

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

Rodrigo Riromitsu Goulart Sobue

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA SALGADERIA DO
INTERIOR DE SÃO PAULO**

São Carlos

2024

Rodrigo Riromitsu Goulart Sobue

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA SALGADERIA DO
INTERIOR DE SÃO PAULO**

Dissertação apresentada junto ao programa de Graduação em Engenharia Elétrica - Ênfase em Automação e Sistemas de Energia a Universidade de São Paulo, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Area: Energia Solar Fotovoltaica

Orientador: Prof. Dr. Rogério Andrade Flauzino

**São Carlos
2024**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

S677e Sobue, Rodrigo Riromitsu Goulart
Estudo da viabilidade de um sistema de energia
fotovoltaica em uma salgaderia do interior de São Paulo
/ Rodrigo Riromitsu Goulart Sobue; orientador Rogério
Andrade Flauzino. São Carlos, 2024.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2024.

1. Sistema fotovoltaico. 2. Energia renovável. 3.
PVsyst. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Rodrigo Riromitsu Goulart Sobue

Título: “Estudo da Viabilidade de um Sistema de Energia Fotovoltaica em uma Salgaderia do Interior de São Paulo”

**Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em
18/06/2024,**

com NOTA 8,0 (oito, zero) , pela Comissão Julgadora:

**Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino - Orientador -
SEL/EESC/USP**

Mestre Gabriel de Souza Pereira Gomes - Doutorando EESC/USP

Mestre Victor Hideki Yoshizumi - Doutorando EESC/USP

**Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Professor Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior**

AGRADECIMENTOS

Neste momento significativo da minha jornada acadêmica, não posso deixar de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que tornaram este caminho possível e significativo. É com grande emoção que dedico este espaço aos pilares fundamentais da minha vida, aqueles que estiveram ao meu lado nos momentos de alegria e desafio, fornecendo apoio inabalável e amor incondicional.

À minha família, meu porto seguro e fonte inesgotável de inspiração, em especial aos meus pais. Vocês foram os primeiros a acreditar no meu potencial e a me incentivar a perseguir meus sonhos. Cada sacrifício que fizeram para me proporcionar oportunidades é refletido neste trabalho. Minha irmã Bianca e minha tia Milena, suas presenças constantes e encorajamentos sinceros foram essenciais para manter minha determinação. Meu cunhado Igor, com todo o seu dom de ensinar, com suas aulas de matemática no período de pré vestibular e também ajudas com cronogramas de estudos, me ajudaram a ter base pra chegar onde cheguei. Minha avó Emika, com suas refeições deliciosas e histórias engraçadas, me ajudaram a apreciar a experiência dos mais velhos, além de gerar momentos prazerosos no dia a dia. Também menciono aqueles que já partiram, meus avós Manoel, Maria e Yasumitu e minha tia Mirella, pois me fazem pensar no que é realmente importante nessa vida.

Aos meus amigos, companheiros leais de risos e conversas profundas. Suas palavras de incentivo, ombros amigos e comemorações conjuntas tornaram os desafios mais leves e as vitórias mais doces. Vocês são a prova viva de que a amizade é um tesouro inestimável. Tanto os da faculdade quanto os da minha cidade, sou eternamente grato pela quebra de tensão em diversas etapas.

À minha namorada, que compartilhou comigo não apenas os momentos felizes, mas também os momentos de ansiedade e incerteza. Seu apoio incondicional, paciência e amor me deram força para continuar, mesmo quando as pressões acadêmicas pareciam avassaladoras. Você é a luz que ilumina meu caminho, tornando cada desafio mais superável e cada triunfo mais significativo.

Por fim, agradeço ao meu professor e orientador Rogério, por ser meu orientador do trabalho de conclusão de curso e também do meu estágio. Seu apoio foi fundamental em momentos tão turbulentos em que eu me encontrava perdido.

Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental na minha jornada acadêmica, oferecendo apoio emocional inestimável e incentivando-me a persistir. Este trabalho não é apenas meu, mas também uma expressão do amor, confiança e fé que todos vocês depositaram em mim. Sou eternamente grato.

RESUMO

SOBUE, R. R. G. ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA SALGADERIA DO INTERIOR DE SÃO PAULO. 2024. **60p.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024

O avanço das tecnologias trouxe consigo o aumento da demanda por energia elétrica em todo o território mundial. O início da escassez das matrizes energéticas tradicionais e também a busca por fontes renováveis e menos poluentes tornou a energia solar fotovoltaica uma opção muito viável. Além disso, a questão econômica também chamou muita atenção nos últimos anos. Reconhecendo todos estes pontos, este trabalho procurou realizar o estudo da viabilidade de um sistema de energia fotovoltaica em uma salgaderia do interior de São Paulo. O projeto foi elaborado partindo pela análise do local a ser instalado, passou pelo dimensionamento do sistema através do software PVsyst e, por fim, foi feita a análise econômica, considerando o retorno sobre o investimento (ROI) e o tempo de payback. Os resultados preliminares indicaram que o investimento inicial bruto necessário para a implementação do projeto de 13,86 kWp foi de aproximadamente R\$ 43700,00. No primeiro ano de operação, a geração prevista do sistema foi de 20,384 MWh. Além disso, com todos os cálculos feitos, concluiu-se que o tempo de payback do projeto foi de 4,5 anos.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico, Energia Renovável, PVsyst, Payback, ROI.

ABSTRACT

SOBUE, R. R. G. FEASIBILITY STUDY OF A PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEM IN A SNACK BAR IN THE INTERIOR OF SÃO PAULO. 2024.
60p. Dissertation (Undergraduate Thesis) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

The advancement of technologies brought with it the increase in demand for electric energy throughout the world. The onset of scarcity of traditional energy matrices and also the search for renewable and less polluting sources made photovoltaic solar energy a very viable option. In addition, the economic issue also drew a lot of attention in recent years. Recognizing all these points, this work sought to carry out the feasibility study of a photovoltaic energy system in a snack bar in the interior of São Paulo. The project was developed starting from the analysis of the location to be installed, went through the sizing of the system through the PVsyst software and, finally, the economic analysis was done, considering the return on investment (ROI) and the payback time. Preliminary results indicated that the gross initial investment required for the implementation of the 13.86 kWp project was approximately R\$ 43700,00. In the first year of operation, the system's forecast generation was 20,384 MWh. In addition, with all calculations made, it was predicted that the project's payback time was 4,5 years..

Keywords: Photovoltaic System, Renewable Energy, PVsyst, Payback, ROI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O sol como fonte de energia	20
Figura 2 – Queda de preço dos sistemas fotovoltaicos	21
Figura 3 – Geração Distribuída	22
Figura 4 – Efeito fotoelétrico	23
Figura 5 – Nível de irradiância solar diário	25
Figura 6 – Mapa solarimétrico do Brasil	25
Figura 7 – Camadas presentes em uma célula fotovoltaica	26
Figura 8 – Célula monocristalina	27
Figura 9 – Célula policristalina	27
Figura 10 – Curva I x V	28
Figura 11 – Curva P x V	28
Figura 12 – Etapas da elaboração do projeto	32
Figura 13 – Energia fotovoltaica mês a mês	37
Figura 14 – Localização da Salgaderia	38
Figura 15 – Histórico de Consumo	39
Figura 16 – Irradiância e Temperatura	39
Figura 17 – Azimute de 168°	40
Figura 18 – Azimute de -12°	40
Figura 19 – Azimute	41
Figura 20 – Azimutes das águas	41
Figura 21 – Azimute 168°	42
Figura 22 – Azimute -12°	42
Figura 23 – Desenho em 3-D	42
Figura 24 – Diagrama das iso-sombrias	43
Figura 25 – Disposição dos módulos no azimute 168°	45
Figura 26 – Disposição dos módulos no azimute -12°	45
Figura 27 – Perdas presentes na geração	46
Figura 28 – Relação de consumo e energia gerada ao longo de 25 anos.	47
Figura 29 – Aumento no valor da tarifa de energia elétrica	49
Figura 30 – Fluxo de caixa do projeto	51
Figura 31 – Fluxo de caixa acumulado do projeto	51
Figura 32 – Relação do crescimento da tarifa e a previsão de geração	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Energia fotovoltaica mês a mês	37
Tabela 2 – Componentes e seus respectivos modelos	44
Tabela 3 – Componentes e seus respectivos modelos	48
Tabela 4 – Variáveis econômicas utilizadas para o estudo de viabilidade	49
Tabela 5 – Análise financeira do projeto	50
Tabela 6 – Índices de viabilidade econômica	52
Tabela 7 – Resumo do projeto	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Motivação e objetivos	18
1.1.1	Objetivos gerais	18
1.1.2	Objetivos específicos	18
1.2	Estrutura do trabalho	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	O sol como fonte de energia	20
2.2	A energia solar fotovoltaica	21
2.3	Princípios básicos da energia solar fotovoltaica	23
2.3.1	Conceitos utilizados em sistemas fotovoltaicos	24
2.3.1.1	Potência e energia elétrica	24
2.3.1.2	Radiação solar	24
2.3.1.3	Irradiância solar (G)	24
2.3.1.4	Irradiação solar ou insolação (I_{RS})	25
2.4	Sistema fotovoltaico conectado à rede (on-grid)	26
2.4.1	Módulos fotovoltaicos	26
2.4.1.1	Curvas características dos módulos fotovoltaicos	27
2.4.2	Inversor	28
2.4.3	<i>Stringbox</i>	29
2.4.4	Estrutura	29
2.5	Sistemas on-grid no Brasil	29
2.6	Avaliação econômica	30
2.6.1	Fluxo de caixa	30
2.6.2	Valor presente líquido VPL	30
2.6.3	Taxa mínima de atratividade TMA	30
2.6.4	Taxa interna de retorno TIR	30
2.6.5	<i>Payback</i>	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	Introdução e Revisão bibliográfica	33
3.2	Estudos técnicos e obtenção de dados	33
3.3	Estudos econômicos	34
3.3.1	Custos gerais	34
3.3.2	Indicadores financeiros	34

4	RESULTADOS	35
4.1	Cálculos hipotéticos	35
4.2	Simulações	37
4.2.1	Etapa 2: Escolha da localização	38
4.2.2	Etapa 3: Avaliação da conta de energia e obtenção de dados relevantes	38
4.2.3	Etapa 4: Escolha dos módulos e das orientações dos telhados	40
4.2.4	Etapa 5: Modelo em 3-D da estrutura	42
4.2.4.1	Etapa 5.1: Avaliação de área de telhado	43
4.2.4.2	Etapa 5.2: Estudo de sombras	43
4.2.5	Etapa 6: Montagem do sistema	44
4.2.6	Etapa 7: Análise da disposição dos módulos fotovoltaicos	45
4.2.7	Etapa 8: Estudo de perdas via <i>software</i>	46
4.2.8	Etapa 9: Avaliação Econômica	47
4.3	Resumo do projeto	52
5	CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS		55
ANEXOS		59
ANEXO A – CONTA DE ENERGIA USADA DE REFERÊNCIA		60

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes de energia renovável de 2,5% pelos próximos dois anos ([ESFERABRASIL, 2024](#)) tem impulsionado a busca por soluções mais sustentáveis e eficientes no cenário energético global. Nesse contexto, a energia fotovoltaica desponta como uma alternativa promissora, não apenas para a redução de custos operacionais, mas também para a preservação ambiental, oferecendo uma abordagem mais sustentável na geração de energia.

Anteriormente, na década de 90, o Sistema Elétrico de Potência (SEP) brasileiro era dominado por empresas estatais, como a Eletrobras e suas subsidiárias, responsáveis pela geração, transmissão e distribuição unidirecional da energia. Mudanças estruturais, como as privatizações, a criação do mercado livre de energia, a legislação do setor elétrico e a fundação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), foram fundamentais para remodelar o SEP ([CASTRO; FERNANDES, 2007](#)). Um dos avanços notáveis foi a implementação do conceito de Geração Distribuída, onde pequenos geradores foram progressivamente se tornando mais presentes, complementando a geração das grandes usinas.

O Brasil, conhecido por sua abundância em recursos naturais, destaca-se pela alta irradiação solar ao longo do ano de aproximadamente 5.153Wh/m^2 ([HISATOMI, 2024](#)). A energia fotovoltaica, especialmente, oferece não apenas uma fonte limpa e renovável, mas também vantagens econômicas. Incentivos governamentais, como linhas de financiamento e programas de incentivo fiscal, têm impulsionado a adoção da energia solar, tornando a instalação de sistemas fotovoltaicos mais acessível para consumidores comerciais e residenciais.

Além disso, os benefícios ambientais são notáveis. A energia solar fotovoltaica reduz as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo significativamente para a mitigação das mudanças climáticas. Ao se integrar a essa fonte, estabelecimentos comerciais não apenas reduzem sua pegada de carbono, mas também promovem uma imagem de responsabilidade ambiental.

Este estudo, no contexto da evolução do setor elétrico e reconhecendo o potencial da energia solar, busca explorar os aspectos técnicos, econômicos e ambientais associados à implementação de energia fotovoltaica em estabelecimentos comerciais, destacando sua importância na transição para fontes mais sustentáveis de energia.

1.1 Motivação e objetivos

A decisão estratégica de adotar um sistema de energia solar fotovoltaica na salgaderia é impulsionada principalmente pelo objetivo de reduzir consideravelmente os gastos mensais, aliando essa economia aos benefícios ambientais que a energia solar oferece. Em um cenário onde equipamentos elétricos como fritadeiras, freezers, câmaras frias e estufas representam uma parte substancial dos custos operacionais, a busca por fontes alternativas de energia se torna imperativa.

