

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

JOSÉ YVES GUILLARDO MARTINS DE SÁ DUTRA

**DIMENSIONAMENTO DE UMA USINA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS: UM ESTUDO
DE CASO EM MUNICÍPIO DO SERTÃO PARAIBANO**

Cajazeiras-PB
2023

JOSÉ YVES GUILLARDO MARTINS DE SÁ DUTRA

**DIMENSIONAMENTO DE UMA USINA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS: UM ESTUDO
DE CASO EM MUNICÍPIO DO SERTÃO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. José Tavares de Luna Neto.

Cajazeiras-PB
2023

IFPB / Campus Cajazeiras

Coordenação de Biblioteca

Biblioteca Prof. Ribamar da Silva

Catálogo na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

D978d Dutra, José Yves Guillardo Martins de Sá.

Dimensionamento de uma usina de geração fotovoltaica para consumo de energia elétrica em prédios públicos : um estudo de caso em município do sertão paraibano / José Yves Guillardo Martins de Sá Dutra.– 2023.

59f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.

Orientador(a): Prof. Me. José Tavares de Luna Neto.

1. Energia solar. 2. Usina fotovoltaica. 3. Energia renovável. 4. Sustentabilidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 624:621.3(043.2)


JOSÉ YVES GUILLARDO MARTINS DE SÁ DUTRA

**DIMENSIONAMENTO DE UMA USINA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS: UM ESTUDO
DE CASO EM MUNICÍPIO DO SERTÃO PARAIBANO**


Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 12 de Dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 JOSE TAVARES DE LUNA NETO
Data: 20/12/2023 16:38:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Tavares de Luna Neto – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente
 LUAN CARVALHO SANTANA DE OLIVEIRA
Data: 20/12/2023 14:29:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luan Carvalho Santana de Oliveira – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador

João Vitor Nogueira Gomes  Assinado de forma digital por João Vitor
Nogueira Gomes
Dados: 2023.12.20 15:34:19 -03'00'

João Vitor Nogueira – Bacharel em Engenharia Civil
Examinador

Gostaria de dedicar esta pesquisa aos meus amados pais, cuja imensa força tem sido a principal motivação para meu progresso e realização de sonhos, mesmo em meio aos períodos mais desafiadores.

AGRADECIMENTOS

Esta conquista é fruto de um árduo processo que exigiu coragem, empenho e dedicação, compartilhado com pessoas especiais que deixaram uma marca indelével em minha jornada acadêmica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), *Campus* Cajazeiras, e fora dele. A todas essas pessoas, expresso minha mais profunda gratidão. No entanto, há algumas que merecem uma menção especial.

Sou extremamente grato a Deus, por sua constante presença em minha vida e por me fortalecer diariamente, capacitando-me a superar os desafios e alcançar essa etapa tão significativa para mim. Reconheço que sem Ele nada do que conquistei seria possível.

Quero expressar minha gratidão ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB), *Campus* Cajazeiras, por me proporcionar um ambiente acolhedor e um corpo docente exemplar.

Minha profunda gratidão aos professores do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, em especial aos educadores Daniel Torres, Fernando Sousa, Gastão Coelho, José Doval, Katharine Medeiros e Luan Carvalho. A dedicação e o apoio que me destes têm sido fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço ao meu orientador, o distinto Prof. Me. José Tavares de Luna Neto, por sua dedicação incansável, confiança inabalável e por compartilhar comigo ensinamentos valiosos, conselhos preciosos e conversas enriquecedoras. Acima de tudo, sou imensamente grato pela sua orientação essencial neste trabalho.

Gostaria de expressar minha imensa gratidão a todos os membros da minha família, com destaque especial para minha mãe, Maria da Paz Martins, meu pai, José Marcelo de Sá Dutra, e meu irmão, José Éder Dutra. Sou imensamente grato pelo apoio contínuo, compreensão, amor e incentivo que vocês me proporcionam. Nos momentos difíceis, vocês fazem de tudo para tornar os mais suaves e suportáveis. Sou verdadeiramente abençoado por ter uma família tão maravilhosa como essa. Obrigado por estarem sempre ao meu lado.

Por fim, e não menos importante, estendo meus agradecimentos especiais a alguns amigos que fizeram parte da minha jornada acadêmica e que não posso deixar de mencionar: Cícero Lusdênio, Emerson Ribeiro, João Vítor Nogueira, Lamec Sá, Marina Cartaxo, Rafael da Silva e Vitória Morais, minha eterna gratidão a vocês, pelos conselhos, ajuda mútua e pelas frases motivacionais. Vocês foram fundamentais em cada passo dessa jornada e sou imensamente grato por tê-los como amigos. Enfim, muito obrigado a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

Com os desafios que a sociedade enfrenta para garantir uma matriz energética estável e preocupada com as possíveis consequências ambientais para as futuras gerações, surgem inovações tecnológicas que promovem menos impactos e são baseadas em fontes renováveis e sustentáveis. Um exemplo notável é a energia solar, um sistema que aproveita a irradiação solar e a transforma em energia elétrica. O presente estudo tem como objetivo analisar o consumo energético de 137 unidades consumidoras públicas municipais e propor um projeto de uma usina fotovoltaica que possa suprir toda a demanda energética desses setores. Além disso, será realizado um comparativo entre os valores pagos à concessionária de energia elétrica (Energisa) e o investimento necessário para a execução do projeto, a fim de avaliar sua viabilidade e benefícios ao longo de sua vida útil. Para isso, será realizado um levantamento do consumo energético com base nas faturas pagas à concessionária no período de março de 2022 a março de 2023. Após essa análise, será feito o dimensionamento da usina fotovoltaica e o orçamento dos insumos necessários para sua instalação. Por fim, será realizado um estudo da viabilidade econômica do projeto, considerando os custos envolvidos e os benefícios gerados em longo prazo. O presente trabalho será apresentado aos órgãos municipais competentes, a fim de uma futura implantação do projeto e retorno a sociedade, tornando assim o projeto ainda mais ambiental e social.

Palavras-chave: energias renováveis; economia; sistema fotovoltaico; sustentabilidade.

ABSTRACT

Faced with the challenges that society faces to guarantee a stable energy matrix and concerned about the possible environmental consequences for future generations, technological innovations are emerging that promote fewer impacts and are based on renewable and sustainable sources. A notable example is solar energy, a system that takes advantage of solar radiation and transforms it into electrical energy. The present study aims to analyze the energy consumption of 137 municipal public consumer units and propose a project for a photovoltaic plant that can meet the entire energy demand of these sectors. Furthermore, a comparison will be made between the amounts paid to the electricity concessionaire (Energisa) and the investment required to execute the project, to assess its viability and benefits throughout its useful life. To this end, a survey of energy consumption will be carried out based on invoices paid to the concessionaire in the period from March 2022 to March 2023. After this analysis, the sizing of the photovoltaic plant and the budget for the inputs required for its installation will be made. Finally, a study of the project's economic viability will be carried out, considering the costs involved and the benefits generated in the long term. This work will be presented to the competent municipal bodies, with a view to future implementation of the project and return to society, thus making the project even more environmental and social.

Keywords: renewable energy; economy; photovoltaic system; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução das instalações anuais de energia solar no mundo.	19
Figura 2 – Ranking de capacidade adicionada em 2022.	20
Figura 3 – Representação de um módulo fotovoltaico.	21
Figura 4 – Representação de um inversor solar.	22
Figura 5 – Vista lateral de suporte físico para painel fotovoltaico.	22
Figura 6 – Vista inferior de suporte físico para painel fotovoltaico.	23
Figura 7 – Sistema solar fotovoltaica <i>on-grid</i>	24
Figura 8 – Sistema solar fotovoltaica <i>off-grid</i>	25
Figura 9 – Gráfico do consumo energético do setor próprios em kWh.	31
Figura 10 – Gráfico do consumo energético do setor educação em kWh.	31
Figura 11 – Gráfico do consumo energético do setor saúde em kWh.	32
Figura 12 – Gráfico do consumo energético do setor poços e abastecimento em kWh.	32
Figura 13 – Gráfico do consumo energético do setor iluminação pública em kWh.	33
Figura 14 – Mapa das ID`s do Município de São João do Rio do Peixe - PB.	38
Figura 15 – Irradiação média (1) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.	38
Figura 16 – Irradiação média (2) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.	39
Figura 17 – Irradiação média (3) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.	39
Figura 18 – Irradiação média (4) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.	40
Figura 19 – Irradiação média (5) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.	40
Figura 20 – Irradiação média (6) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.	41

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Roteiro metodológico da pesquisa.....	29
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo anual e médio mensal dos setores consumidores, (março de 2022 a março de 2023).	33
Tabela 2 – Especificações da placa solar.....	42
Tabela 3 – Especificações do inversor <i>on grid</i>	43
Tabela 4 – Orçamento de fornecimento e instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica 1346 KVA.	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

ENEL - Entidade Nacional de Eletricidade

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias

ID – Irradiação Direta Normal

IEA - Agência Internacional de Energia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia

MAG - Média Anual Geral

MME – Ministério de Minas e Energia

LISTA DE SÍMBOLOS

GW – Gigawatt

% - Porcentagem

° – Grau

kW – Quilowatts

MW – Megawatts

kW/h – Quilowatt-hora

Wh/M² - Quantidade de radiação solar em determinado intervalo de tempo

W/m² – Watts por metro quadrado

Wp – Watt-pico

HTOT – Irradiação total

C – Celsius

GSTC – Irradiação nas STC

TD – Taxa de desempenho

E – Energia a ser gerada

PFV – Potência instalada

Nmod – Quantidade de módulos do sistema fotovoltaico

Pmod – Potência do módulo

A – Ampère

W – Watts

V – Volts

m² – Metro quadrado

kWh/mês - Quilowatt-hora mês

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	GERAÇÕES RENOVÁVEIS DE ENERGIA: AVANÇOS NO BRASIL E NO MUNDO	18
3.2	EQUIPAMENTOS QUE COMPOEM OS SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAÍCO	21
3.3	TIPOS DE CONEXÕES DE GERAÇÃO SOLAR (ON-GRID OU GRID-TIED E OFF-GRID).....	24
3.4	RESOLUÇÃO Nº 482 DA ANEEL E AVANÇOS NORMATIVOS	26
4	METODOLOGIA	29
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	29
4.2	PROCESSOS METODOLÓGICOS	29
4.2.1	<i>Revisão bibliográfica</i>	30
4.2.2	<i>Planejamento do serviço</i>	30
4.2.3	<i>Coleta dos dados</i>	30
4.2.4	<i>Análise dos dados</i>	30
4.2.5	<i>Elaboração do projeto fotovoltaico</i>	37
4.3	ANÁLISE DA IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA DO MUNICÍPIO.....	37
4.4	DIMENSIONAMENTO DO PROJETO	41
4.4.1	<i>Quantidade, dados e características do módulo fotovoltaico</i>	42
5	RESULTADOS E ANÁLISES	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.	52

REFERÊNCIAS	53
ANEXO A: DIAGRAMA ELÉTRICO USINA SOLAR SFCR 1346 KWP PARA CIDADE DE SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE – PB.....	57
ANEXO B: ANÁLISE DE INVESTIMENTO USINA SOLAR, POTÊNCIA 1346 KWP PARA CIDADE DE SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE – PB.	58

1 INTRODUÇÃO

É visível que a sociedade, com o seu modo de viver atual e em posse das tecnologias existentes, não apresenta uma inquietação com a sustentabilidade ambiental. Com uma demanda cada vez mais alta, a busca incessante por recursos naturais a fim de suprir as necessidades encontradas faz com que esses recursos sejam extraídos, considerando a mesma como uma fonte natural inesgotável.

A sustentabilidade, termo bastante abrangente, no qual engloba seus mais diferentes aspectos, está diretamente ligada à questão energética mundial e até mesmo a matriz energética, visto que o consumo de energia se encontra cada vez maior (Dupont; Grassi; Romitti, 2015).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2022a), a matriz de energia é formada por fontes de energia renováveis (hidrelétrica, eólica, solar, geotérmica e outras), mas é predominantemente composta por fontes de energia não renováveis (carvão, petróleo e gás natural). No Brasil, a geração hidrelétrica tem sido a principal fonte de energia do sistema elétrico por muitas décadas, devido tanto à sua competitividade econômica, quanto à abundância deste recurso em todo o país.

A capacidade instalada do sistema gerador brasileiro ultrapassa 150 GW, sendo dominado pela fonte hidrelétrica, na qual o potencial hidrelétrico do Brasil é estimado em 172 GW, dos quais mais de 60% já foram explorados (EPE, 2022b). Mesmo sendo a principal fonte de energia elétrica no Brasil, ela apresenta algumas fragilidades em seu sistema, por exemplo, o colapso de energia acontecido em 2001, devido à capacidade das usinas hidrelétricas estarem relativamente baixas.

A partir de 1994, os reservatórios das usinas hidrelétricas tiveram um consumo no seu volume de água bem maior do que o que foi repostado pelas chuvas. Com a crescente demanda e a insuficiência na capacidade de geração, os estoques dos reservatórios foram sendo esvaziados progressivamente, perdendo a capacidade de oferecer segurança e confiabilidade ao sistema elétrico.

