



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
CAMPUS MARABÁ
FAEEL – FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

VICTOR MATHEUS ALMEIDA DA COSTA

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E RELAÇÃO
PRODUÇÃO/CONSUMO EM PERÍODOS DEFINIDOS COMO INVERNO E VERÃO
DE UMA RESIDÊNCIA COM ENERGIA FOTOVOLTAICA NA CIDADE DE
MARABÁ/PA**

MARABA/PA

2023

VICTOR MATHEUS ALMEIDA DA COSTA

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E RELAÇÃO
PRODUÇÃO/CONSUMO EM PERÍODOS DEFINIDOS COMO INVERNO E VERÃO
DE UMA RESIDÊNCIA COM ENERGIA FOTOVOLTAICA NA CIDADE DE
MARABÁ/PA

Projeto Final de Curso apresentado à
Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará – Unifesspa como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof^o Dr. Valdez Aragão de
Almeida Filho

MARABÁ/PA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Biblioteca Setorial II da UNIFESSPA

- C837e Costa, Victor Matheus Almeida da
 Estudo de caso: análise de eficiência energética e relação
 produção/consumo em períodos definidos como inverno e verão
 de uma residência com energia fotovoltaica na cidade de
 Marabá/Pa / Victor Matheus Almeida da Costa. — 2023.
 42 f. il., color.
- Orientador (a): Valdez Aragão de Almeida Filho.
 Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade
 Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Geociências e
 Engenharias, Faculdade de Engenharia Elétrica, Curso de
 Engenharia Elétrica, Marabá, 2023.
1. Geração de energia fotovoltaica. 2. Energia - Fontes
 alternativas. 3. Energia solar. I. Almeida Filho, Valdez Aragão
 de, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 6214705.1

VICTOR MATHEUS ALMEIDA DA COSTA

Estudo de caso: Análise de eficiência energética e relação produção/consumo em períodos definidos como inverno e verão de uma residência com energia fotovoltaica na cidade de Marabá.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – Unifesspa como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Marabá (PA), 11 de agosto de 2023.

Profº Dr. Valdez Aragão de Almeida Filho – Orientador

Diorge de Souza Lima - Examinador

Dione José Abreu Vieira - Examinador

Marabá – PA
2023

“Dedico este trabalho primeiramente à Deus, por me permitir chegar até aqui, dedico à minha mãe Goreth que nunca mediu esforços para que esse sonho fosse realizado, para ela é uma conquista tão grande quanto para mim, dedico ainda ao meu padrasto Eryck que se fez presente nessa caminhada.

Obrigado por fazerem parte dessa conquista e por fazerem o possível e o impossível pra construção desse sonho, com amor”.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho contou com a participação de pessoas muito importantes que fizeram com que a finalização dele fosse possível, primeiro agradeço a minha mãezinha, Goreth, que desde o primeiro dia da minha vida fez o impossível para que eu tivesse uma educação de qualidade, seja na escola ou na vida, meu paizinho Ruberval, que desde 2009 não está mais entre nós mas que almejava essa conquista assim como eu, agradeço ao meu padrasto, Eryck, que foi uma pessoa que entrou na minha vida e vem desenvolvendo um papel incrível.

Agradecer aos meus professores, em especial ao meu orientador, Prof^o Dr. Valdez Aragão de Almeida Filho, onde este desde o início me apoiou, incentivou e na reta final foi o grande percussor da minha aprovação.

Agradecer ainda aos amigos que encontrei nessa longa caminhada, nas empresas em que trabalhei, onde aprendi o que é trabalho em equipe, aprendi o que é eficiência e eficácia, aprendi a ser um homem.

Por fim, agradecer aos meus amigos da vida, os que me diziam pra não desistir, os que falavam que ainda viam em mim um engenheiro renomado, um moleque que mesmo com as brincadeiras, o lado leve da vida tinha um futuro gigante pela frente, aqui estou amigo, construindo meu futuro gigante, meu muito obrigado.

RESUMO

Atualmente, os países buscam várias maneiras para produção de energia elétrica, que degrade menos o meio ambiente e que seja de forma sustentável e renovável. O objetivo deste trabalho é analisar e comparar a relação entre a produção e o consumo de energia elétrica em uma residência com tecnologia de painéis fotovoltaicos em Marabá, levando em consideração os períodos de inverno e Verão Amazônico, sabendo que tanto essa produção como esse consumo tendem a variar nas diferentes estações do ano. A partir dessa análise, trazer resultados contundentes que possam enriquecer o estudo e ajudar nos estudos futuros sobre essa tecnologia que cresce bastante em todo o Brasil.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico; eficiência energética; painel solar.

ABSTRACT

Currently, countries are looking for various ways to produce electricity that degrades the environment less and is sustainable and renewable. The objective of this work is to analyze and compare the relationship between production and consumption of electricity in a residence with photovoltaic panel technology in Marabá, taking into account the winter and summer periods, knowing that both this production and this consumption tend to vary in different seasons of the year. From this analysis, bring strong results that can enrich the study and help in future studies on this technology that grows a lot throughout Brazil.

Key words: Photovoltaic system; energy efficiency; solar panel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização de Marabá – PA	15
Figura 2 – Clima em Marabá - PA	16
Figura 3 – Célula Fotovoltaica Bell Labs (1954)	18
Figura 4 – Sistema Fotovoltaico	20
Figura 5 – Do minério ao painel “Construção”	21
Figura 6 – Módulo Fotovoltaico	22
Figura 7 – Modelo de Inversores	23
Figura 8 – String Box	24
Figura 9 – Representação corrente contínua/alternada	25
Figura 10 – Painéis solares da instalação	27
Figura 11 – Inversor RENOVIGI 5kW da instalação	28
Figura 12 – Residência do Estudo	29
Figura 13 – Geração em julho/2021	30
Figura 14 – Geração em agosto/2021	31
Figura 15 – Geração em setembro/2021	31
Figura 16 – Geração em outubro/2021	32
Figura 17 – Geração em novembro/2021	32
Figura 18 – Geração em dezembro/2021	33
Figura 19 – Geração em janeiro/2022	33
Figura 20 – Geração em fevereiro/2022	34
Figura 21 – Geração em março/2022	34
Figura 22 – Geração em abril/2022	35
Figura 23 – Geração em maio/2022	35
Figura 24 – Geração em junho/2022	36
Figura 25 – Geração Anual em KW	37
Figura 26 – Clima Anual Mostrando a Menor Incidência de Chuvas	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional De Energia Elétrica
HFC	Heliostat Field Collector
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Cobre Índio Gálio e Selênio
BIPV	Building-Integrated Photovoltaic Systems
PV-Thermal	Photovoltaic Thermal
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
CCC	Corrente De Curto-Circuito
TCA	Tensão de Circuito aberto
CMP	Corrente de Máxima Potência
VMP	Tensão de Máxima Potência
PMP	Potência De Máxima Potência
MPP	Ponto de Máxima Potência
CENSOLAR	Centro de Estudos de la Energia Solar
BEN	Balanço Energético Nacional
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa	12
1.2 Objetivo Geral	13
1.3 Objetivos Específicos	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Clima na cidade de Marabá/PA	14
2.2 Sistemas Fotovoltaicos	16
2.2.1 Efeito fotovoltaico e células fotovoltaicas	18
2.2.2 Módulos Fotovoltaicos	21
2.2.3 Inversor	22
2.2.4 String Box	24
2.2.5 Micro e Minigeração Distribuída no Brasil	25
3 METODOLOGIA	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica tem passado por diversas evoluções no decorrer dos anos, na atualidade a principal fonte de geração própria é a fotovoltaica, produção de energia através de raios solares que vem se tornando cada vez mais comum no Brasil, onde teve registrado no início de 2022 mais de 267 mil sistemas instalados, isso é uma média de 1.480 sistemas por dia, e com isso diversas dúvidas surgem, como é gerada a energia elétrica? Como é convertida para funcionar os aparelhos de uma residência? Como mensurar essa geração? No inverno também gera energia? Qual a diferença de produção durante as diferentes estações do ano?

Desde então, a energia solar fotovoltaica está ganhando seu reconhecimento e, apresenta-se confiante nas últimas décadas com crescimentos cada vez mais significativos na produção energética a nível mundial. Considerando apenas as contribuições da energia irradiada pelo Sol para a conversão de energia elétrica, tem-se valores incríveis onde está chega a 1.37 W/m^2 (NREL et al., 2017).

O funcionamento dos módulos solares se baseia nas propriedades físicas do silício, que ao ser atingido por raios solares tem seus elétrons agitados fazendo com que gere energia elétrica, conceito simples porém com um pequeno problema, pois essa geração se dá em corrente contínua, de modo que fica inviável para o funcionamento de aparelhos residenciais, com isso foi necessário acrescentar um dispositivo que faça essa conversão, o inversor, que transforma a corrente CC em CA e torna possível o uso de aparelhos domésticos.

Os inversores e micro inversores por sua vez, exercem dois papéis nesse complexo sistema, o primeiro é de converter essa energia, que fora gerada em CC para CA, para assim tornar viável o uso na residência instalada e segundo ele também faz o papel de monitoramento do que vem a ser produzido e consumido no decorrer dos dias.

Para essa mensuração ser precisa, o monitoramento da geração é feito com softwares conectados à rede WIFI da residência onde a rede de geração também está conectada, esse software é desenvolvido pelo fabricante dos inversores, pois os mesmos contêm todos os dados de forma precisa e em tempo real da quantidade de energia gerada, ainda há de acontecerem falhas nessa mensuração devido

problemas externos ao inversor, como já foi detectado em alguns aparelhos, seja por falta de conexão, por falta de energia e até mesmo por “bug” no sistema do inversor.

Com isso fica o último questionamento e o que abriu portas para o desenvolvimento desse trabalho, será que em períodos onde a incidência de raios solares é muito menor, existe geração de energia elétrica, a resposta parece óbvia, mas pra essa resposta ser precisa serão apresentados dados que provam e comparam que em períodos de inverno essa geração cai em torno de 31% do máximo gerado pelo sistema da residência.

Esse estudo foi realizado no sistema fotovoltaico de uma residência na cidade de Marabá, onde devido não ter as estações do ano bem definidas, cabe uma pequena análise e definição desses períodos de INVERNO e VERÃO AMAZÔNICO.

Bom, diferente de outros lugares do Brasil e com base nos dados de tempo do Google Weather, fora definido como sendo INVERNO os meses entre dezembro e abril e de maneira análoga, o VERÃO AMAZÔNICO vem a ser o período entre os meses de maio a novembro.

