



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA

Rodrigo Vieira Barreto Braga

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO *ON-GRID* DO SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL
DE ÁGUA E ESGOTO – SAMAE EM TERRA RICA/PR

DOURADOS/MS

2023

Rodrigo Vieira Barreto Braga

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO *ON-GRID* DO SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL
DE ÁGUA E ESGOTO – SAMAE EM TERRA RICA/PR

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora da
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal da Grande Dourados para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
de Energia. Orientador: Prof. Dr. Omar Sèye

Area de Concentração: 30404010 -

Geração de Energia Elétrica

DOURADOS/MS

2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus, por me conceder saúde e excelência durante a conclusão deste trabalho. Também gostaria de agradecer aos meus queridos pais, Levy e Ana Clarete, ao meu irmão Henryque e à minha namorada Vênera, por todo o apoio e ajuda que me deram. Seu constante incentivo e compreensão durante minha ausência foram fundamentais para a conclusão deste estudo.

Não posso deixar de mencionar meu orientador, professor Omar Seye, que desempenhou sua função com esforço e paciência, sendo essencial em meu processo de formação.

Agradeço também ao diretor e funcionários do SAMAE que me ajudaram e possibilitaram a coleta de dados necessários para o estudo.

Por fim, agradeço à instituição de ensino Universidade Federal da Grande Dourados por me proporcionar a oportunidade de aprendizagem essencial para minha formação profissional.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

B813e Braga, Rodrigo Vieira Barreto

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
ON-GRID DO SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO - SAMAE - EM
TERRA RICA/PR [recurso eletrônico] / Rodrigo Vieira Barreto Braga. -- 2023.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Omar Sèye.

TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Sistema fotovoltaico. 2. Energia Solar. 3. Serviço Autônomo. I. Sèye, Omar. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO G - ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

As 08:37 horas do dia 08 de MAIO de 2023, realizou-se no(a)
FACULDADE DE ENGENHARIA (FAEN)

a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia, intitulado **ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID DO SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAMAE EM TERRA RICA/PR** de autoria do discente **Rodrigo Vieira Barreto Braga**, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II. Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

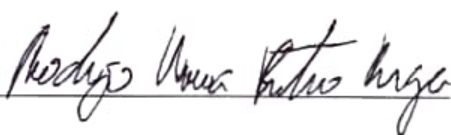
Aprovado () Reprovado

O(A) discente declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS


DISCENTE

Nome: Rodrigo Vieira Barreto Braga


Assinatura: 

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Omar Sèye

Assinatura: 

Membro: Clivaldo de Oliveira

Assinatura: 

Membro: Antonio Carlos Caetano de Souza

Assinatura: 

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Logo e fachada da sede da SAMAE	11
Figura 2 – Vista aérea da SAMAE	12
Figura 3 – Módulo solar Canadian 545 W	16
Figura 4 – Especificações técnicas do módulo modelo CS6W-545MS	17
Figura 5 – Módulo solar Sunova Solar Technology 555 W.....	17
Figura 6 - Especificações técnicas do módulo modelo SS-555-72MDH	18
Figura 7 – Inversor solar GROWATT MID25KTL3-X 25kW.....	22
Figura 8 – Características do inversor.....	23
Figura 9 – Inversor solar Canadian Solar modelo CSI-25KTL-GI-L.....	23
Figura 10 – Características do inversor.....	24
Figura 11 – Diagrama unifilar do Kit Fotovoltaico 1.....	26
Figura 12 – Diagrama unifilar do Kit Fotovoltaico 2.....	26
Figura 13 – DPS integrado ao inversor	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações Meteorológicas próximas ao local de estudo.....	12
Tabela 2 – Dados da Irradiação Solar em Terra Rica – PR.....	13
Tabela 3 – Consumo mensal da SAMAE no período entre mai.2022 e abri.2023 ...	15
Tabela 4 – Equipamentos necessários e orçamento de cada kit fotovoltaico	28
Tabela 5 – Fluxo de caixa para o Kit Fotovoltaico.....	30
Tabela 6 – Fluxo de caixa para o Kit Fotovoltaico.....	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Irradiação Solar no Plano Inclinado – Terra Rica – PR.....	13
-------------------------------------------------------------------------------	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo Geral.....	8
2.2 Objetivos Específicos.....	8
3. REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS	9
3.1 A energia solar fotovoltaica	9
3.2 Sistemas fotovoltaicos conectados ao sistema integrado.....	10
4. MATERIAIS E MÉTODOS	11
4.1 Local de estudo.....	11
4.2 Irradiação Solar	12
4.3 Preço da Energia Elétrica	13
4.4 Dimensionamento do Projeto.....	14
4.4.1 Escolha dos Módulo	15
4.4.2 Área de Instalação.....	20
4.4.3 Escolha dos Inversores	21
4.4.4 Organização e Configuração dos Módulos.....	24
4.4.5 Dispositivos de Segurança	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

RESUMO

BRAGA, R.V.B. **Estudo de caso: dimensionamento de um sistema fotovoltaico on-grid do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE em Terra Rica/PR** p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Compreendendo a energia solar fotovoltaica como uma das alternativas energéticas viáveis para que ocorra a expansão da matriz energética brasileira, tendo em vista sua diversidade de aplicação e a redução de impactos ao meio ambiente, em comparação com as fontes tradicionais geradoras de energia elétrica, é comum a sua utilização em casos nos quais há problemas relacionados com a falta de energia elétrica, seja apenas por um período ou mesmo a inexistência dela, bem como em situações na qual o foco seja a diminuição da fatura de energia. Diante dessa situação, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um projeto de geração de energia fotovoltaica *On-Grid* para a sede da entidade autárquica Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto –SAMAE, localizado na cidade de Terra Rica, Estado do Paraná, com análise técnica, econômica e ambiental, visando a sustentabilidade energética e a redução de custos com energia elétrica. Como resultados compreende-se que a instalação do sistema fotovoltaico é financeiramente viável. Independentemente do kit escolhido, o retorno do investimento será alcançado em 4 anos e 2 meses, o que é significativamente menor que a vida útil estimada do sistema, que é de 24 anos.

Palavras-chave: Energia solar, Sistema fotovoltaico, Serviço autônomo.

ABSTRACT

BRAGA, R.V.B. **Case study of the design of an on-grid photovoltaic system for the Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE in Terra Rica/PR**
p. Monograph (Course Completion Work) – Faculty of Engineering, Federal University of Grande Dourados, 2023.

Understanding photovoltaic solar energy as one of the viable energy alternatives for the expansion of the Brazilian energy matrix, due to its diverse applications and the reduction of environmental impacts compared to traditional sources of electricity generation, it is commonly used in situations where there are issues related to electricity shortage, whether for a short period or even complete absence. Recently, the municipality of Terra Rica/PR experienced repeated situations where there was an electricity shortage, which led to a lack of water supply to the entire population. In light of this situation, this project aims to develop an *On-Grid* photovoltaic energy generation project for the headquarters of the autonomous entity Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE, located in the city of Terra Rica, state of Paraná. This project will include technical, economic, and environmental analyses with the goal of achieving energy sustainability and reducing electricity costs. As a result, the installation of the photovoltaic system is deemed financially viable. Regardless of the kit chosen, the return on investment will be achieved in either 4 years and 2 months, which is significantly less than the estimated useful life of the system, which is 24 years.

Keywords: Solar energy, Photovoltaic system, Autonomous service.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças temporais e de estrutura ambiental são algo quase que inevitável em cenários presentes em qualquer cidade. Segundo Sachs (1993, p. 30) “uma das características mais importantes da nossa época é a explosão urbana sem precedentes”, o que por sua vez traz problemas de cunho ambiental para estes lugares, sendo que já nos anos 90 observava-se grandes problemas referentes as questões ambientais.

