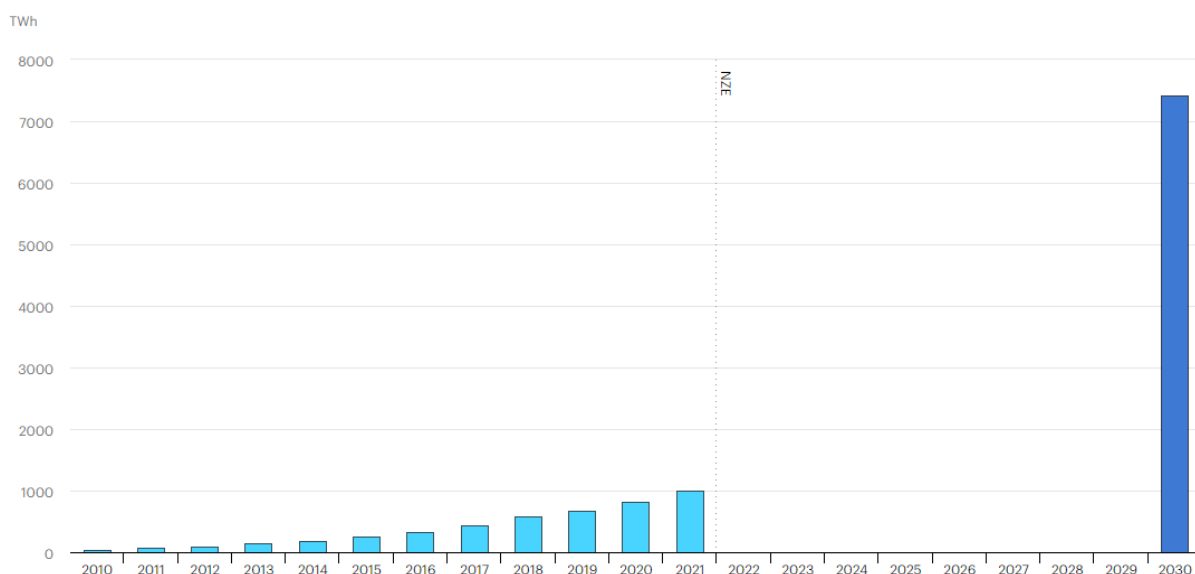
Verifica-se que mesmo os países localizados entre o trópico de câncer e o círculo polar ártico, como Canadá e Rússia, possuem um potencial para implementação de sistema fotovoltaicos.

Apesar de possuir baixa geração de energia elétrica quando comparada com as demais fontes energéticas, a energia solar fotovoltaica tem sido amplamente aplicada, desenvolvida e incentivada nas últimas décadas em virtude da maior conscientização ambiental, através de conferências mundiais do meio ambiente e protocolos assinados por países para redução da emissão de poluentes, com intuito de preservar os recursos utilizados para que a economia e o modo de vida empregado possa prosperar pelas próximas gerações (TSURUDA, 2017).

Cabe ressaltar ainda a busca pela diversificação da matriz energética em virtude do aumento do consumo de energia ocasionado pelo aumento populacional bem como, como a maior demanda de energia a fim de suprir a maior produção e maior consumo diário humano (RITCHIE; ROSER, 2022).

A Figura 11 apresenta o crescimento do uso da energia solar fotovoltaica no mundo ao longo dos últimos anos.

Figura 11 - Geração solar fotovoltaica 2010-2030



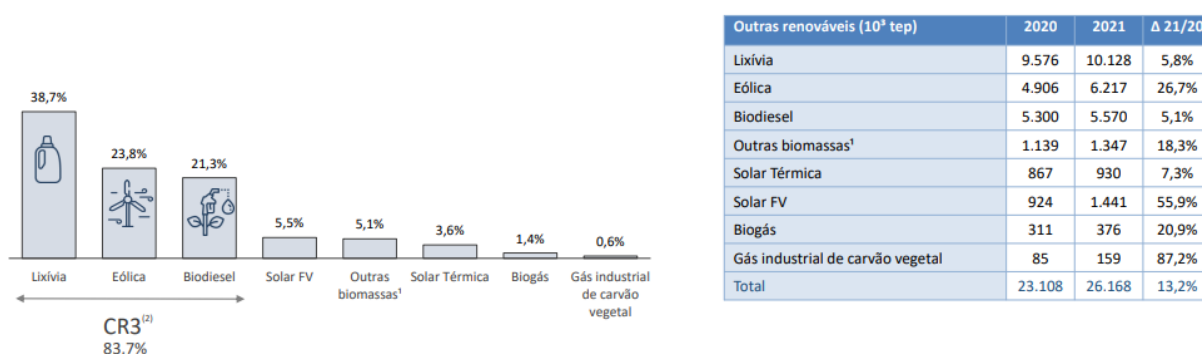
Fonte: IEA, 2022

No ano de 2021, o mercado da energia fotovoltaica cresceu cerca de 25% em relação a 2020, com um aumento recorde de 179 TWh, elevando o total global para 1.003 TWh, de modo que a energia fotovoltaica foi responsável por 3,6% da geração global de energia elétrica (IEA, 2022).

As usinas fotovoltaicas foram responsáveis por 52% do aumento de capacidade solar fotovoltaica, seguidas pelos segmentos residencial (28%) e comercial e industrial, responsáveis por 19% do total (IEA, 2022). Estima-se que para atingir a produção de aproximadamente 7400TWh em 2030 é necessário um crescimento médio anual de geração de 25% no período 2022-2030 para acompanhar o Cenário de Emissões Zero Líquidas até 2050 (IEA, 2022).

A Figura 12 apresenta a repartição da oferta das 8 categorias de fontes de energia chamadas “Outras renováveis” que compõem a matriz energética brasileira no ano 2021, elaborada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia.

Figura 12 - Repartição da oferta de “Outras renováveis” de 2021

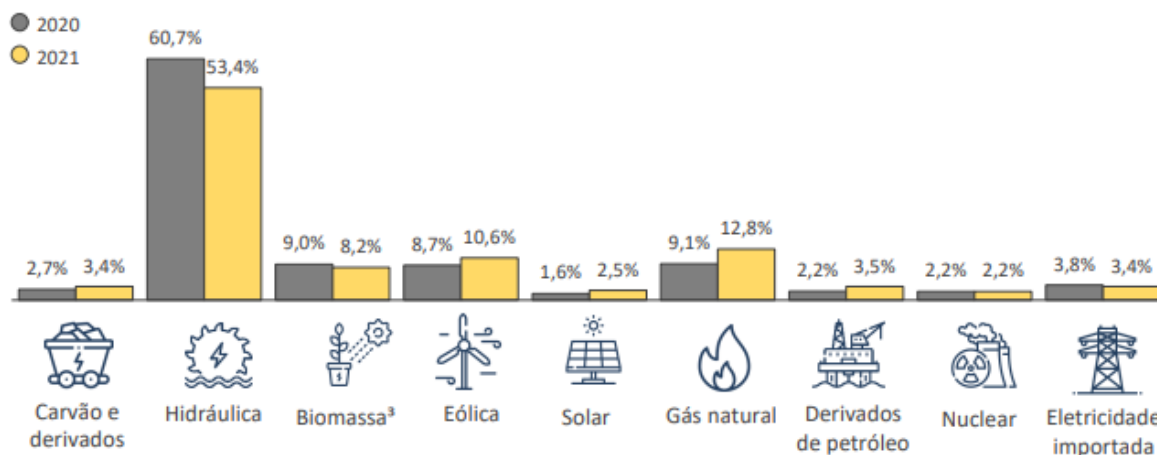


Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022

Observa-se que a energia solar fotovoltaica representa cerca de 5,5% das outras renováveis com o segundo maior crescimento percentual anual, 55,9%, aumentando a sua geração em mais de 500.10³ tep (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022).

A Figura 13 apresenta a matriz elétrica brasileira no ano de 2021, indicando um aumento da participação da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira para 2,5%, o que representa anualmente mais de 16.750 GWh (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022).

Figura 13 - Matriz elétrica brasileira de 2021



Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022

Cabe ressaltar que no ano de 2021 a utilização da energia solar fotovoltaica levou a um aumento na micro e minigeração distribuída (MMGD) no Brasil, contribuindo com 88,3% da MMGD, que acumulam 12,2 GW de capacidade instalada (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022).

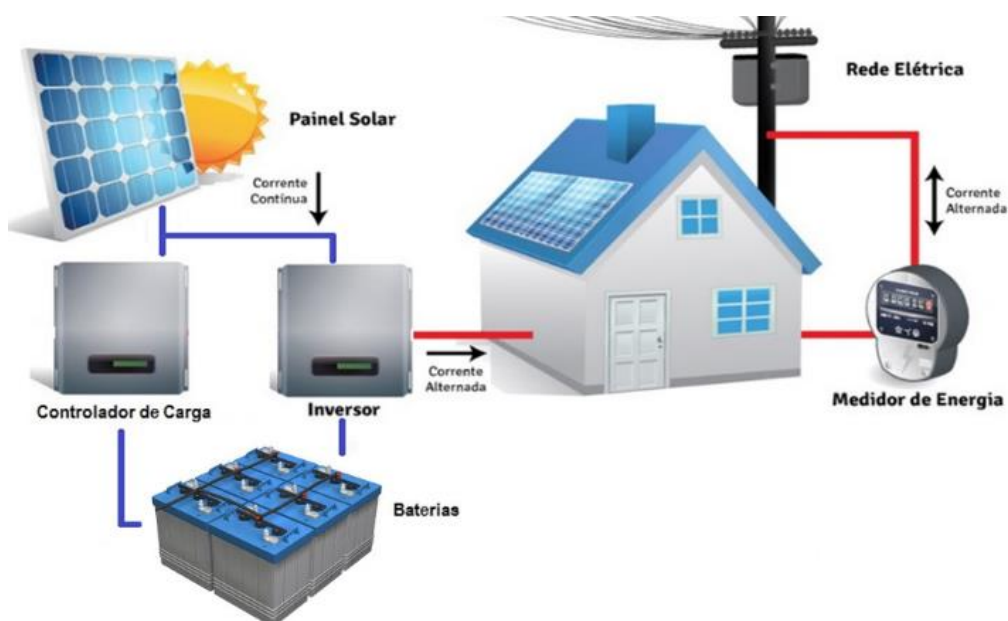
Atualmente a fonte de geração fotovoltaica centralizada é a quarta maior fonte de geração centralizada no Brasil, com uma capacidade instalada de 6,88 GW, ultrapassando as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), cuja capacidade instalada é de 5,61 GW (ANEEL, 2022).

O estado de São Paulo conta hoje com 42 empreendimentos de usinas solares fotovoltaicas em operação, totalizando 0,65 GW de capacidade instalada (ANEEL, 2022).

2.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

De modo geral, os sistemas fotovoltaicos são constituídos de um módulo fotovoltaico, ou um conjunto de módulos a fim de fornecer a potência desejada, um banco de baterias e controladores de carga, para o fornecimento de cargas de corrente contínua e um inversor, para o fornecimento de tensão alternada (SAMPAIO, 2017). A Figura 14 apresenta os principais componentes dos sistemas fotovoltaicos.

Figura 14 – Componentes dos sistemas fotovoltaicos



Fonte: RIBSOL, 2019

A configuração dos sistemas fotovoltaicos pode variar de acordo com as necessidades do consumidor, sendo as principais diferenças relacionadas ao armazenamento e geração.

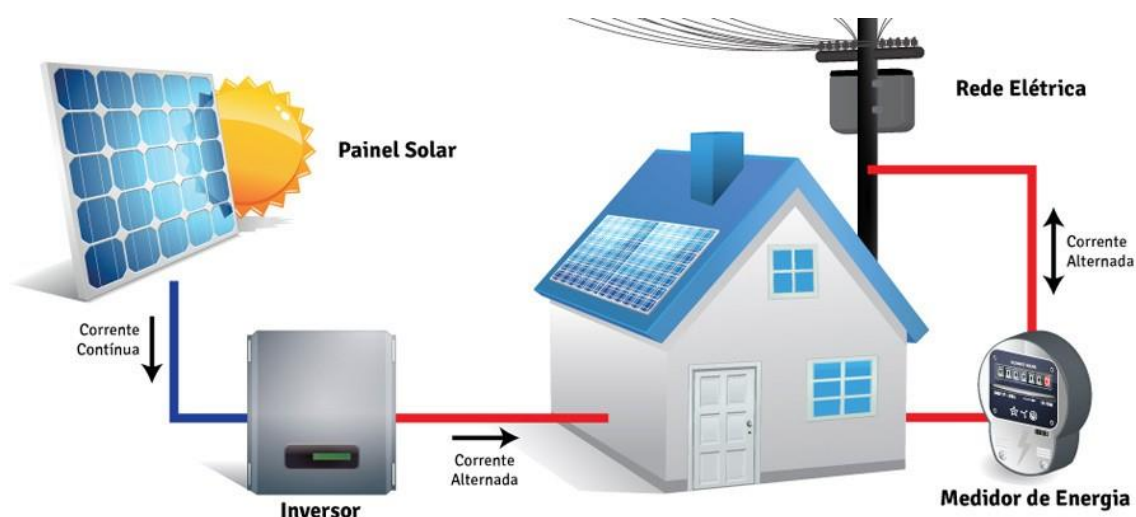
Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias principais: sistemas conectados à rede, sistemas híbridos e sistemas isolados (DOMOND, 2018).

2.3.1. Sistemas conectados à rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também chamados de *on-grid*, fornecem a energia elétrica produzida diretamente na rede de distribuição elétrica, de modo que tais sistemas dispensam dispositivos para o armazenamento de energia.

A energia excedente gerada pode ser comercializada em um sistema de créditos com a concessionária responsável pela linha de distribuição que lhe concede acesso ser transformada em crédito para o consumidor, sendo os créditos descontados de acordo com a necessidade de uso da energia da concessionária em períodos em que o sistema fotovoltaico se encontra inoperante (VILLALVA, 2015; MONTENEGRO, 2013). Devido a variação do fluxo de energia, hora como fornecimento e hora como consumo, se faz necessário a utilização de um medidor bidirecional de registros. A Figura 15 mostra o diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

Figura 15 – Sistemas conectados à rede



Fonte: RIBSOL, 2019

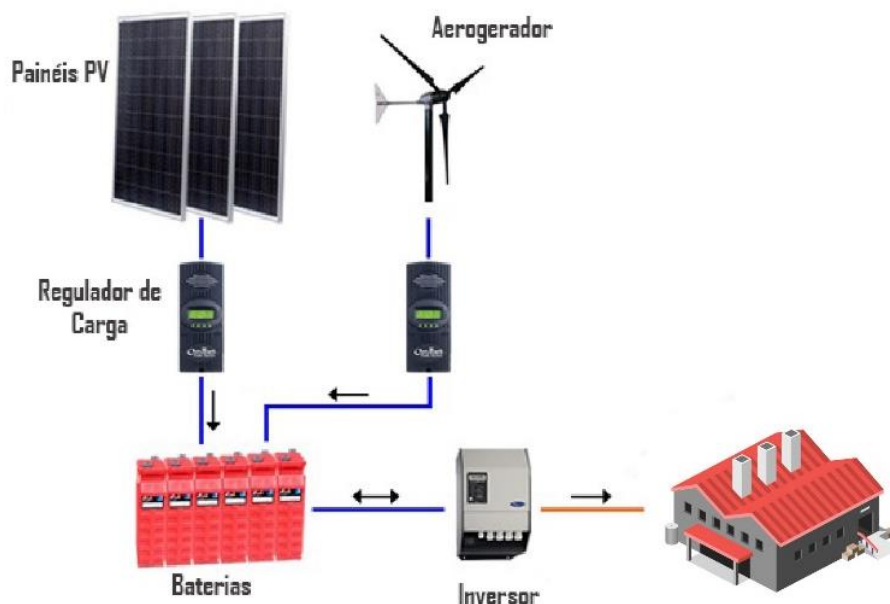
2.3.2. Sistemas híbridos

Sistemas híbridos são aqueles cuja fonte de geração de energia não se restringe apenas à geração fotovoltaica, de modo que os sistemas fotovoltaicos operam em conjunto com outras tecnologias, tais como geradores diesel e turbinas eólicas.