Em vista do exposto, foram levantados aspectos técnicos, acerca do estudo, dessa forma, como viabilidade desse sistema em períodos de inverno e verão, com base na estimativa elétrica do sistema, a qual é calculada a partir da radiação solar do local que será implementado o sistema fotovoltaico.

Diante disto, o presente estudo está dividido em 5 capítulos que abordam os seguintes assuntos: O capítulo 1 corresponde à introdução, justificativa, objetivo geral e objetivos específicos. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica necessária ao desenvolvimento do trabalho. O capítulo 3 expõe a metodologia de desenvolvimento adotada na pesquisa. Os capítulos 4 e 5 apresentam os resultados e por fim, conclusão.

1.1 JUSTIFICATIVA

Uma residência na cidade de Marabá estava apresentando índices de geração de energia bem abaixo da média, o que despertou uma dúvida no cliente, o mesmo questionou se o sistema estava com problemas, se estava com as placas sujas ou até mesmo se o inversor não estava sincronizando os dados de geração com o aplicativo de monitoramento, foi onde foram comparados os dados de geração com o do ano anterior e comprovados através de gráficos de linha que o

motivo pelo qual a geração estava menor era o simples fato de que na cidade estava em período de inverno e assim a incidência de raios solares sobre os módulos estava muito menor.

Visto que, os períodos chuvosos na cidade estão entre os meses de dezembro e meados de abril, onde foram os pontos do gráfico de geração em que a produção caiu fora realizado um estudo de caso para justificar a queda.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo de caso é analisar a produção de energia elétrica de um sistema fotovoltaico em períodos de inverno e criar um comparativo com a produção do mesmo sistema em um período de verão, onde a incidência de raios solares é muito maior.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para chegar nesse objetivo principal, foi necessário analisar alguns pontos específicos:

- Mensurar o que seria INVERNO e VERÃO AMAZÔNICO, já que a cidade não tem as estações bem definidas;
- Identificação e compreensão dos dados de geração de energia analisados no decorrer do ano;
- Comparar a eficiência nas distintas estações do ano (estações essas que foram definidas acima);
- Analisar junto aos dados de geração, os dados climáticos do período em questão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CLIMA NA CIDADE DE MARABÁ/PA

No decorrer da história da humanidade sempre houve a interação sociedade-clima, independentemente da forma que ocorreu, positiva ou não. Quando se configurou de forma positiva, tivemos a consolidação de inúmeras civilizações pelo planeta e na segunda hipótese, a história amarga inúmeros casos de desgraças, fome, crises, colapsos da humanidade, restando só a adaptação ao meio ou a migração em massa para outras regiões devido às condições climáticas que foram expostas (MONTEIRO; MENDONÇA, 2001).

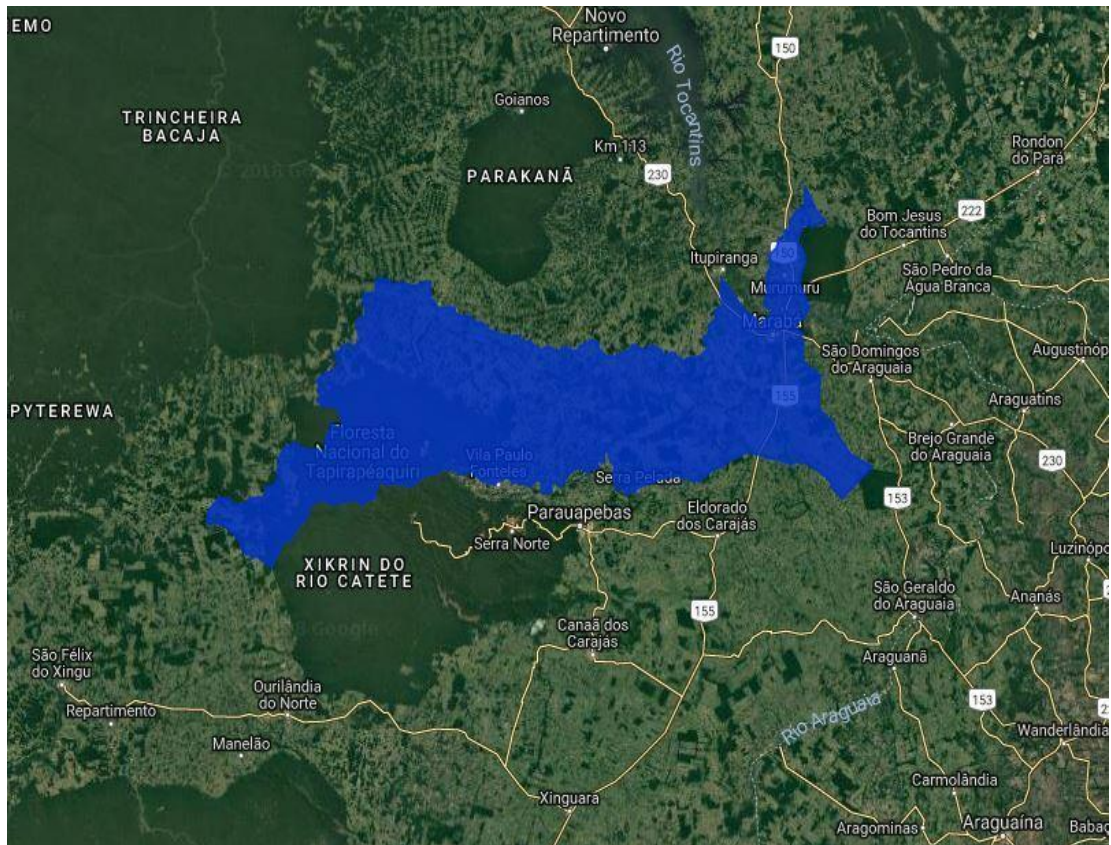
As condições de tempo e clima de uma região têm grande influência sobre as atividades humanas, assim como as atividades antrópicas contribuem para as alterações no meio ambiente. Áreas com solos impermeabilizados cada vez maiores e a construção de edificações de grande porte, fruto da urbanização das cidades, causam variações nas características climáticas locais, possibilitando o surgimento de microrregiões termicamente desconfortáveis denominadas ilhas de calor (MAITELLI, 1991; GOLDREICH, 1992; JÁUREGUI, 1992). As alterações provocadas pelo processo de urbanização modificam significativamente as características ecológicas do meio urbano, principalmente, nas cidades onde o crescimento se processa de maneira desordenada e sem um planejamento adequado (GARTLAND, 2010; SANTOS et al., 2012).

O entendimento da variabilidade dos elementos meteorológicos, por exemplo, poderá auxiliar no efetivo planejamento urbano, que por sua vez, implicará na consequente melhoria da qualidade de vida das populações afetadas pelos processos artificiais termo-higrométricos, modificadores destes ambientes e claro, a partir dessa distinção, ajudar na definição do clima na cidade de Marabá que implicará diretamente neste estudo.

Localizado na mesorregião do Sudeste Paraense, o município de Marabá no Estado do Pará é a sede da Região Metropolitana de Marabá e localiza-se cerca de 500 quilômetros ao sul da capital do Estado. Sua localização geográfica tem, por referência, o ponto de encontro entre dois grandes rios, Tocantins e Itacaiúnas. A

sede municipal apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 05° 21 '54 "S de latitude, 49° 07' 24" W de longitude e 84 m de altitude. Ocupando uma área de 15.128,058 km², conta atualmente com 287.664 pessoas, sendo o décimo primeiro município mais populoso da Amazônia (IBGE, 2021).

Figura 1 – Localização de Marabá - PA

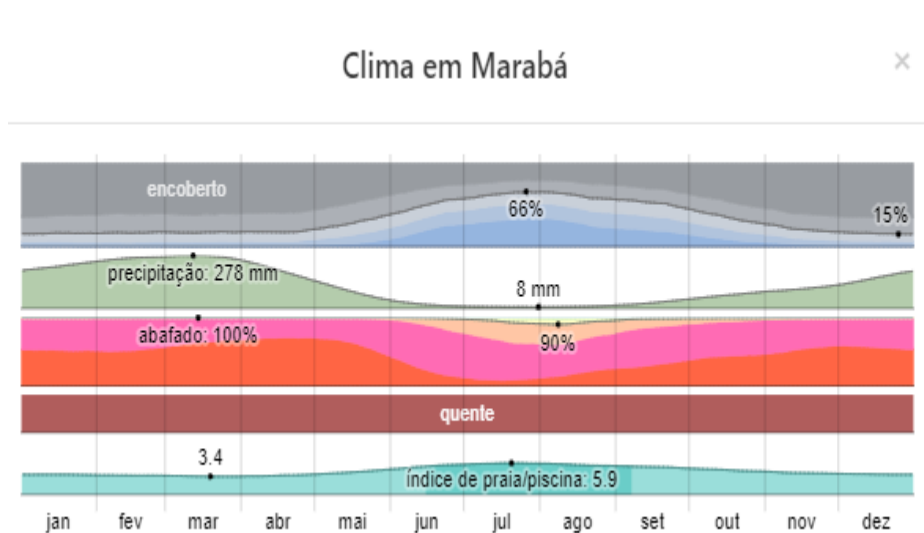


Fonte: <https://images.app.goo.gl/Q4uB4JVVP5yLLvBZA>

Em Marabá, a estação com precipitação é de céu encoberto; a estação seca é de céu parcialmente encoberto. Durante o ano inteiro, o clima é quente e opressivo. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 22 °C a 35 °C e raramente é inferior a 20 °C ou superior a 37 °C. A estação quente permanece por 2,2 meses, de 13 de julho a 18 de setembro, com temperatura máxima média diária acima de 34 °C. O mês mais quente do ano em Marabá é setembro, com máxima de 34 °C e mínima de 24 °C, em média. A estação fresca permanece por 3,6 meses, de 14 de dezembro a 3 de abril, com temperatura máxima diária em média abaixo de 32 °C. O mês mais frio do ano em Marabá é fevereiro, com máxima de 31 °C e mínima de 24 °C, em média. (Weather Spark, 2023).