Existe uma necessidade de conciliação entre o desenvolvimento econômico e preservação ambiental, dando assim origem ao desenvolvimento sustentável. É necessário que os recursos naturais sejam tratados com racionalidade, uma vez que se tratam de uma fonte esgotável se não foram tratados de forma correta. Leff (2001, pg.10) afirma que: “a questão ambiental não é ideologicamente neutra nem distante dos problemas sociais e interesses econômicos”.

Existem vários princípios ambientais com o intuito de proteção de toda espécie viva no planeta, promovendo assim qualidade de vida satisfatória ao ser humano, para os presentes e futuras gerações. O princípio tratado neste trabalho é o desenvolvimento sustentável. Com efeito, ter uma consciência ecológica certamente está ligado ao meio ambiente, e o ser humano demorou a compreender completamente a ideia da preservação.

Sirvinskas (2018, p.25) mostra que:

A educação ambiental deve estar fundamentada na ética ambiental. Entende-se por ética ambiental o estudo dos juízos de valor da conduta humana em relação ao meio ambiente. É, em outras palavras, compreensão que o homem tem da necessidade de preservar ou conservar os recursos naturais essenciais à perpetuação de todas as espécies de vida existentes no planeta Terra. Essa compreensão está relacionada com a modificação das condições físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, ocasionada pela intervenção de atividades comunitárias e industriais, que pode colocar em risco todas as formas de vida do planeta. Risco de extinção de todas as formas de vida deve ser uma das preocupações do estudo da ética ambiental.

Partindo destes pressupostos, surgem projetos com uma visão de sustentabilidade e rentabilidade social, trazendo acessibilidade para pessoas economicamente menos favorecidas, objetivando a redução de desperdício e evitando, assim, grandes

impactos ambientais.

Compreende-se, diante das menções realizadas anteriormente, que umas das maiores preocupações da atualidade está estritamente relacionada com as questões de sustentabilidade e de redução de impactos ao meio ambiente em comparação com as fontes tradicionais geradoras de energia elétrica, sendo assim, um ponto em comum a sua utilização em casos nos quais há problemas relacionados com a falta de energia elétrica, seja apenas por um período ou mesmo a inexistência dela (GONZALEZ, 2018).

De acordo com Li *et al.* (2017) o uso de bombeamento de água pode ter a opção do uso da energia solar fotovoltaica para sua alimentação, uma forma atrativa, vez que há aumento contínuo dos preços dos combustíveis fósseis e a crescente preocupação com o impacto ambiental, além da condição de escassez de água em algumas localidades que não possuem acesso a rede elétrica.

Em concordância aos autores anteriormente citados, Lopez (2013) afirma que atualmente a energia solar oferece uma variedade de oportunidades para sua utilização, uma vez que sua eficiência tem sido explorada de maneira mais efetiva. Apesar de todos os seus pontos positivos, compreende-se que há um certo nível de complexidade e dificuldades quanto ao providenciar os sistemas de suprimentos de energia solar.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um projeto de geração de energia fotovoltaica On-Grid para a sede da entidade Autárquica Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE, localizado na cidade de Terra Rica, Estado do Paraná, com análise técnica, econômica e ambiental, visando a sustentabilidade energética e a redução de custos com energia elétrica.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento dos equipamentos necessários para o sistema fotovoltaico, como placas solares, inversores, suportes e seus respectivos custos.
- Dimensionar o sistema fotovoltaico de acordo com a demanda de energia elétrica da sede da SAMAE, levando em consideração fatores como a localização geográfica, a inclinação e a irradiação solar.
- Avaliar a viabilidade econômica do projeto.
- Realizar uma análise do impacto ambiental do projeto, considerando aspectos como o carbono evitado.

3. REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

Neste capítulo, é feita uma breve fundamentação teórica para a melhor compreensão dos assuntos abordados no projeto.

3.1 A energia solar fotovoltaica

De acordo com a ANEEL (2014), no Brasil a energia solar fotovoltaica é empregada principalmente em locais onde não há rede elétrica, ou que seja de difícil acesso (ex. regiões ribeirinhas) ou mesmo onde a construção de redes de distribuição acaba por se tornar não viável, o que fez com que o uso dos sistemas fotovoltaicos esteja em crescimento.

O fenômeno físico que permite a transformação direta de luz em eletricidade é o efeito fotovoltaico. Este ocorre quando uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas recebe incidência da radiação eletromagnética do Sol. Uma célula fotovoltaica é composta normalmente pela ligação de duas camadas de material semicondutor, uma do tipo P e outra do tipo N. Atualmente existem células de múltiplas ligações que possuem um maior número de camadas, porém com o mesmo princípio (OLIVEIRA, 2014).

De acordo com Domond (2018) o termo fotovoltaico significa *a conversão direta da radiação solar em corrente elétrica, utilizando-se células solares*. Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais utilizada. Atualmente, cerca de 95% de todas as células solares do mundo são de silício. Depois do oxigênio, o silício é o segundo elemento químico mais frequentemente utilizado na Terra. O silício apresenta uma disponibilidade quase que ilimitada.

3.2 Sistemas fotovoltaicos conectados ao sistema integrado

Ely e Swart (2014) afirmam que a energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão da luz direta provida do Sol em eletricidade. Existem três gerações da tecnologia empregada nesse recurso, onde na primeira, que representa 90% do mercado (sendo a de maior viabilidade) e que consiste em cadeias produtivas como silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). A segunda possui três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Com desvantagens relacionadas a baixo rendimento de células e a toxicidade e por fim a última geração dividida em três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV), células sensibilizadas por corante (DSSC) e células orgânicas ou poliméricas.

De acordo com as afirmações e estudos de Caires (2016), os sistemas conhecidos como *on-grid*, são os mais utilizados na atualidade, uma vez que não exigem componentes necessários ao armazenamento de energia, ou os mais conhecidos bancos de energia. O que “sobra” desta energia gerada é utilizada e injetada nos sistemas integrados. O mesmo possui por elementos: o(s) módulo(s) fotovoltaico(s), o conjunto de inversores, o quadro elétrico, os dispositivos de proteção e o medidor bidirecional entre outros elementos menores.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) da cidade de Terra Rica é uma autarquia municipal responsável pelo fornecimento de água potável e pelo tratamento de esgoto na cidade de Terra Rica, localizada no noroeste do Estado do Paraná, Brasil. Foi criado através da Lei Municipal nº 023/1993 e tem como objetivo principal garantir o abastecimento de água de qualidade à população (6.335 hidrômetros), além de promover ações para preservação e conservação dos recursos hídricos da região. A autarquia também é responsável pelo gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos, bem como pelo monitoramento e controle da qualidade da água e esgoto. Abaixo temos a Figura 1 mostrando o logo e fachada do SAMAE.

Figura 1 – Logo e fachada da sede da SAMAE



Fonte: SAMAE

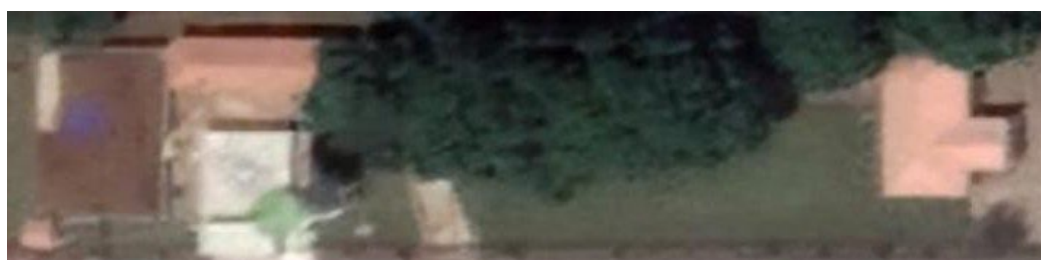
4.1 Local de estudo

O sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos será implementado no Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE, situado na Avenida James Patrick Clark, nº 233 – Centro, Terra Rica/PR, como

pode-se observar na figura 2. O local possui uma ampla área externa utilizável, sendo possível a correta instalação da estrutura acima dos telhados.