Devido à interação entre diferentes tecnologias para a geração de energia tais sistemas são mais complexos, exigindo assim um controle eficiente para integrar os vários geradores bem como garantir uma operação segura para o usuário. Desse modo, sistemas híbridos demandam

processos de adequação da carga, armazenamento de energia e da inversão de corrente contínua para alternada (KALOGIROU, 2016). A Figura 16 mostra o diagrama esquemático de um sistema híbrido onde a geração fotovoltaica opera em conjunto com um aerogerador.

Figura 16 - Sistemas híbridos



Fonte: TECNOVERITAS, 2018

2.3.3. Sistemas isolados

Os sistemas isolados, também chamados de *off-grid*, normalmente são instalados em locais remotos sem acesso à rede elétrica, de modo que tais sistemas são caracterizados por não se conectar a rede elétrica, sendo a energia produzida pelo sistema utilizada para suprir a demanda do consumidor local. Portanto, esta configuração de sistemas fotovoltaicos é amplamente utilizada em regiões rurais e distantes das linhas de transmissões de energia. Sistemas fotovoltaicos isolados podem apresentar configurações com e sem armazenamento elétrico.

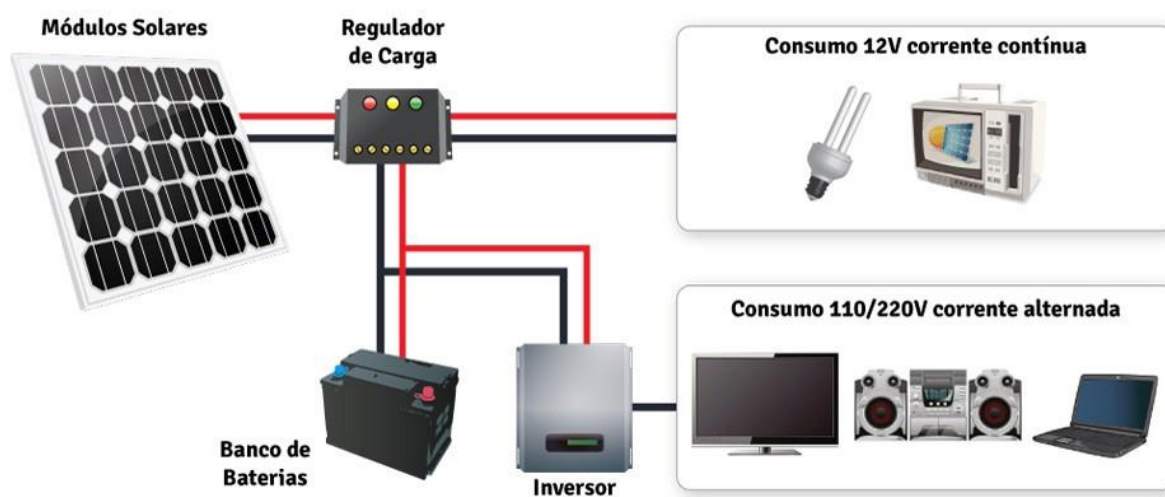
O sistema de armazenamento elétrico mais utilizado é a bateria, que armazena a energia elétrica produzida pelo módulo fotovoltaico durante o dia e fornece a energia armazenada durante a noite ou períodos em que não há radiação solar.

A energia elétrica armazenada pode ser fornecida para o usuário em corrente contínua ou em corrente alternada, sendo necessário um inversor, que converte a corrente contínua em corrente alternada e aumenta a tensão. Sistemas isolados possuem um controlador de carga que

garante o correto abastecimento da bateria evitando sobrecargas e descargas profundas, aumentando assim a vida útil da bateria.

Tais sistemas tem diversas aplicações, dentre as quais, sistemas de bombeamento de água, eletrificação de cercas em áreas rurais, sistemas de dessalinização de água, estações meteorológicas, plataformas marinhas, sistemas de telecomunicações, postes de luz, estações replicadoras de sinal, etc. A Figura 17 apresenta o digrama esquemático de um sistema fotovoltaico isolado.

Figura 17 - Sistemas isolados



Fonte: ARAÚJO, 2016

2.4. SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICOS

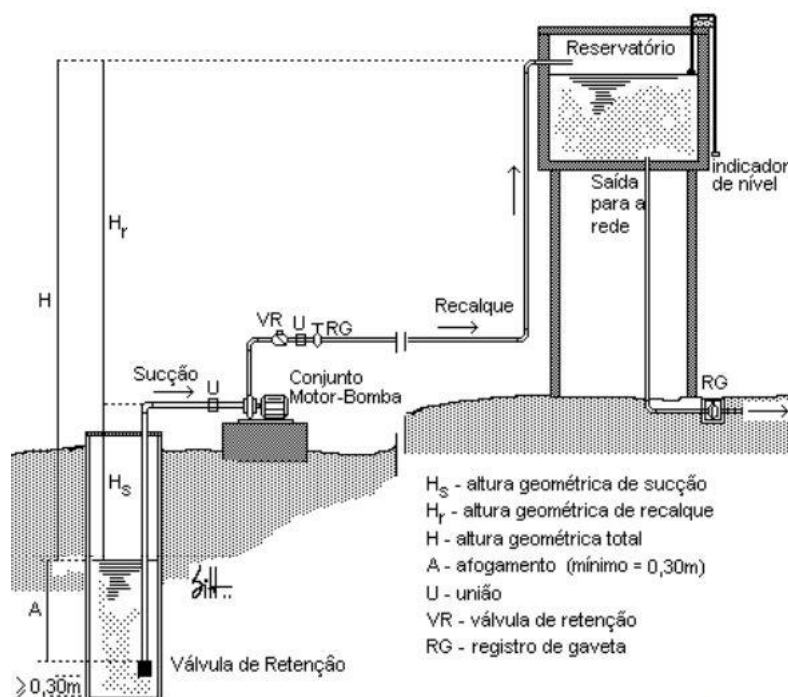
A implantação de sistemas fotovoltaicos para o bombeamento de água é uma alternativa promissora que pode ser utilizada em locais remotos sem acesso à rede de energia elétrica e difícil acesso à água, bem como ser utilizada em estabelecimentos, residências ou na agricultura haja vista que são sistemas com alto tempo de vida útil e que apresentam benefícios econômicos à longo prazo.

Um sistema de bombeamento converte diferentes formas de energia em energia mecânica que é transferida para um fluido de trabalho, sendo este fluido transportado de um reservatório inferior, ou de uma captação, para um reservatório superior ou ponto de consumo (JIMÉNEZ, 2017).

De modo geral, um sistema de bombeamento é composto por tubulações, acessórios, bombas e motores que permitem deslocar um fluido entre diferentes locais a partir da diferença entre os níveis geométricos, assegurando o fornecimento de água para aplicações de uso residencial e industrial, serviços públicos, irrigação, dentre outros (FERNANDES, 2016).

A Figura 18 apresenta um diagrama esquemático de um sistema de bombeamento e seus principais componentes.

Figura 18 – Diagrama esquemático de um sistema de bombeamento



Fonte: FERNANDES (2016)

Sistemas de bombeamento fotovoltaicos são sistemas que convertem a energia solar em energia elétrica, para acionar um conjunto motriz e bombear água para a demanda da instalação, tendo suas aplicações destinadas à fins agropecuários, urbanos e industriais (SONTAKE & KALAMKAR, 2016; VALER *et al.*, 2016; ALVARENGA, 2017).

Um sistema de bombeamento fotovoltaico comum é composto por um gerador fotovoltaico, responsável pela geração de energia elétrica, um grupo motobomba, responsável pelo bombeamento de água em um reservatório e um sistema de condicionamento de potência, responsável por converter a energia fornecida pelos módulos para valores compatíveis com o grupo motobomba.

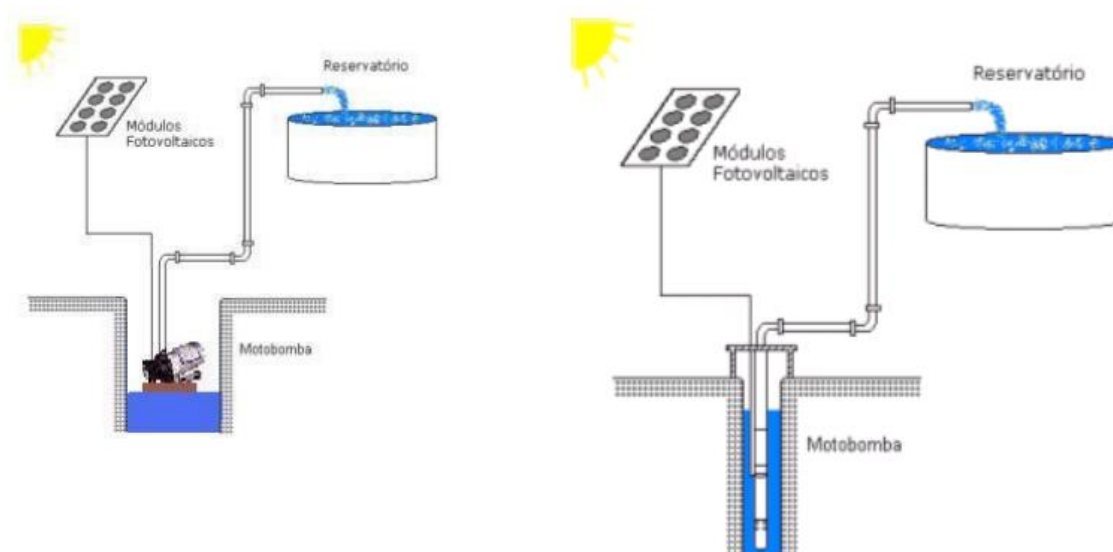
Cabe ressaltar que sistemas de bombeamento fotovoltaicos não utilizam armazenamento de energia elétrica, tais sistemas utilizam o armazenamento de energia potencial gravitacional através de um reservatório hidráulico elevado, de modo que os sistemas são dimensionados para uma quantidade de dias de autonomia (PINHO, 2014).

A ausência de baterias e de inversores de frequência diminui os custos para a aquisição do sistema bem como reduz a necessidade de manutenção do sistema. Entretanto, quando se deseja armazenar energia elétrica e utilizar o sistema durante períodos sem Sol, por exemplo, à noite ou em dias nublados e chuvosos se faz necessária a utilização de baterias.

Apesar de não ser uma tecnologia aplicada em larga escala, sistemas de bombeamento fotovoltaico são fundamentais em diversas regiões brasileiras afetadas pela escassez hídrica, principalmente em regiões de clima semiárido, onde mais de mil unidades de poços artesianos movidos a placas fotovoltaicas foram instaladas nos estados de Pernambuco, Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Bahia, Alagoas, Sergipe e até na região Sudeste no norte de Minas Gerais (BADRA, 2020).

Um sistema de bombeamento fotovoltaico sem armazenamento elétrico é composto por módulos ou painéis fotovoltaicos, um conjunto motobomba e um reservatório da água conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19 - Diagrama de um sistema de bombeamento fotovoltaico sem armazenamento de energia elétrica

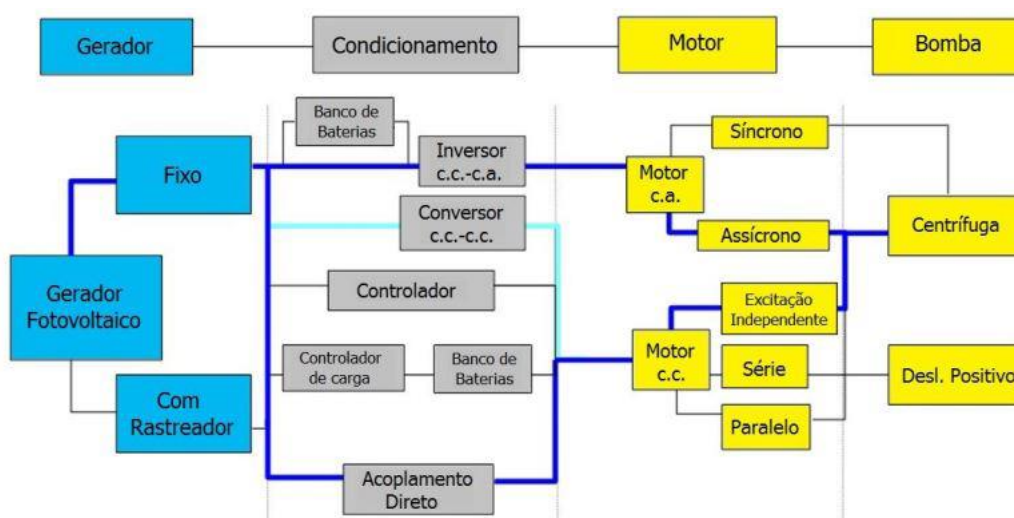


O funcionamento do sistema tem início com a conversão da energia solar em energia elétrica nos painéis fotovoltaicos, sendo a corrente elétrica transportada através de cabos elétricos para acionar o conjunto motobomba, onde o motor converte a energia elétrica em mecânica para ativar bomba, e então a água subterrânea é retirada e bombeada através de tubulações até o reservatório para ser utilizada de acordo com a demanda do projeto (DOMOND, 2018).

Atualmente existem diferentes configurações de sistemas de bombeamento fotovoltaico que podem ser adotadas de acordo com as necessidades do usuário conforme apresentado na Figura 20.

A configuração de um sistema de bombeamento fotovoltaico é composta pelos módulos ou geradores fotovoltaicos, unidades de condicionamento da energia, conversores, controlador de carga, conjunto motobomba e caso seja necessária uma unidade de armazenamento, usualmente baterias (GOPAL *et al.*, 2013).

Figura 20 - Tecnologias utilizadas em sistemas de bombeamento fotovoltaico



Fonte: SILVA (2014)

Dentre as tecnologias utilizadas em sistemas de bombeamento fotovoltaico as configurações mais comumente empregadas são: o gerador ou módulo diretamente acoplado a um motor corrente contínua (CC) com excitação independente e com uma bomba centrífuga; o gerador ou módulo acoplado a um motor corrente alternada (CA) assíncrono por meio de um inversor e conectado a uma bomba centrífuga (JIMÉNEZ, 2017).

Cabe ressaltar que no caso dos motores CC não é necessário a utilização de um inversor e este tipo de motor apresenta maior eficiência, entretanto, motores CA apresentam um custo menor, podem ser utilizados em uma ampla faixa de potência, são mais simples e sua manutenção é mais barata quando comparada aos motores CC (PINHO, 2014; DOMOND, 2018).

A fim de reduzir os custos e aumentar a vida útil do sistema muitos usuários optam por não utilizar um banco de baterias e construir um reservatório de água, porém nestes casos recomenda-se a utilização de componentes auxiliares, tais como, hidrômetros e sensores de nível de água, uma vez que em períodos chuvosos e nublados a geração será comprometida e a fim de evitar o desabastecimento, tais componentes identificarão situações de alerta para que o consumidor possa reduzir o consumo e utilizar do fornecimento de água público (MAGALHÃES, 2016).

2.4.1. Módulos Fotovoltaicos

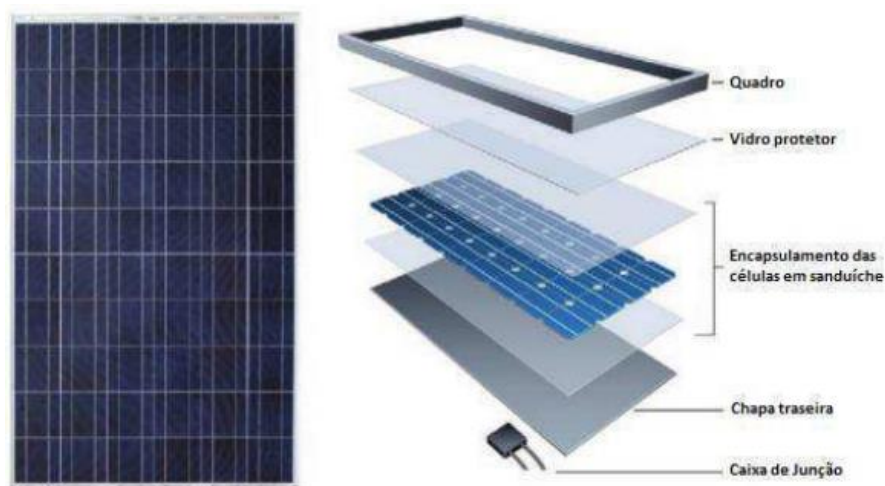
Os módulos fotovoltaicos são compostos por conjuntos empacotados de células fotovoltaicas, responsáveis pela conversão da energia solar em energia elétrica. As células fotovoltaicas são fabricadas a partir de materiais semicondutores, sendo usualmente utilizado o silício com alto grau de pureza e dopado com certos elementos químicos, geralmente boro e fósforo, para formar a união p-n (SANTOS, 2018).