Para demonstrar a variação entre os meses e não apenas os totais mensais, mostramos a precipitação de chuva acumulada durante um período contínuo de 31 dias ao redor de cada dia do ano. Marabá tem variação sazonal *extrema* na precipitação mensal de chuva. O período chuvoso do ano dura 10 meses, de 24 de agosto a 28 de junho, com precipitação de chuva de 31 dias contínuos mínima de 13 milímetros. O mês mais chuvoso em Marabá é março, com média de 277 milímetros de precipitação de chuva. O período sem chuva do ano dura 1,9 mês, de 28 de junho a 24 de agosto. O mês menos chuvoso em Marabá é julho, com média de 9 milímetros de precipitação de chuva. (Weather Spark, 2023).

Figura 2 - Clima em Marabá - PA



Fonte: <https://pt.weatherspark.com/>

2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Nos últimos anos, a procura de novas fontes energéticas para satisfazer as necessidades energéticas mundiais tem levado a um grande progresso e competitividade nas fontes renováveis de energia, contribuindo para que os custos tenham sofrido uma queda significativa, associada à situação atual de limites técnicos, políticos e viabilidade econômica, o uso da energia solar tornou-se uma alternativa favorável para mudar todo o cenário energético (DA SILVA, 2021).

O Brasil, por depender diretamente da energia das usinas hidrelétricas, sofre uma grande consequência econômica em termos de utilização de usinas

termelétricas, pois essas precisam de um custo extremamente maior para se manterem em funcionamento, para compensar os baixos níveis dos reservatórios nos períodos de estiagem, pontuando o aumento do uso das usinas termelétricas atingindo 286 % no período entre 2011 e 2013 segundo a ANEEL (DA SILVA, 2021).

À medida que o número de novos sistemas fotovoltaicos aumenta, a relação visível com esses sistemas muda, pois são aplicados para diferentes finalidades para explorar as mais diversas funções da energia solar, como aquecedor de água, fogão solar, calefação doméstico e industrial do ar e da água, produção tecnológica industrial de vapor e produção de eletricidade (ALVES, 2021).

Foram realizadas análises com foco nos tipos de sistemas fotovoltaicos comparando vantagens e desvantagens, bem como uma comparação financeira entre sistemas fotovoltaicos conectados à rede e fora da rede, ou seja, sistemas fotovoltaicos conectados a uma rede pública (On-Grid) e não diretamente conectada a uma rede ou isolada (Off-Grid) que são armazenadas ou utilizadas (ALVES, 2021).

Um dos principais pontos dos sistemas fotovoltaicos é sua fácil instalação, no que ocasiona projetos simples e de curto prazos para sua execução, ajuda ainda na redução da demanda de transmissão de energia elétrica advinda da rede pública em longas distâncias, pois tem seu gerador próximo à carga e ainda reduz as perdas, os custos e os impactos ambientais (ALVES, 2021).

Mas o que vem ser sistemas On-Grid e Off- Grid, sistemas ligados ou não à rede pública de distribuição. Bom os sistemas On-Grid são caracterizados como sistemas simples de geração de energia, significa que na residência geradora o que não for consumido será injetado na rede pública para uso posterior. De forma análoga, os sistemas Off-Grid tem acrescentados em sua estrutura um conjunto de baterias que farão o armazenamento dessa energia excedente para que possa ser usada sem necessidade da rede pública de distribuição, porém esse sistema se torna pouco usado devido seus custos com instalação, manutenção e descarte serem muito maiores (ALVES, 2021).



Figura 3 - Célula Fotovoltaica Bell Labs (1954).

Fonte: <https://images.app.goo.gl/LF1gMA2jRgWDaC69A>

2.2.1 EFEITO FOTOVOLTAICO E CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A energia solar fotovoltaica baseia-se na conversão da radiação solar em eletricidade por meio de semicondutores, culminando no fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico.

O efeito fotovoltaico foi descoberto pelo físico francês Edmond Becquerel. Com uma solução de selênio, ele observou a geração de tensão entre os eletrodos iluminados pela luz solar.

De acordo com Nascimento (2004, p. 7), segundo relato de Edmond Becquerel em 1839, "A energia solar fotovoltaica é produzida quando ocorre uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de substância semicondutora devido à incidência de luz. No processo de conversão de energia radiante em energia elétrica, a célula é a unidade mais básica". Um grupo de células conectadas entre si forma um módulo fotovoltaico.

O semicondutor mais utilizado é o silício. Seus átomos são caracterizados por quatro elétrons que se ligam aos vizinhos na rede cristalina. No entanto, devido à falta de elétrons livres, o silício puro não é um bom condutor. Portanto, é comum

adicionar uma certa porcentagem de fósforo e boro por meio de um processo de dopagem.

A adição de átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, resulta em um elétron extra que não pode ser ligado e permanece um "resíduo", fracamente ligado ao átomo pai.

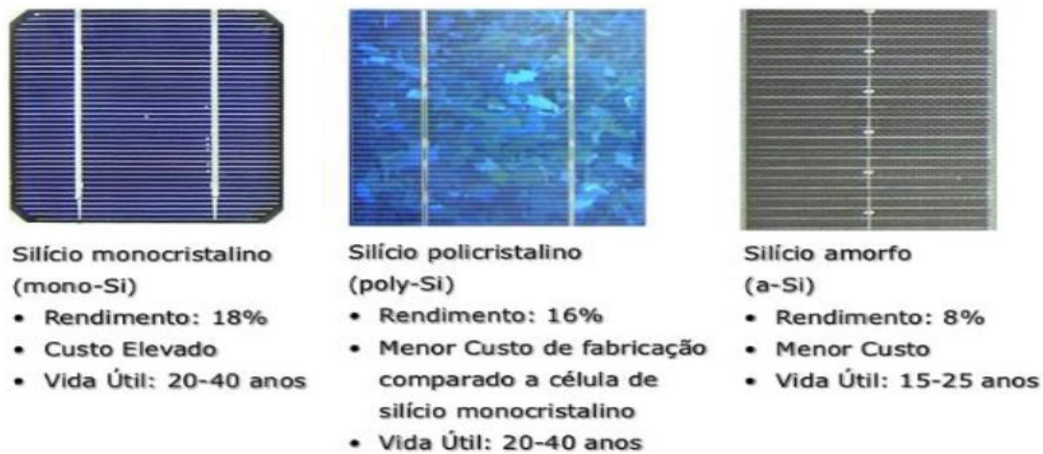
Ao serem colocados átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, teremos um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de inicial.

Por outro lado, se for introduzido um átomo com apenas três elétrons ligantes, como no caso do boro, faltará um elétron para satisfazer a ligação com o átomo de silício na rede cristalina; essa falta de elétrons é chamada de buraco ou buraco. Acontece que, com pouca energia térmica, os elétrons de locais vizinhos podem se deslocar para esse local, fazendo com que os buracos se movam. Assim, o boro é um acceptor de elétrons ou dopante. (CEPEL, 2016).

Se você começar com o silício puro, o átomo de boro será introduzido pela metade e outro átomo de fósforo formará uma conexão PN de forma tão chamada. O que aconteceu nesse cruzamento foi que o elétron livre do lado não passou pelo local onde encontraram seus buracos. Isso levará ao acúmulo de elétrons no lado P, fará com que ele carregue negativamente e reduzirá os elétrons no lado n, para que seja positivo na eletricidade.

Essas cargas presas geram campo elétrico permanente. As células fotovoltaicas de silício podem ser classificadas de acordo com sua estrutura molecular: Policristalino, monocristalino e silício amorfo. Conforme a figura 4 abaixo:

Figura 4 – Estruturas silício monocristalino, policristalino e amorfo.

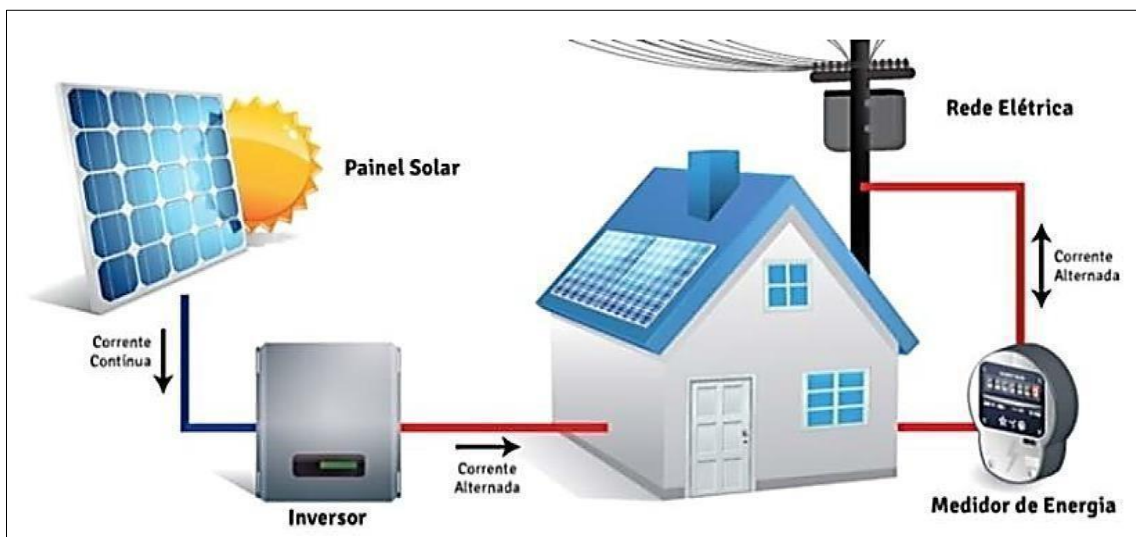


Fonte: <https://pleiade.uniamerica.br/index.php/bibliotecadigital/article/download/765/832/2306>

Diante todas as classificações de um sistema fotovoltaico, pontuamos que todos têm em comum um equipamento específico, esse próprio é o responsável pela produção de energia no sistema, por meio do painel fotovoltaico que é possível a geração de energia através da radiação solar.

Os painéis fotovoltaicos, possuem em sua composição maioria o Silício cristalino, mineral que devidamente processado adquire propriedades elétricas que quando exposto à luz solar, produz eletricidade demonstrado na figura abaixo. Em um painel fotovoltaico, células solares são organizadas e distribuídas de forma que são interconectadas apropriadamente para obter a tensão e corrente desejada, conforme representado na figura abaixo.

Figura 4 - Sistema fotovoltaico



Fonte: <https://images.app.goo.gl/Jzpb5PYZoUjvCe7PA>

Uma célula fotovoltaica é capaz de produzir energia elétrica, mas a mesma não possui capacidade de armazenar essa energia elétrica que produz, de forma que apenas mantém o fluxo desses elétrons estabelecidos em um circuito, enquanto houver incidência de luz solar sobre ela (ALDO, 2021).