Antes de dimensionar o projeto, foi realizado uma série de visitas ao local do projeto, a fim de identificar detalhes da localização, como a superfície de instalação, presença de sombreamento ou qualquer outro fator que interfira no projeto.

Figura 2 – Vista aérea da SAMAE



Fonte: Google Earth (2022)

4.2 Irradiação Solar

A irradiação solar é a quantidade de energia proveniente do Sol que atinge uma determinada superfície por um determinado período de tempo. A irradiação solar é medida em kilowatts hora por metro quadrado . dia (kWh/m².dia) e depende de vários fatores, como a hora do dia, a latitude e a altitude do local, a presença de nuvens, nevoeiro ou poluição, dentre outros.

Utilizando os dados registrados da CRESESB (2023) da cidade de Terra Rica (Latitude 22,701° S e Longitude 52,649° O), através da Tabela 1 apresentada, tem-se que a estação meteorológica mais próxima do local de instalação fica a 4,8 km e, com isso, veem-se as informações de irradiação solar, conforme Tabela 2 e no Gráfico 1, sabendo que o delta significa a variação entre o pior e melhor dia em nível de irradiação.

Tabela 1 – Estações Meteorológicas próximas ao local de estudo

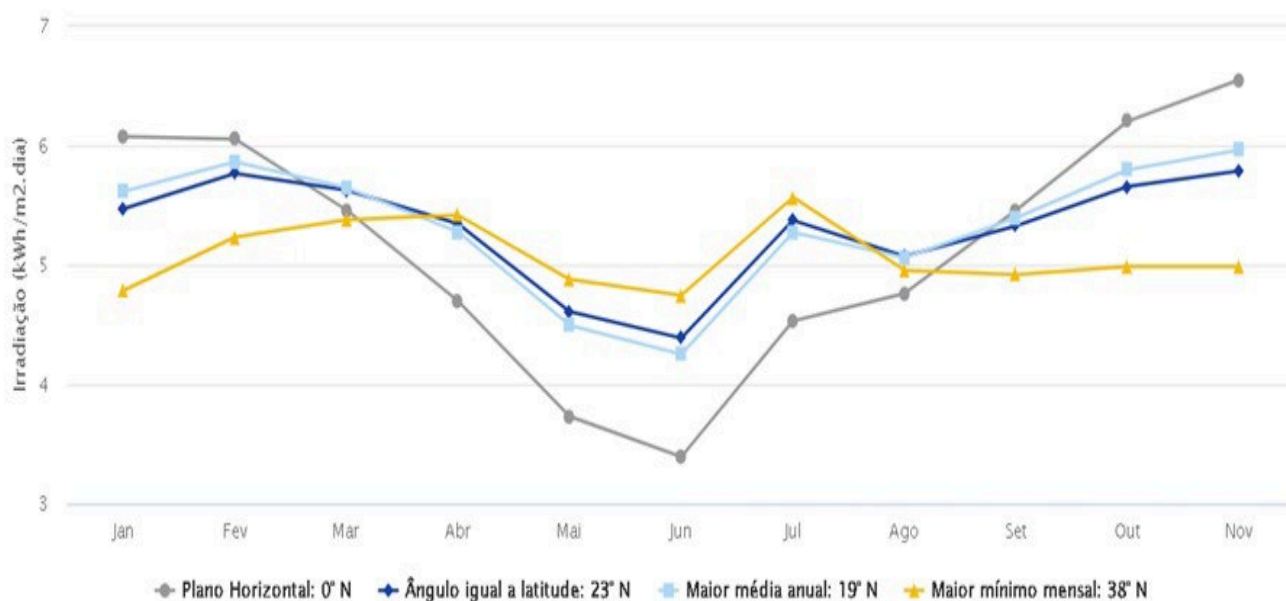
Estação Meteorológica	Distância (km)
Terra Rica 1	4,8
Terra Rica 2	7,9

Fonte: CRESESB (2023) – SunData 3.0

Tabela 2 – Dados da Irradiação Solar em Terra Rica – PR

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Plano Horizontal	0° N	6,08	6,06	5,46	4,70	3,73	3,39	3,60	4,53	4,76	5,46	6,21	6,55	5,04	3,16
Ângulo igual a latitude	23° N	5,47	5,77	5,63	5,34	4,61	4,39	4,58	5,37	5,07	5,33	5,66	5,79	5,25	1,40
Maior média anual	19° N	5,62	5,86	5,65	5,28	4,49	4,25	4,45	5,27	5,06	5,39	5,80	5,96	5,26	1,71
Maior mínimo mensal	38° N	4,79	5,23	5,38	5,42	4,88	4,75	4,91	5,57	4,95	4,92	4,99	4,99	5,06	,82

Fonte: CRESESB (2023) – SunData 3.0

Gráfico 1 – Irradiação Solar no Plano Inclinado – Terra Rica – PR

Fonte: CRESESB (2023) – SunData 3.0

4.3 Preço da Energia Elétrica

As tarifas empregadas foram registradas a partir da fatura de energia referente ao mês de fevereiro de 2023, de acordo com a Tabela 3. O contrato com a COPEL – Companhia Paranaense de Energia (2023) distingue o consumo em horário de ponta e fora de ponta. Com isso, é sugerido o preço médio da energia elétrica. Conforme Cavalcante Neto (2018), esse valor pode ser determinado por meio da equação 1 abaixo:

$$\text{Preço Médio} = \frac{\text{Fatura (R\$)}}{\text{Consumo de Energia (kWh)}} \quad (1)$$

Na fatura de fevereiro de 2023 tem-se o valor de R\$ 2058,87 e um consumo de energia de 2822 kWh, com tais valores e substituindo na equação 1, tem-se:

$$\text{Preço Médio} = \frac{\text{R\$ } 2058,87}{2822 \text{ kWh}} = 0,739146 \text{ R\$/kWh}$$

Portanto, o preço médio calculado é de aproximadamente 0,74 R\$/kWh.

Com efeito, o sistema de compensação de energia elétrica funciona com a geração de créditos energéticos que são utilizados para abater o consumo de energia elétrica da unidade consumidora. Esses créditos não têm valor monetário definido e seu valor depende da tarifa vigente. O sistema permite a redução dos custos de energia elétrica, pois, quanto maior a tarifa da energia elétrica, menor será o tempo de retorno do investimento realizado.

4.4 Dimensionamento do Projeto

O dimensionamento de um projeto de energia solar fotovoltaica envolve a especificação dos equipamentos que compõem o sistema. No caso dos módulos fotovoltaicos, é importante considerar as suas características de entrada, dimensão, eficiência, entre outros. Já o inversor, que é responsável por converter a energia gerada pelos painéis de corrente contínua em corrente alternada, deve ser selecionado de acordo com a potência e a tensão do sistema.

Além desses equipamentos, é necessário especificar também os dispositivos de proteção, que garantem a segurança do sistema. A disposição dos painéis também deve ser bem planejada, considerando a inclinação e orientação ideais para a região em que o sistema será instalado. O dimensionamento adequado e a especificação correta dos equipamentos são fundamentais para garantir a eficiência e a segurança do sistema de energia solar fotovoltaica.

In casu, serão dimensionados dois Kits Fotovoltaicos para uma melhor comparação, cada um com módulos e inversores diferentes e, conseqüentemente, valores calculados e orçamento distintos.