No entanto, uma surpreendente quantidade de chuvas nos meses de setembro e outubro de 2000 adiou, mais uma vez, as decisões necessárias ao setor energético. Ao mesmo tempo, houve pouca transparência sobre a delicada situação do setor, ocultando o fato de que a ameaça de crise energética só foi denunciada ao final do período de chuvas, em março/abril de 2001. A falta de planejamento e de medidas preventivas para o setor elétrico contribuiu para agravar a

crise, resultando em racionamento de energia elétrica em todo o país (Instituto de Energia e Ambiente da USP, 2001, p. 26).

Considerando o custo elevado e o impacto negativo ao meio ambiente causado pelas fontes de energia não renováveis, bem como a escassez hídrica que tem afetado as principais regiões produtoras de energia hidrelétrica, estão surgindo novas tecnologias que permitem a obtenção de fontes de energia limpas e sustentáveis, sem prejudicar o meio ambiente (EPE, 2022c).

O Brasil tem um enorme potencial para gerar energia elétrica por meio do uso da energia solar, devido a uma série de características naturais favoráveis, incluindo altos níveis de irradiação solar em quase todo o território do país (Santos; Santos, 2020, p. 14). Além disso, as inovações tecnológicas aplicadas na produção de painéis solares e a produção em escala têm contribuído para tornar essa opção cada vez mais competitiva em termos financeiros, em relação a outras fontes de energia.

A descoberta da primeira célula solar em 1954 pelos cientistas da Bell Labs deu início a um processo contínuo de aprimoramento dessa tecnologia que vem crescendo em popularidade em todo o mundo (Machado; Miranda, 2015). Os sistemas fotovoltaicos usam células fotovoltaicas para gerar energia elétrica através da conversão da radiação solar em eletricidade, por meio do chamado "efeito fotovoltaico". Essas células são feitas de materiais capazes de transformar a luz solar em energia elétrica, sendo o silício o material mais utilizado atualmente (Scherer *et al.*, 2015, p. 7).

No Brasil, há a resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída aos sistemas de energia elétrica, na qual os consumidores podem gerar sua própria energia elétrica através de fontes renováveis e até mesmo fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua região (ANEEL, 2012).

A proposta deste estudo é discutir a utilização de tecnologias renováveis e sustentáveis como uma forma de promover o emprego de usinas de energia limpa. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo principal apresentar o dimensionamento, esboço e análise de custos, viabilidade econômica, e execução de uma usina fotovoltaica, assim como comparar o valor investido com os custos de fornecimento de energia elétrica pela Entidade Nacional de Eletricidade (ENEL) para os setores públicos municipais de São João do Rio do Peixe – PB.

2 OBJETIVOS

Nesse capítulo delineamos os objetivos do Trabalho de Conclusão de Curso.

2.1 OBJETIVO GERAL

Projetar uma usina de geração fotovoltaica que atenderá o consumo de energia elétrica voltada aos prédios públicos municipais de São João do Rio do Peixe – PB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com a finalidade de alcançar o objetivo geral acima apresentado, foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar levantamento do consumo energético;
- Dimensionar uma usina de geração elétrica, utilizando o sistema fotovoltaico conectado à rede;
- Efetuar um levantamento comparativo dos materiais a serem utilizados no referido projeto;
- Apresentar o diagrama elétrico da usina solar em estudo;
- Comparar o investimento dimensionado com a economia que será gerada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste tópico, exploramos os principais tipos de conexões de geração solar, abordando suas características e aplicações específicas. Discutimos a conexão à rede, que permite a geração de eletricidade solar e a compensação de excessos na rede elétrica. Além disso, destacamos a conexão híbrida, que combina energia solar com armazenamento em baterias, proporcionando maior autonomia. Também mencionamos a conexão autônoma, adequada para locais remotos, onde não há acesso à rede elétrica convencional. Por fim, ressaltamos a importância das conexões remotas para monitorar e gerenciar sistemas solares instalados em locais distantes. Essas opções variadas de conexão permitem que a geração solar atenda às necessidades específicas de diferentes projetos e contribua para um futuro mais sustentável e limpo em termos energéticos.

3.1 GERAÇÕES RENOVÁVEIS DE ENERGIA: AVANÇOS NO BRASIL E NO MUNDO

A crescente demanda por energia, aliado à urgência de mitigar as mudanças climáticas e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, tem impulsionado a busca por fontes de energia renovável em todo o mundo. Neste tópico, exploraremos os avanços nas gerações renováveis de energia, com um foco especial na energia solar, destacando os desenvolvimentos no Brasil e em escala global (Semedo, 2020).

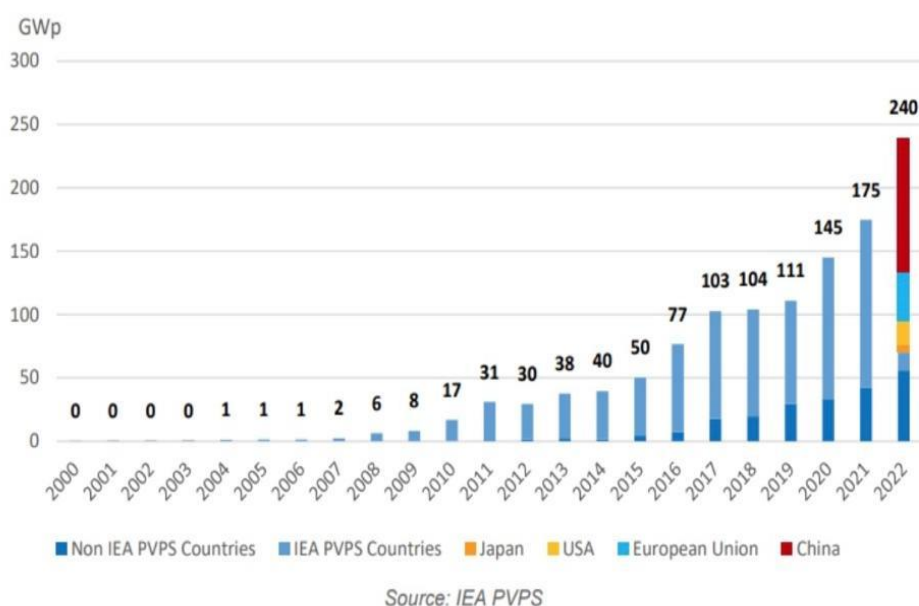
No contexto global, a transição para fontes de energia renovável tem sido uma prioridade. Países e organizações têm se comprometido com metas ambiciosas de redução de emissões de gases de efeito estufa, como parte do Acordo de Paris. Uma das principais impulsionadoras dessa transição é a energia solar. Nos últimos anos, o custo da instalação de painéis solares diminuiu significativamente devido a avanços tecnológicos e aumento da produção em escala (Losekann; Tavares, 2021).

Os avanços na eficiência dos painéis solares, bem como o desenvolvimento de baterias de armazenamento de energia de alta capacidade, tornaram a energia solar uma opção confiável, mesmo em áreas com menos luz solar constante. Grandes usinas solares estão sendo construídas em vários continentes, alimentando redes elétricas e reduzindo as emissões de carbono (Santos, 2021).

Nos últimos vinte anos, a produção de energia solar no mundo vem aumentando cada vez mais, graças aos consideráveis investimentos feitos no setor. Segundo a Agência Internacional de Energia – IEA (2022 *apud* Portal Solar, 2023), os dados apresentados na Figura

1 mostram que a China manteve sua posição dominante em termos de capacidade de energia renovável adicionada e acumulada, com a adição de impressionantes 106 GW em projetos de geração fotovoltaica no último ano, totalizando uma capacidade acumulada de 414,5 GW. Esse resultado foi mais do que o dobro da capacidade adicionada pela União Europeia, que ficou em segundo lugar no mesmo período.

Figura 1 – Evolução das instalações anuais de energia solar no mundo.



Fonte: (IEA PVPS, 2022 *apud* Portal Solar, 2023).

No Brasil, a energia solar também está ganhando destaque. A Agência Nacional de Energia Elétrica tem desempenhado um papel fundamental na promoção de fontes de energia renovável. Leilões de energia solar e regulamentações favoráveis têm incentivado investimentos significativos no setor. A capacidade de geração de energia solar no Brasil cresceu consideravelmente nos últimos anos (Campos, 2019).

A evolução é evidente quando analisamos a Figura 2, que apresenta o ranking de capacidade adicionada, divulgado pela Agência Internacional de Energia em 2022. Nessa Figura, o Brasil ocupa a quarta posição, com um número recorde de 9,9 GW, representando quase o dobro dos valores registrados em 2021.

Figura 2 – Ranking de capacidade adicionada em 2022.

1		China	106 GW	1
(2)		European Union	38,7 GW	(2)
2		USA	18,6 GW	2
3		India	18,1 GW	3
4		Brazil	9,9 GW	4
5		Spain	8,1 GW	5
6		Germany	7,5 GW	6
7		Japan	6,5 GW	7
8		Poland	4,9 GW	8
9		Australia	3,9 GW	9
10		Netherlands	3,9 GW	10

Fonte: (IEA PVPS, 2022 *apud* Portal Solar, 2023).

Uma ferramenta crucial para o avanço da energia solar no Brasil é o "Atlas de Energias Renováveis", desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Esse atlas fornece informações detalhadas sobre o potencial de geração de energia solar em diferentes regiões do país, ajudando no planejamento de projetos e na identificação de áreas com alto potencial solar. Essa iniciativa tem sido fundamental para orientar investimentos e expandir a capacidade de geração solar no Brasil (Kozelinski, 2021).

Apesar dos avanços impressionantes, ainda existem desafios a serem superados. A intermitência da energia solar, devido à dependência das condições climáticas, exige soluções de armazenamento de energia mais eficazes. Além disso, a infraestrutura de distribuição de energia precisa ser atualizada para acomodar a energia solar de forma eficiente (Silva *et al.*, 2021).

No entanto, esses desafios também representam oportunidades. O desenvolvimento contínuo de tecnologias de armazenamento de energia, como baterias de alta capacidade, está abrindo novas possibilidades para o armazenamento de energia solar excedente para uso posterior. Além disso, a criação de redes elétricas inteligentes e a digitalização da infraestrutura energética estão melhorando a eficiência e a confiabilidade da energia solar (Gonçalves; Leão, 2020).

A geração de energia renovável, com destaque para a energia solar, está se tornando, rapidamente, uma parte essencial do mix energético global. No Brasil, os avanços na regulação, leilões de energia e o uso do Atlas de Energias Renováveis estão impulsionando o crescimento da energia solar (Colares, 2022).

No entanto, a jornada rumo a um sistema de energia totalmente limpa e sustentável continua. A pesquisa e o desenvolvimento contínuos são necessários para superar os desafios e maximizar as oportunidades apresentadas pela energia solar e outras fontes renováveis. À medida que o mundo avança em direção a uma economia de baixo carbono, a geração de energia renovável continuará desempenhando um papel vital na construção de um futuro mais sustentável e resiliente (Brognoli, 2023).

3.2 EQUIPAMENTOS QUE COMPOEM OS SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAÍCO

Os sistemas de geração fotovoltaica, que convertem a luz solar em eletricidade limpa e renovável, têm ganhado destaque significativo como uma fonte crucial de energia em todo o mundo. Esses sistemas são compostos por diversos componentes que trabalham harmoniosamente para capturar, converter e distribuir a energia solar de forma eficiente e confiável. Neste tópico, exploraremos os principais equipamentos que compõem os sistemas de geração fotovoltaica (Figueiredo *et al.*, 2023).

Os painéis fotovoltaicos são os elementos centrais de um sistema fotovoltaico. Eles consistem em células solares feitas de materiais semicondutores, como o silício, que convertem a luz solar em eletricidade. Os módulos solares são frequentemente organizados em matrizes e instalados em superfícies expostas ao sol, como telhados ou áreas terrestres. A escolha dos tipos de painéis (monocristalinos, policristalinos ou de filme fino) depende das necessidades específicas do projeto e das condições locais (Neto *et al.*, 2022).

Figura 3 – Representação de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

O inversor solar (ver Figura 4) é um componente essencial que converte a corrente contínua (CC), gerada pelos painéis fotovoltaicos, em corrente alternada (CA), que é a forma de eletricidade utilizada na maioria das residências e empresas. Além disso, o inversor desempenha um papel importante na otimização do desempenho do sistema, monitorando constantemente a produção de energia e ajustando a tensão e a frequência conforme necessário (Andrade *et al.*, 2020).

Figura 4 – Representação de um inversor solar.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A estrutura de montagem (Figuras 5 e 6) é o suporte físico que mantém os painéis fotovoltaicos em posição e orientação adequadas para maximizar a exposição à luz solar. Essas estruturas podem ser montadas no telhado, no solo ou em estruturas elevadas, dependendo das características do local e do projeto. A inclinação e a orientação dos painéis são cruciais para garantir a eficiência da captação de energia solar (Araújo, 2022).