Existem diversos tipos de células fotovoltaicas comercializadas no mercado, algumas em fase experimental, sendo que a própria célula produzida à base de silício é a mais importante e consolidada no mercado (ALDO, 2021).

Se o efeito fotovoltaico está relacionado ao movimento dos elétrons das células fotovoltaicas, quando se coloca diversas células dispostas e arranjadas de maneira correta, há possibilidade de relacionar a eficiência com a estimativa diante os dados laboratoriais e a real geração. Abaixo consta uma ilustração que exemplifica o modelo.

Figura 5 – Do minério ao painel “Construção”



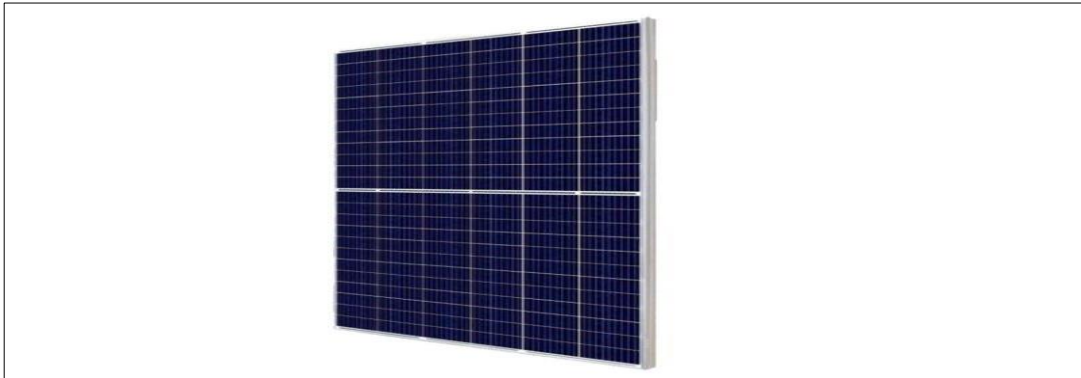
Fonte: <https://images.app.goo.gl/HEKb2PujDiF6J2rb8>.

2.2.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo solar é o principal dispositivo do sistema de geração de energia. Segundo o engenheiro Carlos Alberto Alvarenga (Solenerg Engenharia) (2016), o módulo consiste em uma estrutura montada sobre uma estrutura de alumínio, composta por células solares paralelas e em série, geralmente cobertas com vidro/plástico para impedir ações externas e de fatores meteorológicos.

A Figura abaixo nos indica o módulo bastante utilizado da Canadian Solar, modelo CSI CS6P- 255 P, de silício policristalino, com potência nominal de 255 W.

Figura 6 - Módulo fotovoltaico



Fonte: <https://images.app.goo.gl/g898NuWZUV7bGfb9>

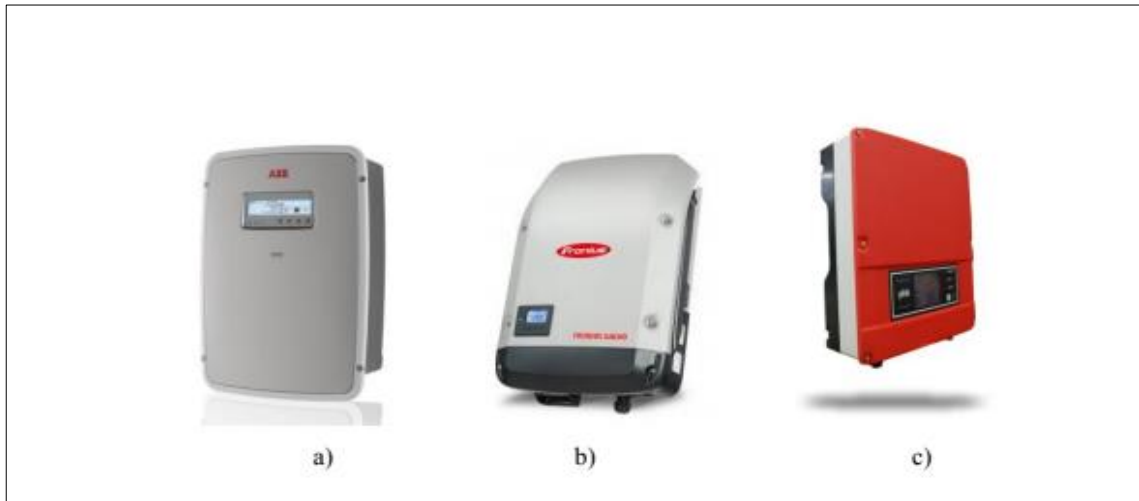
As propriedades (parâmetros elétricos, térmicos ou mecânicos) dos módulos fotovoltaicos são conforme medidos e disponibilizados pelo fabricante no datasheet. No entanto, no contexto do uso real referência é muito rara. De fato, mesmo quando o módulo solar está funcionando em um cenário caracterizado por uma temperatura do ar de 25 °C, a temperatura do módulo é maior. É por isso que muitas vezes é definido temperatura operacional nominal do módulo solar. A temperatura nominal de operação é definida a temperatura atingida pelos elementos do módulo nas seguintes condições:

- Velocidade do vento = 1m/s
- Temperatura do ar = 20°C;
- Intensidade da radiação solar incidente na superfície = 800 W/m².

2.2.3 INVERSOR

O inversor é o grande responsável por converter a corrente contínua, proveniente dos painéis, em corrente alternada, conforme a rede pública de distribuição. O inversor deve ter potência suficiente para o sistema igual ou superior à potência produzida pelo sistema. Abaixo alguns modelos de inversores.

Figura 7 - Modelo de Inversores



Fonte: <https://images.app.goo.gl/NSRP5vbUsgufB2LX7>

Conforme mostra acima, vamos apresentar a forma de trabalho de cada modelo:

- a) Inversor da ABB o qual apresenta apenas de potência 3,3 kW a 8 kW,14;
- b) Inversor Fronius o qual é encontrado com potência de 1,5 kW a 3,1 kW e 14.
- c) Inversor PHB é o mais usado devido à grande disponibilidade no mercado, e é encontrado de 1,5 kW, 3,0 kW e 4,6 kW.

Logo, segundo os autores abaixo, reforçaremos alguns pontos que são considerados chave com relação aos inversores.

Segundo Orlando Lisita (2005), como a relação potência nominal do gerador e potência nominal do inversor é aproximadamente 1, então não é necessário fazer o subdimensionamento do inversor, o que ocorre geralmente em regiões de baixa radiação.

Segundo Silva (2013), para a escolha do inversor, a potência nominal de módulos ligados ao inversor não pode ser maior que 110% da potência máxima de corrente contínua do inversor.

2.2.4 STRING BOX

Na String Box podem ser observados dispositivos que protegem os aparelhos mais sensíveis do sistema de energia solar e também previnem problemas ocorridos

no local da instalação, como incêndios, curtos-circuitos locais ou até mesmo no sistema elétrico do cliente.

Figura 8 - String Box



Fonte: <https://images.app.goo.gl/NgFRYynUyQwDufAPA>

Proteger o sistema fotovoltaico é importante, pois descargas diretas ou indiretas podem causar danos ou perdas de equipamentos, além de proteger a vida das pessoas durante a instalação ou manutenção, pois quando os módulos inversores precisam ser substituídos, ele oferece proteção contra raios diretos e choques elétricos indiretos. O local mais adequado para instalar a caixa de cabos deve ser próximo ao sistema de energia solar e nunca dentro do apartamento.

O String box é um quadro de proteção e isolamento para sistemas fotovoltaicos. No caso desta pesquisa, foi implementado o quadro String Box CC+CA- 1 String, o qual apresenta:

LADO CC:

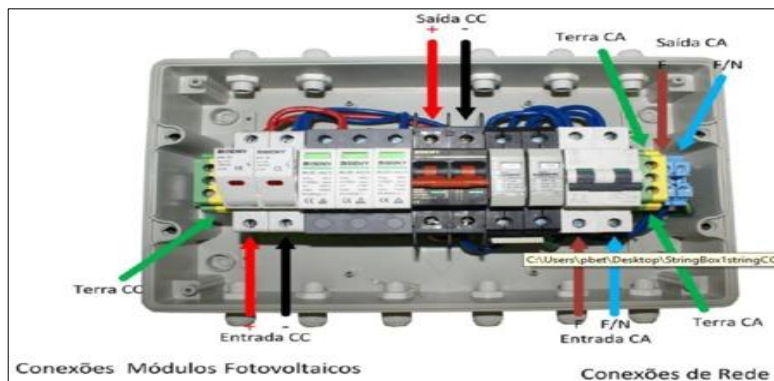
- Protetores de surto (DPS) para proteção contra descargas atmosféricas;
- Chave Seccionadora (disjuntor) de corte dos painéis fotovoltaicos (600 VCC/32A);
- Fusíveis de proteção em CC (polo positivo e negativo);
- Caixa com grau de proteção IP55.

LADO CA:

- Protetores de surto (DPS) para proteção contra descargas atmosféricas 275VCA – 50kA (fases);
- Chave Seccionadora (disjuntor) de corte (27VCA/40A).

Abaixo uma Figura representativa de como o esquema string box se dará, mostrando pontos CC+CA:

Figura 9 – Representação corrente contínua/alternada



Fonte: <https://images.app.goo.gl/xUxor5iYsjvFEfKp8>

2.2.5 MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

Nas últimas duas décadas, a geração de energia elétrica distribuída cresceu exponencialmente em todo o mundo. No Brasil, esse segmento só ganhou força depois que a lei foi devidamente ajustada, a partir da Resolução Normativa ANEEL 482/2012 e aperfeiçoamentos posteriores. Mundo a fora, a expansão da Geração Distribuída - GD teve como um dos fatores motivacionais a redução da emissão de gases de efeito estufa – GEE, ponto positivo para o prosseguimento da geração de energia. Muitos países estão fazendo uso da geração distribuída a partir de fontes renováveis, principalmente placas solares fotovoltaica, para substituir a geração com combustíveis fósseis, de forma a reduzir a emissão de carbono (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

Segundo a ANEEL, foram adotadas as seguintes definições para a geração distribuída no Brasil:

Microgeração distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na

rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015);

Minigeração distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (Redação dada pela REN ANEEL 786, de 17.10.2017).