4.4.1 Escolha dos Módulos

A escolha de um módulo fotovoltaico para um projeto depende de vários fatores, tais como o objetivo do projeto, o local de instalação, a disponibilidade de espaço para instalação e o orçamento disponível. É necessário avaliar a eficiência do módulo, sua capacidade de geração de energia, sua durabilidade, bem como a garantia oferecida pelo fabricante. Ao selecionar o módulo fotovoltaico para um projeto, é necessário levar em conta o consumo médio da unidade consumidora que será atendida total ou parcialmente pela geração de energia solar.

Assim sendo, foram considerados dados de consumo referentes ao período entre maio de 2022 e abril de 2023, período em que a sede do SAMAE estava em uso regular. Na Tabela 3, tem-se o consumo mensal em kWh do SAMAE no período analisado.

Tabela 3 – Consumo mensal da SAMAE no período entre mai.2022 e abr.2023

<i>Mês</i>	<i>CONSUMO (kWh)</i>
<i>mai/22</i>	<i>1742</i>
<i>jun/22</i>	<i>1717</i>
<i>jul/22</i>	<i>1855</i>
<i>ago/22</i>	<i>1951</i>
<i>set/22</i>	<i>2419</i>
<i>out/22</i>	<i>1851</i>
<i>nov/22</i>	<i>1988</i>
<i>dez/22</i>	<i>2783</i>
<i>jan/23</i>	<i>3113</i>
<i>fev/23</i>	<i>2822</i>
<i>mar/23</i>	<i>2776</i>
<i>abr/23</i>	<i>2839</i>
TOTAL	27856
<i>Média Mensal</i>	2321

Fonte: Autor (2023)

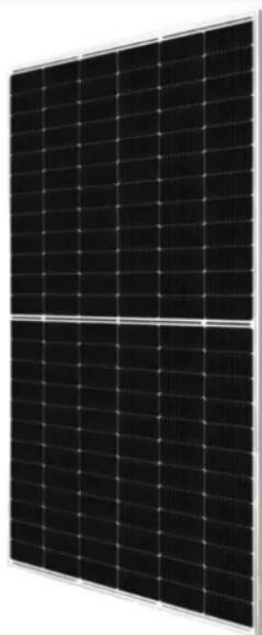
Portando, tem-se que a demanda a ser fornecida pelo sistema é em média a de 2321 kWh/mês, e a demanda anual é de 27856 kWh.

Para a determinação da quantidade de módulos que o projeto necessita, leva-se em conta alguns fatores, como especificações técnicas do módulo escolhido, as dimensões do local onde o sistema fotovoltaico será instalado e a irradiação solar no local. Foi feito o orçamento com dois conjuntos de equipamentos diferentes, de acordo

com uma consulta de mercado, disponibilidade, fabricantes e preço.

Para o Kit Fotovoltaico 1, foi escolhido o módulo da fabricante Canadian Solar, modelo CS6W-545MS, de 144 células de silício monocristalino, potência de pico de 545 W e dimensões 2,261 m x 1,134 m x 0,03 m (Figura 3).

Figura 3 – Módulo solar Canadian 545 W



Fonte: Canadian Solar (2023)

Na figura 4 tem-se as especificações técnicas do módulo disponível no catálogo da Canadian Solar.

Figura 4 – Especificações técnicas do módulo modelo CS6W-545MS**ELECTRICAL DATA | STC***

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W	555 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V	41.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A	13.25 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V
Short Circuit Current (Isc)	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A	14.05 A
Module Efficiency	20.5%	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	25 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Fonte: Canadian Solar (2023)

Para o Kit Fotovoltaico 2, foi escolhido o módulo da fabricante Sunova Solar Technology, modelo SS-555-72MDH de 144 células de silício monocristalino, potência de pico de 555 W e dimensões 2,279 m x 1,134 m x 0,035 m (Figura 5).

Figura 5 – Módulo solar Sunova Solar Technology 555 W

Fonte: Sunova Solar Technology (2023)

Na figura 6, tem-se as especificações técnicas do módulo disponível no catálogo da Sunova Solar Technology.

Figura 6 - Especificações técnicas do módulo modelo SS-555-72MDH

Model of modules	SS-540-72MDH		SS-545-72MDH		SS-550-72MDH		SS-555-72MDH	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum power – P_{mp} (W)	540	402	545	406	550	410	555	414
Open-circuit voltage – V_{oc} (V)	49.42	46.65	49.51	46.74	49.60	46.82	49.68	46.93
Short-circuit current – I_{sc} (A)	13.85	11.19	13.94	11.27	14.04	11.35	14.13	11.42
Maximum power voltage – V_{mp} (V)	40.71	38.11	40.76	38.19	40.83	38.25	40.89	38.32
Maximum power current – I_{mp} (A)	13.27	10.56	13.38	10.64	13.48	10.73	13.58	10.81
Module efficiency – η_m (%)	20.9%		21.1%		21.3%		21.48%	
Power tolerance (W)	(0,+5)							
Maximum system voltage (V)	1500							
Maximum rated fuse current (A)	25							
Current operating temperature (°C)	-40+85 °C							

Fonte: Sunova Solar Technology (2023)

Utilizando o SunData 3.0, disponível no site do CRESESB (2023), foi possível direcionar a irradiação solar média no local de instalação, cujos valores para o plano inclinado e horizontal estão disponíveis na tabela 2. Os resultados indicam que a irradiação solar média para o plano inclinado foi de 5,25 kWh/m².dia, enquanto que para o plano horizontal foi de 5,04 kWh/m².dia.

Para fazer o cálculo da energia produzida por cada um dos módulos, considerar-se-á como referência os valores de irradiação, a área do módulo, a eficiência e o fator de perda (sendo o valor encontrado no datasheet de cada fabricante), utilizando a equação 2 (COSTA, 2010) abaixo:

$$E_p = G_M \cdot A \cdot e \cdot perda \quad ($$

No qual:

$$E_p: \text{Energia produzida} \left(\frac{kWh}{dia} \right)$$

$$G_m: \text{Geração por módulo} \left(\frac{kWh}{m^2} \cdot dia \right)$$

$$A: \text{Área do módulo} (m^2)$$

e: eficiência do módulo

perda: fator de perda

Substituindo com os valores já conhecidos dos painéis escolhidos para cada conjunto, tem-se:

- Kit Fotovoltaico 1 (Módulo solar Canadian Solar 545 W)

$$E_p = 5,25 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot \text{dia} \cdot 2,261 \text{ m} \cdot 1,134 \text{ m} \cdot 0,211 \cdot 0,88 = 2,499 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \text{ ou } 75 \text{ kWh/mês}$$

- Kit Fotovoltaico 2 (Módulo solar Sunova Solar Technology 555 W)

$$E_p = 5,25 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot \text{dia} \cdot 2,279 \text{ m} \cdot 1,134 \text{ m} \cdot 0,2148 \cdot 0,88 = 2,565 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \text{ ou } 77 \text{ kWh/mês}$$

Ou seja, cada módulo da Canadian Solar de 545 W produzirá 2,499 kWh/dia ou aproximadamente 75 kWh/mês, e o módulo da Sunova Solar Technology de 555 W produzirá 2,565 kWh/dia ou 77 kWh/mês.