Figura 5 – Vista lateral de suporte físico para painel fotovoltaico.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Figura 6 – Vista inferior de suporte físico para painel fotovoltaico.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Os cabos e conectores são responsáveis pela interligação de todos os componentes do sistema, desde os painéis até o inversor e, finalmente, ao sistema elétrico da edificação. É importante utilizar cabos de qualidade e dimensionados corretamente para minimizar perdas de energia e garantir a segurança da instalação (Camargo, 2023).

Segundo Pena (2020), os sistemas de monitoramento e controladores são usados para acompanhar o desempenho do sistema de geração fotovoltaica. Eles fornecem dados em tempo real sobre a produção de energia, eficiência e manutenção do sistema. Isso permite que os proprietários e operadores aperfeiçoem o desempenho e identifiquem problemas rapidamente.

Embora não sejam componentes essenciais, as baterias de armazenamento de energia podem ser adicionadas aos sistemas fotovoltaicos para armazenar o excesso de energia gerada durante o dia para uso à noite ou em dias nublados. Isso aumenta a autonomia e a confiabilidade do sistema, tornando-o menos dependente da rede elétrica convencional (Moecke, 2019).

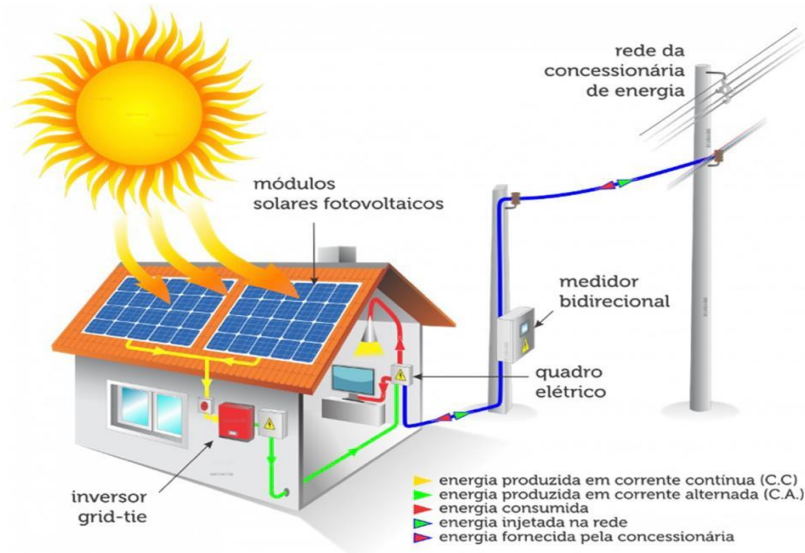
Os sistemas de geração fotovoltaica são uma solução poderosa e versátil para a produção de energia limpa e renovável. Cada um dos componentes mencionados desempenha um papel fundamental na eficiência e confiabilidade do sistema. Com a constante evolução da tecnologia e a diminuição dos custos, a energia solar fotovoltaica continua a se expandir como uma solução viável e sustentável para atender às crescentes demandas energéticas globais e reduzir as emissões de carbono. À medida que a indústria solar avança, novos avanços e inovações

certamente continuarão a moldar o futuro da energia renovável (Vellutini; Silva; Marques, 2019).

3.3 TIPOS DE CONEXÕES DE GERAÇÃO SOLAR (ON-GRID OU GRID-TIED E OFF-GRID)

Segundo o Portal Solar (2023), o sistema de energia solar *on-grid* (Figura 7), também conhecido como sistema fotovoltaico conectado à rede de energia pública, permanece conectado à rede de distribuição elétrica. Isso significa que, quando não há produção suficiente de energia solar, é possível utilizar a eletricidade da distribuidora. Além disso, quando há um excesso de produção de energia solar, é possível transferir essa energia para a distribuidora e receber créditos de energia.

Figura 7 – Sistema solar fotovoltaica *on-grid*.

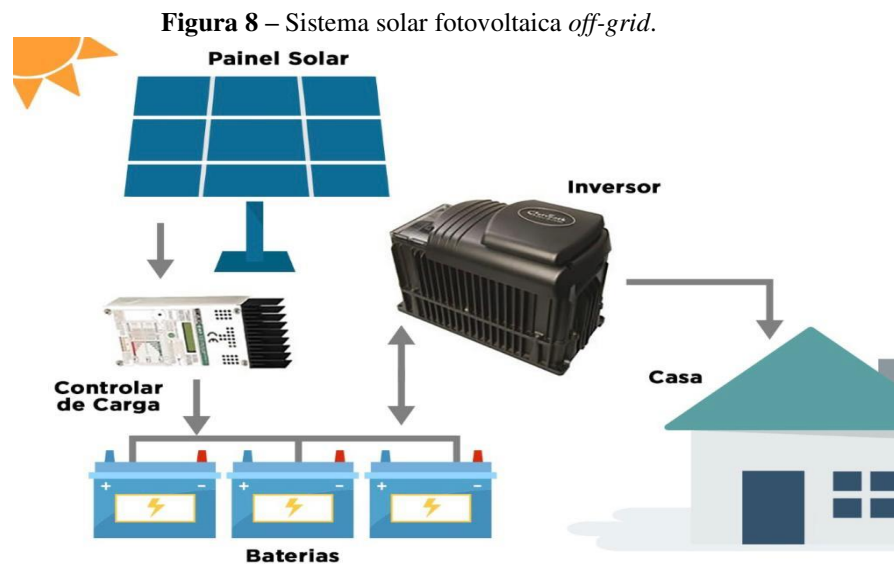


Fonte: Portal Solar, 2017.

Conforme o estudo de Alves (2019), é evidente que os sistemas fotovoltaicos *on-grid* têm um potencial considerável de crescimento, sobretudo quando aplicados em regiões de clima ensolarado em todo o mundo. O Brasil, em particular, se destaca devido à sua abundante disponibilidade de energia solar. Assim, durante o período diurno, tais sistemas conectados à rede podem desempenhar um papel crucial na atenuação de picos de demanda, como em centros comerciais que utilizam ar-condicionado em períodos mais quentes.

A tradução literal da expressão "*off-grid*" é "fora da rede" ou "desconectado da rede". Isso significa que o sistema fotovoltaico não está conectado à concessionária de energia elétrica, operando de forma independente. Nesses tipos de sistemas com armazenamento de energia, a

energia solar excedente é armazenada em baterias para ser utilizada quando não há produção, garantindo um suprimento contínuo de energia. (Resende, 2019).



Fonte: Resende, 2019.

Segundo Alves (2019), os sistemas *off-grid* são ideais para áreas remotas que não possuem acesso confiável à rede elétrica ou sofrem com um fornecimento precário de energia elétrica. Exemplos de aplicação desses sistemas incluem zonas rurais, fazendas, sítios, estacionamentos e praias. Eles permitem que essas localidades tenham uma fonte confiável e independente de energia, usando a energia solar como uma solução sustentável.

De acordo com Santos (2019), o sistema *off-grid* apresenta três vantagens:

- Fornecimento de energia em regiões remotas sem acesso a redes elétricas convencionais;
- Eliminação de despesas com contas de energia elétrica;
- Alcance da independência energética devido ao armazenamento de energia por meio de um banco de baterias.

Neste sentido, Santos (2019) também descreve algumas desvantagens desse sistema, tais como:

- Necessidade de um maior número de componentes, como baterias e controladores de carga;
- Custo mais elevado devido à inclusão do banco de baterias;
- Expectativa de vida reduzida das baterias;
- Requisito de uma área maior para a instalação devido à presença do banco de baterias.

Para o sistema *on-grid*, Tonin (2017) apresenta duas vantagens significativas: produtividade elevada, uma vez que toda a energia gerada pelos módulos é aproveitada

eficientemente, e a ausência de baterias, frequentemente vistas como um ponto fraco do sistema fotovoltaico devido à baixa vida útil e aos custos de manutenção elevados. Tais fatores contribuem para sua atratividade.

3.4 RESOLUÇÃO Nº 482 DA ANEEL E AVANÇOS NORMATIVOS

A Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é uma regulamentação importante que estabeleceu as regras para a geração distribuída de energia no Brasil. Ela trouxe uma série de avanços normativos que têm impactado significativamente o setor de energia solar e outras fontes de geração renovável no país (Galvão, 2023).

Segundo a Resolução Normativa ANEEL nº 482, emitida em 17 de abril de 2012, os consumidores têm o direito de produzir sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e até mesmo fornecer o excesso gerado para a rede de distribuição local.

O Artigo 1º dessa norma estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica, incluindo o sistema de compensação de energia. A resolução estabeleceu procedimentos simplificados para a conexão de sistemas de geração distribuída à rede elétrica, tornando o processo mais acessível e menos burocrático. Desde a introdução da Resolução nº 482, houve vários avanços normativos adicionais que têm contribuído para o crescimento da geração distribuída de energia no Brasil.

De acordo com a Solarprime (2023), a Resolução Normativa nº 687/2015 trouxe alterações significativas para a Resolução Normativa nº 482, impactando diretamente o setor de energia elétrica para mini e microgeradores. Essas mudanças abriram novas possibilidades de negócio e beneficiaram trabalhadores qualificados, além de reduzir a burocracia para a conexão das centrais de geração de energia solar com as concessionárias de energia elétrica. Uma das principais modificações foi o aumento do prazo para utilizar os créditos de energia, que passou de 36 para 60 meses. Além disso, o tempo para aprovação do sistema de energia solar junto à concessionária foi reduzido de 82 para 34 dias.

Os Leilões Solares e de Energia Nova A-4 e A-6 foram realizados pelo governo brasileiro para incentivar o desenvolvimento de projetos em grande escala de energia solar, incluindo a geração distribuída, como parte de sua oferta de energia.

O projeto de lei nº 5829/19 estabelece o marco legal da geração distribuída, uma modalidade que permite aos consumidores produzirem sua própria energia a partir de fontes renováveis, como energia solar fotovoltaica, eólica, hidrelétrica e biomassa. Um dos principais aspectos desse projeto é a manutenção do regime de compensação de energia para projetos existentes e uma regra de transição que compatibiliza os investimentos já realizados (Portal Solar, 2023).

No geral, esses avanços normativos têm contribuído para o rápido crescimento da geração solar e de outras fontes de energia renovável no Brasil, tornando o país um dos líderes em geração distribuída na América Latina. Eles têm incentivado investimentos, criado empregos e reduzido às emissões de carbono, contribuindo para um futuro energético mais sustentável e resiliente.

As diferenças entre microgeração, minigeração e geração distribuída, de acordo com as normativas, especialmente no contexto da Agência Nacional de Energia Elétrica no Brasil, estão relacionadas principalmente à capacidade de geração e aos critérios regulatórios. Vamos explicar cada uma delas.

De acordo com as normativas da ANEEL, a microgeração distribuída é caracterizada por sistemas com capacidade instalada de até 75 kW (quilowatts). A microgeração está regulamentada pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012. Os sistemas de microgeração podem ser conectados à rede elétrica e os proprietários podem compensar o excesso de energia gerada na rede, recebendo créditos na conta de luz, que nada mais é que um sistema solar fotovoltaico instalado em uma residência que gera eletricidade, principalmente para o consumo próprio e que pode exportar o excedente para a rede.

A minigeração distribuída é caracterizada por sistemas com capacidade instalada superior a 75 kW e até 5 MW (megawatts). A minigeração está regulamentada pela mesma Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, com algumas adaptações específicas para sistemas de maior porte.

Geração distribuída é um termo amplo que inclui tanto a microgeração quanto a minigeração. Ela se refere a qualquer sistema de geração de energia instalado no local de consumo, seja ele pequeno (micro) ou maior (mini). A regulamentação abrange todos os sistemas de geração distribuída, desde sistemas solares residenciais até projetos maiores de minigeração. A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 engloba todas essas categorias.

Em suma, a principal diferença entre microgeração e minigeração está relacionada à capacidade de geração, com a microgeração sendo limitada a sistemas de até 75 kW e a

minigeração abrangendo sistemas de 75 kW a 5 MW. Ambas as categorias fazem parte da geração distribuída, que permite que os proprietários de sistemas de energia renovável gerem eletricidade para uso próprio e possam, se houver excedente, exportá-la para a rede elétrica, recebendo créditos na conta de energia. Todas essas categorias são regulamentadas pela ANEEL no Brasil e estão sujeitas às regras estabelecidas na Resolução Normativa nº 482/2012.