O silício é amplamente utilizado devido a sua abundância bem como o avanço da microeletrônica e a tecnologia envolvendo o silício (APOLÔNIO, 2014; MAGALHÃES, 2016). A fim de atingir a potência adequada para determinada aplicação as células fotovoltaicas usualmente são conectadas em série entre si através de uma fina faixa condutora, formando um circuito elétrico adequado a geração e transmissão de energia elétrica (PORTAL SOLAR, 2020; ENERGIA TOTAL, 2022).

O conjunto células fotovoltaicas é encapsulado com material especial a fim de proteger o módulo de possíveis danos externos. De modo geral, são utilizados cinco componentes para fazer a proteção dos módulos: quadro de alumínio, responsável pela leveza e resistência para a sua estrutura; vidro temperado, que permite a passagem de luz solar isola os componentes internos; camadas encapsuladas, que servem para a atuação contra os efeitos de degradação por conta das mudanças climáticas; chapa traseira, que atua como um revestimento na parte traseira do módulo e a caixa de junção, que além de proteger o módulo de corrente reversa com diodos, também facilita a saída dos cabos condutores dos módulos fotovoltaicos (SANTOS, 2021).

A Figura 21 apresenta o esquema de um módulo fotovoltaico.

Figura 21 - Composição do módulo fotovoltaico



Fonte: FRONTIN *et al.*, 2017

2.4.2. Inversor

O inversor é o equipamento responsável por converter a corrente contínua (CC) do módulo fotovoltaico em corrente alternada (CA), sendo um componente de suma importância para a otimização da energia elétrica produzida pelo módulo fotovoltaico, principalmente quando se trata de algo mais do que pequenas cargas CC.

O principal funcionamento do inversor tem como base o circuito elétrico composto por quatro transmissores: T1; T2; T3 e T4, sendo estes abertos ou fechados para a sua transmissão na tensão e a corrente elétrica da CC para os terminais de saída do inversor. (VILLALVA, 2015).

Para aplicações em sistemas de bombeamento fotovoltaico usualmente utiliza-se um inversor acoplado ao módulo fotovoltaico a partir de um seguidor do ponto de máxima potência, responsável por fornecer à carga, motor, inversor ou bateria, a tensão que permite otimizar a eficiência da carga.

2.4.3. Conjunto motobomba

O conjunto motobomba consiste em um motor acoplado a uma bomba, sendo o motor responsável pela conversão da energia elétrica em energia mecânica que transferida à água através da bomba. Desse modo, o conjunto motobomba tem a função de fornecer energia hidráulica à água de modo a transportá-la entre diferentes níveis de altura.

De modo geral, o dimensionamento e a especificação do motor e da bomba são dependentes entre si, haja vista que para cada condição de trabalho haverá um conjunto motobomba que será capaz de fornecer o maior desempenho.

As bombas podem ser divididas em duas categorias de acordo com o tipo de fluxo que induzem ao fluido bombeado: bombas volumétricas, ou de deslocamento positivo, e bombas centrífugas ou turbobombas.

As bombas volumétricas são compostas por uma câmara na qual um elemento móvel atua, levando ao aumento de pressão e provocando o movimento do seu eixo que desloca um volume de fluido independentemente das condições de pressão na saída. Este tipo de bomba é recomendado para condições de grandes alturas manométricas, ou seja, altas pressões, e baixas ou moderadas vazões de fluido. Cabe ressaltar que as características de operação de bombas volumétricas não se ajustam de modo eficiente com as saídas do arranjo fotovoltaico quando comparadas as bombas centrífugas (DOMOND, 2018), e haja vista que a corrente necessária se altera a cada ciclo da bomba, este modelo de bomba não é indicado para ligação direta com arranjos fotovoltaicos.

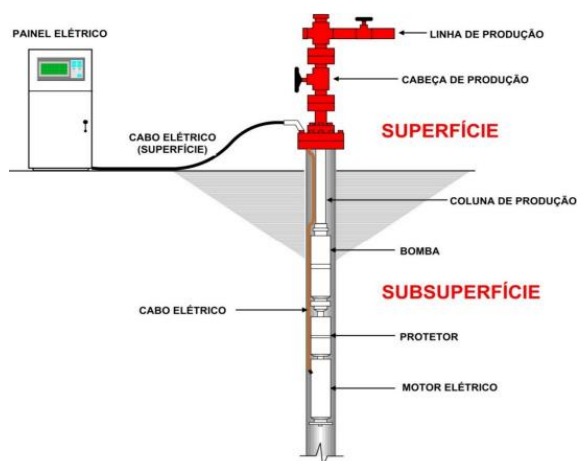
As bombas centrífugas possuem um elemento rotatório dotado de pás, chamado de rotor, que exerce uma força sobre o fluido a ser bombeado. Devido ao movimento circular do rotor surge uma zona de alta pressão na periferia do mesmo e uma zona de baixa pressão na sua parte central, resultando no deslocamento do fluido no sentido da saída dos canais do rotor. As bombas centrífugas são recomendadas para aplicações que elevadas vazões de fluido e pequenas alturas manométricas, tais como, reservatórios superficiais ou cisternas. Para sistemas de bombeamento de água os modelos de bombas centrífugas mais utilizadas são as mistas e axiais. Bombas centrífugas podem ser diretamente conectadas ao arranjo fotovoltaico, entretanto, para o perfeito funcionamento, se faz necessária uma boa relação entre a bomba e o arranjo fotovoltaico (DOMOND, 2018).

De modo geral existem duas categorias de bombas centrífugas: as bombas submersas, que funcionam dentro da água, dispensando assim a utilização de canos de sucção o que implica em uma força menor para elevar a água, e as bombas de superfície, que necessitam de um tubo para sucção e válvula, sendo utilizadas para vazões de até $1200 \text{ m}^3/\text{ao dia}$ e alturas manométricas de até 5 a 6 metro.

As bombas centrífugas são amplamente utilizadas em sistemas de bombeamento de água.

A bomba submersa é um dispositivo eletromecânico que funciona dentro da água sendo composta por peças moldadas em alumínio, plástico, borracha, cabos elétricos, fios esmaltados e resina química, conforme mostra a Figura 22.

Figura 22 - Motobomba Submersa



Fonte: CAVALCANTE, 2015

Para o acionamento das bombas se faz necessário o fornecimento de trabalho, sendo este fornecido por motores elétricos, sejam motores acionados por corrente contínua (CC) e motores acionados por corrente alternada (CA). O tipo de motor a ser utilizado para determinada aplicação depende da vazão de água, das alturas manométricas, bem como das características do poço, dentre outros, entretanto, deve-se considerar ainda a eficiência, o preço bem como a confiabilidade e disponibilidade do motor.

Motores CC apresentam alta eficiência e são adequados para aplicações em sistemas fotovoltaicos devido a sua compatibilidade com a conversão de energia fotovoltaica, haja vista que os módulos fotovoltaicos produzem corrente contínua, e geralmente são utilizados para poços rasos e outras fontes superficiais. Entretanto, o custo de motores CC é mais elevado quando comparado aos motores CA.

Motores CA são classificados em duas classes: motores síncronos, caracterizados por rotação constante, sendo utilizados em aplicações onde a velocidade de rotação deve ser constante e sistema de grandes potências, e motores assíncronos, que tem como base a indução eletromagnética, sendo indicados para aplicações em alta e baixa tensão, como sistemas de bombeamento de água. Motores CA são simples, têm manutenção barata e custo menor quando comparados aos motores de corrente contínua, entretanto, exigem a instalação de um inversor

que converte a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada de frequência variável. Este tipo de motor é amplamente utilizado para aplicações em sistemas de bombeamento fotovoltaico.

2.4.4. Reservatório de Água

Os reservatórios elevados são tecnologias eficientes e confiáveis, muito utilizadas em sistemas de bombeamento fotovoltaicos para substituir o armazenamento feito em energia elétrica por um banco de baterias, resultando na redução do custo inicial, aumento da vida útil e menor custo com manutenções do projeto (ALVARENGA, 2017). Neste sistema de bombeamento fotovoltaico, a água é bombeada até o reservatório elevado onde é armazenada para uso diário e a quantidade total de água a ser acumulada no reservatório não deve ser inferior ao consumo diário (MACINTYRE, 2010).

O armazenamento é um fator crucial para sistemas de bombeamento fotovoltaicos, pois em períodos chuvosos, nublados ou à noite não há a geração de energia elétrica nos módulos fotovoltaicos, de modo que o sistema motobomba não pode ser acionado, e consequentemente não há fornecimento de água para o consumidor, sendo, portanto, o reservatório um regulador de distribuição (MACINTYRE, 2010). Desse modo, é fundamental é construir reservatórios com volumes maiores que o volume de consumo diário, pois semanas com radiação solar plena podem compensar semanas chuvosas ou nubladas (ALVARENGA, 2017).

Para o correto dimensionamento do reservatório elevado deve-se considera as vazões de alimentação, sendo estas iguais às vazões de dimensionamento das instalações elevatórias, correspondentes a 15% do consumo diário, bem como as vazões de distribuição, dadas pelas vazões de dimensionamento do conjunto de tubulações que se originam no reservatório e do qual derivam as colunas de distribuição e da tubulação derivada do barrilete e destinada a alimentar ramais (MACINTYRE, 2010).

2.4.5. Poço – fonte de água

Poços são dispositivos que permitem a captação de água subterrânea. De modo geral existem duas categorias principais de poços: o poço simples, também conhecido como poço comum, poço caipira, poço raso, cisterna, cacimba ou amazonas, sendo perfurado manualmente até o início do lençol freático, e o poço tubular profundo, um poço perfurado no solo com objetivo de captar água para diferentes usos e que deve ser construído por profissionais

habilitados (PERFURARTE, 2021).

Os poços simples são mais baratos, entretanto, são poços de baixa vazão, susceptíveis a seca em períodos de estiagem bem como a contaminação de água tornado a água imprópria para o consumo humano.

Poços tubulares profundos apresentam água de boa qualidade, isenta de contaminantes e maiores vazões de água, em contrapartida, para maiores profundidades os custos de operação e manutenção são mais elevados. Poços tubulares profundos são subdivididos em duas categorias: poço artesiano e poço semi artesiano.

O poço artesiano, também chamado de poço jorrante, se caracteriza por ser um poço perfurado de pequeno diâmetro, com grande profundidade, capaz de jorrar água naturalmente uma vez que sua própria pressão é suficiente para conduzir a água até a superfície sem a necessidade de um conjunto de bombeamento (BEDENDO, 2021; PERFURARTE, 2021). Poços artesanais dispensam a utilização de filtros, em virtude da pureza da água encontrada em regiões de elevada profundidade e algumas características destes poços são a variação de 50 à 2000 metros de profundidade, durabilidade de até 40 anos e vazão média de água de 2.000 L (COUTO AMBIENTAL, 2021).

O poço semi artesiano também capta água de reservas mais profundas e seguras, como lençóis freáticos, entretanto, uma vez que este tipo de poço é perfurado em locais onde as linhas de pressão do aquífero estão abaixo ou no mesmo nível do solo, o mesmo não possui pressão suficiente para que água seja conduzida naturalmente até à superfície, sendo necessária a utilização de um conjunto de bombeamento utilizando compressor de ar ou bomba submersa para que a água seja conduzida até a superfície (BEDENDO, 2021; PERFURARTE, 2021). Poços semi artesanais necessitam de filtro e pré filtro para reter as impurezas da água e sua profundidade pode variar entre 20 e 60 metros.

A fim de atender a configuração e as condições de instalação do sistema de bombeamento, pode ser necessário a utilização de poços secos e/ou úmidos. O poço seco é constituído por um espaço destinado para o abrigo do conjunto motobomba, do painel de comando, do barrilete bem como do gerador de energia elétrica, enquanto que o poço úmido é uma seção da estação elevatória, que acumula a água a ser bombeada pelo conjunto motobomba, podendo o conjunto ser instalado no próprio poço úmido, ficando submerso, acima do nível máximo e abaixo do nível de água sendo instalado na parte externa do poço (JIMÉNEZ, 2017).

Os poços podem ser classificados ainda em três categorias de acordo com a localização do poço com relação ao terreno onde o mesmo se encontra instalado: poço enterrado, quando o poço se encontra abaixo do nível do terreno; poço semi-enterrado, quando o poço está parcialmente abaixo do nível do terreno e poço apoiado, quando o poço está acima do nível do terreno.

A utilização sistemas de bombeamento fotovoltaico de água têm contribuído com o desenvolvimento sustentável do Brasil, uma vez que os poços são uma alternativa para o fornecimento de água em regiões sem acesso à rede de água e a utilização de energia fotovoltaica permite o fornecimento de energia em regiões sem acesso à rede de energia elétrica.

2.4.6. Estudos antecedentes

Ao longo dos anos tem sido realizados estudos com o objetivo de aprimorar os sistemas sistema de bombeamento fotovoltaico bem como analisar a viabilidade da implantação de tais sistemas para diferentes aplicações.

Kolling *et al.* (2004) desenvolveram um modelo baseado na regressão linear utilizando como variáveis de estado a altura manométrica, vazão e irradiação solar para a análise de sistema de bombeamento com energia fotovoltaica e a partir dos resultados obtidos os autores verificaram que a potência gerada pelos módulos fotovoltaicos e a vazão de água bombeada estão diretamente relacionadas com a radiação solar e altura manométrica.

Michels (2007) avaliou a eficiência de sistema de um bombeamento fotovoltaico de água implantando na Universidade de Tecnológica Federal do Paraná e concluíram que a eficiência dos painéis é maior no solstício de inverno quando comparada ao solstício de verão e que o tempo de exposição do sistema à radiação solar é fundamental para o aumento da vazão, embora um maior tempo de exposição ao sol conduza a redução da eficiência do sistema.

Kordzadeh (2010) estudou os efeitos da potência nominal de módulos fotovoltaicos recobertos com uma fina película de água para refrigerar os painéis na operação de sistema de bombeamento fotovoltaico de bombeamento. O autor observou que a película de água resfria o sistema levando a diminuição da temperatura e conseqüentemente um aumento na eficiência elétrica do conjunto, além de diminuir a perda de reflexão dos fótons.

Junior *et al.* (2012) analisaram em laboratório sistemas de bombeamento fotovoltaico em corrente contínua e concluíram que a energia solar fotovoltaica é uma excelente alternativa para

o abastecimento de água em regiões onde há defasagem na transmissão e distribuição de energia elétrica, demonstrando que o uso de sistemas de bombeamento fotovoltaicos possui preços bem mais atraentes e são bem mais competitivos do que a distribuição da rede pública de energia.

Martins *et al.* (2015) realizaram um estudo para analisar a viabilidade da implantação de um sistema de irrigação exclusivo com água das chuvas para o uso nas áreas verdes do Instituto Federal do Ceará (IFCE), Campus de Juazeiro do Norte, utilizando bombas alimentadas por painéis fotovoltaicos. Os autores verificaram que a partir da implantação do sistema pode-se economizar 120,15 kWh/mês de energia bem como reduzir o volume de água do poço em aproximadamente 80m³ nos meses do ano que apresentam baixa precipitação. De modo geral, aproveitamento da água das chuvas para irrigação com bomba a partir de um sistema fotovoltaico permite reduzir os impactos ambientais causados pelo uso intensivo do poço, bem como reduzir o consumo de energia elétrica do campus.

Nogueira *et al.* (2015) compararam a eficiência sistema de sistemas de bombeamento fotovoltaico utilizando módulos fotovoltaicos de silício mono e policristalino para alimentar uma motobomba. Os autores verificaram que o sistema que utiliza módulo de silício monocristalino foi mais eficiente com relação à vazão e energia consumida, entretanto, o sistema que utiliza módulo de silício policristalino foi capaz de bombear um volume maior de água.