1.1.1 Objetivos gerais

A implementação da energia solar fotovoltaica é planejada como uma solução financeiramente viável e de longo prazo para mitigar esses custos ([PORTALSOLAR, 2024](#)). Ao reduzir significativamente a dependência da rede elétrica convencional, o estabelecimento visa cortar despesas recorrentes com energia, transformando a luz solar abundante em uma fonte de energia acessível e sustentável. Essa mudança não apenas visa estabilizar os custos energéticos, mas também a previsibilidade financeira a longo prazo, fornecendo um retorno tangível sobre o investimento realizado na instalação do sistema fotovoltaico.

Além da redução de gastos, a adoção da energia solar representa um compromisso com práticas mais sustentáveis. Ao aproveitar uma fonte de energia limpa e renovável, a salgaderia busca reduzir sua pegada de carbono e contribuir para a preservação do meio ambiente. A energia solar fotovoltaica, ao reduzir as emissões de carbono associadas à geração de energia, oferece benefícios ambientais que se alinham aos objetivos de responsabilidade social e sustentabilidade.

Nesse sentido, a implementação da energia solar fotovoltaica na salgaderia visa não apenas atender às demandas energéticas do estabelecimento e reduzir custos, mas também representa um passo em direção a práticas comerciais mais sustentáveis e responsáveis ambientalmente.

1.1.2 Objetivos específicos

O objetivo específico do trabalho é realizar um estudo detalhado sobre a geração de energia fotovoltaica, utilizando como base o cálculo teórico para dimensionamento do sistema. Inicialmente, será feita uma análise teórica para estimar a produção de energia solar em condições ideais. Em seguida, será elaborado um projeto utilizando o software PVsyst, reconhecido internacionalmente pela sua precisão e funcionalidade na simulação de sistemas fotovoltaicos. Com base nesse projeto, serão realizadas simulações para um sistema real, considerando variáveis como localização geográfica, orientação e inclinação dos painéis, entre outras. Ao final, os resultados obtidos serão apresentados de forma clara e analítica, destacando a viabilidade e eficiência do sistema proposto.

1.2 Estrutura do trabalho

Após a introdução apresentada, o trabalho possuirá outros quatro capítulos, separados em:

- **Revisão Bibliográfica(Capítulo 2):** Análise aprofundada da literatura existente sobre energia solar fotovoltaica, seu uso no setor comercial, principalmente na indústria alimentícia. Inclusão de estudos de caso relevantes, informações sobre a geração distribuída e os benefícios econômicos e ambientais da energia solar.
- **Metodologia (Capítulo 3):** Descrição detalhada da abordagem metodológica adotada no estudo. Explicação dos métodos de coleta de dados, instrumentos de análise e critérios utilizados para avaliar a viabilidade do sistema fotovoltaico na salgaderia. Detalhamento dos passos seguidos para a realização do estudo.
- **Resultados (Capítulo 4):** Apresentação e interpretação dos resultados obtidos durante a análise da viabilidade do sistema de energia solar fotovoltaica na salgaderia. Inclusão de dados econômicos, técnicos e ambientais relevantes, demonstrando os impactos potenciais da implementação do sistema.
- **Conclusão (Capítulo 5):** Síntese dos resultados obtidos e sua relação com os objetivos propostos. Discussão sobre a viabilidade do sistema de energia solar fotovoltaica na salgaderia, enfatizando os benefícios econômicos, ambientais e práticos. Recomendações finais e possíveis direções para futuros estudos na área.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O sol como fonte de energia

O Sol, nossa estrela central, desempenha um papel vital como fonte inesgotável de energia para o nosso planeta. A cada hora, a Terra recebe uma quantidade incrível de energia solar equivalente a mais de 173.000 terawatts ([NASA, 2016](#)). Essa energia é mais do que suficiente para atender às necessidades globais de eletricidade por um ano inteiro. A energia solar é gerada pelo processo de fusão nuclear no núcleo do Sol, onde a pressão e a temperatura extremas convertem hidrogênio em hélio, liberando enormes quantidades de energia na forma de radiação solar. Esta radiação viaja pelo espaço até alcançar a Terra em forma de luz visível e radiação infravermelha.

Na Terra, essa energia solar é capturada e aproveitada por meio de tecnologias como os painéis fotovoltaicos, que convertem diretamente a luz solar em eletricidade, e os sistemas térmicos solares, que utilizam o calor solar para aquecer água ou produzir vapor para geração de eletricidade. A figura 1 demonstra uma pequena representação de um sistema fotovoltaico.

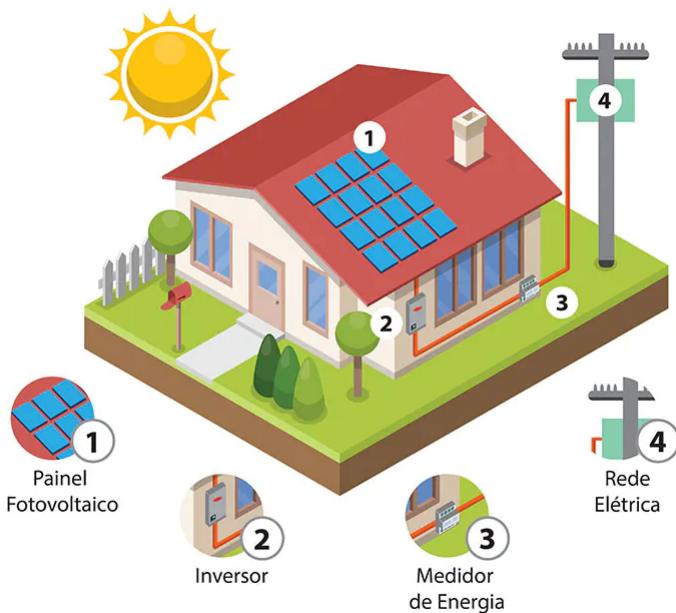


Figura 1 – O sol como fonte de energia

Fonte: ([MINHACASASOLAR, 2018](#))

A grande vantagem da energia solar é sua disponibilidade constante e sua capacidade de ser capturada em diversas regiões do planeta. Além disso, é uma fonte limpa, não

poluente e renovável, reduzindo significativamente as emissões de gases de efeito estufa quando comparada a outras fontes de energia.

O desenvolvimento contínuo de tecnologias solares e a sua integração inteligente nos sistemas energéticos globais são passos fundamentais para uma transição mais sustentável e para a redução da dependência de combustíveis fósseis.

O Sol desempenha um papel crucial no caminho rumo a um futuro energético mais limpo e sustentável para o nosso planeta.

2.2 A energia solar fotovoltaica

A energia solar tem se destacado como uma opção cada vez mais acessível e atrativa para residências e comércios, impulsionando uma revolução energética em direção à sustentabilidade. Uma das principais razões para essa crescente adoção é a marcante diminuição nos preços dos sistemas fotovoltaicos ao longo dos anos ([PORTALSOLAR, 2021b](#)).

A redução de custos está diretamente relacionada ao avanço tecnológico e à ampliação da escala de produção, o que resultou em uma maior eficiência na fabricação dos painéis solares. Essa queda de preço tem tornado os sistemas solares uma escolha viável para consumidores residenciais e comerciais, permitindo uma transição econômica e ambientalmente vantajosa. A figura 2 demonstra a variação de preço nos últimos anos.



Figura 2 – Queda de preço dos sistemas fotovoltaicos

Fonte: ([ABSOLAR, 2023](#))

Em residências, a instalação de sistemas fotovoltaicos não só proporciona uma fonte de energia limpa e sustentável, mas também representa uma economia a longo prazo.

Com a diminuição dos custos de aquisição e instalação, os proprietários podem gerar sua própria eletricidade, reduzindo significativamente as contas de energia e garantindo uma fonte estável de eletricidade.

Já no setor comercial, a adoção de sistemas solares também tem se mostrado vantajosa. Empresas estão implementando a geração distribuída, instalando painéis solares em seus edifícios ou terrenos. Isso não apenas reduz os custos operacionais a longo prazo, mas também oferece uma imagem mais sustentável e responsável perante os clientes, impulsionando uma consciência ambiental corporativa.

A geração distribuída, viabilizada pela energia solar, permite que consumidores residenciais e comerciais gerem eletricidade para seu próprio consumo, com possibilidade de fornecer o excedente para a rede elétrica, promovendo uma maior estabilidade ao sistema e contribuindo para a redução da dependência de fontes tradicionais de energia. A figura 3 demonstra algumas características da geração distribuída ([ABSOLAR, 2023](#)).



Figura 3 – Geração Distribuída

Fonte: ([ABSOLAR, 2023](#))

A queda nos preços dos sistemas de energia solar tem sido um catalisador para a transição energética, oferecendo oportunidades de economia, independência energética e redução das emissões de carbono. Essa evolução no setor energético está impulsionando um futuro mais sustentável e acessível, tanto para residências quanto para o setor comercial.

2.3 Princípios básicos da energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é um sistema de geração de eletricidade que converte a luz solar diretamente em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Esse fenômeno ocorre nos painéis solares fotovoltaicos, compostos por células fotovoltaicas feitas de materiais semicondutores, como o silício. ([PORTALSOLAR, 2021b](#))

Quando os fótons da luz solar atingem as células fotovoltaicas, eles transferem sua energia para os elétrons presentes no material semicondutor. Esse processo gera uma diferença de potencial elétrico, criando um fluxo de elétrons, ou corrente elétrica, dentro do material. As células são conectadas em série e em paralelo para formar módulos fotovoltaicos, aumentando a tensão e a corrente, tornando-os capazes de produzir a energia elétrica necessária para alimentar diferentes tipos de equipamentos e sistemas. A figura 4 apresenta o efeito fotoelétrico.

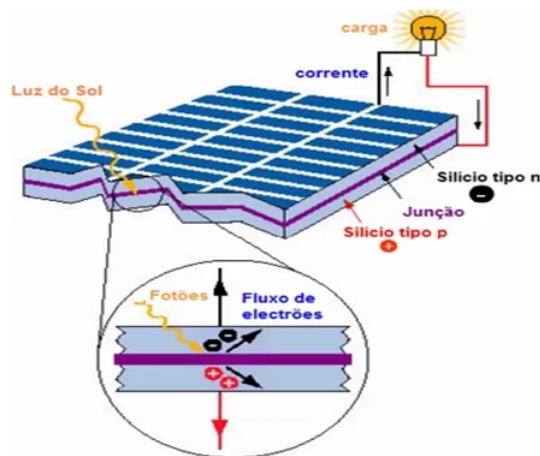


Figura 4 – Efeito fotoelétrico

Fonte: ([MOREIRA, 2021](#))

Essa eletricidade gerada pelos painéis solares é, então, direcionada para um inversor, dispositivo responsável por converter a corrente contínua (CC) produzida pelas células fotovoltaicas em corrente alternada (CA), que é a forma de eletricidade usada na maioria das residências e estabelecimentos comerciais.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser dimensionados de acordo com a demanda de energia, variando desde pequenos sistemas residenciais até grandes fazendas solares. A durabilidade dos painéis solares, seu baixo custo de manutenção e a ausência de partes móveis na maioria dos sistemas os tornam uma fonte sustentável de eletricidade.

2.3.1 Conceitos utilizados em sistemas fotovoltaicos

2.3.1.1 Potência e energia elétrica

Potência Elétrica é a taxa na qual a energia é transferida ou transformada. Em termos elétricos, representa a quantidade de energia consumida ou produzida por unidade de tempo. É medida em watts (W) e descreve o quanto rápido a energia elétrica está sendo usada ou fornecida. Quanto maior a potência, mais rápida é a transferência de energia.

Por outro lado, Energia Elétrica refere-se à quantidade total de energia consumida ou produzida ao longo do tempo. É a quantidade de trabalho que pode ser realizada usando essa energia elétrica. A unidade usual para medição de energia é o joule (J) ou o kilowatt-hora (kWh) para quantidades maiores de energia.

2.3.1.2 Radiação solar

A radiação solar é a energia emitida pelo Sol na forma de luz e calor, crucial para sustentar a vida e impulsionar processos naturais em nosso planeta. Ao chegar à Terra, essa radiação passa por diferentes processos, incluindo a radiação direta, difusa e refletida.

- Radiação direta: é a luz solar que chega em linha reta do Sol.
- Radiação difusa: é a luz dispersa na atmosfera, chegando de várias direções, comum em dias nublados.
- Radiação refletida: é a luz que rebate em superfícies como nuvens, água e neve.

2.3.1.3 Irradiância solar (G)

A irradiância solar é a quantidade de energia solar que atinge uma área específica em um determinado momento, medida em watts por metro quadrado (W/m^2). Ela indica o potencial de geração de energia solar em um local, variando ao longo do dia, do ano e de acordo com fatores geográficos. Essa medida é crucial para dimensionar sistemas solares, prever produção de energia e desenvolver tecnologias mais eficientes para capturar e converter energia solar. A figura 5 demonstra a influência das nuvens na irradiância.