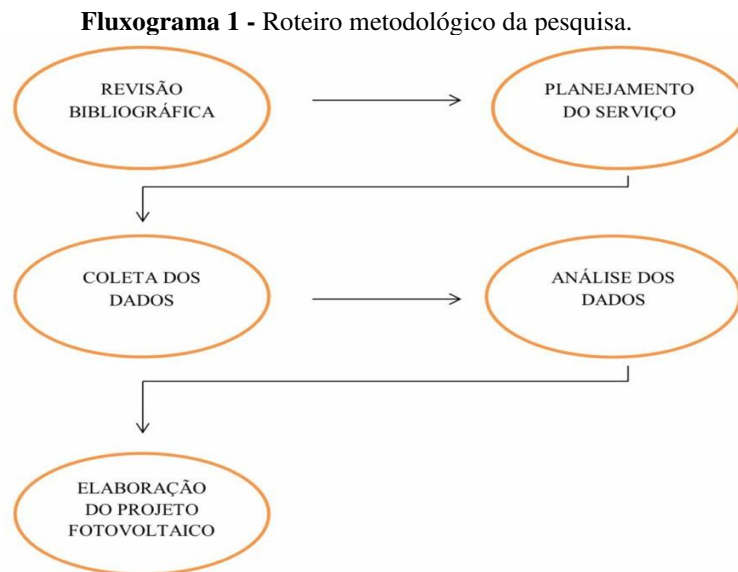
4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os procedimentos metodológicos, materiais e métodos empregados para atingir os objetivos delineados com relação à realização do projeto da usina de geração fotovoltaica.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa é caracterizada como um estudo de caso quantitativo em sua abordagem, visto que se dá pela utilização de valores já existentes na realidade. Quanto à sua natureza, é classificada como aplicado, pois utilizará dos conhecimentos e valores encontrados para solucionar possíveis problemas. Além disso, a pesquisa é classificada como exploratória em relação aos seus objetivos, já que explora dados existentes com o intuito de buscar soluções para a diminuição de gastos provenientes das faturas de energia.

Para alcançar os objetivos propostos, foram elaboradas etapas metodológicas que estão apresentadas no Fluxograma 1.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

4.2 PROCESSOS METODOLÓGICOS

A fim de apresentar um maior entendimento do Fluxograma 1, descreve-se com mais clareza todas as etapas metodológicas do projeto.

4.2.1 Revisão bibliográfica

Para embasar teoricamente o estudo em questão, este trabalho inicia com uma pesquisa bibliográfica, fazendo uso de diversas fontes de informação, como normas, leis, artigos científicos, monografias, dissertações, documentários, assim como órgãos e entidades governamentais que oferecem apoio técnico sobre o assunto. Como resultado, uma ampla variedade de informações precisas e relevantes é coletada para subsidiar conclusões posteriores.

4.2.2 Planejamento do serviço

Concluída a pesquisa bibliográfica, o planejamento do serviço é iniciado, onde serão definidos os dados a serem coletados, para acompanhamento e execução. Como forma de manter uma organização frequente em todas as etapas do projeto, serão utilizados planilhas e fluxogramas como ferramentas facilitadoras do desenvolvimento do projeto.

4.2.3 Coleta dos dados

A obtenção do consumo energético das unidades de cada setor é essencial para o desenvolvimento desta pesquisa. Para tal, por meio de ofício, serão solicitados os dados de consumo energético junto ao setor financeiro da prefeitura da cidade de São João do Rio do Peixe, no sertão da Paraíba. Esses dados incluem o consumo em kW/h e a composição dos valores pagos em todos os setores nos últimos 12 meses (março de 2022 a março de 2023), e serão obtidos nas faturas mensais disponibilizadas pela Energisa Paraíba.

4.2.4 Análise dos dados

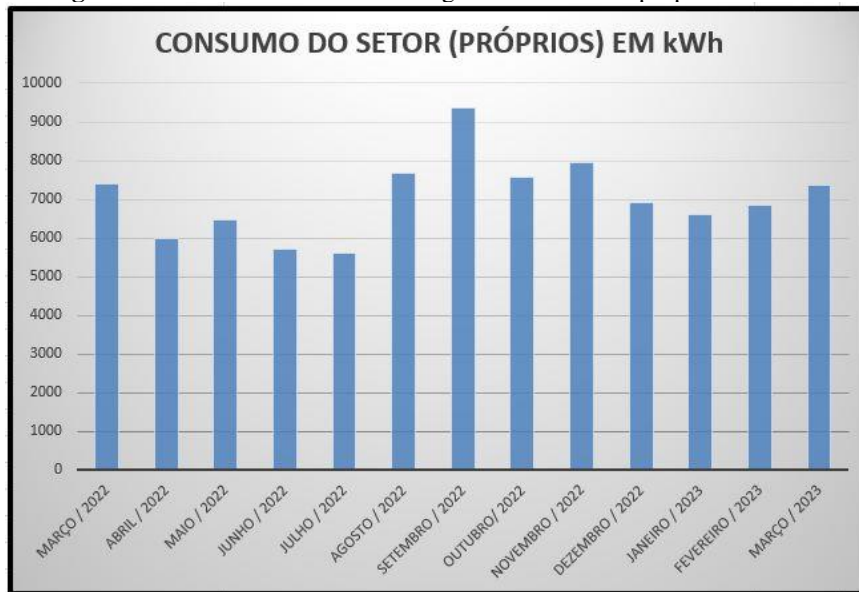
Os dados coletados serão organizados em tabelas e analisados por meio de gráficos, permitindo a visualização da descrição do faturamento, que inclui informações sobre o consumo em kW/h, preço unitário do kW/h com e sem tributos, além de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias) e multas. A análise gráfica fornecerá uma melhor compreensão da composição dos valores pagos em cada setor, permitindo identificar oportunidades para a redução de custos e otimização do uso da energia elétrica.

Os dados foram obtidos na Secretaria de Administração Pública do município de São João do Rio do Peixe-PB e separados por setores administrativos, facilitando o estudo e análise do consumo energético de cada um.

Nas figuras a seguir, serão apresentados os gráficos do consumo energético de cada setor ao longo de um período de 12 meses, permitindo visualizar as diferenças de consumo entre os setores.

A Figura 9 mostra o gráfico de consumo do setor próprio, abrangendo todas as unidades consumidoras que são de propriedade do município.

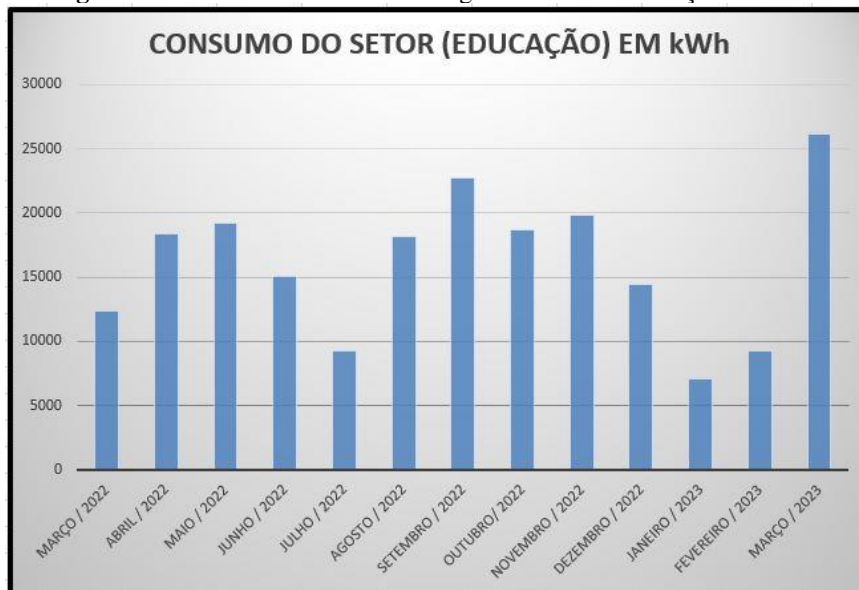
Figura 9 – Gráfico do consumo energético dos setores próprios em kWh.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Na Figura 10 está descrito o gráfico que indica o consumo de todas as unidades consumidoras do setor da educação.

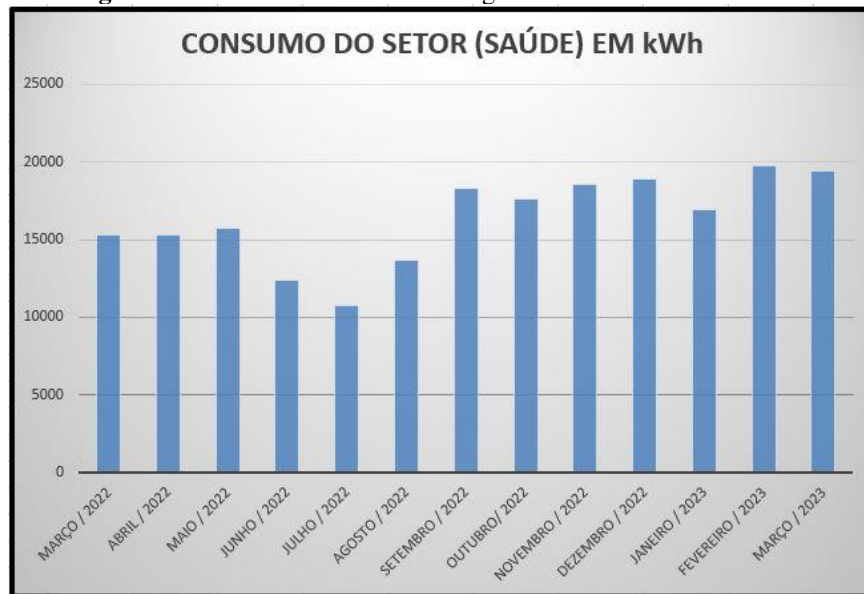
Figura 10 – Gráfico do consumo energético do setor educação em kWh.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Na Figura 11, o gráfico ilustra o consumo energético das unidades consumidoras relacionadas ao setor da saúde.

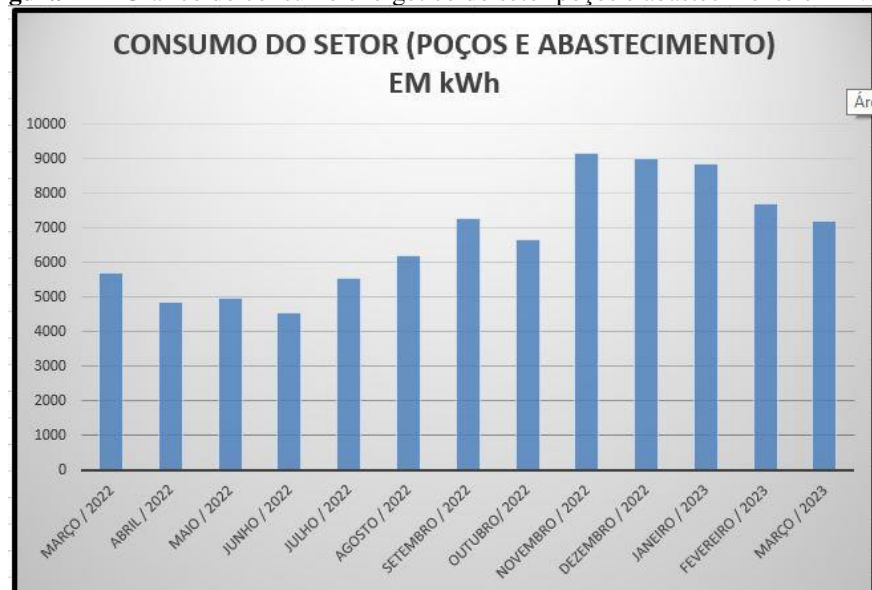
Figura 11 – Gráfico do consumo energético do setor saúde em kWh.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

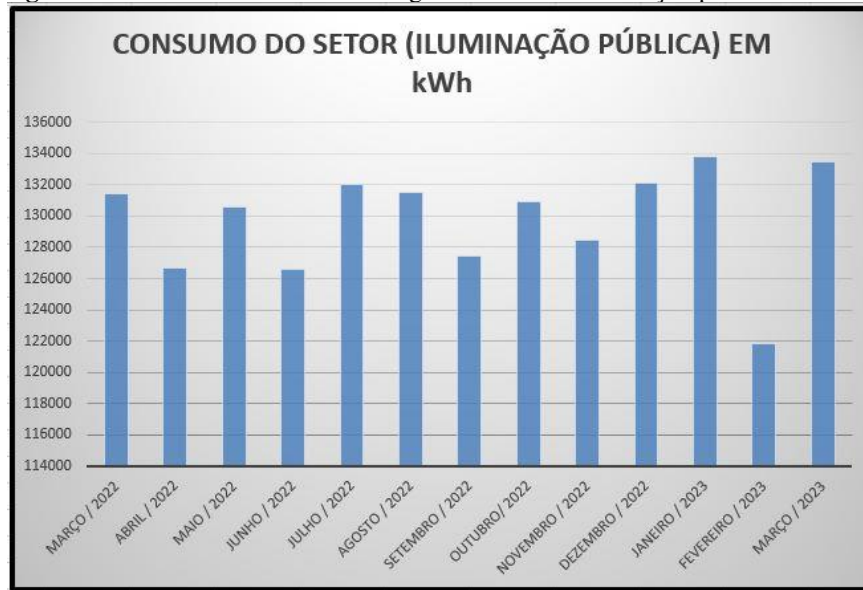
A figura 12 mostra o gráfico de consumo do setor que envolve poços e abastecimento do município.

Figura 12 – Gráfico do consumo energético do setor poços e abastecimento em kWh.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

No gráfico da Figura 13 é possível observar o consumo energético do setor de iluminação pública do município.