Araújo *et al.* (2018) analisaram a viabilidade econômica do uso da energia solar na agricultura familiar irrigada no município de Serrinha-BA e concluíram que energia fotovoltaica é uma boa alternativa para o agricultor familiar, pois permite o uso de energia renovável juntamente com o uso racional da água, haja vista que o potencial fotovoltaico para geração de energia elétrica possui um grande índice de radiação solar o que favorece o acionamento do sistema de bombeamento.

Campos & Alcântara (2018) realizaram uma análise técnica e de custos de um sistema fotovoltaico de bombeamento para fins de irrigação e verificaram que é possível dimensionar um sistema para bombeamento fotovoltaico e irrigação de modo adequado, sem desperdícios de altos volumes diários de água na sua operação e de baixo custo, comprovando assim a alta viabilidade econômica de implantação de sistema fotovoltaico de bombeamento para pequenos produtores rurais voltado para irrigação na agricultura, e incentivando assim a agricultura familiar e adequando a relação entre conservação e produtividade com seu sistema .

Domond (2018) projetou um sistema de bombeamento fotovoltaico de águas subterrâneas com armazenamento para abastecer o consumo de água para a Ecole Nationale de LaCroix, situada no município de Jacmel- Haiti. Uma vez que o sistema proposto não utiliza banco de baterias, o autor verificou que o volume de água bombeada varia significativamente ao longo do dia, e quanto maior a profundidade da água e a elevação do reservatório, menor será a quantidade de água bombeada ou maior será a quantidade de energia necessária.

Bertsiou & Baltas (2022) forneceram um quadro metodológico para um esquema de energia renovável híbrida, onde a energia eólica produzida pode ser enviada diretamente para o local de consumo ou pode ser utilizada para bombear e armazenar água em um reservatório, para uso quando prevalecem ventos fracos. No sistema proposto a energia rejeitada é minimizada, enquanto o sistema híbrido contribui satisfatoriamente para eletricidade e cobertura de água e irrigação. O estudo proposto serve como uma ferramenta para determinar o plano de operação de um sistema híbrido em termos de energia rejeitada mínima.

Okakwu *et al.* (2022) realizaram um estudo técnico-econômico para a implantação de um sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação com água subterrânea da produção agrícola na Nigéria e calcularam a redução das emissões a partir da utilização do sistema fotovoltaico. Os autores observaram que com radiações mais elevadas o sistema apresenta um melhor desempenho em virtude da diminuição da taxa de descarga - impacto direto do aumento da altura manométrica do sistema e da maior potência devido ao aumento da radiação solar, respectivamente, bem como verificaram que o sistema de bombeamento fotovoltaico permite reduzir as emissões, em comparação com o uso de geradores a diesel para bombear água.

Moreira *et al.* (2020) apresentaram uma nova abordagem do nexo água-alimento-energia integrando o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o *Google Earth Engine* utilizando dados globais para geração de energia fotovoltaica. Os autores apresentaram um *script* para o *Google Earth Engine* para identificar áreas adequadas para implementação de microrredes fotovoltaicas usando AHP. Os resultados obtidos pela pesquisa permitem uma análise altamente reprodutível para grandes áreas bem como diversos países em virtude da utilização de dados disponíveis globalmente, sendo uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões com relação à segurança energética, escassez de água, alimentos e energia para comunidades remota.

2.5. ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica, também chamada de análise financeira, consiste na avaliação e

mensuração da viabilidade financeira de um projeto ou atividade, sendo realizado um estudo das variáveis financeiras de geração de lucro de modo a comparar os lucros esperados com o investimento inicial necessário para a sua execução, decidindo assim pela aprovação ou não do investimento (CELERO, 2022).

Dentre as variáveis financeiras, os indicadores quantitativos de análise de investimentos mais conhecidos e utilizados são o *Payback*, o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

A fim de analisar a viabilidade econômica de um projeto ou atividade, inicialmente deve-se definir uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A TMA é a taxa que representa o percentual mínimo de lucro obtido sobre uma aplicação financeira, sendo utilizada para indicar o valor mínimo recebido pelo investidor ao realizar um financiamento ou um empréstimo, bem como decidir a aprovação ou não de um investimento antes de seu início. Portanto, a TMA representa a taxa de retorno mínima aceitável para operações financeiras, ou seja, representa o lucro obtido quando o investimento destinado a certo projeto ou atividade é aplicado em um investimento tradicional, como a poupança ou mesmo em atividades da empresa com retorno fixo. Apesar de ser bastante utilizada, na prática não é possível calcular a TMA haja vista que sua determinação envolve o custo de capital e o custo de oportunidade, de modo que usualmente considera-se o valor da TMA equivalente a taxa básica de juros da economia, a SELIC, ou a inflação, o IPCA (CAPITAL, 2019). Após a definição da TMA estabelecida é possível a determinação dos indicadores de análise de investimentos.

O *Payback* equivale ao período de tempo necessário para que o capital inicial investido seja recuperado, sendo o fator principal para decisão de investidores de curto-prazo. Para a determinação do *Payback*, os lucros obtidos ao longo do período de inversão são descontados do investimento até completar o capital investido sendo contabilizado o tempo necessário para que este processo ocorra. De modo geral, menores valores de *Payback* indicam investimentos mais viáveis e interessantes. O *Payback* pode ser classificado em duas categorias: *Payback* simples, determinado pelo custo inicial e pelo saldo médio do fluxo de caixa no período, conforme a Equação (1), e o *Payback* descontado, determinado a partir do custo inicial e do Valor Líquido Presente, de acordo com a Equação (2) (RESULTADOS DIGITAIS, 2022).

$$PS = \frac{II}{MFC} \quad (1)$$

$$PD = \frac{II}{VLP} \quad (2)$$

sendo *PS* o *Payback* simples, *PD* o *Payback* descontado, *II* o investimento inicial, *MFC* a média do fluxo de caixa e *VLP* o Valor líquido presente.

O Valor Presente Líquido (VPL) é o indicador mais utilizado na avaliação econômica de projetos e atividades e corresponde ao valor no presente dos futuros lucros gerados por um investimento. A determinação do VPL depende da soma algébrica das entradas e saídas de capital dos valores presentes e utiliza a TMA como taxa de desconto para calcular os valores presentes de cada fluxo de capital de acordo com a Equação (3):

$$VPL = -R0 \pm \frac{R1}{(1+i)^1} \pm \frac{R2}{(1+i)^2} \pm \dots \pm \frac{Rn}{(1+i)^n} \quad (3)$$

sendo *R0* o investimento inicial, *R1*, *R2*, ..., *Rn* os valores do fluxo de caixa gerado pelo projeto e *i* a taxa de juros (TMA). O sinal + indica entradas e o sinal - indica saídas de capital.

O VPL é um índice que permite analisar a viabilidade econômica de um projeto ou atividade e a partir do seu valor o projeto ou atividade podem ser avaliados sob os seguintes critérios: $VPL < 0$ indica que o projeto não terá um retorno, gerando prejuízo para o investidor, de modo que o investimento é inviável; $VPL = 0$ indica que o lucro obtido é igual ao alcançado com a TMA, portanto, o investimento é economicamente indiferente; e $VPL > 0$ indica que o investimento é capaz de gerar lucro maior que o esperado com a TMA, portanto o investimento é viável do ponto de vista econômico (COUTINHO, 2020). De modo geral, quanto maior o VLP do investimento maior o ganho para o investidor.

Outro indicador utilizado na análise econômica é a Taxa Interna de Retorno (TIR), que indica a rentabilidade do investimento após o término de período da inversão (WARREN, 2021). A TIR é definida como a taxa de retorno para a qual o VPL é nulo, conforme indica a Equação (4):

$$VPL = -R0 \pm \frac{R1}{(1+TIR)^1} \pm \frac{R2}{(1+TIR)^2} \pm \dots \pm \frac{Rn}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (4)$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O local selecionado para a simulação da implementação de um sistema de bombeamento fotovoltaico de água foi Colégio SOPHUS, localizado no distrito de Primavera, município de Rosana-SP, geograficamente localizado na latitude 22°34'47" S e longitude 53°03'33"O.

O município se localiza na região centro-oeste de do Estão de São Paulo, fazendo divisas com o Estado do Mato Grosso do Sul, pelo rio Paraná, e com o estado do Paraná, pelo rio Paranapanema, como mostra a Figura 23.

Figura 23 - Localização geográfica do município de Rosana



Fonte: Google Earth, 2022

A unidade de ensino tem aproximadamente 1290 m² de área construída e aproximadamente 1210 m² de área de telhado disponível para a instalação do sistema fotovoltaico e do reservatório. Atualmente o colégio possui cerca de 246 alunos e 40 funcionários. A Figura 24 mostra a localização bem como uma vista do colégio.

O colégio possui um poço semi artesiano, entretanto atualmente ele se encontra inoperante. Desse modo, o presente trabalho visa propor um sistema de bombeamento de a água a partir de um poço existente para um reservatório superior e que posteriormente irá abastecer

o colégio por gravidade. Será proposto um sistema fotovoltaico que irá produzir a energia elétrica requerida para o acionamento do sistema motobomba.

Figura 24 - Localização e vista do colégio do Colégio SOPHUS



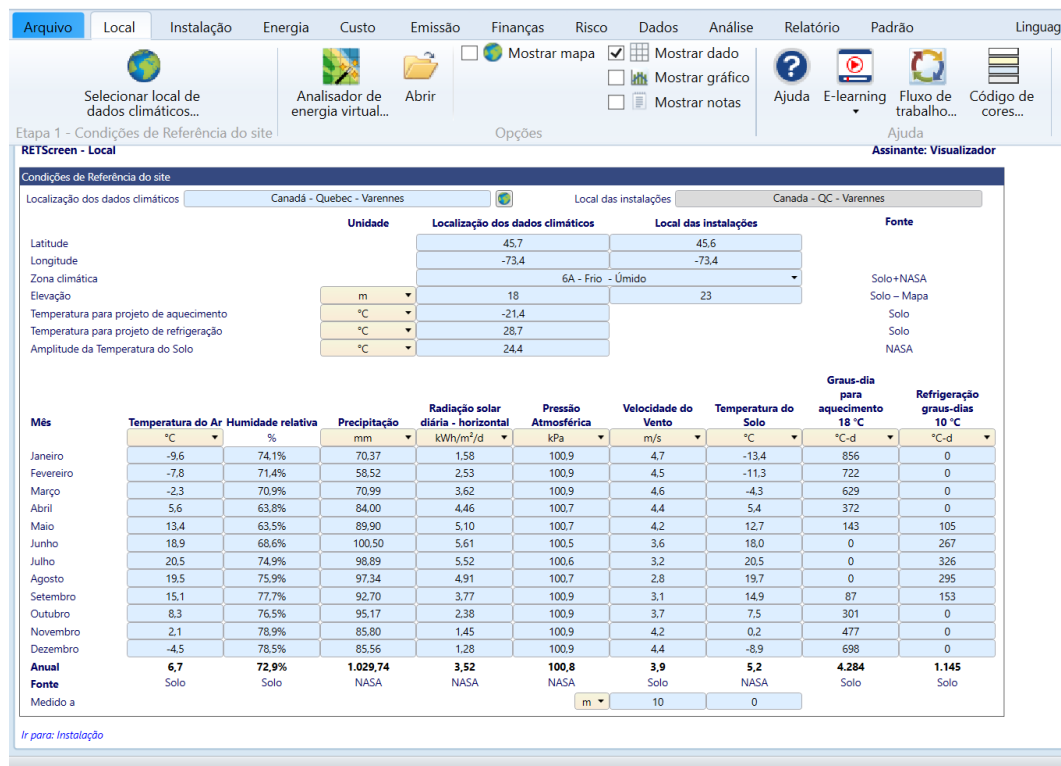
Fonte: Google Earth, 2022

3.2. DISPONIBILIDADE DE ENERGIA SOLAR

A fim de dimensionar de energia fotovoltaico se faz necessário conhecer a disponibilidade de energia solar do local onde o sistema será implantado. No presente trabalho, os dados de radiação foram obtidos a partir do banco de dados do *software* de simulação de sistemas

A fim de determinar os dados climatológicos, basta clicar na aba “Local” na tela inicial do *software* e selecionar o local de interesse para a implantação do projeto. A Figura 26 mostra os dados climáticos fornecidos pelo *software* RETScreen para a cidade de Quebec-Canadá.

Figura 26 - Dados climáticos fornecidos pelo *software* RETScreen para Quebec-Canadá.



Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

3.3. PROJETO DO SISTEMA HIDRAÚLICO

O sistema hidráulico é responsável pelo escoamento da água desde a sua captação no fundo do poço, a partir da utilização de uma bomba submersa, até o reservatório onde ficará armazenada para que seja utilizada conforme a demanda.

3.3.1. Determinação do consumo de água

A estimativa do consumo diário de água é de suma importância para o desenvolvimento de projeto de sistemas de bombeamento, pois a partir deste dado pode-se determinar o consumo de energia do projeto. Desse modo, a partir do conhecimento da potência hidráulica necessária para atender o consumo de água, pode-se realizar o correto dimensionamento do consumo de energia elétrica, bem como da tubulação e da capacidade do reservatório, além da especificação correta do conjunto motobomba.

O consumo diário de água está diretamente relacionado ao clima, padrão econômico bem como os hábitos da população e o custo da água dentre outros, sendo assim, o consumo de água varia de acordo com cada finalidade. Estima-se que consumo diário de água em uma escola (externado) é 50 L/dia por aluno (FECOMERCIO SP, 2014).

O consumo médio diário de água é calculado pela Equação (5):

$$C_m = N_p \cdot C \quad (5)$$

sendo C_m o consumo diário de água estimado, por dia, por cada pessoa (L/dia), N_p o número de pessoas e C o consumo diário de água estimado, por dia, por cada pessoa ((L/dia).

O volume do reservatório de água deve ser definido considerando o consumo diário de água bem como períodos sem incidência de radiação solar, como dias chuvosos, nublados o período da noite. No presente trabalho o volume do reservatório será determinado de modo a permitir o fornecimento de água por dois dias.

3.3.2. Dimensionamento do Sistema de Geração

Para o correto dimensionamento do sistema de bombeamento se faz necessário conhecer as características do poço, dentre as quais, o nível estático e dinâmico, bem como a capacidade para o abastecimento de água nas épocas mais críticas do ano levando em consideração as necessidades de água do consumidor, haja vista que o consumo de água pelo consumidor não pode ser superior à capacidade do poço.

O dimensionamento do sistema de bombeamento de água envolve a determinação da potência hidráulica requerida (P_H) para bombear a água a uma certa altura manométrica (h_m) a uma determinada vazão (Q_m).

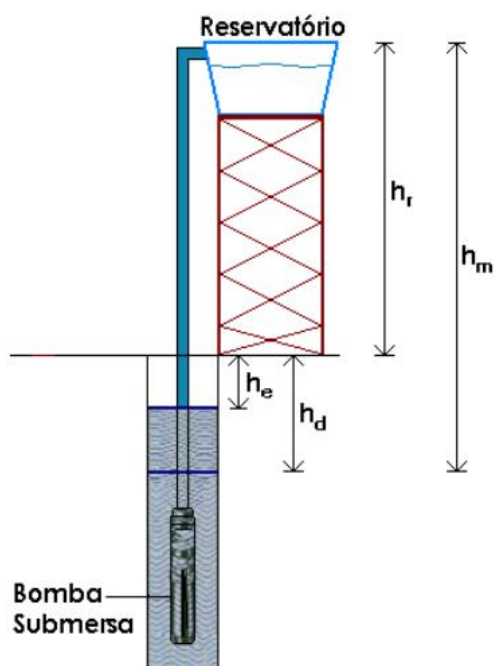
A Figura 27 apresenta o diagrama esquemático para um sistema de bombeamento fotovoltaico para um poço e o Quadro 1 apresenta a definição das alturas características.

A altura manométrica corrigida é calculada pela Equação (6):

$$h_{mc} = h_m + h_t + h_c \quad (6)$$

sendo h_{mc} a altura manométrica corrigida (m), h_m a altura manométrica (m), h_t a perda de carga nas tubulações (m) e h_c a perda de carga nas conexões (m).