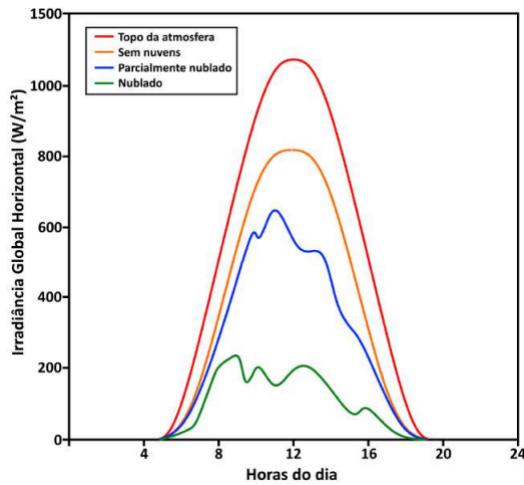


Figura 5 – Nível de irradiância solar diário

Fonte: ([CARI, 2021](#))

2.3.1.4 Irradiação solar ou insolação (I_{RS})

A irradiação solar, também conhecida como insolação, refere-se à quantidade total de energia solar recebida em uma determinada área durante um período específico, geralmente expressa em horas de sol por dia ou em energia por metro quadrado ao longo do dia. Ela representa a duração e a intensidade da luz solar que atinge uma região em um determinado período de tempo. A figura 6 demonstra a distribuição da radiação solar pelo Brasil.

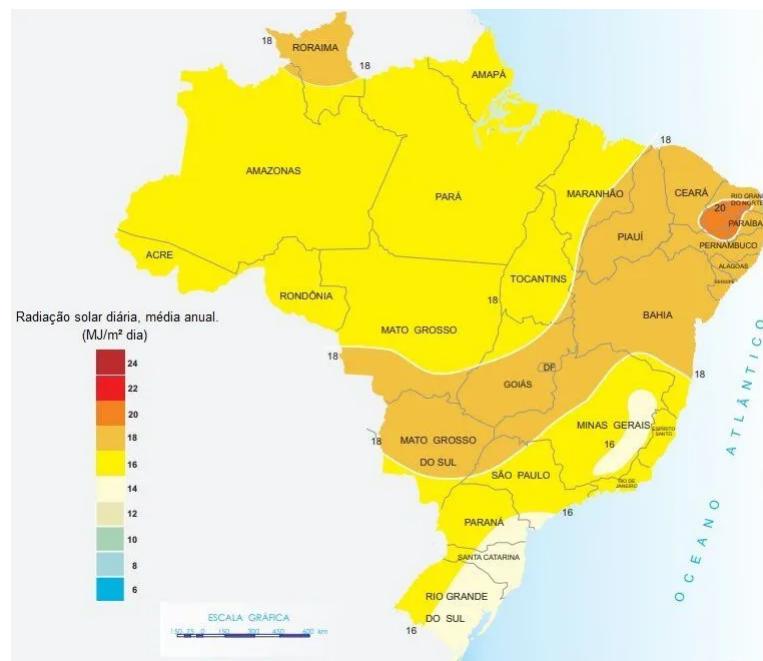


Figura 6 – Mapa solarimétrico do Brasil

Fonte: ([SOLARFY, 2023](#))

A insolação varia de acordo com a localização geográfica, a estação do ano e as condições climáticas. É uma medida importante para calcular a quantidade de energia solar disponível para atividades como geração de energia fotovoltaica, aquecimento solar e agricultura, sendo essencial para o planejamento e a avaliação de projetos que dependem da energia solar.

2.4 Sistema fotovoltaico conectado à rede (on-grid)

Um sistema fotovoltaico conectado à rede, também conhecido como *on-grid* ou *grid-te*, refere-se a um sistema conectado à rede elétrica convencional. Nesse sistema, os módulos fotovoltaicos geram eletricidade que é usada no local e, quando há excedente, é enviado de volta para a rede elétrica. Isso permite que o proprietário do sistema receba créditos ou descontos na conta de energia. A interconexão proporciona um equilíbrio entre a energia solar gerada localmente e a energia proveniente da rede elétrica, garantindo uma fonte estável de eletricidade.

A seguir, são mencionados os elementos que compõem o sistema fotovoltaico.

2.4.1 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são compostos por células fotovoltaicas, geralmente feitas de silício, que convertem a luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. O efeito fotoelétrico é um fenômeno em que a luz incidente em uma superfície metálica provoca a emissão de elétrons dessa superfície. Isso acontece quando os fótons de luz incidem sobre o material, transferindo sua energia para os elétrons na superfície do metal. Se a energia dos fótons for suficiente para vencer a energia de ligação dos elétrons ao metal, esses elétrons são liberados, criando uma corrente elétrica (HELERBROCK, 2023). Cada célula possui duas camadas dopadas com materiais que geram uma diferença de potencial quando expostas à luz solar. Quando os fótons da luz solar atingem essas camadas, eles transferem sua energia para os elétrons, gerando uma corrente elétrica. A figura 7 ilustra as camadas de uma célula fotovoltaica.

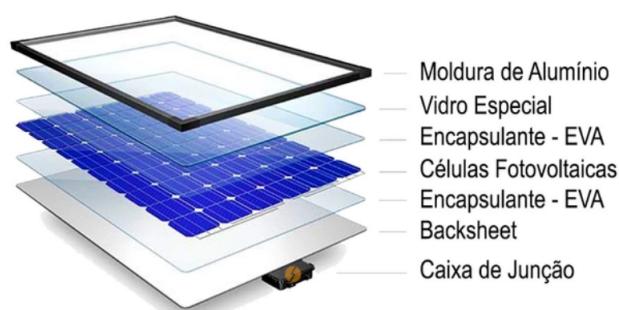


Figura 7 – Camadas presentes em uma célula fotovoltaica

Fonte: ([PORTALSOLAR, 2021c](#))

Existem diferentes tipos de módulos fotovoltaicos, como os monocristalinos e policristalinos. Células solares monocristalinas são feitas de um único cristal de silício, oferecendo alta eficiência, porém sendo mais caras de produzir devido à complexidade do processo. Já as células policristalinas são feitas de múltiplos cristais, sendo ligeiramente menos eficientes, mas mais econômicas na fabricação. Segundo ([ALPHASOLAR, 2021](#)), os módulos monocristalinos possuem eficiência energética de 15% a 22% a mais que os policristalinos, sendo estes em média 20% mais baratos. A escolha entre elas depende das necessidades específicas de cada projeto solar, considerando eficiência e custo. As figuras [8](#) e [9](#) demonstram resumidamente as etapas de produção de cada tipo de célula.



Figura 8 – Célula monocristalina

Fonte: ([PORTALSOLAR, 2021a](#))



Figura 9 – Célula policristalina

Fonte: ([PORTALSOLAR, 2021a](#))

2.4.1.1 Curvas características dos módulos fotovoltaicos

Em todos os módulos fotovoltaicos existentes no mercado, existem duas curvas características associadas a eles. As figuras [10](#) e [11](#) apresentam as curvas de corrente por tensão e potência por tensão, respectivamente.

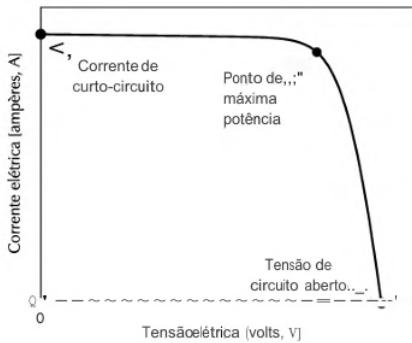


Figura 10 – Curva I x V

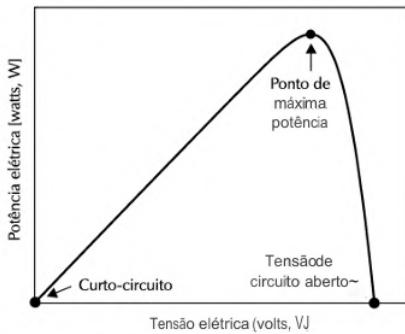
Fonte: ([VILLALVA, 2012](#))

Figura 11 – Curva P x V

Fonte: ([VILLALVA, 2012](#))

Tais curvas servem pra avaliar o ponto de melhor operação dos painéis. Nestas, é possível observar a corrente de curto-circuito (I_{SC}), que é obtida ao avaliar a corrente do módulo fotovoltaico ao conectar seus terminais. Também é possível observar a tensão em circuito aberto (V_{OC}), obtida ao avaliar a tensão dos terminais.

2.4.2 Inversor

O inversor é um componente crucial em sistemas fotovoltaicos, responsável por converter a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA), que é a forma de eletricidade usada na maioria dos dispositivos elétricos. Esse processo é essencial para que a energia solar gerada possa ser utilizada em residências e estabelecimentos comerciais, já que a maioria dos aparelhos funciona com corrente alternada.

Existem diferentes tipos de inversores, como os centralizados, que convertem a energia de vários painéis em um único ponto, os inversores *string*, que agrupam um número de painéis em *strings* e convertem sua energia, e os microinversores, que são instalados em cada painel e convertem a energia de forma individual. ([CARI, 2021](#))

2.4.3 *Stringbox*

A *stringbox* é um componente essencial em sistemas fotovoltaicos de módulos fotovoltaicos conectados em série. Ela funciona como um ponto de conexão central para os *strings* de painéis solares, protegendo o sistema com diodos de *bypass* e dispositivos de segurança. Além disso, facilita o monitoramento do desempenho dos painéis, permitindo a rápida identificação de falhas. ([CARI, 2021](#))

2.4.4 Estrutura

A estrutura de montagem é responsável por sustentar e posicionar os módulos fotovoltaicos de maneira adequada. Ela deve garantir a inclinação e orientação corretas dos painéis para otimizar a captação da luz solar. Essas estruturas podem ser fixas ou ajustáveis, permitindo a adaptação à direção do sol ao longo do dia ou do ano. ([CARI, 2021](#))

2.5 Sistemas *on-grid* no Brasil

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* têm se expandido consideravelmente no Brasil nos últimos anos. A Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL impulsionou a geração distribuída, permitindo que consumidores se tornem geradores do próprio consumo, e isso se reflete nos números do setor.

Até agosto de 2023, o país alcançou uma marca significativa, ultrapassando os 23 gigawatts (GW) de capacidade instalada em geração distribuída, sendo os sistemas fotovoltaicos uma parte expressiva desse montante, com aproximadamente 98% ([AGENCIABRASIL, 2023](#)). Esse crescimento foi notável, com um aumento de cerca de 46% na capacidade instalada comparando Março de 2022 com Março de 2023, demonstrando uma rápida adoção dessas tecnologias. Segundo [ABGD \(2023\)](#), o Brasil faz parte dos dez países que mais produzem energia solar do mundo, com previsão de investimento de cerca de R\$ 38 bilhões, chegando ao fim de 2023 com 26GW de potência gerada.

Além disso, a implementação de políticas de incentivo, como a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, e os benefícios fiscais concedidos em níveis estaduais e municipais têm sido fatores determinantes nesse crescimento. As linhas de crédito específicas para energia solar também têm facilitado o acesso a esses sistemas, impulsionando ainda mais a demanda.

Esses números refletem uma tendência promissora em direção a uma matriz energética mais diversificada e sustentável no Brasil, demonstrando não apenas a rápida adoção dos sistemas fotovoltaicos *on-grid*, mas também a conscientização sobre os benefícios econômicos e ambientais associados a essa transição.

2.6 Avaliação econômica

No estudo serão utilizados indicadores econômicos para o estudo de viabilidade.

2.6.1 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa é como um registro do dinheiro que entra e sai durante um certo tempo em um projeto. Ele ajuda a controlar o que se gasta enquanto o projeto está sendo feito. Antes de começar um projeto, é importante olhar para o fluxo de caixa e ver se tem recursos suficientes para que o projeto possa acontecer sem problemas. ([CAMARGO, 2017b](#))

2.6.2 Valor presente líquido VPL

O Valor Presente Líquido é uma forma de calcular se um investimento vale a pena. Ele soma todo o dinheiro que você espera ganhar com o projeto e subtrai o quanto você vai gastar para começar. Para fazer isso, usa-se uma taxa especial chamada Taxa Mínima de Atratividade que ajuda a entender o valor do dinheiro com o tempo. ([CAMARGO, 2017d](#))

2.6.3 Taxa mínima de atratividade TMA

A taxa mínima de atratividade representa o mínimo que o projeto deve retornar para que sua viabilidade seja considerada aceitável. ([CAMARGO, 2017a](#))

2.6.4 Taxa interna de retorno TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um indicador que calcula a rentabilidade de um investimento. Para encontrá-la, estima-se o dinheiro que o investimento deve gerar no futuro e se ajusta a taxa até que o Valor Presente Líquido (VPL) seja zero. Isso significa que o investimento pagou seu custo inicial e não tem perda nem ganho. Investidores usam a TIR para decidir se um projeto vale a pena ou não, caso a TIR seja maior que a TMA, o projeto é viável economicamente, caso contrário, não. ([CAMARGO, 2017c](#))

2.6.5 Payback

O *payback*, no contexto de sistemas fotovoltaicos, refere-se ao período de tempo necessário para que o investimento inicial em um sistema de energia solar seja recuperado por meio das economias resultantes na conta de energia elétrica. Em outras palavras, é o tempo que leva para os ganhos financeiros gerados pelo sistema solar igualarem ou ultrapassarem os custos iniciais de instalação. Geralmente, o *payback* de um sistema fotovoltaico é influenciado por vários fatores, como o custo total do sistema, incentivos fiscais ou subsídios, a quantidade de eletricidade gerada e consumida, tarifas de energia, entre outros. Em locais onde há altos custos de eletricidade e incentivos governamentais, o *payback* pode ser mais rápido, muitas vezes variando de 5 a 10 anos.

À medida que os custos de instalação dos sistemas solares continuam a diminuir e a eficiência dos painéis solares aumenta, os períodos de *payback* têm diminuído significativamente ao longo dos anos. Isso torna os sistemas fotovoltaicos não apenas uma escolha ambientalmente sustentável, mas também uma opção financeiramente atrativa, oferecendo retornos econômicos tangíveis ao longo do tempo. ([PORTALSOLAR, 2023](#))

É importante destacar que, após o período de *payback*, o sistema solar continua a gerar economias substanciais na conta de energia elétrica, contribuindo para um custo de eletricidade mais baixo a longo prazo e oferecendo um retorno contínuo sobre o investimento inicial.