No Brasil, a geração distribuída é realizada a partir de recursos renováveis: água, eólica, biomassa e energia solar, com destaque para esta última. Em termos de fonte hídrica, são utilizadas basicamente as usinas hidrelétricas (CGH). Em termos de fonte de vento, pequenas turbinas eólicas são usadas principalmente para a atividade. A biomassa tem sido amplamente utilizada para produzir biogás para geração de energia térmica.

A tecnologia fotovoltaica se destaca entre as tecnologias utilizadas na geração distribuída de energia no Brasil, respondendo por 88,5% do total. A principal razão para a vantagem significativa é a disponibilidade de radiação solar em todo o território nacional, além do fato de a tecnologia ser atualmente muito acessível devido ao baixo custo dos equipamentos e fontes de financiamento suficientes.

De acordo com o Ministério de Minas de Energia (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015), entre os diversos vantagens da micro e minigeração distribuída, podem ser apontados: Redução das perdas técnicas devido à localização próxima ao ponto de consumo; Reduzir o investimento em transmissão; Utilizar recursos renováveis; Adiamento do investimento na geração centralizada; Aumentar a segurança do abastecimento reduzindo a dependência da rede de transmissão; Otimizar o funcionamento da rede de distribuição e melhorar a qualidade do abastecimento; Rápida implantação e baixo custo de operação e manutenção; Atrair investimento privado e descentralizado para o setor; Complementaridade da geração de energia nos horários de ponta do sistema; Diversificação da matriz energética e a criação de empregos e desenvolvimento econômico.

3 METODOLOGIA

Este trabalho possui como objetivo um estudo de caso de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica composto por 16 placas de 405W da marca TRINA SOLAR e um inversor de 5kW RENOVIKI, e o seu comportamento durante os períodos de inverno e verão na cidade de Marabá/PA. O intuito foi realizar a observação do quanto de energia é gerado nessas duas estações do ano e analisar se há diferenças grandiosas em ambos os períodos. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi utilizada a média de consumo de energia elétrica de uma residência, localizada na Rua V 203, onde vive uma família de classe média com 3 moradores. Abaixo a localização da residência. Foi realizada a captura via google maps e essa reprodução foi autorizada pelo dono da residência em que o estudo foi realizado.

Figura 10 – Painéis solares da instalação.



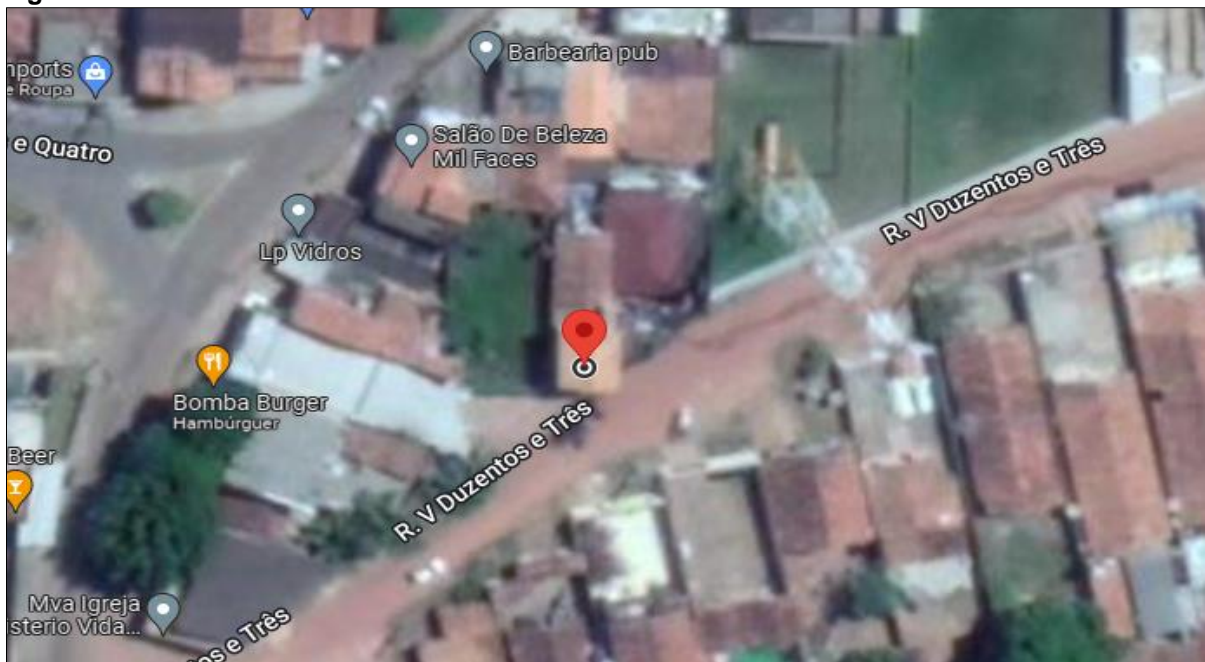
Fonte: Acervo do Autor (Reprodução permitida)

Figura 11 – Inversor RENOVIKI 5kW da instalação.



Fonte: Acervo do Autor (Reprodução permitida)

Figura 12 – Residência do estudo.



Fonte: Acervo do Autor (Reprodução permitida)

A residência analisada se encontra em um ponto da cidade onde tem na maior parte do dia incidência direta dos raios solares, não rodeada por prédios ou árvores.

Os dados de geração coletados no inversor do sistema, como os dados climáticos absorvidos do Google Weather da cidade de Marabá foram analisados através de gráficos de linha e barras no Microsoft Excel, contemplando períodos de INVERNO e VERÃO no decorrer dos anos entre 2021 e 2022, kW/h gerado e períodos de chuva na cidade.

Com os dados da insolação e com o potencial de geração dos painéis solares, foi possível determinar a energia gerada pelos painéis, de tal forma analisar o consumo diário e a compensação de energia. Para tanto, é indispensável saber quanto de energia será produzido, isso porque, no sistema conectado à rede, pode-se planejar um sistema que supre parcialmente a demanda.

E é a partir do sistema de gerenciamento das placas que realizamos essa análise onde a mesma será abordada no capítulo 4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

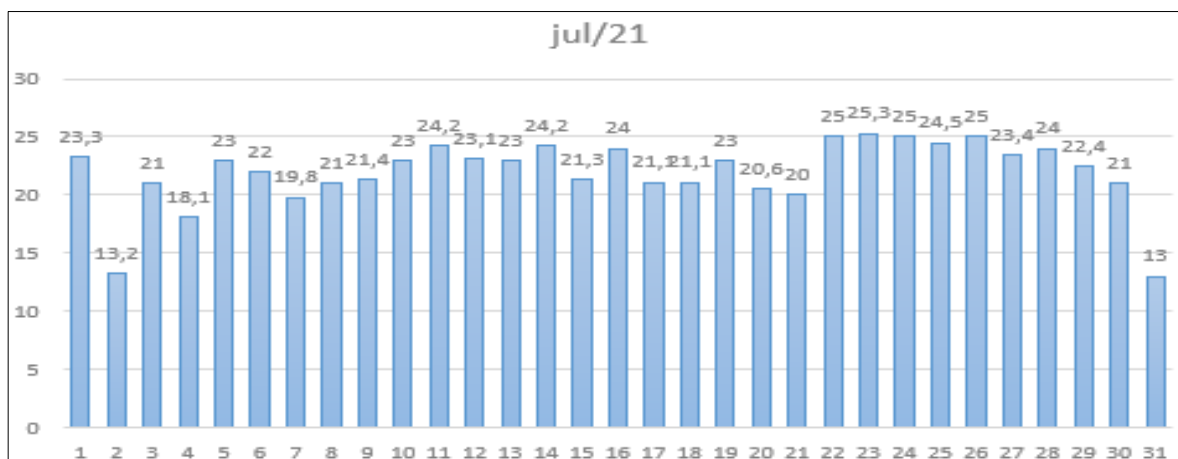
Para o estudo de um sistema de autoconsumo fotovoltaico numa habitação é fundamental a existência de registos de consumos para adequar o sistema às suas necessidades levando em consideração 2 estações do ano, INVERNO e VERÃO.

Para essa análise, foram observados 12 meses entre os anos de 2021 e 2022 para que fosse criado um perfil de geração de energia/consumo. Este resultado foi dividido em 2 partes: Meses de Verão Amazônico e de inverno. Divididos respectivamente: julho, agosto, setembro e outubro como meses de verão e os demais, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho, como chuvosos.

Em resultado desta realidade, são utilizados gráficos representativos dos perfis de consumo na residência, a obtenção das quantidades a considerar a geração de energia.

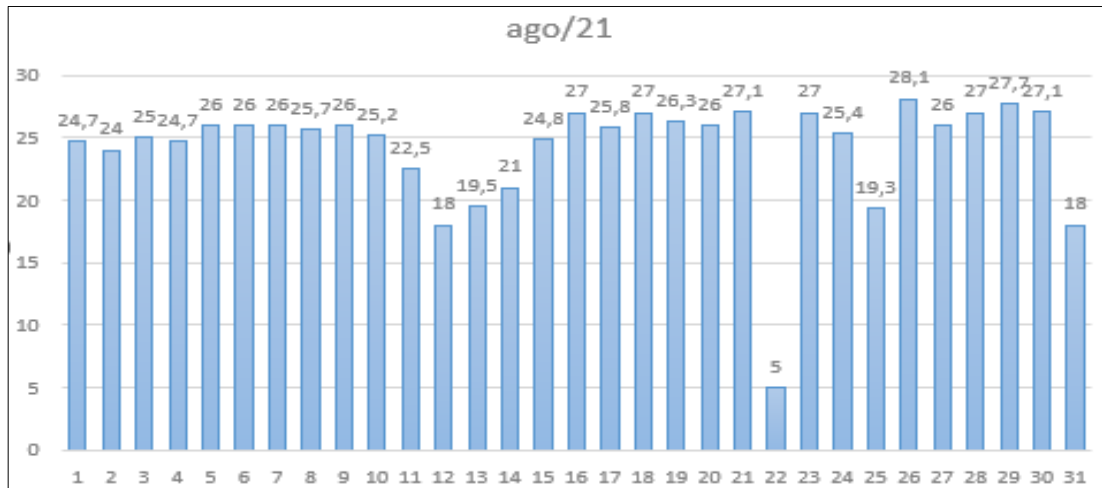
Parte 1: Analisado o período em questão, nas Figuras abaixo foram identificados uma produção acima do esperado pelo sistema, este que foi projetado para produzir 20kW/dia, com uma média de geração de 620kW/mês, pois o mesmo estava sendo exposto na sua maior parte do tempo por um pico de incidência solar, no período de VERÃO AMAZÔNICO (como definido acima).