Figura 13 – Gráfico do consumo energético do setor iluminação pública em kWh.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Observa-se que o setor de iluminação pública é o que possui o maior consumo energético, apresentando uma diferença significativa em relação aos demais setores. Em seguida, o setor da educação surge como o segundo maior consumidor de energia, enquanto o setor da saúde apresenta uma diferença um pouco menor. Em contraste, o setor das unidades consumidoras próprias é o quarto com menor consumo energético no município, seguido de perto pelo setor de poços e abastecimento.

Com o objetivo de aprimorar a análise e obter valores mais precisos sobre o consumo energético das 137 unidades consumidoras localizadas no município de São João do Rio do Peixe, na Paraíba, foram coletados os dados apresentados na Tabela 1. Esses dados foram obtidos a partir do faturamento referente aos meses de março de 2022 a março de 2023, fornecido pela distribuidora de energia elétrica.

Tabela 1 – Consumo anual e médio mensal dos setores consumidores, (março de 2022 a março de 2023).

Nº DO CLIENTE	CONSUMO ANUAL EM kWh	CONSUMO MÉDIO MENSAL EM kWh
5750992	7888	657,33
5754093	31	2,58
53806908	1506	125,50
53811700	3142	261,83
510391852	555	46,25
510472397	2644	220,33
515191703	11178	931,50
515192248	0	0,00
515194061	5458	454,83
515199979	2360	196,67
517449141	10443	870,25

Nº DO CLIENTE	CONSUMO ANUAL EM kWh	CONSUMO MÉDIO MENSAL EM kWh
517911082	8452	704,33
518414961	1592	132,67
518481671	501	41,75
518757856	6211	517,58
519180132	524	43,67
519234863	4327	360,58
519282441	7816	651,33
519997824	287	23,92
520008249	0	0,00
520381679	4801	400,08
521593280	2000	166,67
522741144	2966	247,17
522816219	6766	563,83
5757765	40659	3388,25
5767749	0	0,00
5769257	0	0,00
53808508	7812	651,00
53810868	16365	1363,75
56266977	1645	137,08
510205185	8375	697,92
511207370	60	5,00
511326493	139	11,58
512228359	38712	3226,00
514582613	0	0,00
514660518	782	65,17
515106560	0	0,00
515109499	64	5,33
515120777	257	21,42
515158389	1524	127,00
515159460	10337	861,42
515161821	598	49,83
515163397	3780	315,00
515181027	197	16,42
515193113	0	0,00
515194673	120	10,00
515199292	2360	196,67
515202369	0	0
515203326	790	65,83
515204068	2459	204,92
515204159	280	23,33
515206584	689,08	57,42
515750128	9250	770,83
518252015	0	0,00

Nº DO CLIENTE	CONSUMO ANUAL EM kWh	CONSUMO MÉDIO MENSAL EM kWh
518484840	1715	142,92
518986984	253	21,08
519407394	15357	1279,75
520896502	20505	1708,75
522786081	16694	1391,17
523988256	9017	751,42
5750463	13620	1135,00
5750968	18714	1559,50
53807062	28255	2354,58
53808433	5350	445,83
56952246	12139	1011,58
58757445	5970	497,50
58796906	2276	189,67
510151959	93063	7755,25
512222436	1051	87,58
512425906	6986	582,17
515159122	719	59,92
515168214	4996	416,33
515199961	11878	989,83
517551607	5	0,42
517966672	1115	92,92
518827428	3412	284,33
518831057	3185	265,42
53810744	1177	98,08
510757730	0	0,00
510786838	8768	730,67
510951358	17008	1417,33
511337847	30	2,50
511384278	5231	435,92
514792972	90	7,50
515162217	1854	154,50
515192776	8319	693,25
515198732	119	9,92
515198880	282	23,50
515200298	0	0,00
515200462	1100	91,67
515201130	1856	154,67
515202997	1109	92,42
515203516	1795	149,58
515207020	3358	279,83
515207046	397	33,08
515982713	4231	352,58
517160086	4313	359,42

Nº DO CLIENTE	CONSUMO ANUAL EM kWh	CONSUMO MÉDIO MENSAL EM kWh
517775156	1176	98,00
517790908	507	42,25
517790916	785	65,42
517792052	1808	150,67
517882895	393	32,75
517969650	235	19,58
518363366	226	18,83
518702498	1919	159,92
518703355	73	6,08
518703868	3610	300,83
518704288	266	22,17
518704320	0	0,00
518704452	705	58,75
518714964	30	2,50
518785360	718	59,83
519094184	887	73,92
519241298	998	83,17
519414911	2271	189,25
519987973	0	0,00
520741120	1439	119,92
521691167	5462	455,17
522708671	2276	189,67
524548695	893	74,42
53814282	1.494.579	124548,25
514566970	2876	239,67
515163413	3437	286,42
515164395	1277	106,42
515165632	492	41,00
515166994	2417	201,42
515167851	3647	303,92
515198310	0	0,00
515200108	17674	1472,83
515206899	9220	768,33
517511205	29901	2491,75
519397025	11619	968,25
522005441	6557	546,42
522028534	37945	3162,08
522028559	43637	3636,42
524099756	18727	1560,58
524110967	2956	246,33
Total	2.284.926,08	190.410,51

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Na Tabela 1 é possível observar o consumo médio mensal de 190.410,51 kWh para as 137 unidades consumidoras, resultando em um consumo anual total de 2.284.926,08 kWh, ao longo de um período de um ano.

Os valores encontrados serão de extrema importância para o dimensionamento adequado da usina solar fotovoltaica em questão. Essas informações serão utilizadas para determinar com precisão a capacidade necessária da usina, levando em consideração o consumo energético das unidades consumidoras no período analisado.

4.2.5 Elaboração do projeto fotovoltaico

Com o auxílio do software AutoCad, e portando as faturas de consumo em kW/h de todos os setores públicos em análise, será criado um projeto de uma usina solar fotovoltaica que possa atender às necessidades de energia desses setores.

Com o projeto da usina solar fotovoltaica em escala reduzida, serão estimados os custos de todos os equipamentos indispensáveis para tornar a usina operacional, incluindo a sua instalação. Esse cálculo permitirá fazer uma comparação entre o investimento necessário para o projeto, levando em conta a sua durabilidade em anos, com o valor pago à empresa distribuidora Energisa ao longo do mesmo intervalo de tempo, possibilitando uma análise da viabilidade da execução do projeto.

4.3 ANÁLISE DA IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA DO MUNICÍPIO

Com base nos conhecimentos adquiridos nos capítulos 3 e 4, agora estamos chegando ao objetivo principal do estudo, que é dimensionar o sistema fotovoltaico. Nesse contexto, estamos considerando o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para atender às unidades consumidoras do município de São João do Rio do Peixe, na Paraíba. Para obter as informações necessárias sobre a irradiação solar média, utilizamos a ferramenta disponibilizada pelo Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), uma subdivisão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Considerando que este estudo se baseia em um estudo de caso específico e como não temos a localização exata onde a usina será instalada, foi necessário coletar as coordenadas que abrangem toda a região do município de São João do Rio do Peixe. Além disso, se fez necessário extrair as siglas de identificação das células para análise da irradiação solar, identificadas pelos números denominados como ID's.

O município possui uma extensão territorial considerável e, ao analisar o mapa, foi identificado um total de seis ID's, conforme ilustra a Figura 14.

Figura 14 – Mapa das ID's do Município de São João do Rio do Peixe - PB.



Fonte: INPE, 2023.

Foi decidido calcular a média das seis ID's encontradas para obter o valor médio anual utilizado no dimensionamento. Utilizou-se a mesma plataforma online para identificar o valor anual de irradiação direta normal.

Para a ID 46828, de acordo com a Figura 15, foi encontrado um valor médio anual de 6040 Wh/M².

Figura 15 – Irradiação média (1) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.



Fonte: INPE, 2023.

Baseado na Figura 16, a ID 46829 apresenta um valor médio anual de 6076 Wh/M².

Figura 16 – Irradiação média (2) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.



Fonte: INPE, 2023.

A Figura 16 indica que a ID 46439 possui um valor médio anual de 6098 Wh/M².

Figura 17 – Irradiação média (3) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.



Fonte: INPE, 2023.

Com base na análise da Figura 18, é possível observar que o valor médio anual da ID 46440 fica em torno de 6154 Wh/M².

Figura 18 – Irradiação média (4) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.



Fonte: INPE, 2023.

Segundo a Figura 19, constata-se que o valor médio anual para a ID 46049 é de 6172 Wh/M².

Figura 19 – Irradiação média (5) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.



Fonte: INPE, 2023.

Na Figura 20, é possível observar que a ID 46050 possui um valor médio anual de 6190 Wh/M².

Figura 20 – Irradiação média (6) no Município de São João do Rio do Peixe - PB.



Fonte: INPE, 2023.

Foi calculada a média anual geral para o município de São João do Rio do Peixe-PB, considerando o valor médio anual das seis ID's apresentadas acima.

Para o cálculo da Média Anual Geral (*MAG*), foi utilizada a Equação 1:

$$MAG = \frac{(ID1) + (ID2) + (ID3) + (ID4) + (ID5) + (ID6)}{6} \quad (1)$$

na qual:

MAG = Média Anual Geral (Dia);

ID = Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal (Ano);

6 = Total de ID's encontradas no município.

$$\begin{aligned} MAG &= \frac{(ID1) + (ID2) + (ID3) + (ID4) + (ID5) + (ID6)}{6} \\ &= \frac{6040 + 6076 + 6098 + 6154 + 6172 + 6190}{6} = 6121,6 \text{ Wh/m}^2 \end{aligned}$$

4.4 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

É crucial examinar as seguintes informações para o dimensionamento, levando em consideração as condições padrão de teste (STC): uma intensidade de radiação solar de 1000 W/m², massa de ar de AM .5, uma temperatura da célula de 25°C e uma velocidade do vento de 1 m/s.

Para se obter a potência instalada (*P_{FV}*), utiliza-se a Equação 2:

$$P_{FV} = \frac{E \times G_{STC}}{H_{TOT} \times TD} \quad (2)$$

na qual:

P_{FV} = Potência instalada (Wp);

E = Energia a ser gerada (Wh);

G_{STC} = Irradiação nas STC (1000 W/m²);

H_{TOT} = Irradiação total (Wh/m²);

TD = Taxa de desempenho (PR, *Performance Ratio*), situado entre 0,75 e 0,85 (75% a 85%).

Utilizando a Equação 1 no projeto em questão, temos:

$E = 190.411$ kWh/mês;

$G_{STC} = 1000$ W/m²;

$H_{TOT} = 6,121$ kWh/m².dia x 30dias/mês;

$TD = 0,77$. (Foi considerado o valor da tarifa atual, na qual encontra-se no valor de 0,77).

$$P_{FV} = \frac{E \times G_{STC}}{H_{TOT} \times TD} = \frac{190.411 \times 1000}{6,121 \times 30 \times 0,77} = 1.346,66 \text{ kWp}$$

4.4.1 Quantidade, dados e características do módulo fotovoltaico

A quantidade de módulos do sistema fotovoltaico (N_{mod}) é calculada através da Equação 3:

$$N_{mod} = \frac{P_{FV}}{\frac{P_{mod}}{1000}} \quad (3)$$

na qual:

P_{mod} = Potência do módulo

A potência do módulo do sistema fotovoltaico escolhido foi de 550 Wp. Foi utilizada a Equação 3 para determinar a quantidade de módulos.

$$N_{mod} = \frac{P_{FV}}{\frac{P_{mod}}{1000}} = \frac{1346,66}{\frac{550}{1000}} = 2448$$

Para este projeto estamos considerando prover módulos de 550 Wp, que são amplamente utilizados na contemporaneidade e são ideais em termos de espaço disponível. Esses módulos serão conectados eletricamente, formando grupos em série e paralelo, o que permitirá atender os requisitos de tensão e corrente de cada um dos inversores. Com essa configuração, a potência total instalada será de 1.346 kWp, levando em conta as condições normais de insolação e temperatura.

A tabela 2 apresenta as especificações dos módulos da marca Sunova Solar, que são compostos por 144 células de silício monocristalino PERC Half Cell.

Tabela 2 – Especificações da placa solar.

Marca	Sunova
Modelo	SS-550-72MDH
Potência Fotovoltaica	550 W
Tensão de Curto Circuito	1500 V
Corrente de Operação	13,48 A
Corrente de Curto Circuito	14,04 A
Tensão de Circuito Aberto	49,60 V
Tensão Máxima de Operação	40,83 V
Número de Células	144 células de Silício Monocristalino
Massa do Módulo	28,90 Kg
Dimensões do Painel	(2279 x 1134 x 35)
Eficiência do Módulo	21,28%
Garantia Linear	25 anos

Fonte: Energia Total – ENERGIA SOLAR, 2023.

Na Tabela 3, são exibidas as especificações do inversor selecionado para compor o sistema.

Tabela 3 – Especificações do inversor *on grid*.

Marca	Growatt
Modelo	Max100ktl3-x Lv
Eficiência	98,8%
Tensão máx. de entrada	1100VCC
Faixa de tensão MPPT	180~1000 VCC
Tensão nominal de entrada	600 VCC
Corrente DC máxima por MPPT	30A
Rastreadores de MPPT	10
Números de arranjos por MPPT	2
Potência nominal de saída	500KW
Tensão nominal trifásico	380V (3NPE)
Frequência nominal	60Hz
Faixa de frequência	55~65 Hz
Corrente máx. de saída	114,3 ^a

Fonte: Mercado Livre, 2023.