É possível determinar a quantidade de módulos necessários por meio da aplicação da equação 3:

$$N_p = \frac{E_d}{E_p} \quad (3)$$

Onde:

N_p : Número de módulos

E_d : Demanda de energia mensal $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{mês}}\right)$

E_p : Energia produzida por módulo mensalmente $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{mês}}\right)$

Portanto, para cada conjunto teremos:

- Kit Fotovoltaico 1 (Módulo solar Canadian Solar 545 W)

$$N_p = \frac{2321 \text{ kWh}}{75 \text{ kWh}} = 30,96 \text{ módulos}$$

- Kit Fotovoltaico 2 (Módulo solar Sunova Solar Technology 555 W)

$$N_p = \frac{2321 \text{ kWh}}{77 \text{ kWh}} = 30,17 \text{ módulos}$$

Para prever possíveis aumentos de consumo no futuro e garantir uma margem de segurança, será adotado um superdimensionamento de 30% em relação ao número de módulos fotovoltaicos necessários para suprir a demanda energética atual. Com isso, ter-se-á um aumento de 30,96 para 40 módulos no Kit Fotovoltaico 1 e de 30,17 para 40 módulos no Kit Fotovoltaico 2.

Para atender a demanda energética dos kits fotovoltaicos, será utilizado um arranjo em série dos módulos fotovoltaicos, que permite obter a tensão necessária dentro da faixa de funcionamento dos inversores escolhidos.

No arranjo em paralelo, os módulos são conectados lado a lado, ou seja, as conexões positivas dos módulos são interligadas e as conexões negativas também são interligadas. Dessa forma, a tensão é mantida constante, enquanto a corrente é somada, resultando em uma potência total maior do que a soma das potências individuais de cada módulo.

Já no arranjo em série, os módulos são conectados em sequência, ou seja, a conexão positiva de um módulo é conectada à conexão negativa do outro módulo. Dessa forma, a corrente é mantida constante, enquanto a tensão é somada, resultando em uma tensão total maior do que a tensão de cada módulo individual, mas com a mesma corrente, resultando em uma potência total menor do que a soma das potências individuais de cada módulo.

O controlador de carga é um elemento importante na conexão dos módulos fotovoltaicos. Quando os módulos são conectados em série são utilizados controladores de carga Maximum Power Point Tracking (MPPT), enquanto os controladores de carga Pulse Width Modulation (PWM) são utilizados em módulos conectados em paralelo.

4.4.2 Área de Instalação

Para determinar a área necessária para a instalação da quantidade calculada de módulos, calcula-se utilizando o número de módulos e a área de cada um deles com a equação 4. Sendo adicionado 3 cm na lateral de cada módulo para a instalação dos perfis metálicos da estrutura.

$$\text{Área de instalação} = A \cdot N_p$$

Sendo: (4)

A: Área do módulo (m^2)

N_p: Número de módulos

Com isso, a área de instalação necessária é de:

- Kit Fotovoltaico 1

$$\text{Área de instalação} = (2,292 \cdot 1,164) \cdot 40 = 107 \text{ m}^2$$

- Kit Fotovoltaico 2

$$\text{Área de instalação} = (2,309 \cdot 1,164) \cdot 40 = 105 \text{ m}^2$$

4.4.3 Escolha dos Inversores

O inversor é responsável por converter a corrente elétrica contínua produzida pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada, que é utilizada para alimentar a rede elétrica ou os equipamentos conectados. Para isso, o inversor deve ter potência nominal igual ou maior a capacidade total do sistema, que é calculado a partir da potência de pico do campo fotovoltaico (total dos painéis fotovoltaicos), conforme a equação 5.

$$P_t = P_{(max,pico)} \cdot N_p \quad (5)$$

Temos:

P_t: Potência total do sistema (W)

N_p: Número de módulos

P_(max,pico): Potência máxima de pico (W)

Substituindo os valores calculados na equação 5, tem-se:

- Kit Fotovoltaico 1

$$P_t = 545 \text{ W} \cdot 40 = 21800 \text{ W} = 21,8 \text{ kW}$$

- Kit Fotovoltaico 2

$$P_t = 555 \text{ W} \cdot 40 = 22200 \text{ W} = 22,2 \text{ kW}$$

Portando, com o cálculo da potência total do sistema em cada conjunto, é feita a escolha dos modelos de inversores e para evitar o efeito de *clipping*, que ocorre quando os painéis exercem uma potência maior do que o inversor pode sustentar e o excesso de potência é forçado, razão pela qual é importante garantir que o inversor não seja subdimensionado, como afirmado por Souza (2019).

Para o Kit Fotovoltaico 1, foi escolhido o inversor solar GROWATT On-Grid, modelo MID25KTL3-X (Figura 7), possuindo 25 kW de potência nominal, apresentando proteção tipo II para o sentido de corrente alternada e corrente contínua, dispensando assim a utilização de DPS adicionais, além de possuir teclas sensíveis ao toque, display OLED e monitoramento integral. A Figura 8 apresenta as características do inversor utilizado no projeto.

Figura 7 – Inversor solar GROWATT MID25KTL3-X 25kW



Fonte: GROWATT (2023)

Figura 8 – Características do inversor

Ficha de Dados	MID 15KTL3-X	MID 20KTL3-X	MID 25KTL3-X
Dados de entrada			
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	22500W	30.000W	3700W
Máxima tensão CC		1100V	
Tensão de partida		250V	
Faixa de tensão de MPPT		180V-1000V	
Tensão nominal		580V	
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	2/2+2	2/2+2	2/2+3
Máxima corrente máxima de entrada por string	25A	25A	25A/37.5
Máxima corrente de entrada	32A	32A	32A/48A
Saída (CA)			
Potência nominal de saída CA	15000W	20000W	25000W
Potência aparente máxima de CA	16600VA	22000VA	25000VA
Tensão nominal de saída CA (Faixa)		220V/380V(340V-440V)	
Frequência de rede CA(Faixa)		50/60Hz(45-55Hz/55-65Hz)	
Máxima corrente de Saída	24.2A	31.9A	36.2A

Fonte: GROWATT (2023)

Para o Kit Fotovoltaico 2, foi escolhido o inversor solar Canadian Solar On-Grid, modelo CSI-25KTL-GI-L (Figura 9), possuindo 25 kW de potência nominal, apresentando proteção tipo II para o sentido de corrente alternada e corrente contínua, dispensando assim a utilização de DPS adicionais, display LCD, sistema de resfriamento e monitoramento inteligente. A Figura 10 apresenta as características do inversor utilizado no projeto.

Figura 9 – Inversor solar Canadian Solar modelo CSI-25KTL-GI-L

Fonte: Canadian Solar (2023)

Figura 10 – Características do inversor

DADOS TÉCNICOS/SISTEMA				
NOME DO MODELO	CSI-15KTL-GI-LFL	CSI-20KTL-GI-LFL	CSI-25KTL-GI-L	CSI-30KTL-GI-L
ENTRADA CC				
Máx. Potência PV	22,5 kW	30 kW	37,5 kW	45 kW
Máx. Tensão de Entrada CC	1000 V _{cc}		1100 V _{cc}	
Tensão/Potência de Partida da Entrada CC	350 V _{cc}		200 V _{cc}	
Número de MPPTs	2			
Faixa de Tensão de MPPT	200 - 800 V _{cc}		200 - 850 V _{cc}	
Máx. Corrente de Entrada (Imp)	40 A (20 A por MPPT)		57 A (28,5 A por MPPT)	
Máx. Corrente de Curto-Circuito (Isc)	56,2 A (28,1 A por MPPT)		89 A (44,5 A por MPPT)	
Número de Entradas CC	4 (2 por MPPT)		6 (3 por MPPT)	
Tipo de Desconexão CC	Chave de Carga CC Nominal			
SAÍDA CA				
Potência Nominal de Saída CA	15 kW	20 kW	25 kW	30 kW
Potência Nominal de Saída CA	16,5 kW	20 kW	27,5 kW	30 kW
Tensão Nominal de Saída	220 V _{ca}			
Faixa de Tensão de Saída*	180 - 270 V _{ca}			
Tipo de Conexão de rede	3 Φ / PE			
Corrente Nominal de Saída de Grade	39,4 A	52,5 A	65,6 A	78,8 A
Máx. Corrente de Saída	43,3 A	52,5 A	72,2 A	78,8 A

Fonte: Canadian Solar (2023)

4.4.4 Organização e Configuração dos Módulos

Através dos catálogos com as características específicas de cada inversor, tem-se que o inversor GROWATT de 25 kW possui 2 MPPT com a possibilidade de 2 *strings* por MPPT e uma faixa de tensão de 200 a 1000 V. No inversor Canadian Solar de 25 kW possui 4 MPPT com a possibilidade de 2 *strings* por MPPT e uma faixa de tensão de 200 a 850 V.