3 METODOLOGIA

Como pôde ser lido nos capítulos anteriores, a introdução e a revisão bibliográfica apresentaram os conceitos teóricos que serão necessários para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, além do estudo necessário para a análise de seus aspectos econômicos.

Considerando tanto a parte teórica sobre energia fotovoltaica, quanto a parte de simulações via *software*, foi necessário o estudo de cada uma das etapas do desenvolvimento de um sistema. Através dos cursos de extensão universitária disponibilizado pela Universidade de São Paulo (USP): "Introdução aos Sistemas Fotovoltaicos, Dimensionamento e Instalação" e "Dimensionamento Avançado de Sistemas Fotovoltaicos Usando PVSYST", ambos ministrados por membros da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), foi possível obter conhecimento teórico, além de aprender a testar os projetos.

Inicialmente serão realizados os cálculos teóricos aprendidos no curso, para se ter uma ideia de como seria um sistema ideal que suprisse toda a demanda do estabelecimento. Utilizando equações para potência fotovoltaica, energia fotovoltaica e obtendo os valores de irradiação solar no local, é possível calcular o número de módulos necessário para o projeto. Entretanto, nas simulações são encontrados impecílos que devem ser considerados.

O processo de elaboração do projeto real via *software* separado por etapas está representada pela figura 12.

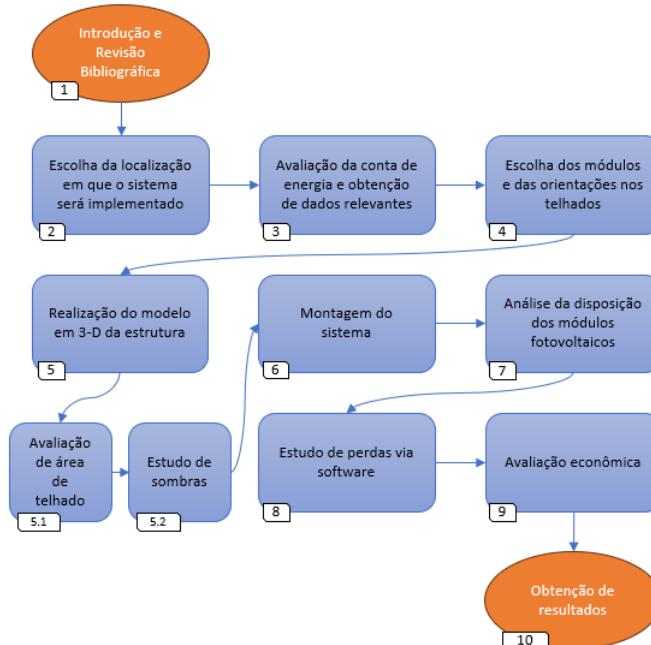


Figura 12 – Etapas da elaboração do projeto

Fonte: Elaborada pelo autor

3.1 Introdução e Revisão bibliográfica

A etapa 1 apresentado na imagem, representa a introdução e a revisão bibliográfica, apresentando toda a bagagem teórica necessária para o projeto. Já foi apresentada nos capítulos 1 e 2 deste trabalho.

3.2 Estudos técnicos e obtenção de dados

Através dos cursos realizados, foi aprendido que o primeiro passo para o desenvolvimento de um sistema de energia fotovoltaica é definir sua localização (etapa 2), através do Google Maps, foi possível especificar o endereço da salgaderia e obter suas coordenadas geográficas.

Com esses dados em mãos, é possível obter os valores relacionados ao potencial energético da localização. Através do banco de dados meteorológicos Meteonorm 8.1, são obtidos os valores de irradiância e temperatura da região.

Baseando-se na conta de energia elétrica da salgaderia, é possível obter o histórico de consumo energético da mesma, podendo ser utilizado para determinar a quantidade de módulos que será necessária para suprir a demanda local (etapa 3).

Na etapa 4, serão escolhidos os modelos dos painéis que serão instalados e também serão definidas as inclinações e azimutes dos telhados, afim de obter a maior produção. Os azimutes são obtidos via *google maps*, com uma simples avaliação de angulação com um transferidor. A angulação dos telhados é obtida através do aplicativo Medida do celular iPhone, onde existe a função "Nível".

Através do desenvolvimento do modelo em 3-D da estrutura (etapa 5), é possível realizar o estudo de sombras (etapa 5.1). Além disso, através do modelo, também é possível averiguar qual é área de telhado disponível (etapa 5.2) para a utilização no projeto, considerando que esse fator é extremamente limitante em sistemas de energia fotovoltaica.

No *software PVsyst*, será realizada a montagem do sistema (etapa 6) utilizando os dados obtidos nos passos anteriores. A primeira entrada será a área de telhado disponível, além do tipo de painel a ser utilizado. Dessa forma, o próprio PVsyst apresenta uma proposta de como organizar os módulos, apresentando um determinado número de *strings*.

Baseando-se nas simulações, foram analisados dois tipos de caso. Aplicando módulos fotovoltaicos em todos os telhados da estrutura, foi possível observar um sombreamento em diversos grupos de módulos. A quantidade de horas com sombreamento influencia diretamente no projeto e por isso foram considerados apenas com os grupos não afetados por sombras. Assim, será realizado um estudo com o mínimo de impacto por sombras possível.

Terminada a montagem do sistema, a etapa 7 representa a disposição dos módulos

fotovoltaicos nas águas, com a melhor organização possível, respeitando as distâncias mínimas e também a área limite existente em cada telhado.

Na etapa 8, será realizada a simulação, onde são avaliadas as perdas ôhmicas nos cabeamentos, analisando os comprimentos e bitolas de cada cabo, tanto dos que ligam os módulos às *string boxes*, quanto dos que ligam as *string boxes* ao inversor. Em seguida será realizada a simulação, obtendo o diagrama de perdas anual.

3.3 Estudos econômicos

Na etapa 9, são realizados os estudos de aspecto econômico do projeto. Os estudos incluem os custos gerais, que englobam o custo de materiais e a consulta da tarifa energética da concessionária (CPFL). Esta etapa também engloba a utilização de indicadores financeiros.

3.3.1 Custos gerais

Neste estágio, todos os potenciais gastos associados aos investimentos a longo prazo (módulos fotovoltaicos, inversor, fusíveis e cabos, além dos custos de fretes) foram catalogados. Também são detalhados os custos anuais de operação e manutenção do sistema, que abrangem serviços de engenharia, planejamento, limpeza, substituição de equipamentos, entre outros. Também foi avaliado que a tarifa a ser paga pelo estabelecimento é de aproximadamente R\$0,88/kWh.

3.3.2 Indicadores financeiros

Foram levantados alguns dados a serem utilizados no estudo econômico. A vida útil dos módulos é considerada como de 25 anos, considerando uma degradação média de 0,8%/ano para a tecnologia de silício (CASSINI et al., 2020). Nesta etapa também são utilizados alguns índices, como valor presente líquido VPL, taxa mínima de atratividade TMA, taxa interna de retorno TIR e tempo de retorno de investimento Payback, todos através de suas funções no Excel.

4 RESULTADOS

No princípio do capítulo, serão realizados os cálculos de demanda energética do local, definindo o número de módulos hipotético, que supriria a necessidade do sistema. Inicialmente, é calculada a energia mensal média dos últimos 12 meses.

4.1 Cálculos hipotéticos

$$E_m = \frac{(consumojaneiro) + (consumofevereiro) + \dots + (consumodez)}{12} \quad (4.1)$$

Utilizando os dados da conta em anexo, obtém-se:

$$E_m = 3420,917kWh/mês \quad (4.2)$$

A lei [BRASIL \(2022\)](#) passou a considerar que a energia fotovoltaica a ser compensada (E_{FV}) é igual à média mensal. Logo:

$$E_{FV} = E_m = 3420,917kWh/mês \quad (4.3)$$

Em seguida, através do *sundata*, obtém-se o valor de irradiação solar (I_{RS}) da cidade de Barrinha - SP.

$$I_{RS} = 5,11kWh/mês \quad (4.4)$$

Com esses valores em mãos, é utilizada a equação de potência de pico do sistema (P_{FV}):

$$P_{FV} = \frac{1000[\frac{W}{m^2}] \cdot E_{FV}}{I_{RS} \cdot 30[dias] \cdot \eta_{sis}} \quad (4.5)$$

Onde

$$\eta_{sis} = \eta_{ar} \cdot \eta_{ter} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{var} \quad (4.6)$$

Sendo:

- Eficiência devido à poluição do ar (η_{ar}) variando de 0,9 a 0,95.

- Eficiência devido à perdas térmicas (η_{ter}) variando de 0,9 a 0,95.
- Eficiência devido ao inversor (η_{inv}) variando de 0,95 a 0,98.
- Eficiência devido à fatores como sombreamento, orientação dos módulos diferentes do ideal, etc (η_{var}) variando de 0,8 a 1,0.

Segundo [Cari \(2021\)](#), os engenheiros utilizam $\eta_{sis} = 0,8$ por ser uma boa estimativa. Desta forma, substituindo os valores de E_{FV} , I_{RS} e η_{sis} em (4.5), resulta em:

$$P_{FV} = 27893,97W \quad (4.7)$$

O projeto irá utilizar de módulos de 660W. Desta forma, é calculado o número de módulos fotovoltaicos (N_{mod}) que supriria o sistema.

$$N_{mod} = \frac{P_{FV}}{P_{mod}} \quad (4.8)$$

Resultando em:

$$N_{mod} = 42,26 \cong 43 \quad (4.9)$$

Em seguida, é atualizada a potência fotovoltaica obtida pelo número de módulos calculados e também é calculada a área total necessária para a instalação, considerando as dimensões de 2,384m por 1,303m.

$$P_{FV} = P_{mod} \cdot N_{mod} = 660 \cdot 43 = 28.380Wp \quad (4.10)$$

$$A_{total} = 2,384 \cdot 1,303 \cdot 43 = 133,57m^2 \quad (4.11)$$

Por fim, calcula-se a energia fotovoltaica (E_{FV}) a partir da potência obtida através da equação:

$$E_{FV} = \frac{P_{FV} \cdot I_{RS} \cdot n_{dias} \cdot \eta_{sis}}{1000} \quad (4.12)$$

resultando em:

$$E_{FV} = 3480,52kWh/mês \quad (4.13)$$

Da mesma forma que foi calculado até aqui, foi calculada a energia fotovoltaica mês a mês para a cidade de Barrinha/SP, com $P_{FV} = 28380W$, representada na tabela 1.

Tabela 1 – Energia fotovoltaica mês a mês

Mês	n_{dias}	I_{RS}	E_{FV}
Jan	31	5,76	4054,02624
Fev	28	6,02	3826,98624
Mar	31	5,19	3652,84656
Abr	30	4,84	3296,6208
Mai	31	4,14	2913,83136
Jun	30	3,84	2615,5008
Jul	31	4,1	2885,6784
Ago	31	4,94	3476,89056
Set	30	4,98	3391,9776
Out	31	5,56	3913,26144
Nov	30	5,84	3977,7408
Dez	31	6,08	4279,24992

Fonte: Elaborada pelo autor

Os dados da tabela também são apresentados no gráfico da figura 13.

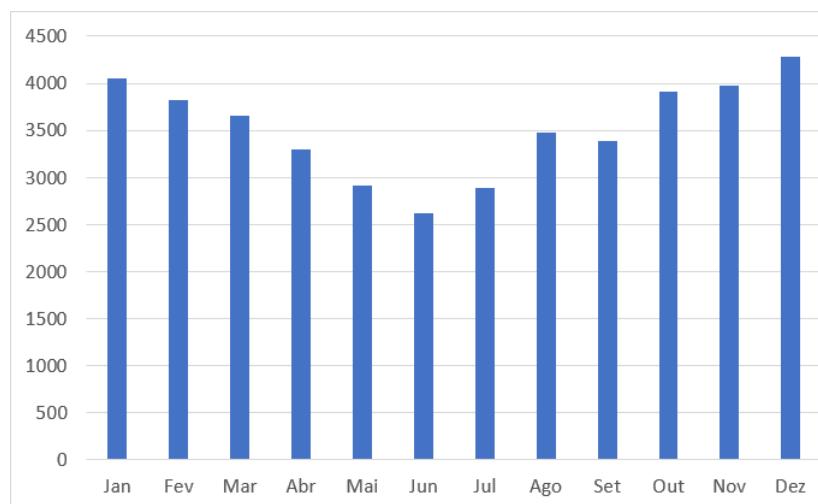


Figura 13 – Energia fotovoltaica mês a mês

Fonte: Elaborada pelo autor

Concluindo, a meta hipotética de produção seria de em média 3523,71756kWh por mês ou 42284,61072kWh por ano. Entretanto, o projeto simulado denota resultados divergentes ao estipulado.

4.2 Simulações

Através das etapas de elaboração do projeto (figura 9), em seguida serão apresentados os resultados elaborados pela simulação.