Figura 27 - Diagrama esquemático de um sistema de bombeamento fotovoltaico para um poço



Fonte: PINHO (2014)

Quadro 1 - Conceitos relacionados aos parâmetros

Altura estática (h_e)	Distância entre o nível do solo e o nível da água em repouso (nível estático)
Altura dinâmica (h_d)	Distância entre o nível do solo e o nível da água durante o bombeamento (nível dinâmico)
Altura do reservatório (h_r)	Distância entre o nível do solo e o nível do ponto mais alto do reservatório
Altura manométrica (h_m)	Soma da altura dinâmica (nível dinâmico) e altura do reservatório

Fonte: PINHO (2014)

As perdas de carga nas tubulações e conexões normalmente são fornecidas pelos fabricantes dos tubos e conexões uma vez que variam com a vazão requerida, o material de fabricação e os diâmetros das tubulações. As Tabelas 1 e 2 apresentam valores típicos para as perdas de carga nas tubulações e conexões.

Para situações em que se disponha dos resultados do teste de capacidade do poço deve-se substituir a altura manométrica corrigida (h_{mc}) pela altura equivalente (H_{TE}), definida como sendo a altura na qual o volume diário de água é bombeado a uma vazão média (Q_m) respeitando a vazão máxima (Q_{Max}) do poço.

Tabela 1 - Perda de carga 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: CREDER (2006) apud PINHO (2014)

Tabela 2 - Perdas de carga 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: CREDER (2006) apud PINHO (2014)

A partir do teste de capacidade do poço é possível determinar sua capacidade máxima disponível (Q_{Max}) sendo esta a vazão que determina o limite máximo de extração de água em função de sua reposição. A vazão máxima do poço é utilizada para a determinar a altura total equivalente (H_{TE}) que substitui a altura manométrica corrigida a fim de evitar o mau funcionamento das bombas submersas em situações onde o rebaixamento do poço atinge a tomada de água da bomba de modo que a bomba succiona uma mistura de ar e água, o que resulta em danos por superaquecimento e cavitação.

Cabe ressaltar que quando a vazão média (Q_m) e a capacidade máxima do poço (Q_{Max}) são iguais os valores da altura manométrica corrigida e da altura total equivalente também serão iguais, entretanto esta igualdade deve ser evitada na prática, haja vista que esta condição faz com que a bomba trabalhe frequentemente a seco PINHO (2014).

A altura total equivalente é dada pela Equação 7:

$$H_{TE} = h_e + h_r + \left(\frac{h_d - h_e}{Q_{Max}} \right) Q_m + h_m(Q_m) + h_c(Q_m) \quad (7)$$

sendo H_{TE} a altura total equivalente (m), h_m a altura manométrica (m), h_e a altura estática (m), h_r a altura do reservatório (m), h_d a altura dinâmica (m), h_c as perdas nas conexões associadas à vazão média (m), Q_{Max} a vazão máxima disponível do poço (m^3/h) e Q_m a vazão média para se obter o volume diário (m^3/h).

Para situações onde o volume de água a ser bombeado é baixo e as tubulações são curtas, as perdas na tubulação e conexões podem ser desprezadas.

O cálculo do comprimento total equivalente é dado pela Equação 8:

$$L_{corrigido} = L_{tubulação} + L_{válvula} + L_{joelho} \quad (8)$$

sendo $L_{corrigido}$ o comprimento equivalente total linear (m), $L_{tubulação}$ o comprimento da tubulação (m), $L_{válvula}$ a perda de carga por válvulas (m) e L_{joelho} a perda de carga por joelhos (m).

De posse do valor do comprimento equivalente total linear é possível se determinar a perda de carga corrigida da tubulação, h_{tc} , a partir da Equação 9:

$$h_{tc} = h_t \cdot \frac{L_{corrigido}}{100} \quad (9)$$

3.4. PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Após a determinação da vazão de água requerida e da altura manométrica corrigida, ou altura total equivalente, pode-se determinar a energia hidráulica mínima necessária para o bombeamento a partir da Equação 10:

$$E_H = g \cdot h_{mc} \cdot \rho_a \cdot \frac{Q_d}{3600} \quad (10)$$

sendo E_H a energia hidráulica mínima (Wh/dia), g a aceleração da gravidade, igual a $9,81 \text{ m/s}^2$ e ρ_a a densidade da água, igual a 1.000 kg/m^3 , a equação pode ser reescrita conforme a Equação 11:

$$E_H = 2,725 \cdot h_{mc} \cdot Q_d \quad (11)$$

sendo Q_d o volume diário de água (m^3/dia) e h_{mc} a altura manométrica corrigida ou altura total equivalente (m).

De posse do valor da energia hidráulica mínima é possível se determinar a energia elétrica diária necessária para o processo de bombeamento a partir da Equação 12:

$$E_{EL} = \frac{E_H}{\eta_{mb}} \quad (12)$$

sendo E_{EL} a energia elétrica diária (Wh/dia) e η_{mb} a eficiência média da motobomba juntamente com seus eventuais equipamentos auxiliares em um ciclo completo de bombeamento.

De acordo com a literatura a eficiência de uma motobomba submersível oscila entre 25 e 60% para corrente contínua e 25 e 40% para corrente alternada (JESUS, 2014) e a eficiência típica de um conjunto motobomba acionado por um sistema fotovoltaico é de 25 % (PINHO, 2014).

A potência do gerador fotovoltaico (P_{FV}) pode ser calculada a partir da Equação 13:

$$P_{FV} = 1,25 \cdot \frac{E_{EL}}{HSP} \quad (13)$$

sendo P_{FV} a potência do gerador fotovoltaico (Wp) e HSP o número de Hora do sol pleno médio anual de radiação no plano do gerador fotovoltaico (h).

Hora de Sol Pleno (HSP) pode ser definida como sendo a radiação solar diária, mensal, ou anual, que é recebida por uma superfície de acordo com a localização específica, ângulo de inclinação e orientação (BONAFE, 2021). De modo geral, HSP representa a quantidade de horas nas quais a radiação solar teria o valor constante de 1000 W/m^2 , sendo determinada pela divisão entre a irradiação do local (kWh/m^2) por 1000 W/m^2 (SOARES, 2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CÁLCULO DO CONSUMO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NA ESCOLA

Considera-se que o consumo médio diário de água por pessoa em uma escola (externato) é equivalente a 50 litros (FECOMERCIOSP, 2014), e sabendo que o número total de pessoas que o frequentam o colégio é de 286, pode-se calcular o consumo diário de água na escola a partir da Equação 5.

$$Cm = 286 \cdot 50$$

$$Cm = 14.300 \text{ L}$$

Os valores obtidos para o consumo diário de água na escola são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Consumo diário de água em litros

Número de pessoas	286
Consumo [L/pessoa/dia]	50
Consumo diário [L]	14.300

Fonte: Elaboração do autor

Sabendo-se que 1L equivale a 10^{-3} m^3 tem-se que consumo médio diário de água na escola é de $14,300 \text{ m}^3$.

Para o sistema de bombeamento de água proposto, o armazenamento será realizado em reservatório de água, sendo o volume do reservatório proporcional ao número de dias de autonomia.

Visando um sistema com capacidade de armazenamento, de modo a evitar o desabastecimento em dias com baixa radiação solar, a autonomia estabelecida será de 2 dias. Portanto o volume do reservatório escolhido deverá ser no mínimo 2 vezes maior que o consumo médio diário do colégio:

$$V = Cm \cdot 2$$

$$V = 14.300 \cdot 2$$

$$V = 28.600 \text{ L}$$

O volume mínimo do reservatório para o projeto é de 28.600 L, entretanto os volumes mais próximos encontrados dos reservatórios à venda no mercado são de 25.000 e 30.000 L, por este motivo a caixa d'água selecionada para o reservatório foi a da marca Bakof Tec de 30.000 L, apresentada na Figura 28.

Figura 28 - Caixa d'Água Fibra Bakof Tec 30.000L



Fonte: CASSOL CENTELAR, 2022

Recomenda-se que o reservatório seja instalado sobre um suporte, de modo que a altura do topo do reservatório fique acima do telhado do colégio e não ultrapasse 10 m com relação ao solo, uma vez que este valor corresponde ao valor adotado como altura do reservatório (h_f) conforme mostra a Figura 27. As dimensões da caixa d'água são: diâmetro (base) de 2,5 m; diâmetro (tampa) de 3,20 m e altura (sem tampa) de 4,73 m. O custo da caixa d'água é de R\$23.089,00. A Tabela 4 apresenta a capacidade do reservatório considerando sua autonomia e consumo diário.

Tabela 4 - Capacidade do reservatório em litros

Número de dias de autonomia	2
Consumo diário [L]	14.300
Capacidade do reservatório [L]	30.000

Fonte: Elaboração do autor

Sabendo-se que 1L equivale a 10^{-3} m^3 tem-se que a capacidade do reservatório de água na escola é de 30 m^3 .

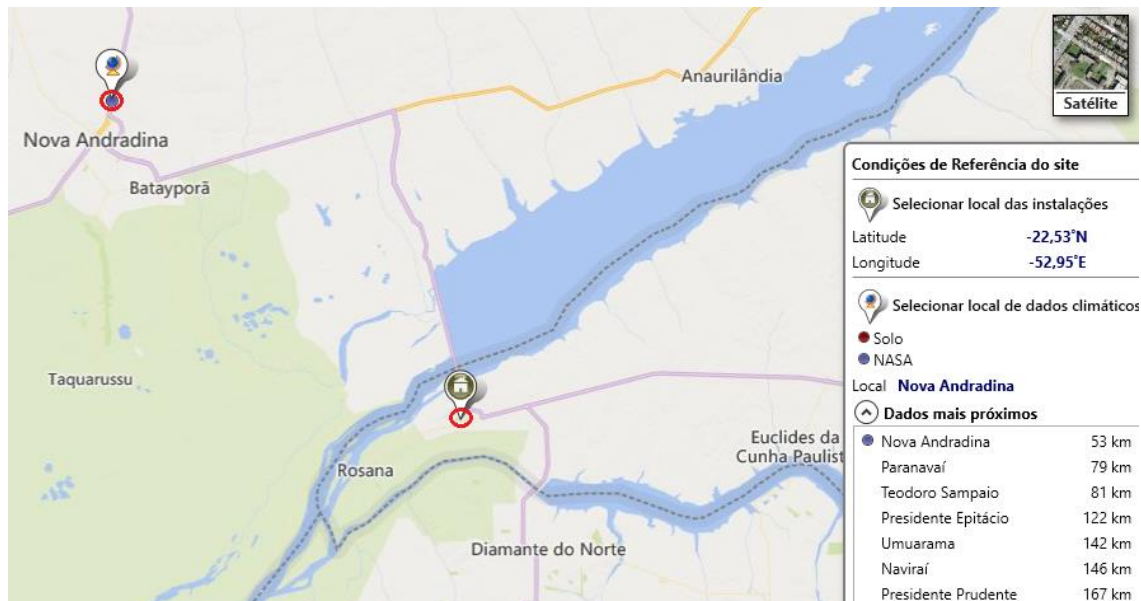
4.2. RADIAÇÃO SOLAR NA LOCALIDADE EM ESTUDO

Os dados da radiação solar para a localidade em estudo foram levantados utilizando-se o *software* RETScreen. O *software* não possui dados climáticos disponíveis para a cidade de Rosana onde se localiza o Colégio SOPHUS. Desse modo, foram utilizados os dados climáticos

da região mais próxima de seu banco de dados, a cidade de Nova Andradina, no Estado do Mato Grosso do Sul.

A Figura 29 mostra a posição do local do projeto com relação a localização da estação mais próxima e a Figura 30 apresenta os dados de radiação adotados para o projeto.

Figura 29 - Posição do colégio em relação ao local de referência



Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

Verifica-se que a média anual da radiação solar diária horizontal é de 4,99 kW/m² e os meses de Novembro e Junho tem a maior e menor radiação solar, 6,13 kWh/m²/d e 3,52 kWh/m²/d, respectivamente.

Figura 30 - Dados de radiação adotados para o projeto

Mês	Temperatura do Ar °C	Humidade relativa %	Precipitação mm	Radiação solar diária - horizontal kWh/m ² /d	Pressão Atmosférica kPa	Velocidade do Vento m/s	Temperatura do Solo °C	Graus-dia para aquecimento 18 °C °C-d	Refrigeração graus-dias 10 °C °C-d
Janeiro	26,6	73,7%	192,20	5,92	97,1	2,0	27,0	0	515
Fevereiro	26,1	75,8%	161,84	5,66	97,2	1,9	26,4	0	451
Março	25,5	75,6%	126,79	5,27	97,3	2,0	25,7	0	481
Abril	23,8	75,8%	96,60	4,68	97,5	2,1	23,9	0	414
Mai	19,9	78,3%	96,41	3,74	97,7	2,2	19,9	0	307
Junho	18,5	78,5%	63,60	3,52	97,8	2,3	18,4	0	255
Julho	18,2	72,8%	41,85	3,94	97,9	2,5	18,2	0	254
Agosto	20,4	64,7%	51,15	4,56	97,7	2,7	20,5	0	322
Setembro	22,7	63,1%	101,70	4,84	97,5	2,7	23,0	0	381
Outubro	25,1	66,6%	133,30	5,54	97,3	2,5	25,5	0	468
Novembro	26,0	67,1%	132,00	6,13	97,1	2,3	26,4	0	480
Dezembro	26,8	69,9%	162,44	6,10	97,1	2,1	27,2	0	521
Anual	23,3	71,8%	1.359,88	4,99	97,4	2,3	23,5	0	4.848
Fonte	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a					m	10	0		

Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

4.3. DESCRIÇÃO DO POÇO

O Colégio SOPHUS possui um poço semi artesiano do tipo enterrado, entretanto atualmente o poço não está em uso devido a defeitos no conjunto motobomba. Além disso, cabe ressaltar que o prédio onde a escola está instalada inicialmente era uma residência e o poço foi projeto para atender a demanda de água dos moradores.

Desse modo, se faz necessário atualizar o sistema de bombeamento para atender a demanda atual de água levando em conta o aumento no número de pessoas que frequentam a escola. Portanto, o poço já construído na escola será aproveitado para o projeto de um novo sistema de bombeamento de água fotovoltaico.

A Tabela 5 mostra as características construtivas e local do poço.

Tabela 5 - Características do poço

Proprietário: Colégio SOPHUS	
Local: Rua Mato Grosso, Quadra 34	Profundidade: 38,00 m
Município: Rosana	Nível Estático: 15,61 m
Coordenadas: 22°31'49.4"S 52°57'11.6"W	Nível Dinâmico: 25,77 m

Fonte: Elaboração do autor

A Figura 31 mostra uma foto do poço semi artesiano disponível na escola, entretanto, cabe ressaltar que atualmente o poço está inoperante devido à problemas no sistema de bombeamento.

Figura 31 - Foto do poço do colégio SOPHUS



Fonte: Elaboração do autor

As Figuras 32, 33 e 34 mostram os dados geológicos, construtivos e o teste de bombeamento do poço disponíveis no site do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas

(SIAGAS).

Figura 32 - Dados Geológicos

Gerais	Construtivos	Geológicos	Hidrogeológicos	Teste de Bombeamento	Análises Químicas
Feição Geomorfológica:					
Descrição:					
Formação Geológica:					
Profundidade Inicial (m):		Profundidade Final (m):		Tipo de Formação:	
0.00		38.00		Formação Caiuá	
38.00		100.00		Formação Serra Geral	

Fonte: SIAGAS, 2022

Verifica-se que existe abundância do recurso hídrico no subsolo, com a presença de dois aquíferos na região, a Formação Caiuá situada entre a profundidade de 0 à 38 metros e a Formação Serra Geral na profundidade de 38 à 100 metros.