No próximo capítulo serão apresentados os resultados obtidos e as análises relacionadas, abrangendo todas as informações necessárias para o dimensionamento da usina de forma mais detalhada e aprimorada.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Com base nos dados mensais de consumo de energia e na irradiação solar do local selecionado, realizamos o dimensionamento da usina fotovoltaica. Desta forma, conseguimos determinar a quantidade de recursos necessários para o seu funcionamento adequado.

O diagrama elétrico, representado no Anexo A, ilustra detalhadamente as disposições e a estrutura do sistema. Essas representações preliminares fornecem um panorama completo do funcionamento e da configuração de todo o sistema elétrico.

A partir do dimensionamento quantitativo, foi feito um orçamento dos insumos necessários para analisar a previsão do projeto. Para isso, utilizamos fontes confiáveis, como SINAPI, ORSE, SEINFRA, entre outras, para garantir a precisão e a consistência dos dados financeiros envolvidos. Essa análise detalhada nos permitiu avaliar de forma abrangente os custos envolvidos e determinar as previsões econômicas do projeto.

Os dados de referência usados para o orçamento dos insumos foram baseados no mês de setembro de 2023. Na Tabela 4 são apresentados os insumos necessários, bem como os detalhes e os valores correspondentes ao projeto da usina.

Tabela 4 – Orçamento de fornecimento e instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica 1346 KVA.

Data: Novembro de 2023						
Projeto Usina Solar						
OBRA: FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA 1346KVA						
	Fonte	Descrição	Un.	Qtde.	Preço - R\$ (Real)	
					Unitário	Total
1 ADMINISTRAÇÃO DA OBRA E DESPESAS GERAIS						R\$ 292.740,19
1.1	CREA PB	ART CREA	und	1,0	254,59	R\$ 254,59
1.2	34783 SINAPI	Engenheiro Eletricista	h	528,0	R\$ 139,62	R\$ 73.719,36
1.3	2437 SINAPI	Montador Eletromecânico (encarregado)	h	11088,0	R\$ 19,73	R\$ 218.766,24
2 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL						R\$ 7.024,38
2.1	12893 SINAPI	Bota couro solado de borracha vulcanizado	par	21,0	R\$ 105,60	R\$ 2.217,60
2.2	12895 SINAPI	capacete plastico rígido	und	21,0	R\$ 22,00	R\$ 462,00
2.3	941 ORSE-SE	Fardamento com mangas curta	und	21,0	R\$ 190,46	R\$ 3.999,66

2.4	S00051 ORSE	Placa de obra em chapa aço galvanizado, instalada - Rev 02_01/2022	m²	1,0	R\$ 345,12	R\$ 345,12
3	EQUIPAMENTOS FOTOVOLTAICOS					R\$ 3.221.040,56
3.1	Energia Total (Energia Solar)	Potência do Pannel: 550 W, Tolerância: ± 3 W, Tensão de Máxima Potência (Vmp): 40,83 V, Corrente de Máxima Potência (Imp): 13,48 A, Tensão em Aberto (Voc): 49,60 V, Corrente de Curto Circuito (Isc) 14,04 A Tensão Máxima do Sistema: 1500 V Eficiência do Módulo: 21,28 % Temperatura Nominal da Célula (TNOC/NOCT): 45 ± 2 °C Coeficiente de Temperatura da Potência: $-0,35 \%/^{\circ}\text{C}$ Coeficiente de Temperatura da Tensão: $-0,28 \%/^{\circ}\text{C}$ Coeficiente de Temperatura da Corrente: $0,048 \%/^{\circ}\text{C}$ Corrente Máxima do Fusível: 25 A Dimensões do Pannel: 2279 x 1134 x 35 mm Peso do Módulo: 28,9 Kg Código IP da caixa de proteção: IP 68 Número de Células e Tipo: 144 Silício Monocristalino Vidro, espessura e tipo: Vidro de alta transparência de 3.2mm com liga de alumínio anodizado.	und	2448,0	R\$ 1.105,77	R\$ 2.706.924,96
3.2	MERCADO LIVRE	Inversor Ongrid Growatt Max100ktl3-x Lv 500kw Trif380v 10mpp	und	10,0	R\$ 50.815,56	R\$ 508.155,60
3.4	NEOSOLAR	CONECTORES FEMEA/MACHO WEID_CABUR_TE_MC4	und	400,0	R\$ 14,90	R\$ 5.960,00
3.5	SOLARBOX	Cabo Solar 4mm² 1,8kv DC NBR 16612 Preto 1M	m	1308,0	R\$ 7,92	R\$ 10.359,36
3.6	SOLARBOX	Cabo Solar 4mm² 1,8kv DC NBR 16612 Vermelho 1M	m	1308,0	R\$ 7,92	R\$ 10.359,36
4	INSTALAÇÃO ELÉTRICA					R\$ 36.109,31
4.1	3836/ ORSE	Caixa em chapa metálica galvanizada 60 x 50 x 20cm, para quadro de comando de proteção	und	15,0	R\$ 388,68	R\$ 5.830,20
4.2	S00477/ ORSE	Fornecimento e instalação de chave seccionadora 70a	und	1,0	R\$ 374,22	R\$ 374,22

4.3	101895 - SINAPI	Disjuntor termomagnético tripolar 125 A, padrão DIN (Europeu - linha branca), curva C, 5KA (Fornecimento e instalação)	und	14,0	R\$ 391,19	R\$ 5.476,66
4.4	8419/ ORSE	Disjuntor termomagnético tripolar 50 A, padrão DIN (Europeu - linha branca), curva C, 5KA (Fornecimento e instalação)	und	1,0	R\$ 96,43	R\$ 96,43
4.5	CLAMPER	String box, modelo referência: CLAMPER Solar SB 3E/3S ou similar	und	15,0	R\$ 995,00	R\$ 14.925,00
4.6	995 SINAPI	Fio de cobre Flexível 16 mm ² , Instalações	und	300,0	R\$ 15,68	R\$ 4.704,00
4.7	9042/ ORSE	Dispositivo de proteção contra surto de tensão DPS 40kA - 440v (Fornecimento e instalação)	und	60,0	R\$ 78,38	R\$ 4.702,80
5	SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS (SPDA)					R\$ 32.693,40
5.1	11975 - ORSE	ABRAÇADEIRA DE ALUMÍNIO DE 1"	und	80,0	R\$ 6,37	R\$ 509,60
5.2	00004374 - SINAPI	BUCHA DE NYLON SEM ABA S10	und	160,0	R\$ 0,37	R\$ 59,20
5.3	00004375 - SINAPI	BUCHA DE NYLON SEM ABA S6	und	200,0	R\$ 0,10	R\$ 20,00
5.4	00000863 - SINAPI	CABO DE COBRE NU 35 mm ² MEIO-DURO	m	160,0	R\$ 37,51	R\$ 6.001,60
5.5	00000867 - SINAPI	CABO DE COBRE NU 50 mm ² MEIO-DURO	m	300,0	R\$ 53,43	R\$ 16.029,00
5.6	00041410 SINAPI	CAPTOR FRANKLIN (4 PONTAS), EM LATAO CROMADO, H = 300 MM, DUAS DESCIDAS	und	20,0	R\$ 41,06	R\$ 821,20
5.7	9048 ORSE	Conector de medição	und	20,0	R\$ 51,61	R\$ 1.032,20
5.8	3973 - ORSE-SE	Eletroduto ferro galvanizado 1"	Vara 3 metros	20,0	R\$ 99,00	R\$ 1.980,00
5.9	74.51.21 SUDECAP	Mastro galvanizado 1 1/2"x 3.00m	und	20,0	R\$ 152,46	R\$ 3.049,20
5.10	6903 ORSE	Parafuso fenda 4,2 x 32mm.	und	100,0	R\$ 0,55	R\$ 55,00
5.11	109878 ORSE	Parafuso sextavado rosca soberba 1/4"x45mm	und	60,0	R\$ 0,49	R\$ 29,40
5.12	MERCADO LIVRE	Sinalizador c/ fotocélula	und	20,0	R\$ 107,00	R\$ 2.140,00
5.13	ELETRO CENTER	Suporte guia gelcam sgg04/f	und	20,0	R\$ 4,33	R\$ 86,60
5.14	171066 - SEDOP	Suporte isolador simples	und	20,0	R\$ 44,02	R\$ 880,40
6	ATERRAMENTO					R\$ 182.270,10

6.1	E00105 - SEDOP	Cabo de cobre nú, bitola 50mm ²	m	2700,0	R\$ 44,16	R\$ 119.232,00	
6.2	35001509 - COPASA	Alicate para molde de solda exotérmica - Tamanho Grande	und	3,0	R\$ 85,60	R\$ 256,80	
6.3	270390U - COMPESA	IGNEX - PALITO IGNITOR PARA SOLDA EXOTÉRMICA 60 UNIDADES	und	2,0	R\$ 0,68	R\$ 1,36	
6.4	M102400105 - EMBASA	Haste de terra , d=5/8"x3000mm. Copperweld	und	80,0	R\$ 75,53	R\$ 6.042,40	
6.5	52846 - SIURB	Cabo de cobre nu, bitola 16mm ²	m	270,0	R\$ 12,25	R\$ 3.307,50	
6.6	ELETRO CENTER	Molde para solda exotermica tipo "x" para cabo 35 mm ²	und	1,0	R\$ 289,39	R\$ 289,39	
6.7	ELETRO CENTER	Molde para solda exotermica tipo "t" para cabo 35 mm ²	und	1,0	R\$ 289,39	R\$ 289,39	
6.8	M102950040 - EMBASA	Molde solda haste	und	1,0	R\$ 142,46	R\$ 142,46	
6.9	13294 - SINAPI	Parafuso sextavado rosca soberba zincado 3/8" x 80mm	und	700,0	R\$ 1,69	R\$ 1.183,00	
6.10	4718 - ORSE	Caixa de inspeção em pvc 300mm	und	80,0	R\$ 559,31	R\$ 44.744,80	
6.11	071889 - SBC	CARTUCHO EM PO PARA SOLDA EXOTERMICA 90/115/150/250	und	50,0	R\$ 19,54	R\$ 977,00	
6.13	9051 - ORSE	Caixa de equalização p/aterramento 20x20x10cm de sobrepôr p/11 terminais de pressão c/barramento	und	10,0	R\$ 354,58	R\$ 3.545,80	
6.14	8496 - ORSE	Terminal aéreo em aço galvanizado a fogo h=35cm x 3/8", fixação horizontal e com bandeirinha	und	20,0	R\$ 5,36	R\$ 107,20	
6.15	I10337 - ORSE	Conector de pressão para cabo nu de 35mm ²	und	150,0	R\$ 12,00	R\$ 1.800,00	
6.16	6498 - ORSE	Presilha 1/2"	und	100,0	R\$ 3,51	R\$ 351,00	
7	INSTALAÇÃO SUBESTAÇÃO ELEVADORA					R\$ 626.199,82	
7.1	11272 - SINAPI	ALCA PREFORMADA DE DISTRIBUICAO, EM ACO GALVANIZADO, PARA CONDUTORES DE ALUMINIO AWG 2 (CAA 6/1 OU CA 7 FIOS)	Pc	21,0	R\$ 7,80	R\$ 163,80	
7.2	379 - SINAPI	ARRUELA QUADRADA EM ACO GALVANIZADO, DIMENSAO = 38 MM, ESPESSURA = 3MM, DIAMETRO DO FURO= 18 MM	Pc	86,0	R\$ 1,57	R\$ 135,02	

7.3	11267 - SINAPI	ARRUELA LISA, REDONDA, DE LATAO POLIDO, DIAMETRO NOMINAL 5/8", DIAMETRO EXTERNO = 34 MM, DIAMETRO DO FURO = 17 MM, ESPESSURA = *2,5* MM	Pc	65	R\$ 1,56	R\$ 101,40
7.4	TEKY	Cabo de aco cobreado 7xNx10 AWG	kg	58	R\$ 90,47	R\$ 5.247,26
7.5	00000841 - SINAPI	CABO DE ALUMINIO NU COM ALMA DE ACO, BITOLA 4 AWG	kg	3	R\$ 49,97	R\$ 149,91
7.6	39249 - SINAPI	CABO DE COBRE, FLEXIVEL, CLASSE 4 OU 5, ISOLACAO EM PVC/A, ANTICHAMA BWF-B, COBERTURA PVC-ST1, ANTICHAMA BWF-B, 1 CONDUTOR, 0,6/1 KV, SECAO NOMINAL 400 MM2	m	210	R\$ 416,42	R\$ 87.448,20
7.8	WK ELÉTRICA	Cabo Isolado para media tensão 35mm2	m	30	R\$ 117,41	R\$ 3.522,30
7.9	MAT032900 - SCO	Chave seccionadora trifásica, operação sem carga, de 400A, 15Kv, acionamento simultâneo, para uso interno, com comando por Chave seccionadora trifásica, operação sem carga, de 400A, 15Kv, acionamento simultâneo, para uso interno, com comando por vara de manobra	Pc	1	R\$ 1.515,79	R\$ 1.515,79
7.10	MAT032850 - SCO	Chave seccionadora trifásica, operação sem carga, de 400A, 15Kv, acionamento simultâneo, para uso interno, com comando por Chave seccionadora trifásica, operação sem carga, de 400A, 15Kv, acionamento simultâneo, para uso interno, com comando por punho, com base para fusível	Pc	3	R\$ 2.519,94	R\$ 7.559,82
7.11	664/ ORSE	Conector p/ haste de aterramento 5/8"	Pc	21	R\$ 5,00	R\$ 105,00
7.12	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Conector cunha tipo I	Pc	4	R\$ 10,41	R\$ 41,64
7.13	I0914/ SEINFRA	Cruzeta 1,70m concreto armado	un	2	R\$ 75,08	R\$ 150,16