Em cada conjunto, pode-se fazer o seguinte arranjo:

No Kit Fotovoltaico 1 será feito um arranjo de 2 *strings* com 20 módulos cada, com 1 *string* em cada MPPT. No Kit Fotovoltaico 2, será feito um arranjo de 4 *strings* com 10 módulos cada, com 1 *string* em cada MPPT. Cada *string* de módulos precisa estar dentro da faixa de tensão do inversor para que ele funcione corretamente. A tensão dos módulos se soma quando conectados em série, mas permanece a mesma quando conectados em paralelo. Como cada *string* possui um número específico de módulos em série, onde a tensão de cada uma é somada. A tensão que o inversor irá suportar pode ser calculada com base no número de módulos em uma *string* e na tensão máxima de energia (V_{mp}), utilizando a equação 6.

Onde:

25

$$T_s = N_p \cdot V_{mp} \quad (6)$$

T_s : Tensão da string (V)

N_p : Número de módulos

V_{mp} : Tensão na potência máxima (V)

Substituindo os valores calculados e obtidos no catálogo de cada fabricante, temos que:

- Kit Fotovoltaico 1

$$T_s = 20 \cdot 41,5 \text{ V} = 830 \text{ V}$$

Ou seja, de acordo com o catálogo a tensão em cada string está de acordo com a faixa de tensão do inversor. O inversor aguenta até 25 A em cada MPPT, como haverá 1 string por MPPT e sabendo que, se houver mais de um string, as correntes serão somadas e obtém-se a corrente de entrada em cada MPPT, utilizando o valor da corrente de potência máxima do módulo, obtida no catálogo.

$$I_{mp} = 13,14 \text{ A}$$

Como o número de módulos é o mesmo em cada string, a corrente calculada é a que terá nos 2 MPPTs.

- Kit Fotovoltaico 2

$$T_s = 10 \cdot 40,89 \text{ V} = 409 \text{ V}$$

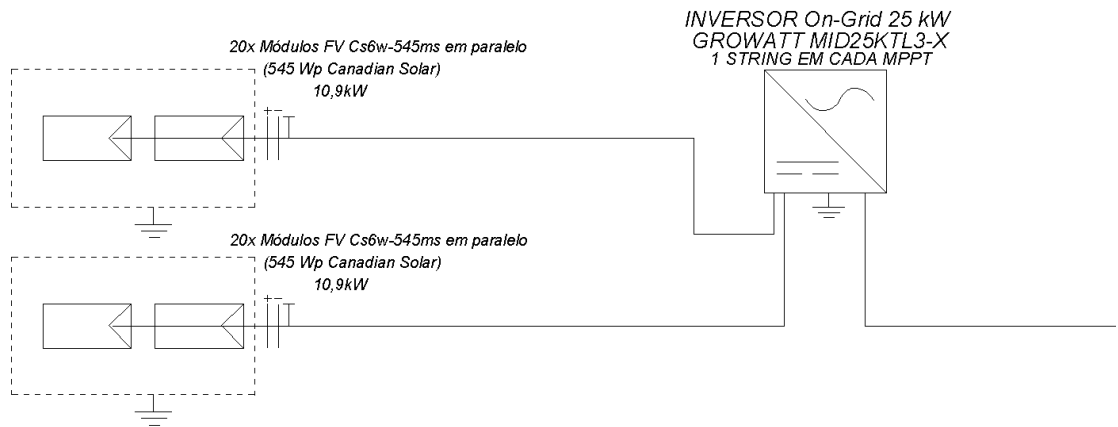
A tensão em cada string está dentro da faixa de tensão do inversor de acordo com o datasheet do fabricante. Como o inversor aguenta até 28,5 A em cada MPPT e havendo 1 string por MPPT, tem-se que a corrente de entrada por MPPT é:

$$I_{mp} = 13,58 \text{ A}$$

Como o número de módulos é o mesmo em cada string, a corrente calculada é a que terá nos 4 MPPT.

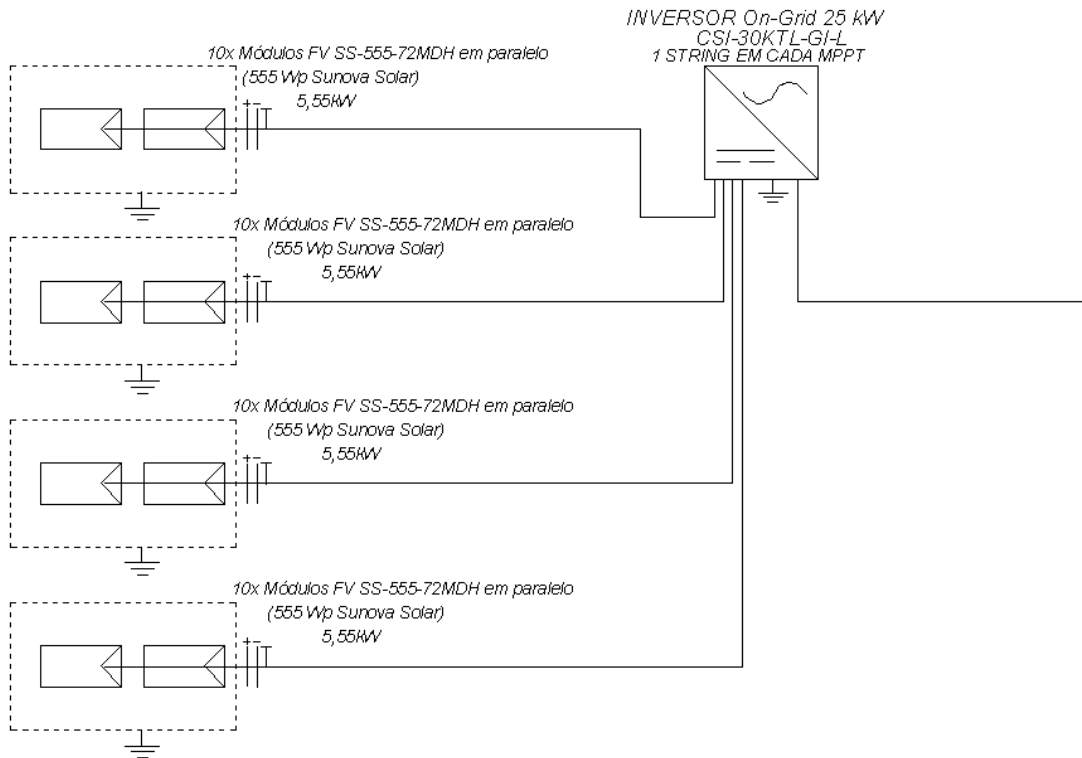
Abaixo (Figuras 11 e 12) podemos analisar o diagrama unifilar de cada kit fotovoltaico e como ficaria sua configuração de instalação.