Figura 33 - Dados construtivos do poço

Poço: 3500004924

Perfil Construtivo

Gerais	Construtivos	Geológicos	Hidrogeológicos	Teste de Bombeamento	Análises Químicas
Perfuração:					
Data:	22/03/1977	Profundidade Inicial (m):	0.00	Profundidade Final (m):	100.00
Perfurador:	T - JANNER	Método:	Percussão		
Diâmetro:					
De (m):	Até (m):	Polegadas:	20	Milímetros:	508.0000
0.00	20.00	40.00	12	304.8000	
20.00	40.00	47.00	8	203.2000	
40.00	47.00	100.00	6	152.4000	
Revestimento:					
De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	
0.00	6.70	Aço com costura	6	152.4000	
6.70	26.70	Outros	6	152.4000	
26.70	37.90	Aço com costura	6	152.4000	
37.90	37.90	Outros	6	152.4000	
37.90	100.00	Aço com costura	6	152.4000	
100.00	100.00	Outros	6	152.4000	
Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material:	Diâmetro (pol):	Diâmetro (mm):	Ranhura
26.70	31.00	Outros	6	152.4000	
31.00	31.00	Outros	6	152.4000	
31.00	42.20	Outros	6	152.4000	
42.20	42.20	Outros	6	152.4000	
Espaço Anular:					
De (m):	Até (m):	Material:			
0.00	0.40	Outros			
0.40	26.70	Outros			
26.70	31.00	Outros			
31.00	37.90	Outros			
37.90	42.20	Outros			
42.20	42.20	Outros			
Boca do Tubo:					
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol):	6	Diâmetro (mm):	152.4000
Entrada d'água:					
Profundidade(m):					
Data:	Profundidade Útil:				
	100.00				

Fonte: SIAGAS, 2022

Os dados construtivos do poço foram coletados pela empresa T-JANNER e o perfil construtivo fornece informações específicas sobre a perfuração de poços, indicando a variação da profundidade, diâmetro, revestimento, filtro, boca de tubo e materiais que foram recomendados pela testagem do local.

O teste de bombeamento, mostrado na Figura 34, fornece os dados para escolha adequada

do conjunto motobomba, mais especificamente para instalação das bombas submersas, sendo os níveis estático e dinâmico correspondentes a distância entre o nível do solo e o nível da água em repouso e a distância entre o nível do solo e o nível da água em movimento respectivamente. O teste também indica a vazão específica e a vazão após a estabilização, equivalente a vazão máxima.

Figura 34 - Teste de Bombeamento

Gerais	Construtivos	Geológicos	Hidrogeológicos	Teste de Bombeamento	Análises Químicas
Teste de Bombeamento:					
Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):		
	N	15.61			
Nível Dinâmico (m):	Vazão Específica (m ³ /h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m ³ /h):		
25.77	1.32				
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m ² /s):	Vazão Após Estabilização (m ³ /h):	Tipo do Teste:		
		13.45			
Método:	Unidade:				

Fonte: SIAGAS, 2022

4.4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO

O sistema hidráulico projetado consiste na captação da água do poço disponível na escola utilizando um conjunto motobomba, sendo a água bombeada até o reservatório onde será armazenada para suprir as necessidades do colégio. A fim de conduzir a água serão utilizadas tubulações de PVC, do tipo soldável e com bitola de diâmetro de 32 mm.

A altura manométrica corrigida, h_{mc} , foi calculada a partir da Equação (6) considerando o diâmetro da tubulação de 32mm, a vazão média de 2.000L/h, que o sistema possui 3 conexões em joelho de 90°, uma válvula de retenção, a altura do reservatório, h_f , de 10 m e altura dinâmica, h_d , de 25,77 m, de modo que a altura manométrica, h_m , é 35,77 m. O valor referente a perda de carga nas tubulações, h_t , foi obtido da Tabela 1 e o valor referente a perda de carga nas conexões, h_c foi obtido da Tabela 2. Desse modo:

$$h_{mc} = 35,77 + 1,43 + 3(0,457) + 0,914$$

$$h_{mc} = 39,46 \text{ m}$$

O comprimento equivalente total linear, $L_{corrigido}$, foi determinado através da Equação (8), sendo $L_{válvula}$, a perda de carga por válvulas, e L_{joelho} , a perda de carga por joelhos obtidos respectivamente da Tabelas 2 e considerando o comprimento da tubulação, $L_{tubulação}$, igual a 45,77 m. Portanto:

$$L_{\text{corrigido}} = 45,77 + 0,914 + 3(0,457)$$

$$L_{\text{corrigido}} = 48,06 \text{ m}$$

A perda de carga corrigida da tubulação, h_{tc} , foi calculada a partir da Equação 9, sendo:

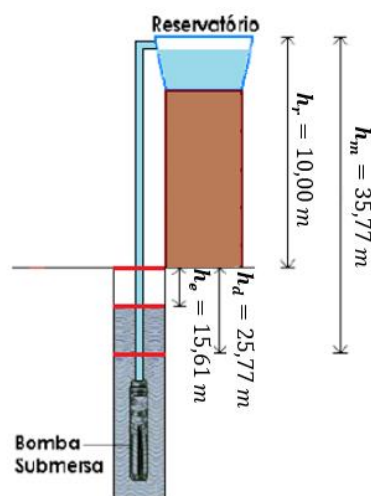
$$h_{tc} = 1,43 \cdot \frac{48,06}{100}$$

$$h_{tc} = 0,69 \text{ m}$$

Observa-se que a perda de carga corrigida da tubulação é de 0,69 m, sendo inferior ao valor de 1,43 m da Tabela 1, entretanto será utilizado o valor da altura manométrica corrigida para compensar a aproximação da vazão de 2.400 L/h para 2.000 L/h da Tabela 1.

A Figura 35 apresenta o dimensionamento do projeto hidráulico proposto para a escola.

Figura 35 - Dimensionamento do projeto hidráulico



Fonte: Elaboração do autor

4.5. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico será dimensionado de modo a atender a demanda energética da bomba elétrica, de modo que o arranjo fotovoltaico deve se adequar as características elétricas da bomba a ser utilizada.

No sistema proposto será utilizada uma bomba submersa que opera em corrente alternada na frequência de 60 Hz, tensão de 220 V e diâmetro do bocal de saída de 32 mm.

A energia hidráulica mínima, E_H , foi calculada a partir da Equação 11, sendo:

$$E_H = 2,725 \cdot 39,46 \cdot 14,300$$

$$E_H = 1.537,66 \text{ Wh/dia}$$

Considerando que a eficiência típica de um conjunto motobomba acionado por um sistema fotovoltaico é de 25 % a energia elétrica mínima necessária, E_{EL} , foi determinada através da Equação 12, de modo que:

$$E_{EL} = \frac{1.537,66 \text{ Wh}}{0,25 \text{ dia}}$$

$$E_{EL} = 6.150,64 \text{ Wh/dia}$$

A Tabela 6 apresenta um resumo das principais variáveis do sistema hidráulico bem como as principais características do conjunto motobomba, incluindo a potência elétrica da bomba.

Tabela 6 -Dimensões do sistema hidráulico e potência da bomba.

Horas de funcionamento da bomba	6
Número de bombas	1
Altura de bombeamento [m]	33,77
Perda de carga hidráulica [mca]	0,69
Altura manométrica [mca]	35,77
Altura manométrica corrigida [mca]	39,46
Vazão bomba [m^3/h]	2,38
Potência da bomba [W]	256,28
Rendimento da bomba	0,25
Energia da bomba [Wh]	6.150,64
Potência Elétrica da bomba [W]	1.025,11

Fonte: Elaboração do autor

Após conhecer as características do poço, a altura de bombeamento, a altura manométrica, a perda de carga nas tubulações e a vazão de água necessária é possível selecionar a bomba a ser utilizada no sistema a partir de uma consulta às Tabelas de Seleção de Bombas e Motobombas disponibilizadas pelos fabricantes.

Para o sistema hidráulico proposto a bomba selecionada foi a do modelo Schneider SUB15-15S4E11 do tipo monofásica, 220 V e potência de 1,5 CV, custando R\$ 4.446,55 (SCHNEIDER, S.I).

Uma vez que a média anual da radiação solar diária é de $4,99 \text{ kW/m}^2$ tem-se que a HSP é 4,99, portanto considera-se que $HSP = 5 \text{ h}$, de modo que a potência do gerador fotovoltaico (P_{FV}) foi calculada a partir da Equação 4, sendo:

$$P_{FV} = 1,25 \cdot \frac{6.150,64 \text{ Wh}}{5,0 \text{ h}}$$

$$P_{FV}(W_p) = 1.230,13 W_p$$

De posse dos valores obtidos para a demanda energética foi possível realizar a simulação do sistema fotovoltaico utilizando o *software* RETScreen.

A Figura 36 mostra a tela com os dados obtidos na simulação do sistema fotovoltaico proposto.

Figura 36 – Bombeamento fotovoltaico - nível 1

Fotovoltaica - Nível 1	
Potência elétrica	kW 1,8
Fabricante	Jinko Solar
Modelo	mono-Si - JKM360M-72(Plus)
Número de unidades	5
Fator de Utilização	% 16,04%
Custos iniciais	\$/kW 1.400
	\$ 2.520
Custo de operações e manutenção (economia)	\$/kW-ano 17
	\$ 30,60
Preço eletricidade exportada	Preço eletricidade exportada - anual
	\$/kWh 0,10
Eletricidade exportada p/ rede	MWh 2,5
Receita com eletricidade exportada	\$ 253

Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

A fim de atender a demanda energética do sistema, de 1,8 kW, são necessários 5 painéis ou módulos fotovoltaicos. Foram selecionados módulos de silício monocristalino, modelo JKM360M-72(Plus) da marca Jinko Solar, com um custo inicial de \$/kW1.400 e custo de operações e manutenções de \$/kW-ano 17. Obtendo-se a o fator de utilização de 16,04% e os custos iniciais e de manutenção/operação de US\$ 2.520,00 e US\$30,60 respectivamente.

A Figura 37 mostra a simulação para o mesmo sistema levando em consideração informações adicionais, tais como, a inclinação de 23° e o azimut de 180° para instalação dos painéis, a área total dos coletores solares, $9,7 \text{ m}^2$, a temperatura de operação normal da célula

de 45°C, o coeficiente de temperatura de 0,4%, bem como o valor das perdas diversas do sistema, equivalente a 15%.

Figura 37 – Bombeamento fotovoltaico - nível 2

Fotovoltaica - Nível 2

Avaliação de recursos

Sistema de posicionamento solar: Fixo

Inclinação: 23

Azimet: 180

Mostrar dado

Fotovoltaica

Tipo: mono-Si

Potência elétrica: kW 1,8

Fabricante: Jinko Solar

Modelo: mono-Si - JKM360M-72(Plus)

Número de unidades: 5

Eficiência: % 18,55%

Temperatura de operação normal da célula: °C 45

Coeficiente de Temperatura: % / °C 0,4%

Área do coletor solar: m² 9,7

Fator de ajuste de célula solar de dois lados: % 0%

Perdas diversas: % 15%

Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

A Figura 38 apresenta a simulação do inversor proposto bem como um resumo do projeto fotovoltaico.

Figura 38 – Bombeamento fotovoltaico – inversor e resumo

Inversor

Eficiência: % 95%

Capacidade: kW 1,8

Perdas diversas: % 1%

Resumo

Fator de Utilização: % 16%

Custos iniciais: \$/kW 1.400

Custo de operações e manutenção (economia): \$/kW-ano 17

Preço eletricidade exportada: \$ 30,60

Preço eletricidade exportada - anual: \$/kWh 0,10

Eletricidade exportada p/ rede: MWh 2,5

Receita com eletricidade exportada: \$ 253

Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

O inversor tem uma eficiência de 95%, com perdas diversas de apenas 1% e a capacidade do inversor foi adequada para 1,8 kW devido a potência dos 5 módulos de 360 W.

A Tabela 7 apresenta um resumo simplificado do sistema fotovoltaico.

Os painéis fotovoltaicos serão conectados em série, produzindo uma energia anual de 2,5 MWh. A potência por unidade de área é de 185,5 W/m², a potência mínima é de 332,19 W e a

potência máxima é de 1801,2 W, valor este obtido quando a corrente e a tensão atingem os valores de 9,12 A e 197,5 V, respectivamente.

Tabela 7 - Resumo do projeto do sistema fotovoltaico

Número de placas	5
Número de placas em série	5
Número de placas em paralelo	1
Potência mínima de cada placa [W]	332,19
Potência por unidade de área [W/m ²]	185,5
I _{max} sistema PV [A]	9,12
V _{max} sistema PV [V]	197,5
P _{max} sistema PV [W]	1801,2
Energia gerada anualmente [MWh]	2,5

Fonte: Elaboração do autor

O modelo do módulo fotovoltaico selecionado foi o de silício monocristalino JKM360M-72(Plus) da marca Jinko Solar devido a sua elevada potência comparada aos demais módulos fotovoltaicos. A Tabela 8 apresenta as características do módulo selecionado.

Tabela 8 -Especificações do módulo fotovoltaico selecionado

Marca	Jinko Solar
Nome	JKM360-72(Plus)
Potência [W]	360
Voltagem em circuito aberto (V _{OC}) [V]	48
Corrente de curto circuito (I _{SC})[A]	9,51
Tensão de máxima potência (V _{MP}) [V]	39,5
Corrente de máxima potência (I _{MP}) [A]	9,12
Eficiência energética [%]	18,55
Voltagem máxima do sistema [V]	1000
Fusível máximo [A]	15
Temperatura ideal de funcionamento (NOCT) [°C]	45
Coeficiente de temperatura (P _{max}) [%/K]	-0,39
Coeficiente de temperatura (V _{oc}) [%/K]	-0,139
Coeficiente de temperatura (I _{sc}) [%/K]	0,05
Células fotovoltaicas	72
Peso [kg]	26,5
Modelo	Mono PERC

Fonte: Elaboração do autor

A fim de especificar um inversor compatível com o simulado pelo *software* RETScreen, foi selecionado o micro inversor Hayonik PW11-5, apresentado na Figura 39.

Figura 39 - Micro Inversor Hoymiles HMS-1800



Fonte: GENYX, 2021

Foram adotadas três características para determinação deste micro inversor, sendo elas: potência nominal de saída de 1800 W, eficiência acima de 95% e potência de módulo sugerida de 360 à 565 W. A Figura 40 mostra as especificações do inversor selecionado.

Figura 40 - Datasheet do inversor

Model	HMS-1600-4T			HMS-1800-4T			HMS-2000-4T		
Dados de Entrada (CC)									
Potência de Módulos Sugerida(W)	320 a 500+			360 a 565+			400 a 625+		
Tensão máxima de entrada(V)	65								
Alcance de Tensão de Operação(V)	16-60								
Tensão de partida(V)	22								
Máxima corrente de entrada(A)	4 × 12.5			4 × 13.3			4 × 14		
Dados de Saída (CA)									
Potência nominal de saída(VA)	1600			1800			2000		
Potência ativa nominal de Saída a 40°C (W)	1600			1800			2000		
Potência ativa máxima de Saída a 40°C(W)	1600			1800			2000		
Corrente nominal de saída(A)	7.27	6.96	6.67	8.18	7.83	7.5	9.09	8.7	8.33
Tensão nominal de Saída/Alcance(V) ¹	220/180-275	230/180-275	240/180-275	220/180-275	230/180-275	240/180-275	220/180-275	230/180-275	240/180-275
Frequência nominal/alcance(Hz) ¹	50/45-55 or 60/55-65								
Fator de potência (ajustável)	>0.99 padrão 0.8 adiantado...0.8 atrasado								
Distorção harmônica total	<3%								
Unidades máximas por cabo tronco de 10 AWG ²	4	4	4	3	4	4	3	3	3
Eficiência									
Pico de Eficiência CEC	96.5%								
Eficiência nominal da MPPT	99.8%								
Consumo de energia noturno(mW)	<50								

Fonte: GENYX, 2021

4.6. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Após a realização da simulação do sistema fotovoltaico foram obtidos os dados dos custos referentes a manutenção anual e aos materiais e equipamentos necessários para a implementação do sistema, bem como a receita e economia anual indicada.

A Figura 41 apresenta os custos, a economia e as receitas obtidos a partir do *software* RETScreen. A receita com eletricidade exportada corresponde ao mesmo valor da eletricidade consumida pelo *software* em kWh, portanto é possível utilizar deste mesmo valor para simulação deste sistema.