4.2.1 Etapa 2: Escolha da localização

A simulação de um sistema parte da escolha do local a ser instalado. A salgaderia Sobue Salgados fica situada na cidade de Barrinha - SP, com as coordenadas -21.194682083072266 (Sul), -48.163025730058926 (Oeste) e 519m de altitude. A figura 14 apresenta a localização no mapa. ([GOOGLE, 2024a](#))

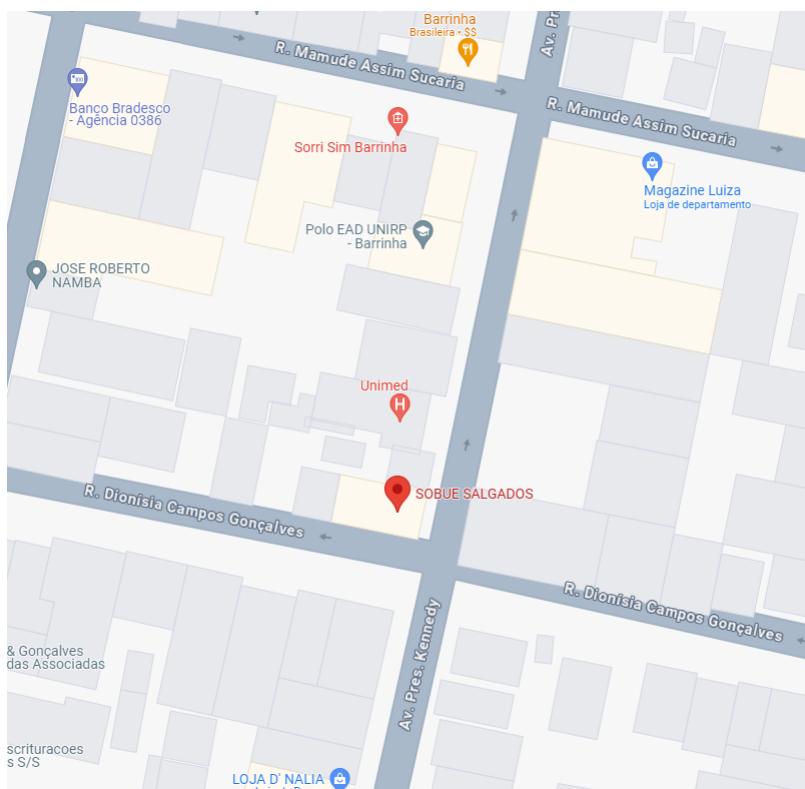


Figura 14 – Localização da Salgaderia

Fonte: Google Maps

4.2.2 Etapa 3: Avaliação da conta de energia e obtenção de dados relevantes

Nesta etapa, foram obtidos os dados de consumo energético através da conta de energia em anexo. Também são obtidos os valores de irradiação e temperatura para o local apresentado. A figura 15 apresenta o histórico de consumo do estabelecimento.

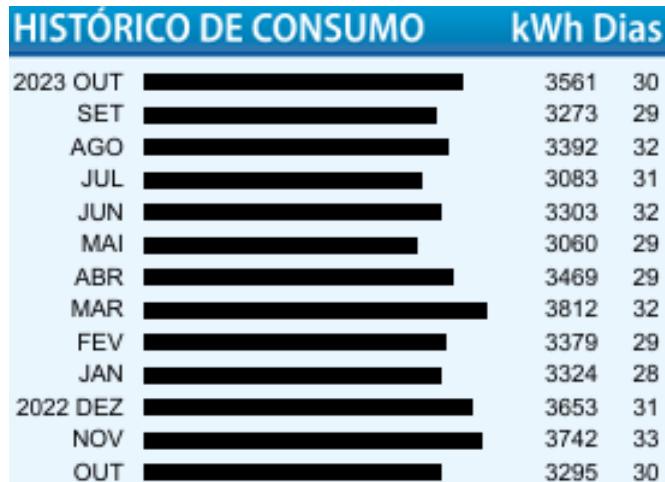


Figura 15 – Histórico de Consumo

Fonte: CPFL

Além disso, também foram obtidos os dados de irradiação e temperatura do local. Ambas as informações foram extraídas da base de dados Meteonorm 8.1, encontrada no próprio *software PVsyst* e podem ser observadas na figura 16.

	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke turbidity	Relative humidity
	kWh/m ² /day	kWh/m ² /day	°C	m/s	[·]	%
January	6.43	2.93	23.7	3.69	3.278	77.1
February	5.78	2.41	24.2	3.50	3.286	73.6
March	5.71	2.29	23.7	3.70	3.258	76.2
April	5.28	1.75	22.0	3.79	3.135	75.0
May	4.49	1.39	19.1	3.70	2.964	75.0
June	4.15	1.08	18.1	3.60	2.966	73.6
July	4.44	1.18	17.8	3.79	3.076	69.4
August	5.10	1.53	19.5	4.19	3.468	63.3
September	5.42	2.13	20.7	4.50	4.622	65.2
October	6.16	2.28	22.7	4.50	3.976	67.4
November	6.29	2.67	22.3	4.49	3.489	73.8
December	6.19	2.67	23.7	4.00	3.376	73.2
Year	5.45	2.02	21.5	4.0	3.408	71.9

Figura 16 – Irradiância e Temperatura

Fonte: Meteonorm 8.1

4.2.3 Etapa 4: Escolha dos módulos e das orientações dos telhados

As angulações de 3° para o telhado de azimute 168° e de 8° para o telhado de azimute de -12° foram obtidas através de fotos tiradas do local, observadas através do transferidor (GINIFAB, 2024). As figuras 17 e 18 apresentam os graus obtidos.



Figura 17 – Azimute de 168°

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 18 – Azimute de -12°

Fonte: Elaborada pelo autor

No *software* PVsyst, dentro das configurações de orientação, é escolhida a opção de tipo de campo "Várias orientações", pois no local de estudo do projeto existem duas águas de telhado a serem utilizadas, com diferentes azimutes e angulações.

Através de uma imagem de GOOGLE (2024b) e a utilização do transferidor GINIFAB (2024), é possível obter o azimute da localização. As águas são distribuídas

em duas direções, variando de 90° pra mais e pra menos do ângulo obtido. A figura 19 demonstra a angulação obtida.

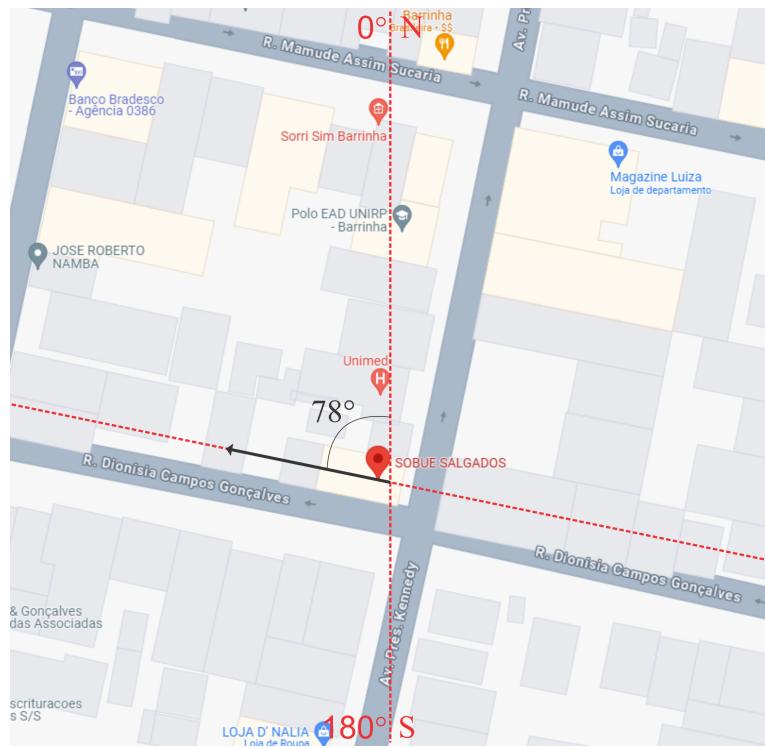


Figura 19 – Azimute

Fonte: Elaborada pelo autor

Desta forma, são definidas no PVsyst as orientações de -12° e 168° , na opção "Várias orientações", como observado na figura 20.

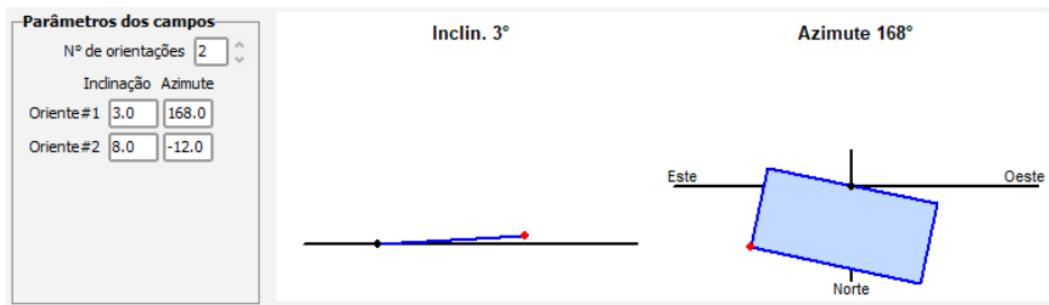


Figura 20 – Azimutes das águas

Fonte: Elaborada pelo autor

Nas figuras 21 e 22, são observados os fatores de transposição e também as perdas em relação ao ótimo.

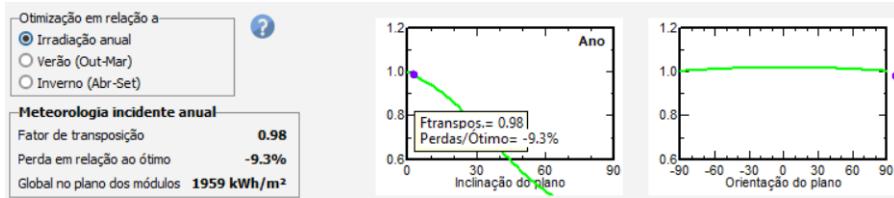


Figura 21 – Azimute 168°

Fonte: Elaborada pelo autor

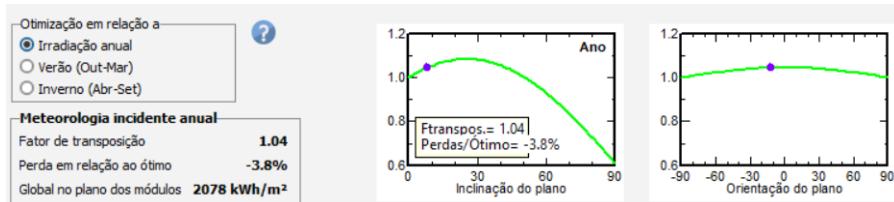


Figura 22 – Azimute -12°

Fonte: Elaborada pelo autor

Onde os valores de fator de transposição são de 0.98 e 1.04 e os valores de perda em relação ao ótimo são de -9.3% e -3.8%.

4.2.4 Etapa 5: Modelo em 3-D da estrutura

No *software* PVsyst, é possível realizar o pré-dimensionamento do sistema, afim de determinar sua potência nominal. Entretanto, a área de telhado é um fator limitante no projeto, não conseguindo suprir completamente a demanda energética. Através do desenho em 3-D, foi possível avaliar qual a área disponível e, assim, simular a quantidade de energia capaz de ser gerada. A figura 23 apresenta o desenho elaborado.

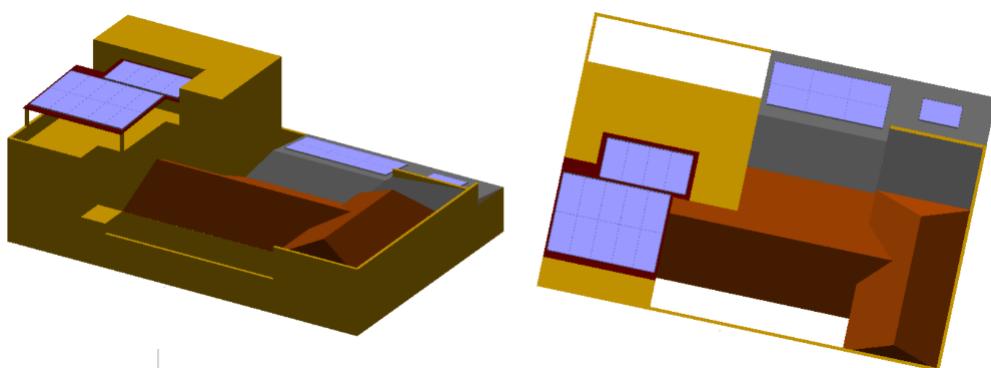


Figura 23 – Desenho em 3-D

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.4.1 Etapa 5.1: Avaliação de área de telhado

Desenvolvendo o desenho em 3-D, avaliou-se que a área de telhado disponível para trabalho é de 111m². Os grupos de módulos possuem espaçamento de 0,02m entre cada módulo, tanto verticalmente quanto horizontalmente. Os 21 módulos aplicados ocuparam uma área de 65m². Devido aos posicionamentos com o objetivo de evitar sombras, houve a limitação de uso do espaço.

4.2.4.2 Etapa 5.2: Estudo de sombras

Além da área de telhado, também foi realizado o estudo de sombras pra essa estrutura. Por ser uma estrutura mais alta, árvores e locais vizinhos não fazem interferência, as sombras existentes são da estrutura, na própria estrutura. A figura 24 demonstra as trajetórias do sol no local de estudo, para os dois azimutes em análise e também apresenta o efeito que as sombras geram.