Figura 13 – Geração em julho/2021



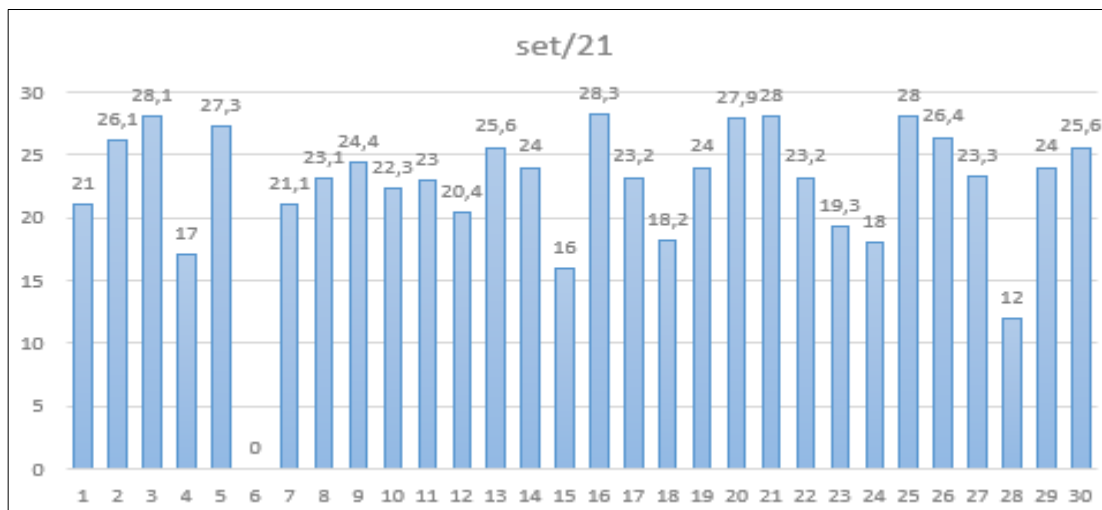
Fonte: Acervo do autor.

Figura 14 – Geração em agosto/2021



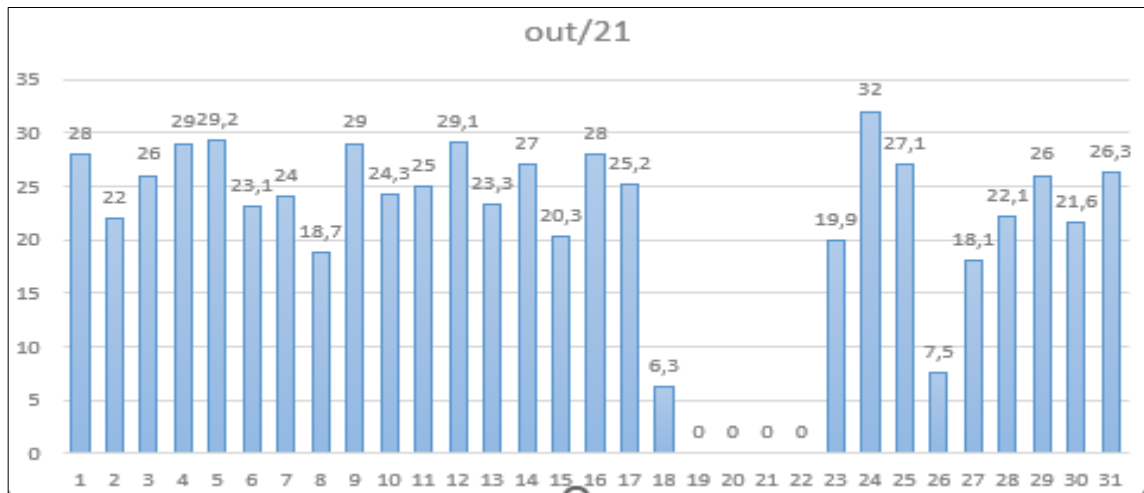
Fonte: Acervo do autor.

Figura 15 – Geração em setembro/2021



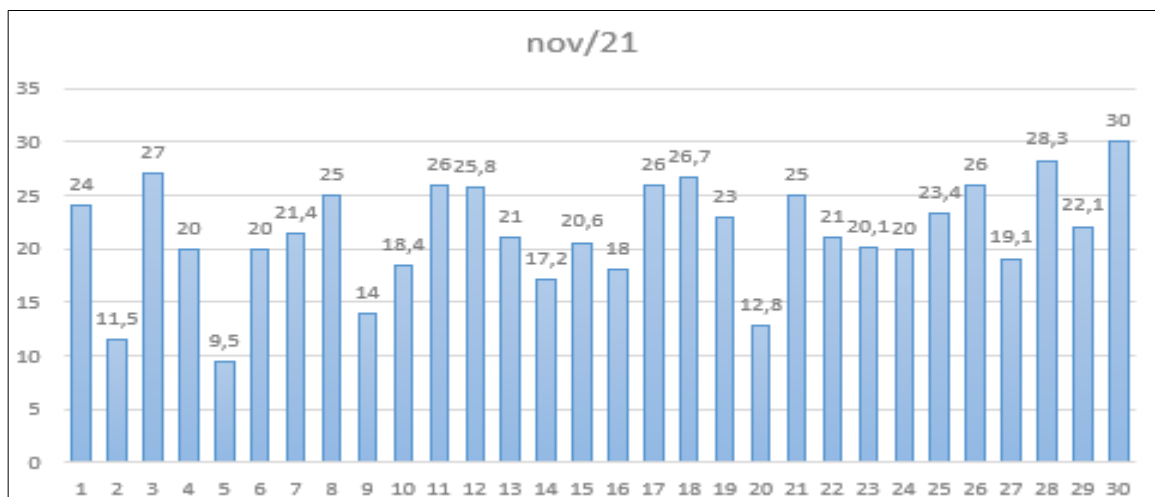
Fonte: Acervo do autor.

Parte 2: Já na segunda parte estudada e comparada, foi identificado uma variação da produção, pois o sistema passou por uma transição de estações, saindo do fim do VERÃO AMAZÔNICO e passando para o primeiro mês de INVERNO, tendo assim sua geração reduzida, e tendo uma média de 580kW/mês. Conforme Figuras abaixo.

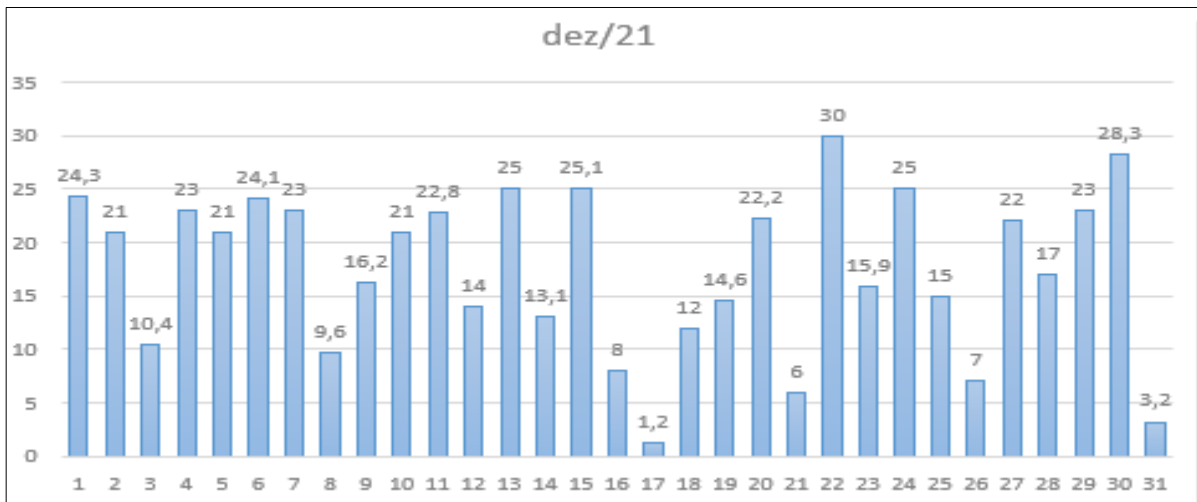
Figura 16: Geração em outubro/2021

Fonte: Acervo do autor.

Em dias em que a geração chega a 0 (ZERO), foram identificadas falhas na conversão devido uma queda de uma das fases do inversor, assim o sistema não injetou energia na rede pública e nem fora computado no sistema.

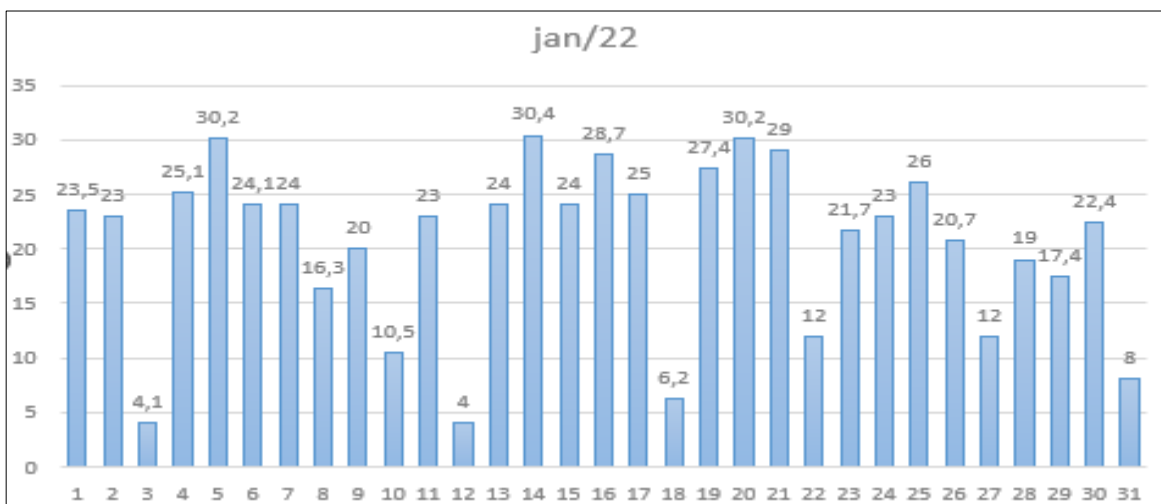
Figura 17 – Geração em novembro/2021

Fonte: Acervo do autor.