Figura 41 - Custos, economia e receitas

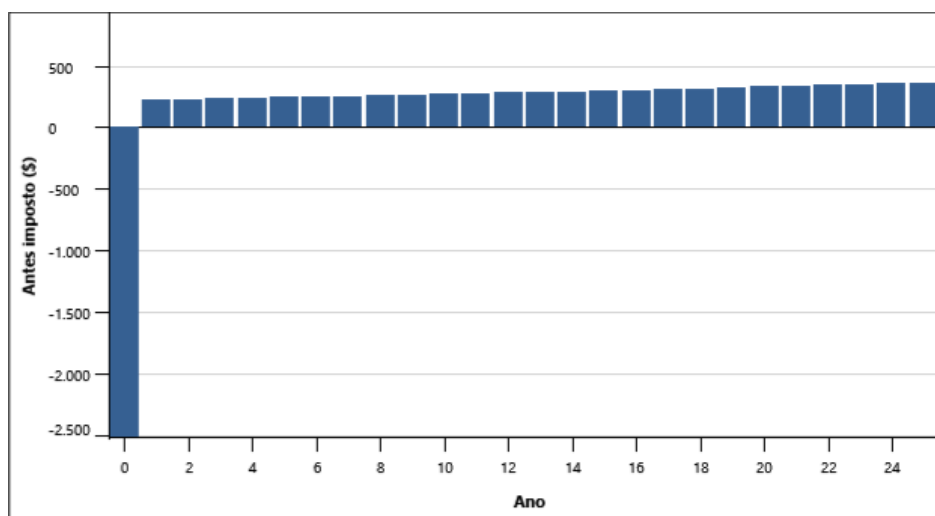
Custos Economia Receitas			
Custos iniciais			
Custo inicial	100%	\$	2.520
Total de custos de investimento	100%	\$	2.520
Fluxo de caixa anual - Ano 1			
Pagamento anual de custos e empréstimos			
Custo de operações e manutenção (economia)		\$	31
Pagamento da dívida		\$	0
Total de custos anuais		\$	31
Economia e receita anual			
Receita com eletricidade exportada		\$	253
Receita pela redução de GEE		\$	0
Outras receitas (custo)		\$	0
Receita da produção de EL		\$	0
Total de economia e receita anual		\$	253
Fluxo monetário anual líquido - Ano 1		\$	222

Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

Para obtenção dos valores na moeda corrente, os valores obtidos do *software* em dólares foram convertidos para reais de acordo com o conversor de moedas do Banco Central do Brasil do dia 01 de dezembro de 2022, sendo a cotação do dia US\$ 1 equivalente a R\$5,19 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022). Desse modo, o custo inicial foi de R\$ 13.078,8, o custo de manutenção anual foi de R\$160,89 e total de economia e receita anual foi de R\$ 1.313,07.

A Figura 42 apresenta o gráfico do fluxo de caixa anual, onde verifica-se o custo inicial de aproximadamente US\$ 2.500 seguido por um valor positivo de aproximadamente US\$ 200, sendo que este valor aumenta ao longo dos anos, ficando próximo dos US\$ 500 anuais.

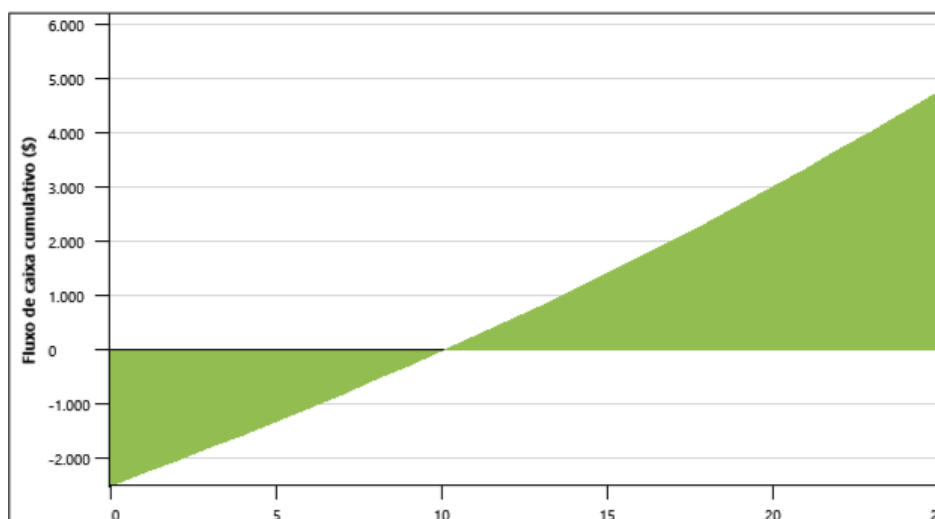
Figura 42 – Fluxo de caixa anual



Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

A Figura 43 apresenta o fluxo de caixa cumulativo no decorrer de 25 anos obtido a partir do *software* RETScreen.

Figura 43 – Fluxo de caixa cumulativo



Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

O fluxo de caixa cumulativo no decorrer de 25 anos mostra a viabilidade do projeto, sendo o primeiro saldo positivo do investimento após o décimo ano e no último ano do fluxo de caixa verifica-se que o fluxo cumulativo é praticamente o dobro do investimento inicial, de modo que o sistema fotovoltaico ultrapassou o fluxo de caixa cumulativo de US\$ 4.000,00.

A Figura 44 apresenta os resultados obtidos para a viabilidade financeira a partir do

software RETScreen.

Figura 44 - Viabilidade financeira

Viabil. Financeira		
TIR antes impostos-capital próprio	%	9,5%
TIRM antes impostos-capital próprio	%	9,2%
TIR antes impostos - ativos	%	9,5%
TIRM antes impostos - ativos	%	9,2%
Retorno simples	ano	11,3
Retorno do capital próprio	ano	10,1
Valor Presente Líquido (VPL)	\$	102
Economia anual no ciclo de vida	\$/ano	10,42
Razão custo benefício (C-B)		1
Juros da dívida		Sem débito
Custo de Redução de GEE	\$/tCO ₂	-60,68
Custo da Geração de energia	\$/kWh	0,116

Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

Verifica-se que o Valor Líquido Presente obtido para o sistema fotovoltaico proposto foi de US\$ 102, equivalente a R\$ 529,38, mostrando que o sistema fotovoltaico proposto é rentável e exequível. O *Payback* obtido foi positivo, demonstrando que para o investimento do sistema fotovoltaico será possível obter retorno em aproximadamente 10 anos.

4.7. ESTIMATIVA DA ECONOMIA COM OS CUSTOS DE ÁGUA

O sistema de bombeamento fotovoltaico proposto vai permitir reduzir os custos com a energia elétrica, bem como uma redução nos gastos com a água.

Atualmente o custo para classe de consumo Comercial/Normal da tarifa de água mensal é R\$ 14,75/m³ e a taxa de esgoto mensal é R\$ 11,77/m³ (SABESP, 2022). Conhecendo o consumo diário de água é possível estimar o valor a ser economizado com a água mensalmente e anualmente, enquanto que os custos com esgoto permanecerão os mesmos, haja vista que o sistema de bombeamento irá bombear apenas água para consumo, não influenciando no tratamento e nos afluentes de esgoto.

Considerando que a escola funciona de segunda a sábado, ou seja, 26 dias ao mês, que o

consumo diário de água é 14,3 m³ e que a tarifa mínima para o consumo Comercial/Normal de 0 à 10 m³ é de R\$ 65,70/mês, tem-se que o valor mensal a ser economizado é de R\$5.418,35, portanto o valor anual economizado é de R\$ 65.020,2.

O custo inicial do projeto foi determinado pela composição das despesas da motobomba Schneider SUB15-15S4E11 e do reservatório, sendo o custo inicial de R\$ 27.535,55.

4.8. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO PROPOSTO

De posse dos dados de investimento inicial do projeto, dado pela soma dos custos iniciais do sistema fotovoltaico (R\$ 13.238) e do sistema de bombeamento (R\$ 27.535,55) bem como a receita média anual do projeto, dada pela soma das receitas anuais médias do sistema fotovoltaico (R\$ 1.313,07) e de bombeamento (R\$ 65.020,2), é possível se determinar os indicadores econômicos, Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e o *PayBack*.

A Tabela 24 apresenta os resultados da avaliação econômica realizada a partir da análise do fluxo de caixa considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 13,75%, tomando como base a Tabela Selic 202 e considerando o tempo de vida útil do projeto de 25 anos.

Tabela 9 - Viabilidade financeira do sistema de bombeamento fotovoltaico proposto

Custo inicial	R\$ 40.773,55
Receita anual média	R\$ 66.333,27
Vida útil	25 anos
TMA	13,75%
VPL	R\$ 422.390,80
TIR	163%
<i>Payback</i>	0,61 anos

Fonte: Elaboração do autor

Verifica-se que Taxa Interna de Retorno (TIR) para o sistema de bombeamento proposto é de 163%, ou seja, aproximadamente doze vezes superior a TMA, indicando que o projeto é atrativo e viável. O Valor Presente Líquido (VPL) obtido para de R\$ 422.390,80, mostrando que o projeto proposto é executável e rentável, indicando assim a atratividade do investimento.

O período de recuperação do investimento, chamado *payback*, foi de 0,61 anos, ou seja, em menos de um ano o projeto está pago, gerando apenas lucro. Portanto, verifica-se que a implantação do sistema de bombeamento fotovoltaico é uma opção viável do ponto de vista econômico para o colégio SOPHUS.

4.9. ANÁLISE DE RISCO DO INVESTIMENTO

A análise de risco do investimento é uma ferramenta valiosa na tomada de decisão com relação à aprovação ou reprovação do investimento. A análise de risco consiste em estimar a volatilidade do investimento, ou seja, indica a probabilidade de ocorrer alguma eventualidade nos investimentos.

Para o projeto proposto, os principais tipos de riscos são:

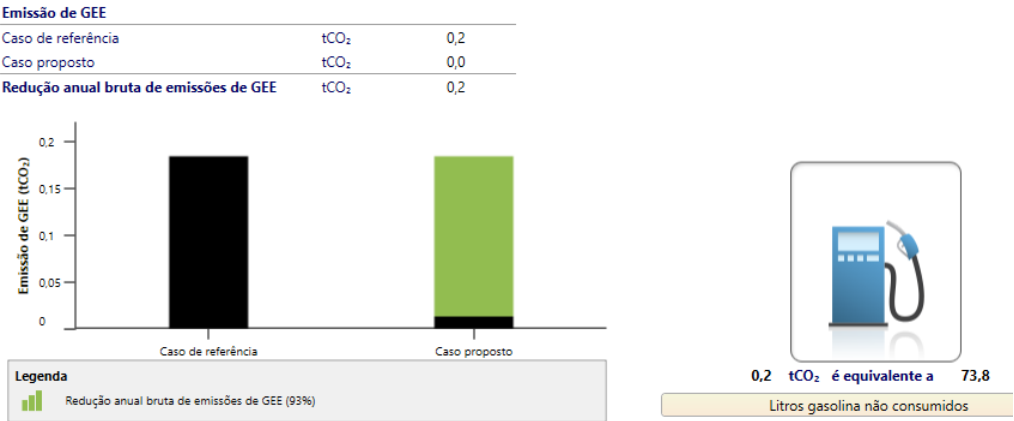
- Risco de Mercado: representa a perda de valor devido a oscilação de preço dos ativos, que representam os bens da empresa. No caso do sistema de bombeamento proposto, os bens são o lucro obtido com água e energia, que possuem um risco moderado devido a variação de seu preço de acordo com a capacidade dos reservatórios de água e o custo da energia gerada.
- Risco de Liquidez: está relacionado a disponibilidade para resgatar o lucro do investimento. No sistema proposto, o lucro é obtido a partir da redução dos custos das contas de água e energia, as quais ocorrem mensalmente, portanto este risco é baixo.
- Risco do Produto: indica as oscilações referentes as mudanças regulatórias e tributárias, que seriam possíveis de taxações ao investimento, representando um risco baixo haja vista que não existe nenhuma lei para taxação de poços, e ainda que houvesse, seria necessário um determinado período de tempo para a taxação entrar em vigor, sendo a taxação aplicada apenas para poços que surgirem após a implantação da nova lei.

4.10. ANÁLISE DE EMISSÃO

Uma vez que a utilização da energia solar fotovoltaica permite reduzir os impactos negativos causados ao meio ambiente é interessante realizar a análise das emissões de CO₂ que serão evitadas ao longo da vida útil do projeto. Esta análise foi obtida a partir da simulação realizada no *software* RETScreen.

A Figura 45 apresenta o resumo da análise de emissão de CO₂ para o sistema de bombeamento fotovoltaico proposto.

Figura 45 - Análise de emissões



Fonte: RETSCREEN EXPERT, 2022

Verifica-se que o sistema proposto permite reduzir anualmente 0,2 toneladas de dióxido de carbono (CO₂), equivalente a 73,8 L de gasolina não consumidos, apresentando assim uma redução anual bruta de emissões de gases poluentes de 93%.

5. CONCLUSÃO

A demanda por sistemas de bombeamento fotovoltaicos ocorre tanto para suprir a necessidade de comunidades em regiões afastadas das redes de energia, como para autossuficiência na obtenção de água. Sistemas de bombeamento fotovoltaicos apresentam vantagens econômicas a longo prazo, de modo que tem se observado um aumento no crescimento destes sistemas mesmo em regiões com acesso à rede de energia elétrica, seja para reduzir custos com energia elétrica ou para reduzir custos com água. Neste contexto, o presente trabalho propôs um sistema de bombeamento fotovoltaico para o fornecimento de água para o colégio SOPHUS, haja vista a elevada disponibilidade de radiação solar no município de Rosana, bem como apresentou um estudo da viabilidade econômica para implantação deste sistema.

O estudo realizado no Colégio SOPHUS mostrou a viabilidade deste tipo de projeto. A escola já conta com um poço com alta capacidade de bombeamento de água, com uma vazão após estabilização de 13,45 m³/h, por estar localizado numa região com dois aquíferos, a formação Caiuá e Serra Geral. Assim o sistema é capaz de suprir a demanda diária de 14.300L de água bem como garantir uma autonomia de 2 dias de consumo de água com um reservatório de capacidade de 30.000L. A energia produzida por 5 painéis fotovoltaicos conectados em série é capaz de gerar 2,5 MWh de energia elétrica, energia suficiente para o funcionamento do sistema de bombeamento.

Do ponto de vista ambiental, o projeto se destaca por utilizar energia solar, uma fonte de energia renovável, muito limpa comparada as demais fontes energéticas. O projeto do colégio SOPHUS apresenta uma redução de 0,2 toneladas de dióxido de carbono, equivalendo a 73,8 L de gasolina não consumidos anualmente.

Com a implantação do sistema de bombeamento, estima-se uma redução anual de R\$65.020,20 com relação à água. Entretanto, para a implantação do sistema é necessário um investimento no valor de R\$ 40.773,55. A partir da análise econômica, verificou-se que a Taxa de Retorno do Investimento (TIR) foi de 163%, valor acima do valor Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e o Valor Líquido Presente (VPL) obtido foi de R\$ 422.390,80, tais valores demonstram que o sistema proposto é viável e lucrativo. Além disso, o *Payback* ou tempo de retorno do investimento foi de 0,61 ano, indicando uma rápida recuperação do valor investido. De modo geral, o sistema proposto é um projeto com retorno rápido e de alta lucratividade.

REFERÊNCIAS

- ABREU, N. **Energia Solar**: entenda como funciona a geração de energia elétrica e energia térmica. 2020. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2020/04/energia-solar-entenda-como-funciona-a-geracao-de-energia-eletrica-e-energia-termica.html>. Acesso em: 28 set. 2022.
- ALVARENGA, Carlos Alberto. **Bombeamento de água com energia solar fotovoltaica**. Belo Horizonte: Solenerg Engenharia, 2017
- ANDRADE, Alexandra Gomes; LOUZADA, Etienne Cerutti; ACIOLY, Angélica de Souza Galdino; SOARES, Marcelo M. Análise ergonômica com foco na avaliação das condições de levantamento de carga em atividades de usinagem da produção de bombas submersas. **Ergodesign & Usihc**, Pernambuco, v. 2, n. 1, p. 2-14, jun. 2015.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2022. Sistema de Informações de Geração.
- APOLÔNIO, Daniel Moussalem. **Energia Solar Fotovoltaica Conectada à Rede de Energia Elétrica em Cuiabá: Estudo de Caso**. 2014. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.
- ARAÚJO, Ana Júlia Nunes de; RANK, Narah Iuana; BUENO, Talita Bezerra de Araujo. **Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba**. 2016. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- ARAÚJO, R. W. O; Mota, H. S; Lima, I. G. Q; Feitosa, H. O; *et. al.* 2018. **Potencial de energia solar para a irrigação no município de serrinha-ba**. Cadernos Macambira, V. 3, Nº 2, p. 25. Anais do I Seminário do Sisal: Seminário de Pesquisa, Extensão, Inovação e Cultura do Território do Sisal. Serrinha, BA, Laboratório de Políticas Públicas, Ruralidades e Desenvolvimento Territorial – LaPPRuDes.
- BACCARO, Alexandre; GUTZ, Ivano. FOTOELETROCATÁLISE EM SEMICONDUTORES: dos princípios básicos até sua conformação à nanoescala. **Química Nova**, [S.L.], v. 41, n. 3, p. 327-345, 14 nov. 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170174>.
- BADRA, Mateus. **Energia solar é usada em poços artesianos para ajudar na seca do Nordeste**. 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-e-usada-em-pocos-artesianos-para-ajudar-na-seca-do-nordeste/>. Acesso em: 07 out. 2022.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Relatório Síntese BEN. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 22/11/20
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Conversor de Moedas**. 2022. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/conversao>. Acesso em: 01 maio 2022.
- BEDENDO, B. **Entenda o que são Poços Artesianos**. 2021. Disponível em: <https://saeg.net.br/pocos-artesianos/>. Acesso em: 28 out. 2022.