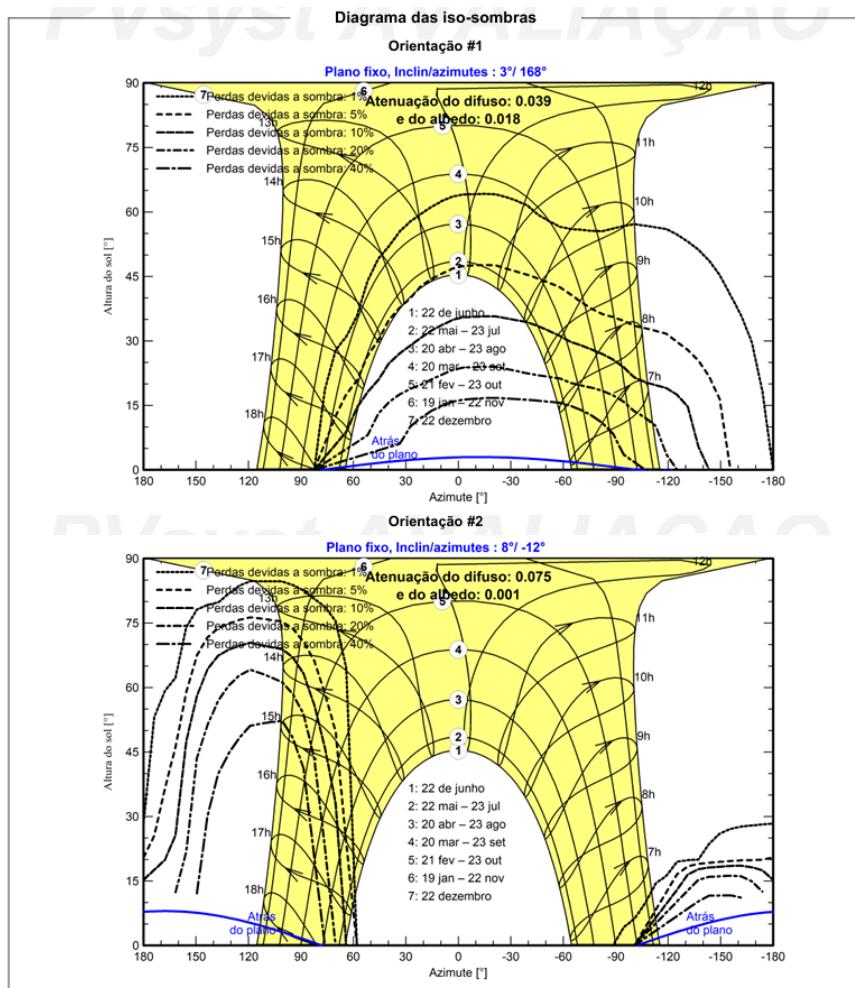


Figura 24 – Diagrama das iso-sombras

Fonte: Elaborada pelo autor

A área em amarelo da figura exibe as posições do sol que produzem o mesmo fator de sombreamento como linhas contínuas, de forma semelhante às isolinhas apresentadas em mapas de temperatura, pressão ou altitude. O eixo horizontal indica o azimute do sol que, quando em 0° , indica estar a pico. O eixo vertical indica a altura do sol nos diferentes períodos apresentados.

A data de 22 de junho, apresentada no diagrama como 1, indica o solstício de inverno para o hemisfério sul, onde o sol apresenta a menor altura do ano, tendo sua máxima em 45° e seu azimute com o nascer em aproximadamente -65° e pôr em 65° . Ainda na data de 22 de junho, é possível observar que para o azimute de 168° existe perda de 5% durante todo o dia pois o tracejado que o representa sobrepõe a linha da data o tempo inteiro. Já para o azimute de -12° , as perdas por sombra são quase nulas, tendo apenas um pouco de perdas de 1% apenas no fim do dia.

4.2.5 Etapa 6: Montagem do sistema

Utilizando a área de telhado disponível para trabalho, foram distribuídas 3 *strings* de 7 módulos cada. 2 *strings* localizadas no azimute de 168° e 1 *string* no azimute de -12° . O painel escolhido foi o CS7N-660MS da CSI Solar e o inversor foi o 10.5KTL-G3 da SofarSolar. Esta escolha foi dada pela potência de 660W do painel, visando a tecnologia mais recente do mercado. Já a do inversor, foi dada pela potência nominal total e por possuir 3 MPPTs, respeitando o número de *strings* do projeto. Na tabela 2, é possível verificar todos os itens escolhidos para o projeto.

Tabela 2 – Componentes e seus respectivos modelos

Componente	Quantidade	Modelo
Módulo Fotovoltaico	21	CSI Solar CS7N-660MS
Inversor	1	SofarSolar 10.5KTL-G3
Cabo solar	100	Sil 6mm ² BWF 750W 70°C PRETO
Cabo solar	100	Sil 6mm ² BWF 750W 70°C VERMELHO
Par conectores MC4	10	Penzel MC4 Macho + Fêmea
Fusível	10	Lukma Fusível Proteção DC 15A 1000V
Chave Seccionadora	2	WEG Msw25 25a Nr12
DPS II CC	6	Clamper Vclsp 460v 45ka
Cabos Inversor	20	Sil HEPR 6MM 1KV PRETO
Cabos Inversor	20	Sil HEPR 6MM 1KV VERMELHO
Disjuntor	1	Citex Bipolar Din Curva B 6ka
DPS II CA	2	Clamper DIN 275V 90kA SLIM
Cabo CA	20	Sil HEPR 6MM 1KV PRETO
Cabo CA	20	Sil HEPR 6MM 1KV VERMELHO
Cabo Aterramento	20	Sil HEPR 6MM 1KV VERDE
Estrutura	21	Estrutura para telhados

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.6 Etapa 7: Análise da disposição dos módulos fotovoltaicos

Foram determinadas 3 *strings* com 7 módulos fotovoltaicos em cada, colocados um do lado do outro para economizar em cabeamento, ao diminuir as distâncias.

Para o azimute de 168° foi colocado um grupo de 10 módulos e um grupo de 4 módulos, como pode ser observado na figura 25.



Figura 25 – Disposição dos módulos no azimute 168°

Fonte: Elaborada pelo autor

Para o azimute de -12° foi colocado um grupo de 6 módulos e um módulo isolado, como pode ser observado na figura 26.

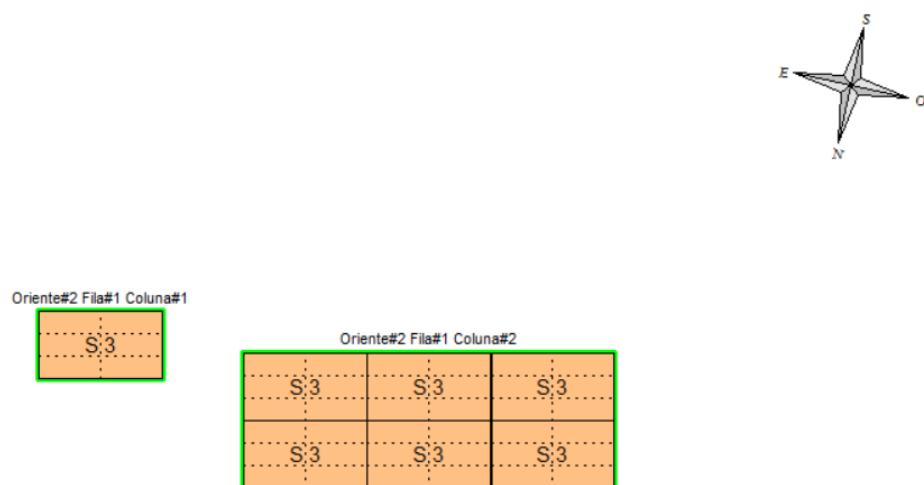


Figura 26 – Disposição dos módulos no azimute -12°

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.7 Etapa 8: Estudo de perdas via *software*

No PVsyst foi considerado que as ligações entre *strings* e módulos possuem comprimento médio de 20m por circuito. Já da caixa principal até o inversor, foi considerado 10m. Ambos os cabos são de 6mm², o que garante um fator de perda MPP em STC de 0.6%.

Considerando os outros parâmetros (como a qualidade dos módulos) de forma padrão, como vem no *software*, foi realizada a simulação e obtido o relatório para perdas, apresentado na figura 27.

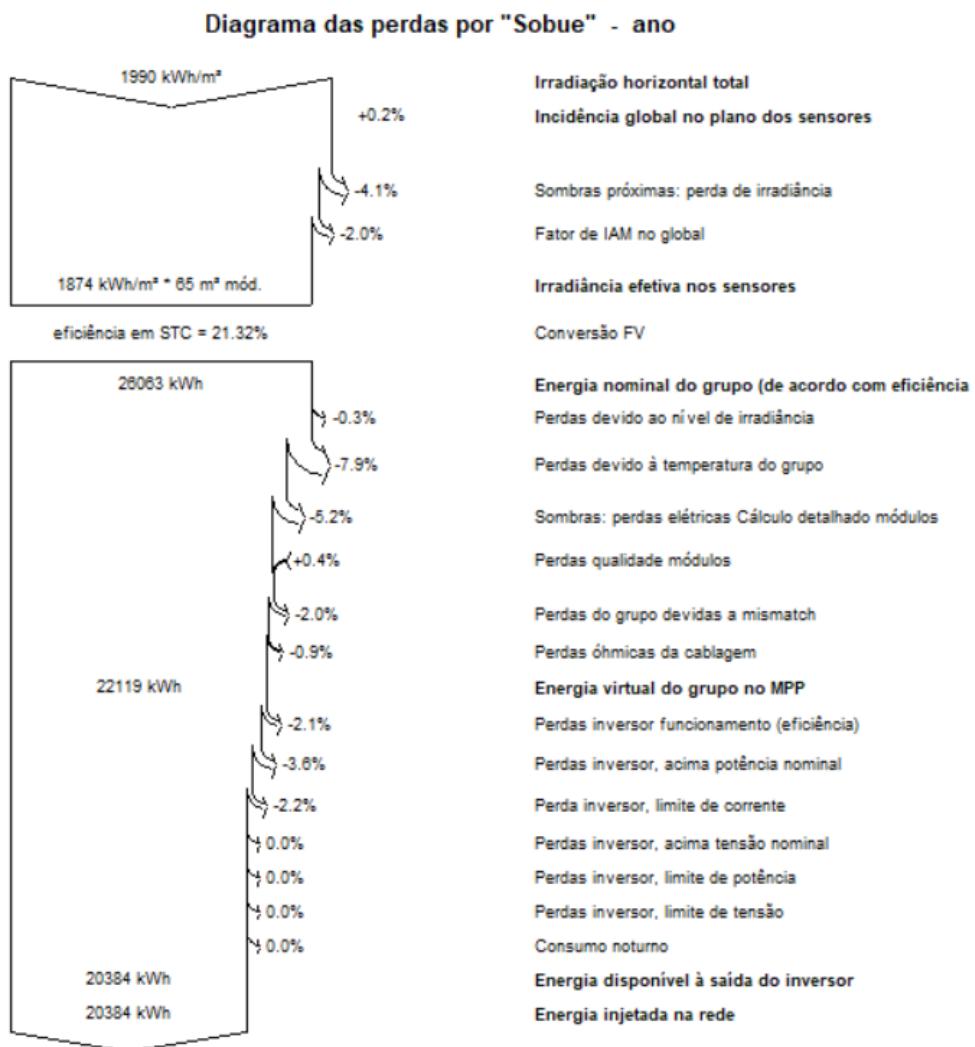


Figura 27 – Perdas presentes na geração

Fonte: Elaborada pelo autor

Com uma degradação dos módulos, afetando 0,5% ao ano, segundo o *software* PVsyst. Baseado nisso, foi analisada a geração durante os 25 anos de vida útil estimada para o sistema.

Através dos dados da figura 12 e o resultado da simulação, é possível comparar o consumo anual com as gerações anuais, considerando a queda na capacidade, durante 25 anos. A relação é apresentada na figura 28.

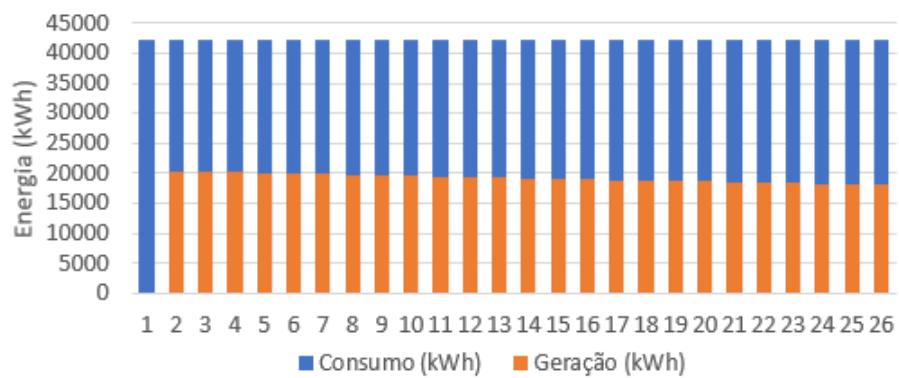


Figura 28 – Relação de consumo e energia gerada ao longo de 25 anos.

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.8 Etapa 9: Avaliação Econômica

Inicialmente, foram levantados os custos de todos os materiais e serviços a serem utilizados no projeto. Foram utilizados sites e catálogos que possuem valores em reais, para o ano de 2024. Em materiais que não foram encontrados os modelos específicos, foram utilizados valores para componentes de configurações semelhantes aos escolhidos. A tabela 3 apresenta os valores estipulados.