Figura 11 – Diagrama unifilar do Kit Fotovoltaico 1



Fonte: Autor (2023)

Figura 12 – Diagrama unifilar do Kit Fotovoltaico 2



Fonte: Autor (2023)

4.4.5 Dispositivos de Segurança

O uso de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) em um sistema fotovoltaico é imprescindível para evitar danos causados por descargas elétricas. No entanto, em alguns casos, o inversor utilizado no sistema já possui proteções internas que podem ser suficientes para garantir a sua segurança. Nesse sentido, ao verificar as especificações técnicas dos inversores escolhidos para os projetos, constatou-se que os mesmos já possuem proteções contra surtos integrados (Figura 11). Portanto, nos projetos, o uso de DPS adicional se torna dispensável.

Figura 13 – DPS integrado ao inversor

Dispositivos de proteção		
Proteção de polaridade reversa de CC		Sim
Interruptor CC		Sim
Proteção de sobretensão CC		Tipo II
Monitoramento de falta à terra		
Proteção contra curto-circuito de saída		Sim
Monitoramento de falta à terra		Sim
Proteção de sobretensão CA		Tipo II

Fonte: GROWATT (2023)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados a seguir demonstram os valores de orçamento, *payback*, fluxo de caixa e quantidade de carbono evitado em cada projeto, permitindo uma análise da viabilidade econômica e ambiental das instalações de energia solar fotovoltaica.

Antes da implementação da instalação, é fundamental que seja feita uma análise da viabilidade financeira do projeto de energia solar fotovoltaica. Neste estudo, serão utilizados o *Payback* Simples e o Fluxo de Caixa como indicadores da viabilidade econômica do sistema. Além disso, foram realizados levantamentos dos equipamentos necessários, bem como seus valores de mercado e avaliação de fornecedores, a fim de obter um orçamento (Tabela 4) realista para a implantação do projeto, não levando em consideração o custo da mão de obra da instalação.

Tabela 4 – Equipamentos necessários e orçamento de cada kit fotovoltaico

	Produto	Quantidade	Preço unit. (R\$)	Preço total (R\$)
Kit Fotovoltaico 1	Painel Solar 545 W Canadian	40	R\$ 1.279,31	R\$ 51.172,40
	Inversor GROWATT 25kW	1	R\$ 12.939,00	R\$ 12.939,00
	Conector MC4-Par macho/fêmea	40	R\$ 8,58	R\$ 343,20
	Cabo solar preto (m)	80	R\$ 9,00	R\$ 720,00
	Cabo solar vermelho (m)	80	R\$ 9,00	R\$ 720,00
	Grampo Intermediario	50	R\$ 7,10	R\$ 355,00
	Perfil de aluminio	60	R\$ 330,00	R\$ 19.800,00
	Grampo terminal	12	R\$ 9,80	R\$ 117,60
	Parafusos	150	R\$ 24,47	R\$ 3.670,50
	Gancho p/ cerâmica	200	R\$ 48,50	R\$ 9.700,00
	Total			R\$ 99.537,70
	Produto	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Kit Fotovoltaico 2	Painel Solar 555 W Sunova	40	R\$ 999,75	R\$ 39.990,00
	Inversor Canadian Solar 25kW	1	R\$ 22.545,00	R\$ 22.545,00
	Conector MC4 par-macho/fêmea	40	R\$ 8,58	R\$ 343,20
	Cabo solar preto (m)	80	R\$ 9,00	R\$ 720,00
	Cabo solar vermelho (m)	80	R\$ 9,00	R\$ 720,00
	Grampo Intermediario	50	R\$ 7,10	R\$ 355,00
	Perfil de aluminio	60	R\$ 350,00	R\$ 21.000,00
	Grampo terminal	12	R\$ 9,80	R\$ 117,60
	Parafusos	150	R\$ 24,47	R\$ 3.670,50
	Gancho p/ cerâmica	200	R\$ 48,50	R\$ 9.700,00
	Total			R\$ 99.161,30

Fonte: Autor (2023)

Inicialmente, para o cálculo da economia anual utiliza-se a equação 7, onde

tem-se o preço médio já calculado, juntamente com demanda anual a ser suprida pelo sistema instalado.

$$Economia\ Anual = P_m \cdot E_e \quad (7)$$

Onde:

$$P_m: \text{Preço médio} \left(\frac{R\$}{kWh} \right)$$

$$E_e: \text{Economia energética (kWh)}$$

$$Economia\ Anual = 0,74 \frac{R\$}{kWh} \cdot 27856 \frac{kWh}{ano} = R\$20613,44$$

Então temos:

A partir dos valores calculados, é possível fazer o cálculo do *payback* simples (equação 8), na qual é uma análise que busca identificar em quanto tempo o custo inicial do projeto será recuperado.

$$Payback\ simples = \frac{Custo\ inicial\ do\ projeto}{Economia\ anual} \quad (8)$$

Com isso, nas duas situações tem-se o retorno em:

- Kit Fotovoltaico 1

$$Payback\ simples = \frac{R\$ 99537,70}{R\$20613,44} = 4,83$$

- Kit Fotovoltaico 2

$$Payback\ simples = \frac{R\$ 99161,30}{R\$20613,44} = 4,81$$

Ou seja, o período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial

em cada caso será de 4 anos e 10 meses para a implementação do Kit Fotovoltaico 1 e de 4 anos e 10 meses para a implementação do Kit Fotovoltaico 2.

Para uma melhor análise da viabilidade econômica de um projeto, é indicado utilizar o fluxo de caixa, como visto na Tabela 5 e 6, em vez do *payback* simples. Isso ocorre porque o fluxo de caixa leva em consideração não apenas o tempo de retorno do investimento, mas também o índice de depreciação dos módulos de 0,55% ao ano, de acordo com o catálogo da Canadian Solar (2023) e da Sunova (2023) e também

o índice da inflação pelo IPCA (2023) de 18%, proporcionando uma visão mais completa da rentabilidade do projeto ao longo do tempo de vida útil.

Tabela 5 – Fluxo de caixa para o Kit Fotovoltaico 1

ANO	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Saldo (R\$)
0	27856	0,740	20613,44	-99537,70
1	27702,79	0,873	24190,08	-78924,26
2	27550,43	1,030	28387,30	-54734,18
3	27398,90	1,216	33312,78	-26346,88
4	27248,21	1,435	39092,88	6965,89
5	27098,34	1,693	45875,88	46058,77
6	26949,30	1,998	53835,81	91934,66
7	26801,08	2,357	63176,86	145770,47
8	26653,67	2,782	74138,68	208947,33
9	26507,08	3,282	87002,48	283086,00
10	26361,29	3,873	102098,28	370088,48
11	26216,30	4,570	119813,35	472186,76
12	26072,11	5,393	140602,17	592000,11
13	25928,71	6,364	164998,05	732602,28
14	25786,11	7,509	193626,86	897600,33
15	25644,28	8,861	227223,06	1091227,19
16	25503,24	10,455	266648,53	1318450,24
17	25362,97	12,337	312914,71	1585098,77
18	25223,48	14,558	367208,55	1898013,48
19	25084,75	17,179	430922,90	2265222,03
20	24946,78	20,271	505692,33	2696144,93
21	24809,57	23,920	593435,01	3201837,26
22	24673,12	28,225	696401,92	3795272,27
23	24537,42	33,306	817234,61	4491674,19
24	24402,46	39,301	959032,99	5308908,80

Fonte: Autor (2023)