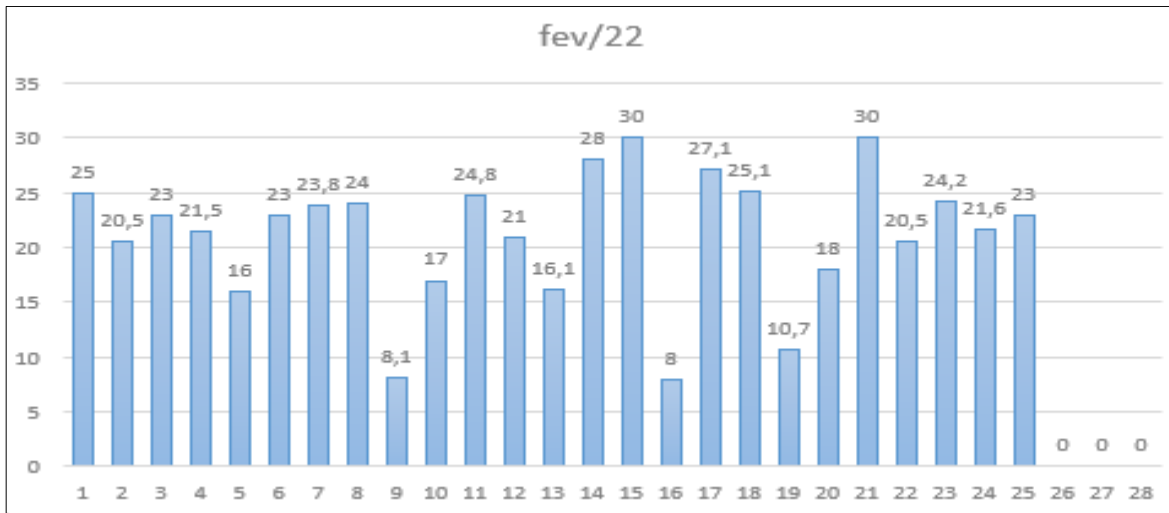
Figura 18 – Geração em dezembro/2021

Fonte: Acervo do autor.

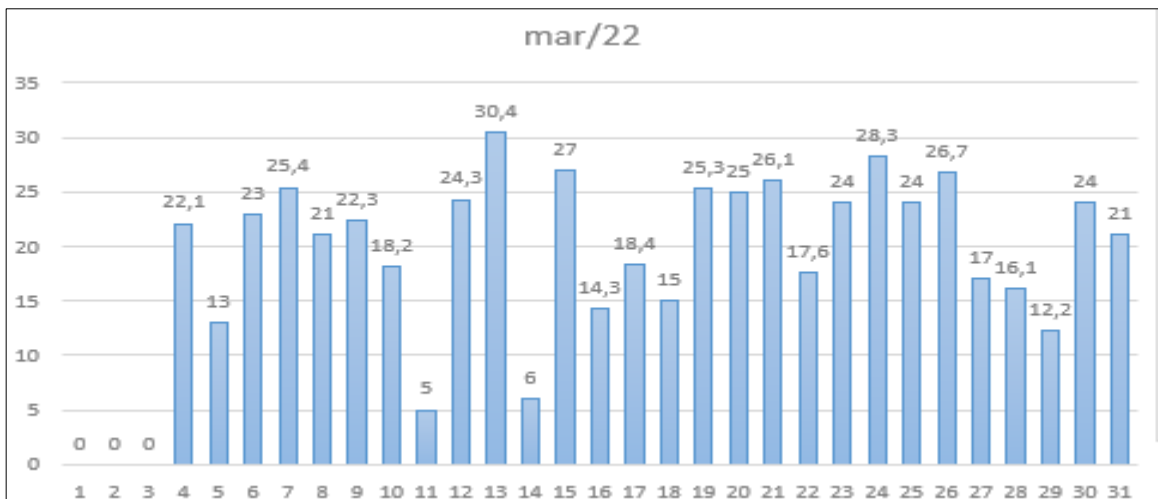
Parte 3: De maneira contínua, o sistema enfrentou o INVERNO marabaense com sua produção reduzida, com uma média de geração de 501kW/mês, tendo ainda em determinados dia de chuva intensa (03,08,12,14,18,22,28 e 31/01), sua maior queda de geração, caindo até 31% do previsto para o sistema.

Figura 19 – Geração em janeiro/2022

Fonte: Acervo do autor.

Figura 20 – Geração em fevereiro/2022

Fonte: Acervo do autor

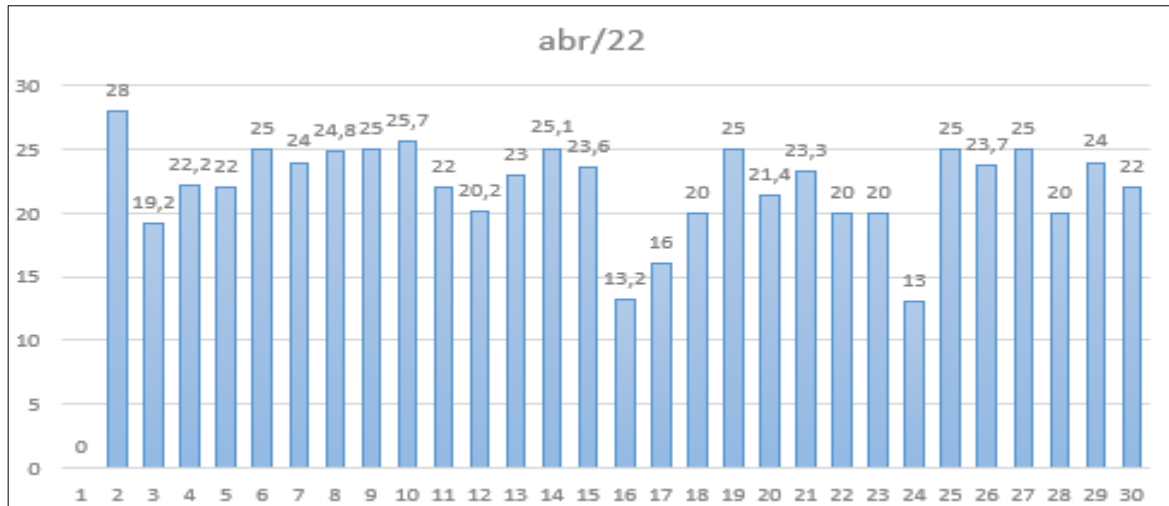
Figura 21 – Geração em março/2022

Fonte: Acervo do autor.

Parte 4: E por fim, os três últimos meses estudados apresentaram uma nova transição de estações, dessa vez saindo do INVERNO e indo para o VERÃO na cidade, onde assim voltou a ter sua geração normalizada, tendo a média de 620kW/mês e até ultrapassando essa capacidade de geração em determinados dias de sol intenso.

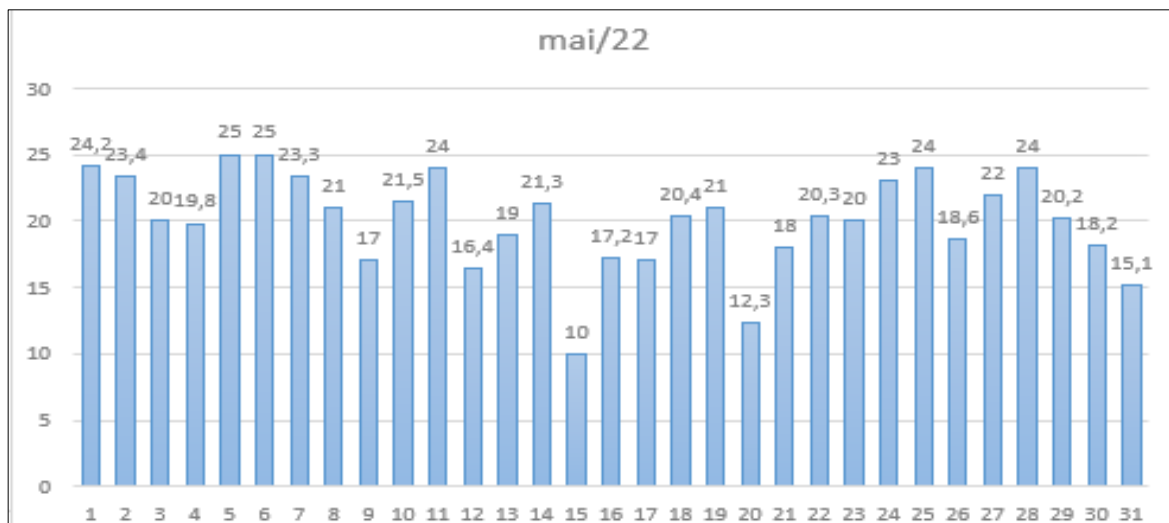
Em dias em que a geração chega a 0 (ZERO), foram identificadas falhas na conversão devido uma queda de uma das fases do inversor, assim o sistema não injetou energia na rede pública e nem fora computado no sistema.

Figura 22 – Geração em abril/2022

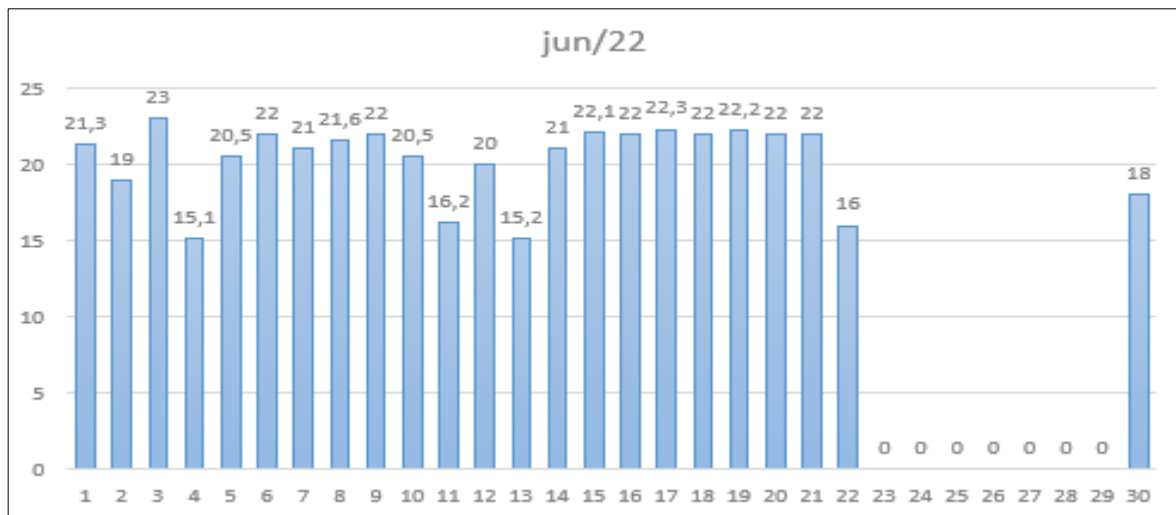


Fonte: Acervo do autor.