Tabela 3 – Componentes e seus respectivos modelos

Componente	Quantidade	Valor	Preço Item
Módulo Fotovoltaico	21	R\$ 980,00	R\$ 20580,00
Inversor	1	R\$ 7800,00	R\$ 7800,00
Cabo solar	20	R\$ 5,00	R\$ 100,00
Cabo solar	20	R\$ 5,00	R\$ 100,00
Par conectores MC4	10	R\$ 14,68	R\$ 146,80
Fusível	10	R\$ 13,90	R\$ 139,00
Chave Seccionadora	2	R\$ 156,59	R\$ 313,18
DPS II CC	6	R\$ 53,90	R\$ 323,40
Cabos Inversor	20	R\$ 5,70	R\$ 114,00
Cabos Inversor	20	R\$ 5,70	R\$ 114,00
Disjuntor	1	R\$ 31,75	R\$ 31,75
DPS II CA	2	R\$ 119,00	R\$ 238,00
Cabo CA	20	R\$ 5,70	R\$ 114,00
Cabo CA	20	R\$ 5,70	R\$ 114,00
Cabo Aterramento	20	R\$ 5,70	R\$ 114,00
Estrutura	21	R\$ 280,00	R\$ 5880,00
Fretes	1	R\$ 3500,00	R\$ 3500,00
Mão de Obra	1	R\$ 3972,21	R\$ 3972,21
Total			R\$ 43694,34

Fonte: Elaborada pelo autor

O valor indicado em Mão de Obra foi estimado através de 10% da soma dos demais custos listados, se baseando na média do mercado. O custo total do projeto é de R\$ 43694,34, resultando em aproximadamente R\$3,15/Wp de potência instalada.

Para a elaboração da análise econômica, são utilizados indicadores financeiros para o estudo de sua viabilidade. Fluxo de caixa, VPL, TMA, TIR e tempo de *payback* são conceitos utilizados para gerar embasamento na pesquisa, já detalhados anteriormente no capítulo 2. Para a continuidade do estudo, foi considerado que o valor total do projeto (R\$ 43694,34) é o valor de investimento inicial. Também foram considerados: a degradação dos módulos fotovoltaicos, causando a perda de rendimento ao longo dos 25 anos; o aumento anual da tarifa de energia; custo de manutenção do sistema, envolvendo limpeza, substituição de materiais, correções de prevenção.

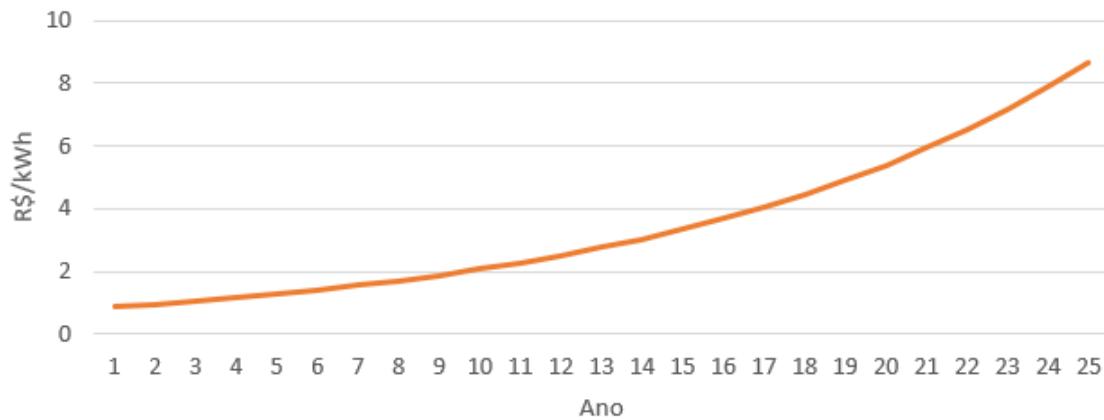


Figura 29 – Aumento no valor da tarifa de energia elétrica

Fonte: Elaborada pelo autor

Para o aumento no valor da tarifa de energia elétrica, será considerado 10% ao ano, pois em 2021, 2022 e 2023, houve um aumento de 8,3%, 11,1% e 4,3% respectivamente, segundo [ANEEL \(2023\)](#). O gráfico da figura 29 apresenta o aumento no valor da tarifa de energia elétrica ao longo dos 25 anos de vida útil do projeto.

Através de [Brasil \(2024\)](#), foi possível observar que a inflação, índice que mede a variação econômica de bens e serviços, para dia 30 de abril de 2024, foi de 3,73% com projeção de 3,63% para 2025. Já a taxa Selic, taxa básica de juros da economia do país, também para dia 30 de abril de 2024, foi registrada em 9,5%.

Para a avaliação econômica em questão, será considerada inflação de 5% e taxa mínima de atratividade como a Selic de 9,5%, para considerar possíveis correções de valores ao longo dos anos.

A tabela 4 ilustra todos os valores de taxas e valores financeiros escolhidos para a realização do estudo.

Tabela 4 – Variáveis econômicas utilizadas para o estudo de viabilidade

Indicador	Valor
Tarifa de energia	R\$ 0,881/kWh
Inflação	5%
Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Selic	9,5%
Taxa de manutenção	1%
Depreciação do sistema	0,5% ao ano
Investimento Inicial	R\$ 43694,34

Fonte: Elaborada pelo autor

A estimativa de geração mensal do primeiro ano foi obtida via PVsyst. A partir dela é possível projetar a geração dos 25 anos de vida útil do projeto, através da taxa de depreciação do projeto. O investimento inicial e todos os índices econômicos apresentados anteriormente garantem o estudo de viabilidade econômica do sistema. Na tabela 5, são apresentados todos os valores ao longo de sua duração.

Tabela 5 – Análise financeira do projeto

Ano	Geração (kWh)	Economia pela geração	Manutenção	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado
0				-R\$ 43694,34	-R\$ 43694,34
1	20384	R\$ 17961,39	-R\$ 436,94	R\$ 17524,45	-R\$ 26169,89
2	20282,08	R\$ 19658,74	-R\$ 458,79	R\$ 19199,95	-R\$ 6969,94
3	20180,67	R\$ 21516,49	-R\$ 481,73	R\$ 21034,76	R\$ 14064,82
4	20079,77	R\$ 23549,80	-R\$ 505,82	R\$ 23043,98	R\$ 37108,80
5	19979,37	R\$ 25775,26	-R\$ 531,11	R\$ 25244,15	R\$ 62352,95
6	19879,47	R\$ 28211,02	-R\$ 557,66	R\$ 27653,36	R\$ 90006,31
7	19780,07	R\$ 30876,96	-R\$ 585,55	R\$ 30291,41	R\$ 120297,72
8	19681,17	R\$ 33794,83	-R\$ 614,82	R\$ 33180,01	R\$ 153477,73
9	19582,77	R\$ 36988,44	-R\$ 645,56	R\$ 36342,88	R\$ 189820,61
10	19484,85	R\$ 40483,85	-R\$ 677,84	R\$ 39806,01	R\$ 229626,62
11	19387,43	R\$ 44309,58	-R\$ 711,73	R\$ 43597,84	R\$ 273224,46
12	19290,49	R\$ 48496,83	-R\$ 747,32	R\$ 47749,51	R\$ 320973,97
13	19194,04	R\$ 53079,78	-R\$ 784,69	R\$ 52295,09	R\$ 373269,06
14	19098,07	R\$ 58095,82	-R\$ 823,92	R\$ 57271,90	R\$ 430540,96
15	19002,58	R\$ 63585,88	-R\$ 865,12	R\$ 62720,76	R\$ 493261,72
16	18907,57	R\$ 69594,74	-R\$ 908,37	R\$ 68686,37	R\$ 561948,08
17	18813,03	R\$ 76171,44	-R\$ 953,79	R\$ 75217,65	R\$ 637165,73
18	18718,96	R\$ 83369,64	-R\$ 1001,48	R\$ 82368,16	R\$ 719533,90
19	18625,37	R\$ 91248,08	-R\$ 1051,56	R\$ 90196,52	R\$ 809730,42
20	18532,24	R\$ 99871,02	-R\$ 1104,13	R\$ 98766,89	R\$ 908497,30
21	18439,58	R\$ 109308,83	-R\$ 1159,34	R\$ 108149,49	R\$ 1016646,79
22	18347,38	R\$ 119638,52	-R\$ 1217,31	R\$ 118421,21	R\$ 1135068,00
23	18255,65	R\$ 130944,36	-R\$ 1278,17	R\$ 129666,18	R\$ 1264734,18
24	18164,37	R\$ 143318,60	-R\$ 1342,08	R\$ 141976,51	R\$ 1406710,70
25	18073,55	R\$ 156862,20	-R\$ 1409,19	R\$ 155453,02	R\$ 1562163,71

Fonte: Elaborada pelo autor.

Através dos dados de fluxo de caixa da tabela 4, foram construídos os gráficos das figuras 30, 32 e a tabela 6.

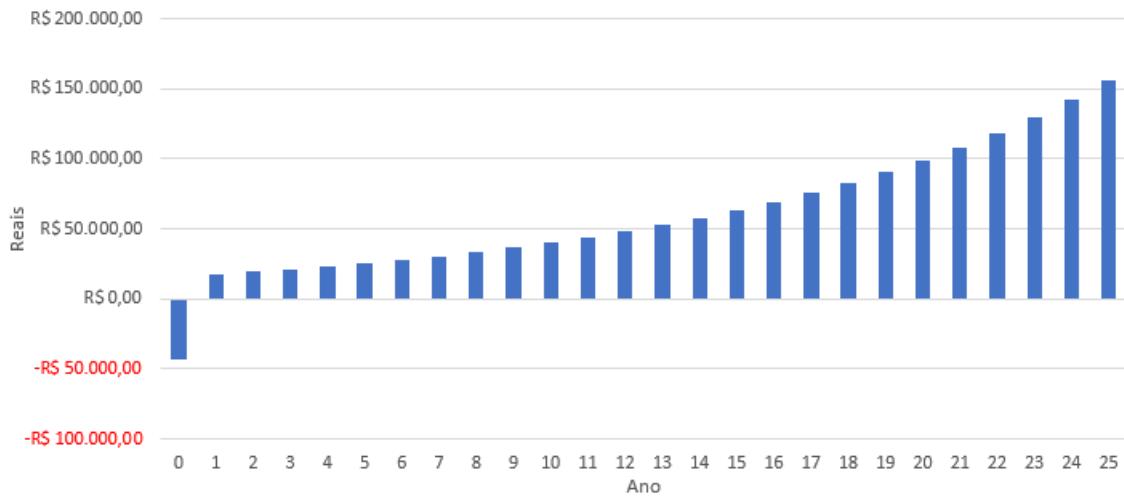


Figura 30 – Fluxo de caixa do projeto

Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico da figura 29 apresenta o fluxo de caixa do projeto ao longo dos anos. É apresentado o investimento inicial e também os valores que serão economizados com o passar do tempo.

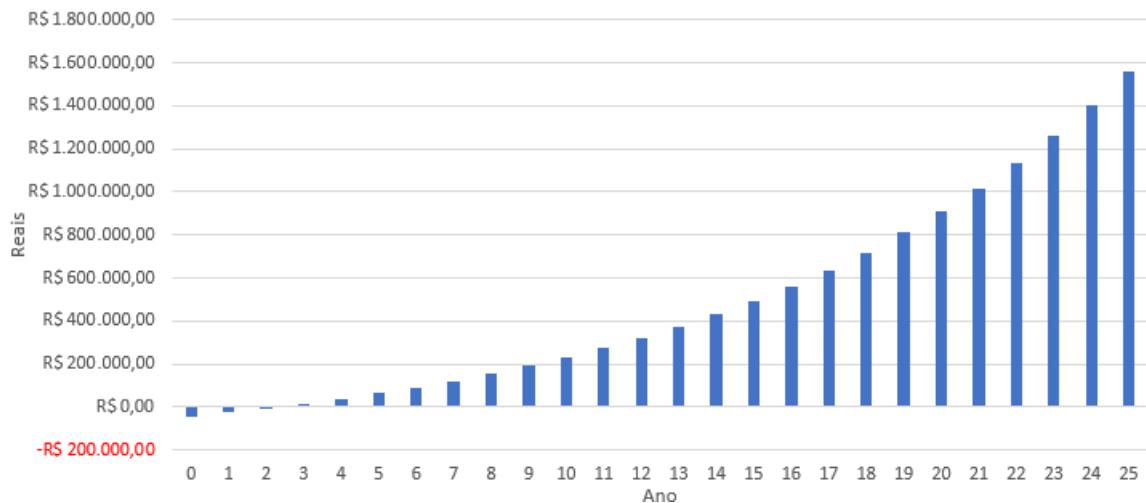


Figura 31 – Fluxo de caixa acumulado do projeto

Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico da figura 30 apresenta o fluxo de caixa acumulado do projeto ao longo dos anos. Com ele, é possível observar a diluição do valor gasto com a implementação do sistema fotovoltaico ao longo dos anos, onde é somado anualmente cada valor de economia com a geração, subtraído da taxa de manutenção. É no fluxo de caixa acumulado que é possível observar o tempo de *payback* do projeto, aproximadamente 4 anos e meio.