7.14	93026 - SINAPI	CURVA 90 GRAUS PARA ELETRODUTO, PVC, ROSCÁVEL, DN 110 MM (4"), PARA REDE ENTERRADA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2021	Pc	120	R\$ 47,57	R\$ 5.708,40
7.16	MATED-19404 - SETOP	DISJUNTOR EM CAIXA MOLDADA (TIPO: TRIPOLAR CORRENTE: 800A ICC: 50KA EM 380/400V DISPARADOR: FIXO) un	Pc	3	R\$ 2.805,08	R\$ 8.415,24
7.17	MAT048700 - SCO	Disjuntor trifásico, de 800A, tipo PVO, 15Kv/550MVA, com pequeno volume de óleo, carregador de mola motorizado, relés de abertura e fechamento primários OCD1L, Beghim ou similar.	Pc	1	R\$ 62.817,00	R\$ 62.817,00
7.18	ELETRO FM	EletrodutoPVC 4 " vara 3 metros	vara	3000	R\$ 80,12	R\$ 240.360,00
7.20	TEKY	Elo fusível 25K	Pc	9	R\$ 9,10	R\$ 81,90
7.21	TEKY	Elo fusível 65K	pc	3	R\$ 22,75	R\$ 68,25
7.22	10889 - SINAPI	Extintor 6Kg		2	R\$ 898,14	R\$ 1.796,28
7.23	I8075 - SEINFRA	Fio de cobre nú 25mm²	kg	3	R\$ 53,55	R\$ 160,65
7.24	00000402 - SINAPI	GANCHO OLHAL EM ACO GALVANIZADO, ESPESSURA 16MM, ABERTURA 21MM	Pc	9	R\$ 16,36	R\$ 147,24
7.25	C4765 - SEINFRA	ATERRAMENTO COMPLETO C/ HASTE COPPERWELD 5/8"X 2.40M	Pc	12	R\$ 257,02	R\$ 3.084,24
7.26	MERCADO LIVRE	ISOL,APOIO;INTERNO;15KV;GERMER	Pc	3	R\$ 35,00	R\$ 105,00
7.27	00003406 - SINAPI	ISOLADOR DE PORCELANA, TIPO PINO MONOCORPO, PARA TENSAO DE *15* KV	Pc	3	R\$ 21,50	R\$ 64,50
7.28	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Isolador ancora polimérico 15kV	Pc	9	R\$ 73,10	R\$ 657,90
7.29	GUAXUCABOS MATERIAIS ELÉTRICOS	Luva fe galvanizado pesado 3/4"	Pc	2	R\$ 12,78	R\$ 25,56

7.30	MERCADO LIVRE	Luva para haste terra rosqueada 5/8"	Pc	3	R\$ 35,90	R\$ 107,70
7.31	SANTIL	Luva PVC 4" - PLASTBIG	Pc	1500	R\$ 12,19	R\$ 18.285,00
7.32	MERCADO LIVRE	Manilha sapatilha para alca preformada 18mm	Pc	9	R\$ 29,00	R\$ 261,00
7.33	3852 - ORSE-SE	Mufla terminal contratil à frio 12 / 20 Kv	Pc	8	R\$ 987,00	R\$ 7.896,00
7.34	PARAFUSO FÁCIL	Olhal para parafuso de 16mm	Pc	9	R\$ 17,85	R\$ 160,65
7.35	TEKY	Para raio polimérico 12kv 60Hz oxido de zinco	Pc	9	R\$ 230,15	R\$ 2.071,35
7.36	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Paraf maq 16 x 300mm	Pc	45	R\$ 20,60	R\$ 927,00
7.37	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Paraf maq 16 x 350mm	Pc	42	R\$ 22,40	R\$ 940,80
7.38	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Paraf maq 16 x 400mm	Pc	32	R\$ 25,52	R\$ 816,64
7.39	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Paraf maq 16 x 450mm	Pc	45	R\$ 29,70	R\$ 1.336,50
7.40	JUDY MATERIAIS ELÉTRICOS	Porca quadrada para parafuso 16mm	un	52	R\$ 2,10	R\$ 109,20
7.41	MC HIDRÁULICA E ELÉTRICA	Poste 300/11 concreto armado DT tipo D	un	1	R\$ 2.750,00	R\$ 2.750,00
7.42	MERCADO LIVRE	Pino para Isoladores	Pc	3	R\$ 24,90	R\$ 74,70
7.43	MERCADO LIVRE	Punho de manobra	Pc	4	R\$ 149,60	R\$ 598,40
7.44	MERCADO LIVRE	Suporte de fixação para mufla de 15 KV	Pc	2	R\$ 426,89	R\$ 853,78
7.45	LOJA ELETRICA LTDA	Terminal concêntrico 3/8" angular	Pc	12	R\$ 30,30	R\$ 363,60
7.46	LOJA ELETRICA LTDA	Terminal concêntrico 3/8" central	Pc	12	R\$ 33,85	R\$ 406,20
7.47	LOJA ELETRICA LTDA	Terminal concêntrico 3/8" união	Pc	12	R\$ 46,09	R\$ 553,08

7.48	COTAÇÃO	Telas de Proteção 2,20 x 2.10	Pc	3	R\$ 2.000,00	R\$ 6.000,00
7.49	COTAÇÃO	Telas de Proteção 2,10 x 2.00	Pc	1	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
7.50	I2150/ SEINFRA	Transformador de distribuição, 500 kva, trifásico, 60 hz, classe 15 kv, imerso em óleo mineral	und	3	R\$ 32.305,84	R\$ 96.917,52
7.51	I09737 - ORSE	QDGBT - 1 - Quadro de distribuição geral de baixa tensão dim.: 2300x800x1000mm, contendo: disjuntor 3P 2500A, TC 2500/5A, oltímetro 96x96 600V, amperímetro 96x96 2500/5A, chave comutadora e demais acessórios	un	1	R\$ 51.614,06	R\$ 51.614,06
7.52	CPOS P.08.000.090 408	Vergalhão de cobre 3/8"	m	21	R\$ 75,83	R\$ 1.592,43
			SUB TOTAL			R\$ 4.398.146,01
			BDI (equipamentos)	11%	R\$ 454.510,50	
			BDI (serviços)	27%	R\$ 81.356,10	
			TOTAL			R\$ 4.934.012,62

Fonte: Aatoria Própria, 2023.

De acordo com os resultados obtidos, podemos observar no Anexo B que o tempo de retorno (*payback*) desse investimento é estimado em cerca de, aproximadamente, dois anos e oito meses. Vale salientar, que para o cálculo do (*payback*), foi considerado o valor da tarifa atual (0,77) e utilizado a mesma de forma constante para o período de 25 anos; com isso, pode surgir alterações no valor final do projeto assim como no tempo de retorno, caso a tarifa mude de valor. Essa visualização oferece uma perspectiva clara e objetiva sobre a recuperação do investimento ao longo do tempo, auxiliando na análise da previsão financeira do projeto.

Com base no valor total estimado do projeto de R\$ 4.934.012,62, também é possível calcular o custo de instalação de cada unidade ou módulo fotovoltaico. Dividindo o valor total do projeto pela quantidade de módulos fotovoltaicos (2448 módulos), chegamos a um custo de R\$ 2.015,53 por unidade, representando assim todos os gastos de instalação de um módulo fotovoltaico individualmente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.

No presente estudo foi realizado o dimensionamento de uma usina fotovoltaica com o objetivo de atender às demandas energéticas de 137 unidades consumidoras públicas municipais na cidade de São João do Rio do Peixe, localizada no estado da Paraíba. Esse projeto visa suprir de forma eficiente e sustentável as necessidades de energia desses edifícios, fornecendo benefícios ambientais e econômicos para a comunidade local.

Com base no orçamento para a implementação da usina e no tempo de retorno, o projeto demonstra ser uma opção viável em comparação ao valor pago à distribuidora de energia. Considerando o valor da tarifa atual constante, em um período aproximado de 2,85 anos de uso, o sistema se pagará integralmente.

É importante ressaltar a considerável contribuição para o meio ambiente que o projeto traz, uma vez que se trata de uma fonte de energia limpa, evitando a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera.

Observa-se que alguns itens não foram incluídos no orçamento, como a estrutura de fixação dos módulos e a estrutura de alvenaria para armazenamento dos inversores e da subestação; outros gastos também não foram inclusos, como: licenças ambientais, equipamentos de combate a incêndio, gastos com terraplanagem e o salário dos colaboradores que possivelmente ficarão em operação com o funcionamento da usina. Esses pontos serão considerados como pontos de partida em estudos futuros para continuidade do projeto.

Com base nos resultados obtidos, sugere-se a consideração da viabilidade junto aos órgãos governamentais municipais para uma redução de até 50% na taxa de iluminação pública para os cidadãos do município, tornando assim um projeto ainda mais social. Isso se deve ao projeto que demonstra uma economia estimada de 38.389.496,44 reais ao longo de um período de 25 anos, deixando, assim, o município em uma situação favorável no que se diz respeito a gastos com energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução normativa n° 482 de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>. Acesso em: 21 jun 2023.
- ALVES, M. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019.
- ANDRADE, V. B.; JÚNIOR, U. C. P.; TABORA, J. M.; NASCIMENTO, A. A.; TOSTES, M. E. L.; BEZERRA, U. H.; MATOS, E. O.; ALBUQUERQUE, B. S.; RODRIGUES, C. E. M.; TAKEDA, F. M.; CARVALHO, C. C. M. M. Modelagem e simulação de cenários da operabilidade de uma mini rede híbrida com geração fotovoltaico-diesel, armazenamento de energia conectada à rede elétrica. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 12. **Anais [...]**, Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2020. p. 1–10. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344694276_Modelagem_e_simulacao_de_cenarios_da_operabilidade_de_uma_mini_rede_hibrida_com_geracao_fotovoltaico-diesel_armazenamento_de_energia_conectada_a_rede_eletrica. Acesso em: 21 jun. 2023.
- ARAÚJO, C. G. **Implementação de um projeto solar fotovoltaico: um estudo de caso usando o software PV* Sol**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [s.l.], 2022.
- BROGNOLI, L. S. **O incentivo à transferência de tecnologias verdes como estratégia para o desenvolvimento de Cidades Inteligentes pelo Clima (Climate Smart Cities) no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.
- CAMARGO, V. F. **Incêndios fotovoltaicos: quais as principais causas?** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.
- CAMPOS, N. D. **Heurística aplicada a políticas públicas para a geração de energia elétrica no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cívil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.
- COLARES, M. V. R. **Estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos off-grid**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.
- DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 1, n. 9, p. 70-81, 2015.
- FIGUEIREDO, C. F. V.; FIGUEIREDO, J. S.; MACHADO, T. S.; BEZERRA JÚNIOR, E.; QUEIROZ, S. F. A. M.; SANTOS, A. C. Q. Proposta de um projeto fotovoltaico residencial

conectado à rede elétrica. **Delos: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v. 16, n. 46, p. 1946–1956, 2023.

Fontes de energia. **Empresa de Pesquisa Energética – EPE**, 2022c. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia> Acesso em: 26 jun. 2023.

Fontes hidrelétricas. **Empresa de Pesquisa Energética – EPE**, 2022b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes> Acesso em: 26 jun. 2023.

GALVÃO, A. O. **Os impactos da Lei nº 14.300/2022 em projetos de microgeração e minigeração fotovoltaica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2023.

GONÇALVES, H; LEÃO, T. P. **Fórum Energias Renováveis Em Portugal 2020**. Lisboa: LNEG, 2020.

INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE DA USP. **O RACIONAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DECRETADO EM 2001: UM ESTUDO SOBRE AS CAUSAS E AS RESPONSABILIDADES**. São Paulo, 2001.

KOZELINSKI, G. C. **Políticas da geração distribuída de energia elétrica no Brasil e no mundo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

LOSEKANN, L.; TAVARES, A. Transição energética e potencial de cooperação nos BRICS em energias renováveis e gás natural. In: INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Texto para Discussão**. Rio de Janeiro: Ipea, 2021, p. 1–69.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista Virtual Química**, [s.l.], v. 7, n. 1, 2015, p. 126-143.

Matriz Energética e Elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética – EPE**, 2022a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 26 jun. 2023.