Figura 23 – Geração em maio/2022



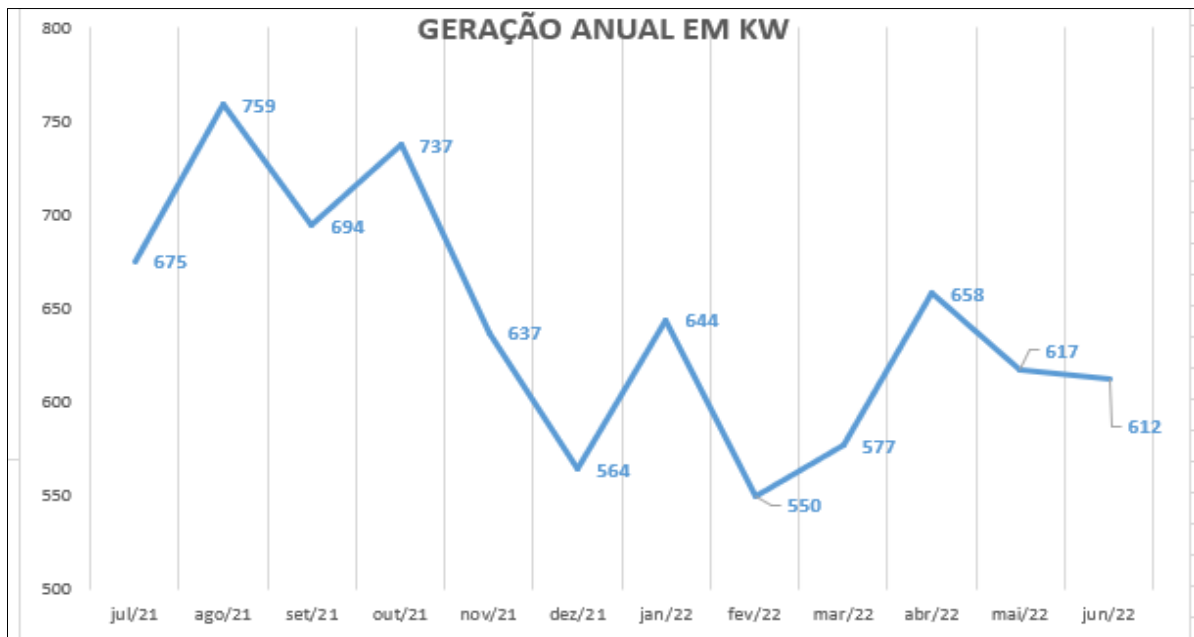
Fonte: Acervo do autor

Figura 24 – Geração em junho/2022

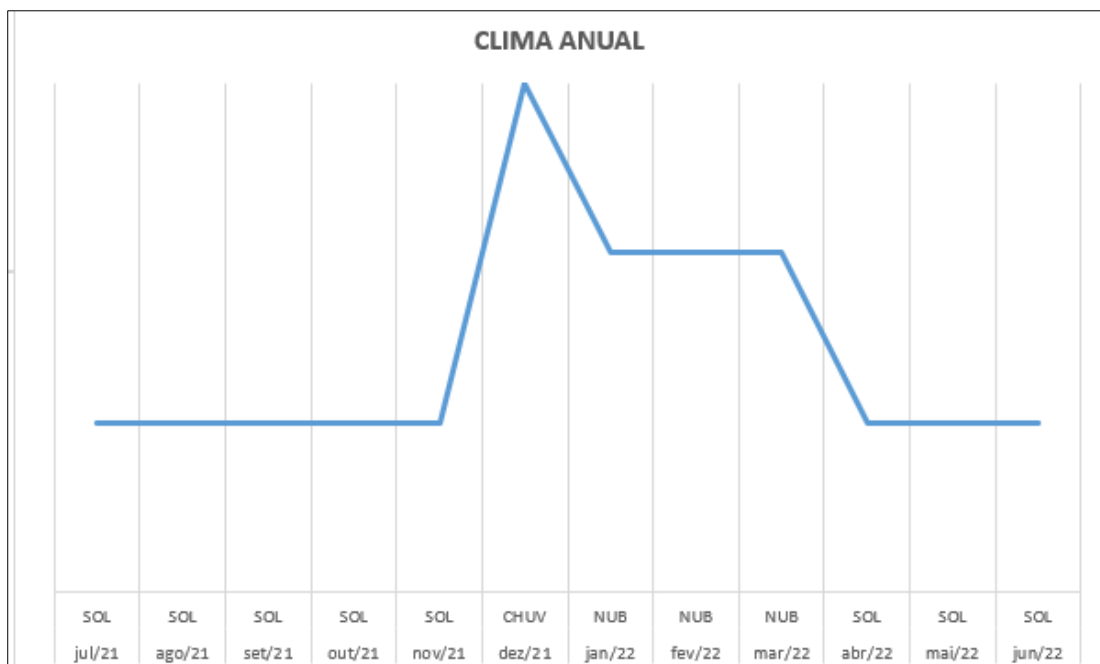
Fonte: Acervo do autor.

Com base nos dados climáticos obtidos em ferramentas meteorológicas como Google Weather, Weather Spark e Climate Data, em relação a cidade de marabá e os dados de geração de energia recolhidos no aplicativo de monitoramento do sistema fotovoltaico da residência estudada, conseguimos criar um comparativo anual, em gráficos de linha, de geração, em dois períodos do ano, INVERNO e VERÃO, tornando possível assim, provar o que fora estudado nesse trabalho e comprovando a diferença.

O gráfico apresentado na Figura a seguir tem como objetivo mostrar que em períodos onde a incidência de raios solares é menor devido o período de inverno na cidade, a geração de energia no sistema fotovoltaico tende a ter uma queda na sua produção, queda essa que foi de em média 31% do total projetado para o sistema.

Figura 25 – Geração Anual em KW

Fonte: Acervo do autor

Figura 26 – Clima Anual Mostrando a Menor Incidência de Chuvas

Fonte: Acervo do autor

O gráfico acima, de geração, obtido no aplicativo de monitoramento do sistema e do clima retirado do site Google Weather, mostram o quanto foi a queda de geração durante o ano, e consegue deixar perceptível que nos meses em que foram definidas as estações tem-se a diferença de geração.

5 CONCLUSÃO

O projeto final apresenta um estudo de caso de um sistema fotovoltaico residencial visando responder questões sobre a análise estatística/temporal com relação as vantagens e desvantagens deste sistema de geração de energia perante os períodos de inverno e verão. Do ponto de vista sustentável, a energia solar não causa poluição durante o uso, tem as vantagens da energia limpa, não degrada grandes áreas e também é uma fonte de energia renovável.

Em um país tropical como o Brasil, a energia solar é quase onipresente e também é perfeita para locais remotos ou de difícil acesso. No entanto, há diferenças nos volumes de produção dependendo do clima, e a produção de painéis permanece baixa.

Apesar da compensação, as contas de energia não serão totalmente reajustadas, pois os clientes ainda terão que pagar as tarifas mínimas (taxa de distribuição de rede e tarifa de iluminação pública) à Equatorial, empresa responsável pela energia elétrica no estado do Pará.

Melhorias podem ser feitas a partir desse estudo, pois após a instalação do sistema fotovoltaico poderá ser feita a comparação da energia gerada na residência com a desenvolvida neste estudo, principalmente, levando em consideração o clima da região amazônica.

Assim como pode servir de ferramenta para novos projetos fotovoltaicos e sendo levado em consideração para cálculos de dimensionamento e compensação de diferentes períodos do ano.

REFERÊNCIAS

DA SILVA, Jéssica Aquém. Potenciais aplicações de tecnologias solares em processos industriais como fonte de energia: uma revisão bibliográfica. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2014/MEQ14015.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2021.

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. Energia Solar: Estudo Da Geração De Energia Elétrica Através Dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid E Off-Grid. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf>. Acesso em: 12 set. 2021.

Conheça as diferenças entre os modelos de painel solar” – Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/blog/conheca-as-diferencas-entre-os-modelos-de-painel-solar/>>. Acesso em: 29 set. 2021.

CEPEL. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 14 março. 2023.

GARTLAND, L. Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo-SP, Ed. Oficina de Textos, 2010. 248p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> . Acessado em: 14 mar. 2023.

LISITA, Orlando. **Sistema Fotovoltaicos Conectados à Rede- Estudo de Caso**. São Paulo, 2005.- Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2005.

MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. P. G.; LOMBARDO, M. A. Ilha de calor em Cuiabá-MT: Uma abordagem de clima urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 1991, Londrina. **Anais...**, 1991. 1 CD-ROM.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Programa de desenvolvimento da geração distribuída de energia elétrica** – ProGD. 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/Relat%C3%B3rio+ProGD+VFINAL+%28SEI%29.pdf/5082ebd8-2391-40d6-965a-57108cbfdde2>. Acesso em: 17 mar. 2023.

MONTEIRO, C. A. F., MENDONÇA, F. **Clima urbano**. 1ª Ed. São Paulo. Editora Contexto, 2001. 192p.

NASCIMENTO, C. A. Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica. Lavras, 2004.- Pós Graduação em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, 2004.

Nrel., 2017. Glossary of solar radiation resource terms: National Renewable Energy Laboratory. Disponível em <http://rredc.nrel.gov/solar/glossary/gloss_s.html> . Acesso em: 30 mar. 2023.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A.; FORTES, L. T. G. (Ed.). Normais climatológicas do Brasil, 1961-1990, 2009.

Spark, Weather. Clima e condições meteorológicas médias em Marabá no ano todo. Disponível em: <https://shre.ink/kwjo>> Acesso em: 12 março. 2023.

SILVA, J. V.C. Pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para a universidade do sudoeste da Bahia, campus de Itapetinga. Universidade de Lavras- MG, 2013. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/m/wp-content/uploads/2013/03/TCC-Valderi.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2023.