Tabela 6 – Fluxo de caixa para o Kit Fotovoltaico 2

ANO	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Saldo (R\$)
0	27856	0,740	20613,44	-99161,30
1	27702,79	0,873	24190,08	-78547,86
2	27550,43	1,030	28387,30	-54357,78
3	27398,90	1,216	33312,78	-25970,48
4	27248,21	1,435	39092,88	7342,29
5	27098,34	1,693	45875,88	46435,17
6	26949,30	1,998	53835,81	92311,06
7	26801,08	2,357	63176,86	146146,87
8	26653,67	2,782	74138,68	209323,73
9	26507,08	3,282	87002,48	283462,40
10	26361,29	3,873	102098,28	370464,88
11	26216,30	4,570	119813,35	472563,16
12	26072,11	5,393	140602,17	592376,51
13	25928,71	6,364	164998,05	732978,68
14	25786,11	7,509	193626,86	897976,73
15	25644,28	8,861	227223,06	1091603,59
16	25503,24	10,455	266648,53	1318826,64
17	25362,97	12,337	312914,71	1585475,17
18	25223,48	14,558	367208,55	1898389,88
19	25084,75	17,179	430922,90	2265598,43
20	24946,78	20,271	505692,33	2696521,33
21	24809,57	23,920	593435,01	3202213,66
22	24673,12	28,225	696401,92	3795648,67
23	24537,42	33,306	817234,61	4492050,59
24	24402,46	39,301	959032,99	5309285,20

Fonte: Autor (2023)

Os fluxos de caixa demonstram que o investimento inicial nos Kits Fotovoltaicos 1 e 2 apresentam retornos praticamente iguais de 4 anos e 3 meses.

A energia solar é uma fonte de energia limpa e renovável que apresenta diversas vantagens em relação às fontes de energia tradicionais, a sua utilização contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa, e ajuda a diminuir a dependência em combustíveis fósseis. Uma maneira de ficar menos abstrato e facilitar a visualização da sustentabilidade ambiental que envolve as instalações fotovoltaicas, é utilizar algumas medidas de equivalência de sustentabilidade envolvendo a quantidade de emissão de CO₂ evitado, como por exemplo o número de árvores cultivadas.

O carbono evitado (equação 9) é uma medida que estima a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) que não é emitido para a atmosfera como resultado da produção de energia limpa a partir de fontes renováveis, como a energia solar. O fator de emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional (SIN) é usado como uma referência para calcular a quantidade de CO₂ que seria conectado para produzir a mesma quantidade de energia elétrica a partir de fontes fósseis.

$$\text{Carbono Evitado (kg)} = \text{Energia Gerada (kWh)} \cdot \text{Fator de emissão CO}_2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right) \quad (9)$$

Através das Tabelas 5 e 6, temos que a energia gerada nos 24 anos de vida útil da instalação será de 652.318 kWh e o fator de emissão de CO₂, publicado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) foi de 0,3406 t CO₂/MWh, para utilizar o fator em kg/kWh, será feita a conversão na razão de 1:1.

Substituindo os valores de energia gerada e o fator de emissão na equação 9, tem-se:

$$\text{Carbono Evitado} = 652.318 \text{ kWh} \cdot 0,3406 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} = 222.179,64 \text{ kg}$$

Desse modo, foi evitado a emissão de 222.179,64 kg ou aproximadamente 222,2 toneladas de carbono na atmosfera.

As árvores são importantes no ecossistema por removerem gases do efeito estufa, principalmente o CO₂, auxiliando na redução do aquecimento global. O número de árvores plantadas é um indicador de sustentabilidade que se baseia na quantidade de CO₂ removida por cada árvore cultivada durante um período de 20 anos. O fator de retenção de CO₂ varia conforme a espécie da árvore. Cada árvore faz uma remoção média de 12,48 kg de CO₂ por ano, ou seja, no 20º ano de cultivo uma única árvore terá removido 249,60 kg de CO₂.

Portanto, se 4 árvores removem aproximadamente 1 tonelada de CO₂, temos que as 222,2 toneladas de carbono evitado através da implementação da energia solar equivale a 889 árvores cultivadas por 20 anos.

CONCLUSÃO

Com base nas análises de viabilidade econômica do estudo proposto, podemos concluir que a instalação do sistema fotovoltaico é financeiramente viável. Independentemente do kit escolhido, o retorno do investimento será alcançado em 4 anos e 3 meses, o que é significativamente menor que a vida útil estimada do sistema, que é de 24 anos. A análise de impacto ambiental também concluiu que o sistema pode evitar a emissão direta de 222,2 toneladas de carbono durante sua vida útil, equivalente ao plantio de 889 árvores. O sistema contará com 40 módulos fotovoltaicos para atender a 100% da demanda de energia da sede do SAMAE, com espaço para expansões futuras. Além disso, a economia gerada no primeiro ano será de cerca de R\$ 20613,44. Com base nisso, é possível afirmar de que o trabalho foi bem sucedido nas análises feitas na questão ambiental e econômica, tendo uma perspectiva positiva em relação aos resultados encontrados e sendo um trabalho útil para tomada de decisões dos gestores do SAMAE em uma possível adoção de solução sustentável para o futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, **Agência Nacional de Energia Elétrica. Energia Solar**. 2014 Disponível em: < [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em:10 de mar. 2023

AZAMBUJA, A. V. R. **Estudo e projeto de um sistema fotovoltaico Para a casa do estudante UFGD**. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/5027> >. Acesso em 10 mar.2023

CAIRES, G. L. R. **Análise de Viabilidade de um Sistema Fotovoltaico para a Demanda do Pesqueiro Kanoa**. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2864>>. Acesso em 10 de mar. 2023

CAVALCANTE NETO, T.N. **Preço Médio da Energia Elétrica**. 2018. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/pre%C3%A7o-m%C3%A9dio-da-energia-el%C3%A9trica-tomaz-nunes-cavalcante-neto/>>. Acesso em 10 fevereiro 2023.

COSTA, H. J. S. **Avaliação do fator de dimensionamento do inversor em sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2010. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2011.1/>>. Acesso em: 04 março 2023.

CRESESB - **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2 ed. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 27 março 2023.

DOMOND, P.R. **Sistema de bombeamento fotovoltaico de água subterrânea com armazenamento hidráulico: caso de ecole nationale de lacroix-jacmel-haiti**. 2018. 72 p. Trabalho de conclusão de curso (TCC) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2018.

ELY, F.; SWART, J. W. **Energia solar fotovoltaica de terceira geração**. O Setor Elétrico: pp. 138 – 139. IEEE, 2014.

GONZALEZ, V.P. **Dimensionamento e análise de viabilidade econômica para bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica**, 2018. 65 f. Trabalho de conclusão de curso (TCC) - Universidade Federal da Bahia Escola Politécnica, Salvador-BA, 2018.

LEFF, E. (2000). **Epistemologia Ambiental** . São Paulo-SP: Ed. Cortez.

LEFF, E. (2001). **Saber ambiental I: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis-RJ: Vozes.

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

LOPEZ, R. A. **Qualidade na energia elétrica -Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções**.São Paulo-SP: Artliber Editora, 2. Ed.2013

OLIVEIRA, I. P. **Energia solar fotovoltaica no laboratório de Engenharia de Energia** - UFGD. 2014. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (TCC) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014.

MOREIRA, A. P.; CARVALHO, P. C. M.; BORGES NETO, M. R.; RAMALHO, G L. B.; DIAS, S.

V. **Identificação da curva de máxima potência de módulos FV utilizando softwares de simulação**; Congresso internacional sobre geração distribuída e energia no meio rural, 7. 2014 Anais: nº91, Fortaleza.

SACHS, Ignacy. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Nobel, 1993.

SIRVINSKAS, L. P. **Manual de direito ambiental** 16. ed. São Paulo: Saraiva, 2018. 1016 p

SOUZA, J. P. **Oversizing e clipping nos sistemas fotovoltaicos**. 2019. Disponível em:< <https://canalsolar.com.br/oversizing-e-clipping-nos-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 27 março 2023.