MOECKE, F. E. **Controle de Potência em um Sistema de Monitoramento de Abelhas off-grid**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Automação e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

NETO, J.; MANITO, A.; ZILLES, R.; PINHO, J. Proposta de metodologia para avaliação da taxa equivalente de indisponibilidade forçada para sistemas fotovoltaicos. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 9. **Anais [...]** Florianópolis: Associação Brasileira de Energia Solar, 2022. p. 1–10. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1063/1064>. Acesso em: 23 jun. 2023

PENA, R. R. **Os benefícios da integração dos sistemas embarcados na indústria 4.0**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Computação) – Centro Universitário do Pará, Belém, 2020.

PL 5829/19: O que muda com o marco legal da geração distribuída? **Portal Solar**, 2023.

Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/politica/legislativo/o-que-muda-com-a-aprovacao-da-pl-5829-19>. Acesso em: 19 nov. 2023.

RESENDE, C. Como funcionam os sistemas fotovoltaicos off grid. **Shareenergy**, 2019. Disponível em: <https://www.shareenergy.com.br/como-funcionam-os-sistemas-fotovoltaicos-off-grid/>. Acesso em: 24 out. 2023.

RN 687 e energia solar: tudo o que você precisa saber sobre o assunto. **Solarprime**, 2023. Disponível em: <https://solarprime.com.br/rn-687/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

SANTOS, C. A. M. **Viabilidade técnica e energética de um monotrilha de passageiros no eixo Rio de Janeiro-São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, [s.l.], 2021.

SANTOS, É. L.; SANTOS, H. H. M. **ESTUDO DE MICROGERAÇÃO SOLAR PARA USO NO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE UM MUNICÍPIO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica e Eletrônica) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2020.

SANTOS, R. **Estudos de caso e comparação da viabilidade econômica para a implementação de um sistema fotovoltaico on-grid e off-grid**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2019.

SCHERER, L. A.; SESSEGOLO, M. E. D.; BARCAROLO, T. B.; EDLER, M. A. R. Fonte alternativa de energia: energia solar. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 20. **Anais [...]** Cruz Alta: UNICRUZ, 2015. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2015/XX%20SEMIN%C3%81RIO%20INTERINSTITUCIONAL%202015%20-%20ANAIS/Graduacao/Graduacao%20-%20Resumo%20Expandido%20-%20Exatas,%20Agrarias%20e%20Ambientais/FONTE%20ALTERNATIVA%20DE%20ENERGIA%20ENERGIA%20SOLAR.pdf>. Acesso em 26 jun. 2023.

SEMEDO, E. J. C. **Mudanças climáticas e os pequenos Estados insulares em desenvolvimento: o caso de Cabo Verde**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Relações Internacionais) - Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, São Francisco do Conde, 2020.

SILVA, M. S.; ROCHA L. T.; SILVA JÚNIOR, J. A.; TALARICO, M. G. Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica. **Mythos**, [s.l.], v. 14, n. 2, 2021, p. 51–61. Disponível em: <https://doi.org/10.36674/mythos.v14i2.467>

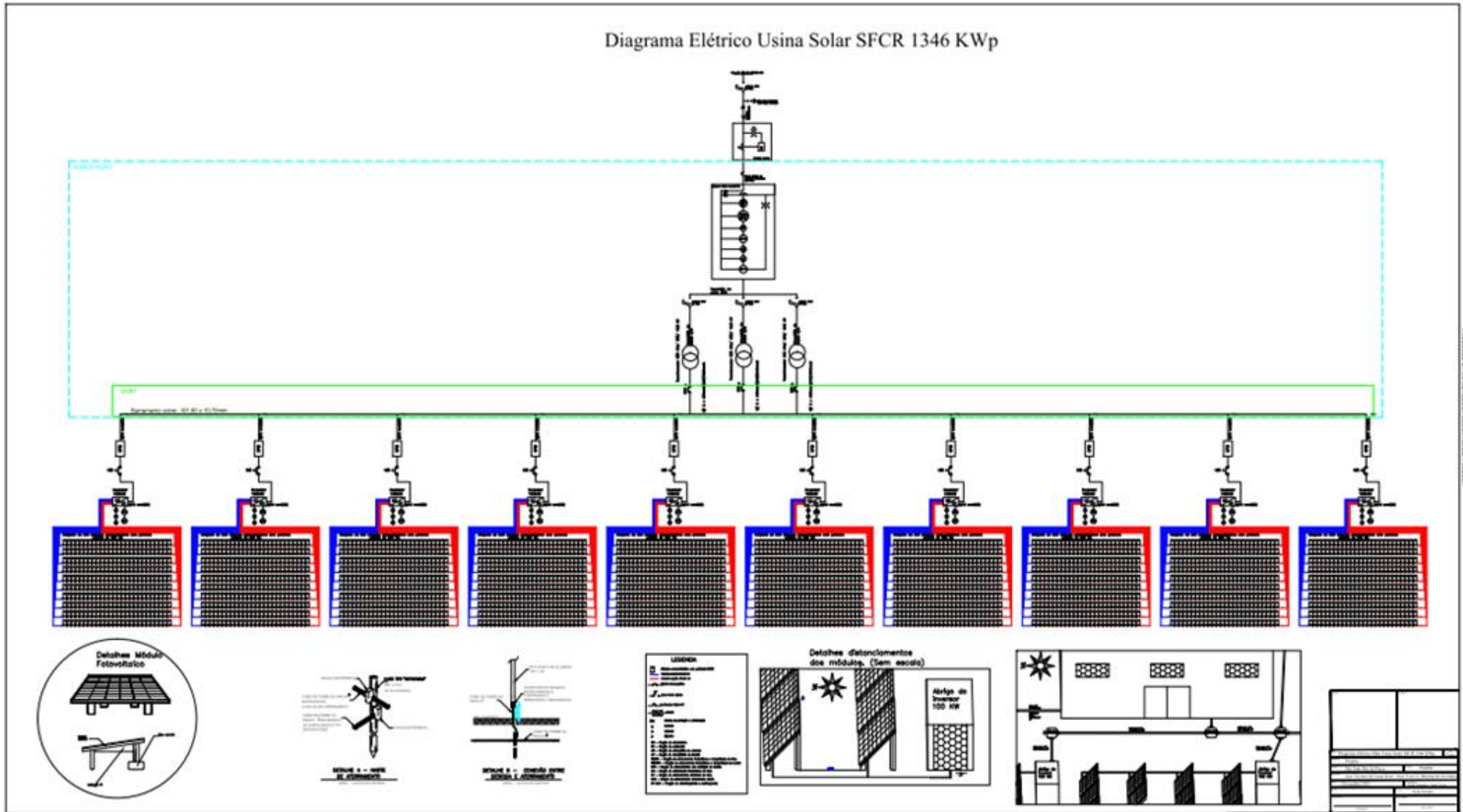
Sistema solar on grid (conectado à rede). **Portal Solar**, 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-solar-conectado-a-rede-on-grid>. Acesso em: 24 out.2023.

TONIN, F. **Caracterização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica na cidade de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

VELLUTINI, F. G.; SILVA, L. B.; MARQUES, L. O. **O impacto do aumento do uso de**

fontes renováveis alternativas na matriz elétrica brasileira. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

ANEXO A: DIAGRAMA ELÉTRICO USINA SOLAR SFCR 1346 KWP PARA CIDADE DE SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE – PB.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

ANEXO B: ANÁLISE DE INVESTIMENTO USINA SOLAR, POTÊNCIA 1346 KWP PARA CIDADE DE SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE – PB.

ANÁLISE DE INVESTIMENTO USINA SOLAR POTENCIA 1346 KW, Bsão João Rio do Peixe

Premissas Consumo X Sistema Solar Cliente	
Instalação (kWp)	1346
Preço (kWp)	R\$ 3.665,69
Distribuidora Local	ENERGISA PB
Tarifa Distribuidora (R\$/kWh)	0,77

Premissas Tarifa Energia	
Previsão Reajustes (a.a.)	
2024	36%
2025	35%
2026	35%
2027	33%
2028 -2046	61%

Análise de Investimento Cliente - K Próprio	
Investimento Sistema Solar	R\$ 4.934.012,62
Payback (Anos)	2,85
Ganho Total Projeto (R\$)	R\$ 37.161.032,55
Ganho Total Projeto (%)	753%

ANO	Eficiência Módulos FV	Geração Mensal (kWh)	Geração Anual (kWh)	Tarifa Disco (R\$/kWh)	Economia Mensal Estimada (R\$)	Economia Anual Estimada (R\$)	Operação & Manutenção
ANO 01	100%	193016	2316196,8	R\$ 0,77	R\$ 148.622,63	R\$ 1.783.471,54	R\$ 57.071,09
ANO 02	97,5%	188191	2258292	R\$ 0,77	R\$ 144.907,06	R\$ 1.738.884,75	R\$ 55.644,31
ANO 03	96,8%	186840	2242079	R\$ 0,77	R\$ 143.866,70	R\$ 1.726.400,45	R\$ 55.244,81
ANO 04	96%	177543	2130513	R\$ 0,77	R\$ 136.707,94	R\$ 1.640.495,32	R\$ 52.495,85
ANO 05	95,3%	176248	2114978	R\$ 0,77	R\$ 135.711,11	R\$ 1.628.533,38	R\$ 52.113,07
ANO 06	94,5%	174769	2097224	R\$ 0,77	R\$ 134.571,88	R\$ 1.614.862,58	R\$ 51.675,60
ANO 07	93,9%	173585	2083021	R\$ 0,77	R\$ 133.660,50	R\$ 1.603.925,95	R\$ 51.325,63
ANO 08	93,0%	171995	2063935	R\$ 0,77	R\$ 132.435,82	R\$ 1.589.229,85	R\$ 50.855,36
ANO 09	92,3%	170700	2048400	R\$ 0,77	R\$ 131.438,99	R\$ 1.577.267,90	R\$ 50.472,57
ANO 10	91,5%	169220	2030646	R\$ 0,77	R\$ 130.299,76	R\$ 1.563.597,11	R\$ 50.035,11
ANO 11	90,8%	167926	2015111	R\$ 0,77	R\$ 129.302,93	R\$ 1.551.635,16	R\$ 49.652,33
ANO 12	90,0%	166446	1997356	R\$ 0,77	R\$ 128.163,70	R\$ 1.537.964,37	R\$ 49.214,86
ANO 13	89,3%	165152	1981821	R\$ 0,77	R\$ 127.166,87	R\$ 1.526.002,42	R\$ 48.832,08
ANO 14	88,5%	163672	1964067	R\$ 0,77	R\$ 126.027,64	R\$ 1.512.331,63	R\$ 48.394,61
ANO 15	87,8%	162378	1948532	R\$ 0,77	R\$ 125.030,81	R\$ 1.500.369,68	R\$ 48.011,83
ANO 16	87,0%	160898	1930778	R\$ 0,77	R\$ 123.891,57	R\$ 1.486.698,89	R\$ 47.574,36
ANO 17	86,3%	159604	1915243	R\$ 0,77	R\$ 122.894,75	R\$ 1.474.736,94	R\$ 47.191,58
ANO 18	85,5%	158124	1897489	R\$ 0,77	R\$ 121.755,51	R\$ 1.461.066,15	R\$ 46.754,12
ANO 19	84,8%	156829	1881954	R\$ 0,77	R\$ 120.758,68	R\$ 1.449.104,20	R\$ 46.371,33
ANO 20	84,0%	155350	1864199	R\$ 0,77	R\$ 119.619,45	R\$ 1.435.433,41	R\$ 45.933,87
ANO 21	83,3%	154055	1848664	R\$ 0,77	R\$ 118.622,62	R\$ 1.423.471,46	R\$ 45.551,09
ANO 22	82,5%	152576	1830910	R\$ 0,77	R\$ 117.483,39	R\$ 1.409.800,67	R\$ 45.113,62
ANO 23	81,8%	151281	1815375	R\$ 0,77	R\$ 116.486,56	R\$ 1.397.838,72	R\$ 44.730,84
ANO 24	81%	149802	1797621	R\$ 0,77	R\$ 115.347,33	R\$ 1.384.167,93	R\$ 44.293,37
ANO 25	80,3%	148507	1782086	R\$ 0,77	R\$ 114.350,50	R\$ 1.372.205,98	R\$ 43.910,59

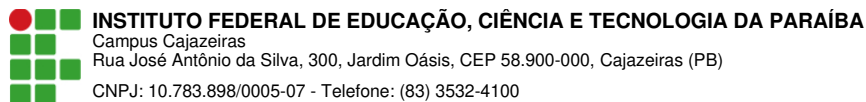
Total de energia Gerada KWh

49.856.489

R\$

38.389.496,44

Fonte: Autoria Própria, 2023.



Documento Digitalizado Restrito

Entrega de TCC.

Assunto: Entrega de TCC.
Assinado por: Yves Dutra
Tipo do Documento: Projeto
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Restrito
Hipótese Legal: Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- José Yves Guillardo Martins de Sá Dutra, ALUNO (201812200009) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 20/12/2023 22:26:48.

Este documento foi armazenado no SUAP em 20/12/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1032056

Código de Autenticação: 938760ddb1