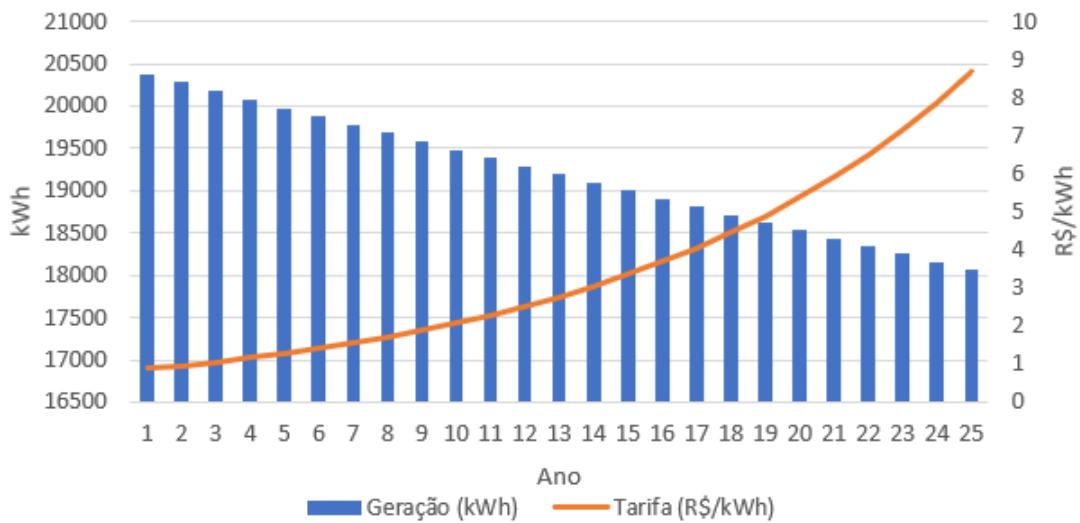


Figura 32 – Relação do crescimento da tarifa e a previsão de geração

Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico da figura 31 apresenta a relação do crescimento da tarifa e a previsão de geração ao longo dos anos. É possível observar que enquanto a geração diminui a cada ano, a tarifa de energia elétrica aumenta, o que ainda garante uma grande economia com o sistema.

Tabela 6 – Índices de viabilidade econômica

Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 357.834,93
Taxa Interna de Retorno (TIR)	50%

Fonte: Elaborada pelo autor

Com os resultados apresentados na tabela 6, é possível analisar que o valor presente líquido foi positivo e tem-se uma taxa interna de retorno maior que a taxa mínima de atratividade, o que indica que o estudo de viabilidade foi positivo.

4.3 Resumo do projeto

Na tabela 7 são resumidos todos os dados calculados para o sistema.

Tabela 7 – Resumo do projeto

Capacidade Instalada	13,86kWp
Quantidade de Módulos	21
Investimento Inicial	R\$ 43694,34
Vida útil do projeto	25 anos
Geração no primeiro ano	20.384 MWh
Consumo médio anual	42.284 MWh
Economia pela geração do primeiro ano	R\$ 17.961,39
Gasto médio anual	R\$ 37.258,60
Média de geração mensal	1698 kWh
Tempo de retorno de investimento (ROI)	4,5 anos
VPL	R\$ 357.834,93
Taxa Interna de Retorno (TIR)	50%

Fonte: Elaborada pelo autor

5 CONCLUSÃO

Sem dúvida, o Brasil possui um vasto potencial para a energia solar fotovoltaica. Este potencial tem atraído a atenção de indivíduos e empresas interessados em explorar essa tecnologia. No entanto, para discutir e formar opiniões informadas sobre o assunto, é essencial ter um conhecimento básico. Portanto, este documento fornece a base teórica necessária para que qualquer pessoa possa compreender os passos envolvidos na elaboração de um projeto de sistema fotovoltaico.

Uma etapa crucial para o desenvolvimento do sistema é a escolha do local. Os telhados presentes na estrutura da salgaderia já estavam construídos, então foi necessário fazer o estudo de suas águas para a escolha dos melhores pontos. Optar por projetar o sistema é benéfico por vários fatores, economia na conta de energia, geração sustentável, além de aprimorar conhecimento em uma área tão promissora. Através da simulação com o software PVsyst, projetou-se um sistema com potência nominal de 13,86kWp, produzindo 20,384 MWh no primeiro ano de geração, uma economia de R\$ 17961,39. O tempo de *payback* com essa economia anual foi calculado em quatro anos e meio para o valor do investimento inicial do projeto.

Em relação ao consumo médio anual de 42,284 MWh, o sistema seria suficiente para suprir aproximadamente 48% dele em seu primeiro ano de geração, reduzindo a cada ano devido à degeneração dos módulos fotovoltaicos, como demonstrado.

Através do estudo econômico, utilizando os indicadores mencionados como inflação, taxa mínima de atratividade, taxa interna de retorno na projeção dos valores, foi possível comprovar a viabilidade econômica do sistema. Em caso futuro, com o possível desligamento do comércio, a geração eventualmente seria superior ao consumo e, nesse cenário, o excedente seria convertido em créditos de energia, sendo descontado em contas de próximos meses e/ou abatidos em outros imóveis do proprietário.

REFERÊNCIAS

- ABGD. **Geração própria de energia elétrica atinge 20 GW e impulsiona o Brasil no ranking mundial de energia solar.** 2023. Disponível em: <<https://www.abgd.com.br/portal/geracao-propria-de-energia-eletrica-atinge-20-gw-e-impulsiona-o-brasil-no-ranking-mundial-de-energia-solar>>.
- ABSOLAR. **Benefícios da Fonte Solar Fotovoltaica ao Brasil.** 2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>>.
- AGENCIABRASIL. **Geração Distribuída aumenta no país e reduz valor de contas de energia.** 2023. Disponível em: <[https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-08/geracao-distribuida-aumenta-no-pais-e-reduz-valor-de-contas-de-energia#:~:text=A%20capacidade%20em%20gera%C3%A7%C3%A3o%20pr%C3%B3pria,de%202023%20gigawatts%20\(GW\).>](https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-08/geracao-distribuida-aumenta-no-pais-e-reduz-valor-de-contas-de-energia#:~:text=A%20capacidade%20em%20gera%C3%A7%C3%A3o%20pr%C3%B3pria,de%202023%20gigawatts%20(GW).>)
- ALPHASOLAR. **MÓDULO MONOCRISTALINO X POLICRISTALINO: ENTENDA AS DIFERENÇAS.** 2021. Disponível em: <<https://alphasolar.com.br/modulo-monocristalino-x-policristalino-entenda-as-diferencias/>>.
- ANEEL. **TÍndices de reajuste das tarifas residenciais.** 2023. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDFmMzIzM2QtM2EyNi00YjkyLWIxNDMtYTU4NTI0NWIyNTI5IiwidCI6IjQwZDZmOWI4I>>.
- BRASIL. **LEI N° 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022.** 2022. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm>.
- BRASIL, B. C. do. **Focus - Relatório de Mercado.** 2024. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus>>.
- CAMARGO, R. F. de. **Entenda sobre a Taxa Mínima de Atratividade: o que é, quando usar e por que pensar em TMA na hora de investir.** 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-minima-de-atratividade-tma/>>.
- _____. **Fluxo de Caixa e DFC: tudo para você controlar suas entradas e saídas de dinheiro (+ Planilha).** 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/demonstrativo-de-fluxo-de-caixa-planilha/>>.
- _____. **Taxa Interna de Retorno: como a TIR é aplicada na análise de viabilidade de investimento em um projeto?** 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/>>.
- _____. **Veja como o Valor Presente Líquido (VPL) ajuda na análise de viabilidade de um investimento.** 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/valor-presente-liquido-vpl/>>.
- CARI, E. P. T. **Introdução à Sistemas Fotovoltaicos, Dimensionamento e Instalação.** 2021. Apostila Curso Solar USP. Universidade de São Paulo.

CASSINI, D. A. et al. Estudo da degradação em módulos fotovoltaicos de filme fino. **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2020.

CASTRO, N. Júnior de; FERNANDES, P. C. A reestruturação do setor elétrico brasileiro: passado recente, presente e tendências futuras. **SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**, 2007.

ESFERABRASIL. **Brasil terá demanda crescente de energia até 2026, diz relatório da IEA**. 2024. Disponível em: <<https://exame.com/esferabrasil/brasil-tera-demanda-crescente-de-energia-ate-2026-diz-relatorio-da-iea/>>.

GINIFAB. **Transferidor on-line**. 2024. Disponível em: <https://www.ginifab.com/feeds/angle_measurement/online_protractor.pt.php#google_vignette>.

GOOGLE. **Google Earth website**. 2024. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>.

_____. **Google Maps website**. 2024. Disponível em: <<https://maps.google.com>>.

HELERBROCK, R. **O que é efeito fotoelétrico?** 2023. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm>>.

HISATOMI, C. **Como saber a irradiação solar por cidade?** 2024. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/irradiacao-solar-por-cidade/#:~:text=com%20mais%20detalhes.-,Qual%20%C3%A9%20a%20irradia%C3%A7%C3%A3o%20solar%20no%20Brasil%3F,torno%20de%205.153%20Wh%2Fm%C2%B2.>>

MINHACASASOLAR. **Como funciona o sistema de energia solar fotovoltaica**. 2018. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/silicio-mono-ou-policristalino-quem-vence-o-duelo/>>.

MOREIRA, A. **Os módulos fotovoltaicos e a absorção de radiação solar**. 2021. Disponível em: <<https://mtower.ind.br/os-modulos-fotovoltaicos-e-a-absorcao-de-radiacao-solar/>>.

NASA. **10 interesting things about energy**. 2016. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/news/2444/10-interesting-things-about-energy/>>.

PORTALSOLAR. **Célula fotovoltaica: tudo o que você precisa saber**. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>.

_____. **Energia fotovoltaica: o que é, como funciona e para que serve**. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>.

_____. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar**. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>.

_____. **Queda de preços de equipamentos melhora payback da energia solar**. 2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/geracao-distribuida/queda-de-precos-de-equipamentos-melhora-payback-da-energia-solar>>.

_____. **Vantagens da energia solar: descubra todas aqui**. 2024. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/vantagens-da-energia-solar>>.

SOLARFY. **Potencial solar no Brasil: confira aqui o mapa solarimétrico.** 2023. Disponível em: <<https://solarfy.com.br/blog/potencial-solar-no-brasil-confira-aqui-o-mapa-solarimetrico/>>.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações.** [S.l.]: Editora Érica, 2012.

Anexos

ANEXO A – CONTA DE ENERGIA USADA DE REFERÊNCIA

**Companhia Paulista
de Força e Luz**
Uma empresa do Grupo CPFL Energia



Rua Jorge de Figueiredo Correa, 1632
Jd. Prof. Tarcília - Campinas - SP - CEP 13087-397
Inscrição Estadual: 244.163.955.115
Inscrição no CNPJ: 33.050.196/0001-88

14860-000 BARRINHA SP

Nota Fiscal
Conta de Energia Elétrica
Nº 326974975 Série C
Data de Emissão: 05/10/2023
Data de Apresentação: 06/10/2023
Pág: 01 de 01
Conta Contrato N° 310089535614
Leitura Próximo Mês: 07/11/2023

Lote	Roteiro de leitura	Nº. Medidor	PN	Reservado ao Fisco
03	BAHBU004-00000148	306891522	702858147	10D6.DBEB.FBCC.45BF.29C2.EBD4.C40E.C41A

PREZADO(A) CLIENTE

Em cumprimento a REN 1.008/22 da ANEEL os valores de CDE Escassez Hídrica estão sendo informados nas faturas de energia elétrica. Saiba mais em www.cpfl.com.br/escassez-hidrica

DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA

14860-000 BARRINHA - SP

ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
0800 010 1010 www.cpfl.com.br			OUT/2023	16/10/2023	3.102,02

DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO

Cod. 115	Descrição da Operação Nº 903004242197	Mês Ref.	Quant. Faturada	Unid. Med.	Tarifa com Tributos R\$	Valor Total da Operação R\$	Base Cálculo ICMS R\$	Aliq. ICMS	ICMS	Base Cálculo PIS/COFINS	PIS, 0,79%	COFINS 3,65%	Bandeiras Tarifárias (Dias)
0605	Energia Aliva Fornecida - TUSD	OUT/23	3.561.000	kWh	0,47425443	1.688,82	18,00	303,99	1.384,83	10,94	50,55	Verde	
0601	Energia Aliva Fornecida - TE	OUT/23	3.561.000	kWh	0,40689694	1.448,96	18,00	260,81	1.188,15	9,39	43,37	25 Dias	
0605	Energ Atv Irr. eUC mPT - TUSD	SET/23	57.500	kWh	0,38904348	22,37-			22,37-	0,18-	0,82-	Verde	
0601	Energ Atv Irr. eUC mPT - TE	SET/23	57.500	kWh	0,40678261	23,39-	23,39-	18,00	4,21-	19,18-	0,15-	05 Dias	
Total Distribuidora:						3.092,02							
DÉBITOS DE OUTROS SERVIÇOS													
0807	Contrib. Custo IP-CIP Municipal	OUT/23				10,00							
Informação CDE Escassez Hídrica													
CDE Escassez Hídrica - TUSD													
CDE Escassez Hídrica - TE													

Total Consolidado		3.102,02	3.114,39	560,59	2.531,43	20,00	92,40
HISTÓRICO DE CONSUMO	kWh Dias	TARIFA ANEEL		EQUIPAMENTOS DE MEDAÇÃO / DATAS DE LEITURAS			
2023 OUT	3561 30	Consumo kWh	TUSD 0,37162000	TE 0,31884000	Nº 306891522	Energia 05/10/2023	Leitura 05/09/2023
SET	3273 29						
AGO	3392 32						
JUL	3083 31						
JUN	3303 32						
MAI	3060 29						
ABR	3469 29						
MAR	3612 32						
FEV	3379 29						
JAN	3324 28						
2022 DEZ	3653 31						
NOV	3742 33						
OUT	3295 30						
					Fator Multipl. 1,00	Consumo [kWh] 3.561	Taxa de Perda [%] 0,15
							Leitura Próximo Mês 07/11/2023

INDICADORES DE CONTINUIDADE DE FORNECIMENTO DE ENERGIA

Para consulta dos indicadores acesse nosso site www.cpfl.com.br