BERTSIOU, M. M. & BALTAS, E. **Management of energy and water resources by minimizing the rejected renewable energy**, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 52, Part A, 2022.

BONAFE. **O QUE É ESSE TAL DE HSP?** 2021. Disponível em: <https://www.bonafe.com.br/noticias/o-que-e-esse-tal-de-hsp/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

BRITO, Luiza Teixeira de Lima; MOURA, Magna Soelma Beserra de; GAMA, Gisleine Feitosa Brito. **Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro**. Petrolina-PE: Embrapa, 2007. 93 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142156/1/Brito.-Livro-agua-chuva.pdf>. Acesso em: 05 set. 2022.

CAMPOS, Mayara Soares; ALCANTARA, Licinius Dmitri Sá de. Sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**. Belém, p. 1-10. 29 jun. 2018.

CAPITAL. **Taxa mínima de atratividade: o que é e como calcular nos investimentos. o que é e como calcular nos investimentos.** 2019. Disponível em: <https://capitalresearch.com.br/blog/taxa-minima-de-atratividade-o-que-e-e-como-calcular-nos-investimentos/>. Acesso em: 23 nov. 2022.

CASSOL CENTELAR (Brasil). **Caixa D'Água Fibra Bakof Tec 30000L**. 2020. Disponível em: <https://www.cassol.com.br/caixa-d-agua-fibra-bakof-tec-30000l/p>. Acesso em: 01 dez. 2022.

CAVALCANTE, Danilo Gonçalves. **Modelo para previsão de itens sobressalentes baseado em confiabilidade industrial: estudo desenvolvido em uma do setor petrolífero**. 2015. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

CELERO. **Análise financeira: o que é e como fazer da sua empresa. o que é e como fazer da sua empresa.** 2022. Disponível em: <https://celero.com.br/blog/analise-financeira/>. Acesso em: 23 nov. 2022.

CORTEZ, Daniel Flores. **<https://slideplayer.com.br/slide/10313548/>**. 2016. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/10313548/>. Acesso em: 09 set. 2022.

COUTINHO, Thiago. **O que é VPL: aprenda a calcular o ganho real do seu investimento!** 2020. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-vpl>. Acesso em: 23 nov. 2022.

COUTO AMBIENTAL. **Diferença entre poços artesianos e semi artesianos**. 2021. Disponível em: <https://couthambiental.com.br/o-que-voce-precisa-saber-sobre-pocos-artesianos/>. Acesso em: 23 nov. 2022.

CRESESB/CEPEL – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO e CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA **Energia Solar Princípio e Aplicações**. Sistema Eletrobrás. Rio de Janeiro:1999.

DOMOND, Pierre Rubens. **Sistema de bombeamento fotovoltaico de água subterrânea com armazenamento hidráulico: caso de ecole nationale de lacroix-jacmel-haiti**. 2018. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

ENERGIA TOTAL. **Como funciona o painel solar fotovoltaico e do que é feito?** 2022. Disponível em: <https://www.energiatotal.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico-e-do-que-sao-feitos>. Acesso em: 11 out. 2022.

FAO. **Compartilhar a água**. Brasília, mar. 2018. Disponível em: <https://diplomatie.org.br/wp-content/uploads/2018/03/Suplemento-FAO-F%C3%B3rum-Mundial-da-%C3%81gua.pdf>. Acesso em: 05 set. 2022.

FECOMERCIO SP (São Paulo). **Cartilha da Fecomercio SP compara consumo de água por atividades e estabelecimentos**. 2014. Disponível em: <https://www.fecomercio.com.br/noticia/cartilha-da-fecomerciosp-compara-consumo-de-agua-por-atividades-e-estabelecimentos>. Acesso em: 14 nov. 2022.

FEDRIZZI, Maria Cristina. **Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaico: dimensionamento simplificado e análise de competitividade para sistemas de pequeno porte**. 1997. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Escola Politécnica, São Paulo, 1997.

FERNANDES, Renato de Oliveira. **Estações Elevatórias de Água**. Ceará: Universidade Regional do Cariri (URCA), 2016. 30 slides, color.

FRONTIN. Sérgio de Oliveira. **Usina Fotovoltaica Jaíba Solar: planejamento e engenharia**. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora Ltda, 2017. 532 p.

GENYX. **MICRO INVERSOR HOYMILES HMS-1800 | 4MPPT**. 2021. Disponível em: <https://genyx.com.br/produto/micro-inversor-hoymiles-hms-1800/>. Acesso em: 05 dez. 2022.

GOOGLE EARTH. 2022. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/col%C3%A9gio+Sophus/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

GOOGLE MAPS. 2022. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Col%C3%A9gio+SOPHUS/@-23.6276395,-46.5066452,15z/data=!3m1!4b1>. Acesso em: 16 nov. 2022.

GOPAL, C. et al. Renewable energy source water pumping systems — a literature review. *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013.

HELERBROCK, Rafael. **Sol**. 2019. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/sol.htm>. Acesso em: 26 set. 2022.

HOSENUZZAMAN, M. et al. Global prospect, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p.284-297, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.046>

IEA. **Solar PV power generation in the Net Zero Scenario, 2010-2030**. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/solar-pv-power-generation-in-the-net-zero-scenario-2010-2030>. Acesso em: 05 out. 2022.

JESUS, L. E. M. **Desenvolvimento de um *software* em labview para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água**. 2014. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Amapá, Pato Branco, 2014.

JMÉNEZ, J P V. **Projeto e dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado/conectado à rede para atender a demanda de irrigação de uva**. 2017. 154 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2017.

JÚNIOR, O. M; SOUZA, C C. **Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. Interações**. Campo Grande, v. 21, n. 2, p. 379-387, jun. 2020.

A KALOGIROU, Soteris. **Engenharia de Energia Solar: processos de sistemas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 837 f.

KOLLING, E M; SOUZA, Samuel M N de; RICIERI, Reinaldo P; et al. **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água**. Scielo, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 527-537, dez. 2004

KORDZADEH, Azadeh. **The effects of nominal power of array and system head on the operation of photovoltaic water pumping set with array surface covered by a film of water**. Journal of Renewable Energy. Sciencedirect, v. 35, n. 5, p. 1098-1102, maio 2010.

LANA, Luana Teixeira Costa; ALMEIDA, Eliane; DIAS, Fernanda Cristina Lima Sales et al. Engenharia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias On-Line**, [s. l], v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015

MACINTYRE, Joseph Archibald. **Instalacoes Hidraulicas: prediais e industrias**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MAGALHÃES, Graziela Esteves. **Bombeamento de Água Utilizando Sistema Fotovoltaico Autônomo: um estudo de caso**. 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

MANTOVANI, Sérgio Roberto. **Sequência didática como instrumento para a aprendizagem significativa do efeito fotoelétrico**. 2015. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Física, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

MARTINS, Edrey Gabriel Oliveira; DINIZ, Alexandre Magno Ferreira; ARAÚJO, Rômulo Diniz. **Irrigação com aproveitamento da água das chuvas e bombeamento Fotovoltaico**. V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, v. 5, n. 1, p. 2-13, dez. 2015.

MICHELIS, R.N. **Avaliação de um sistema de bombeamento de água alimentado por painéis fotovoltaicos**. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

MONTENEGRO, A. A. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil**. 2013. 211 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MOREIRA, Rodrigo Martins; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. **A novel Water-Food-Energy nexus approach integrating Analytic Hierarchy Process and Google Earth Engine using global datasets for photovoltaic energy generation**. *Renewable Energy Focus*, v. 43, n. 1, p. 210-227, dez. 2020.

NEOSOLAR. **Bomba Solar**: bombeamento de água com energia solar. 2020. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/bomba-solar-para-bombeamento-de-agua>. Acesso em: 18 nov. 2022.

NRCAN. **RETSscreen**. 2022. Disponível em: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>. Acesso em: 16 nov. 2022.

NOGUEIRA, Carlos Eduardo Camargo; et al. **Performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in a water pumping system in Brazil**. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s. l], v. 51, p. 1610-1616, nov. 2015.

OKAKWU. I. K; ALAYANDE. A. S; AKINYELE. D. O; *et al.* **Effects of total system head and solar radiation on the techno-economics of PV groundwater pumping irrigation system for sustainable agricultural production**. *Scientific African*, [s. l], v. 16, n. 1, p. 1-15, jun. 2022.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017. 80 p.

PEREIRA, L. S. **Dopagem Eletrônica**. 2012. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica/>. Acesso em: 10 set. 2022.

PERFURARTE. **Tipos de poços**: conheça diferentes poços para captação de água e suas vantagens. conheça diferentes poços para captação de água e suas vantagens. 2021. Disponível em: <https://www.perfurarte.com.br/post/tipos-de-pocos>. Acesso em: 8 out. 2022.

PIACESKI, Vinicius. **Qual a diferença entre Eficiência e Eficácia?**: veja 5 dicas de como ser mais eficaz!. Veja 5 dicas de como ser mais eficaz!. 2020. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/eficiencia-e-eficacia>. Acesso em: 23 nov. 2022.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESEB, 2014. 530 p.

PORTAL SOLAR. **Módulo Fotovoltaico**. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/modulo-fotovoltaico>. Acesso em: 26 set. 2022.

PRATTI, Wagner. **Potencial Fotovoltaico**. 2020. Disponível em: <http://www.ecosolarenergia.com.br/2020/03/16/saiba-um-pouco-sobre-a-energia-solar-fotovoltaica-no-brasil>. Acesso em: 26 set. 2022.

REBOUÇAS, A. C. **Água e Desenvolvimento Rural**. São Paulo: Estudos Avançados, Vol. 15, 43, 2001.

RESULTADOSDIGITAIS. **Como calcular o payback?**: saiba quando seus investimentos trarão retorno. Saiba quando seus investimentos trarão retorno. 2022. Disponível em: <https://resultadosdigitais.com.br/vendas/payback/>. Acesso em: 23 nov. 2022.

RETSCREEN EXPERT: Clean Energy Management *Software*. Version 8. Canada: Minister of Natural Resources Canada, 2022. Disponível em: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>. Acesso em: 18 nov. 2022.

RIBSOL. **Sistemas Fotovoltaicos**: mais economia e conforto. Mais economia e conforto. 2019. Disponível em: <https://ribsol.com.br/sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 05 out. 2022.

RITCHIE, H; ROSER, M. **Energy Production and Consumption**. 2022. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption#citation>. Acesso em: 22 set. 2022.

ROSANA. Prefeitura Municipal de Rosana. **HISTÓRIA DA CIDADE**. 2020. Disponível em: [://www.rosana.sp.gov.br/historia](http://www.rosana.sp.gov.br/historia). Acesso em: 13 nov. 2022.

SAPESP (São Paulo). **Tarifas**. 2022. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=183>. Acesso em: 02 dez. 2022.

SAMPAIO, Priscila Gonçalves Vasconcelos; GONZÁLEZ, Mario Orestes Aguirre. Photovoltaic solar energy: conceptual framework. **Elsevier**. Mossoró, p. 591-601. 02 mar. 2017.

SANTOS, Alana Santiago dos Santos. **O Estado Da Arte Das Células Fotovoltaicas**. 2018. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

SANTOS, Karolaine Aguiar dos; GASPARIN, Fabiano Perin; RIES, Lúcia Allebrandt da Silva. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO CRISTALINO: uma análise sobre sua composição e reciclagem. **Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão da Uergs (Siepex)**, Rio Grande do Sul, v. 1, n. 10, p. 1-4, dez. 2021.

SABESP. Estado de São Paulo. **Tarifas**, 2022. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=183>. Acesso em: 02 dez. 2022.

SÃO PAULO. José Aníbal. **Levantamento do potencial**. São Paulo: Energia Solar Paulista, 2013. 49 p.

SCHNEIDER (São Paulo). Motobombas. **Bomba Caneta SCHNEIDER SUB15-15S4E11 – 1.5CV Monofásico 2 Fios 230V**. S.I. Disponível em: <https://www.grupodasbombas.com.br/bomba-caneta-schneider-sub15-15s4e11-1-5cv-monofasico-2-fios-230v/p>. Acesso em: 01 dez. 2022.

SIAGAS (Rosana). **Perfil Construtivo**. 2022. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=3500004924>. Acesso em: 16 nov. 2022.

SILVA, J. J. B. d. **Análise técnica e econômica de um sistema fotovoltaico como fonte de**

energia para agricultura familiar. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Formas alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SOARES, Thalita. **Os principais conceitos para Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.** Disponível em: <https://institutosolar.com/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 04 nov. 2022.

SOLARGIS. **Download solar resource maps and GIS data for 200+ countries and regions.** 2020. Disponível em: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>. Acesso em: 05 out. 2022.

SONTAKE, Vimal Chand; KALAMKAR, Vilas R. **Solar photovoltaic water pumping system – A comprehensive review.** Renewable And Sustainable Energy Reviews, [s. l], v. 59, n. 1, p. 1038-1067, jun. 2016.

TECNOVERITAS. **Sistemas Híbridos aplicados na Indústria.** 2018. Disponível em: <https://www.tecnoveritas.net/pt/multimedia/newsletters-pt/industria/sistemas-hibridos-industria/>. Acesso em: 06 out. 2022.

TOOL, Solar Design. **Jinko JKM360M-72(Plus) (360W) Solar Panel.** 2009. Disponível em: <http://www.solaradesigntool.com/components/module-panel-solar/Jinko/4463/JKM360M-72-Plus-/specification-data-sheet.html>. Acesso em: 01 dez. 2022.

TRINDADE JÚNIOR, Walmeran José; DINIZ NETO, José; DIAS, José Artur Alves; *et. al.* **Análise do funcionamento de um sistema de bombeamento de água através de energia solar fotovoltaica utilizando motobomba de corrente contínua.** VII Connepi, João Pessoa, v. 7, n. 1, p. 1-6, out. 2012.

TSURUDA, L. K.; MENDES, T. A.; VITOR, L. R. **A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável e social.** 6º International Workshop Advances In Cleaner Production, [s. l], v. 6, p. 1-10, maio 2017.

TUBARONESNSE, Distribuidora. **Caixa D'água Fibra de Vidro Incofima com Tampa 25000L.** 2020. Disponível em: <https://www.tubaronensedistribuidora.com.br/caixa-dagua-fibra-de-vidro-incofima-com-tampa-25000l->. Acesso em: 28 nov. 2022.

UNESCO; UN-WATER. **Groundwater: Making the invisible visible.** 9. ed. Paris: Unesco, 2022.

VALER, L.R. et al. **Variable-speed drives in photovoltaic pumping systems for irrigation in Brazil.** Sustainable Energy Technologies and Assessments, v.15, p. 20-26, 2016.

VICENTIN, T. A. **Acionamento de dois sistemas de bombeamento alimentados por uma central de microgeração fotovoltaica.** 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

WARREN MAGAZINE. **Taxa Interna de Retorno (TIR)**: o que é, por que importa e como calcular. 2021. Disponível em: <https://warren.com.br/magazine/taxa-interna-de-retorno-tir/>. Acesso em: 23 nov. 2022.

ZILLI, B M. **Sistema autônomo de bombeamento de água acionado por painéis fotovoltaicos amorfo e policristalino**. 2018. 31 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia da Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2018