

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DANIEL DE MOURA RIBEIRO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
ON-GRID E OFF-GRID**

Uberlândia

2023

**ESTUDO DE VIABILIDADE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
ON-GRID E OFF-GRID**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para obtenção de título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Augusto Wohlgemuth  
Fleury Veloso da Silveira

Uberlândia  
2023

DANIEL DE MOURA RIBEIRO

**Estudo de viabilidade dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para obtenção de título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira

Uberlândia, 01 de junho de 2023

Banca examinadora:

---

Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira

---

Carlos Eduardo Tavares

---

Luciano Coutinho Gomes

Dedico esse trabalho aos meus pais,  
Margarete Moura e Leônidas Ribeiro  
pelo imenso apoio, paciência,  
estímulo e compreensão recebidos  
durante essa trajetória.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por me conceder a alegria de chegar ao final de mais uma etapa de minha vida.

Aos meus pais, Margarete e Leônidas, por sempre acreditarem em mim e me darem apoio, amor e orientações nos momentos mais difíceis. Além de me ensinarem, a sempre dar o meu melhor e a nunca desistir, sempre batalharam para garantir o melhor para meu futuro, permitindo que eu me tornasse a pessoa que sou hoje.

Ao meu orientador Dr. Augusto que me apoiou desde o primeiro contato que tivemos e me ajudou com todas as dúvidas que surgiram durante esse projeto.

A minha namorada, Bruna, que esteve comigo nos momentos difíceis de dúvida e ansiedade dessa reta final, pelo apoio incondicional.

Por fim, agradeço também aos meus amigos de Itumbiara e Uberlândia, com quem compartilhei boas risadas e ótimos momentos de descontração durante toda a graduação.

*Nós temos o que nós toleramos ter*  
*- Autor desconhecido*

## RESUMO

A utilização de fontes renováveis de energia tem impacto direto no meio ambiente, reduzindo a exploração de recursos que não se renovam. Essas fontes, muitas vezes, são alternativas para pessoas que não tem acesso a rede de energia elétrica, ou seja, pessoas que vivem isoladas das cidades e, também, pessoas que optam por gerar a própria energia e, assim, economizar. O trabalho tem o objetivo de estudar a viabilidade dos dois tipos de sistema – *on-grid* e *off-grid* – de geração fotovoltaica, comparando-os. Assim, foi realizada uma pesquisa bibliográfica integrando os principais conceitos das fontes renováveis de energia e as suas respectivas participações no Sistema Interligado Nacional. Por fim, dois estudos de caso, demonstrando a implementação dos sistemas separadamente, tendo como resultado variáveis que possibilitam a tomada de decisão entre um ou outro sistema, seja o usuário comum ou empresas que necessitam gerar energia a partir da luz solar.

**Palavras chaves:** Fontes Renováveis. Fotovoltaica. On-grid. Off-grid.

## **ABSTRACT**

The use of renewable energy sources has a direct impact on the environment, reducing the exploitation of non-renewable resources. These sources are often alternatives for people who do not have access to the electricity grid, that is, people who live isolated from cities and also people who choose to generate their own energy and thus save money. The objective of this work is to study the viability of the two types of photovoltaic generation system (on-grid and off-grid) comparing them. Thus, bibliographic research was carried out integrating the main concepts of renewable energy sources and their respective participation in the National Interconnected System. Finally, two case studies, demonstrating the implementation of the systems separately, resulting in variables that make it possible to make a decision between one or another system, whether the common user or companies that need to generate energy from sunlight.

**Keywords:** Renewable Sources. Photovoltaics. On-grid. Off-grid.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Participação das Renováveis na OIE.....	15
<b>Figura 2</b> – Déficits e superávits de derivados de petróleo (%).....	16
<b>Figura 3</b> – Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	17
<b>Figura 4</b> – Estações do ano e movimento da Terra em torno do Sol.....	20
<b>Figura 5</b> – Instalação de módulos solares em residência brasileira.....	21
<b>Figura 6</b> – Células monocristalinas.....	22
<b>Figura 7</b> – Células policristalinas.....	22
<b>Figura 8</b> – Célula de silício amorfo.....	23
<b>Figura 9</b> – Estrutura de fixação em alumínio.....	24
<b>Figura 10</b> – Inversor interativo.....	25
<b>Figura 11</b> – Controlador de carga.....	26
<b>Figura 12</b> – Bateria solar de chumbo-ácido.....	26
<b>Figura 13</b> – Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	27
<b>Figura 14</b> – Esquemático do sistema <i>on-grid</i> .....	29
<b>Figura 15</b> – Esquemático do sistema <i>off-grid</i> .....	30
<b>Figura 16</b> – Esquemático de um sistema <i>off-grid</i> com reservatório gravitacional.....	31
<b>Figura 17</b> – Conta de energia antes da implantação do sistema conectado à rede.....	32
<b>Figura 18</b> – Fotos do sistema executado.....	33
<b>Figura 19</b> – Baterias do banco de baterias (sistema <i>off-grid</i> ).....	34
<b>Figura 20</b> – Valor total da conta antes da instalação do sistema.....	34
<b>Figura 21</b> – Consumo x Geração.....	36
<b>Figura 22</b> – Conta após a instalação do sistema <i>on-grid</i> .....	36
<b>Figura 23</b> – Conta da residência beneficiada com créditos excedentes.....	37
<b>Figura 24</b> – Conta do mês de março (pós-instalação).....	38
<b>Figura 25</b> – Conta do mês de abril (pós-instalação).....	38
<b>Figura 26</b> – Sistema <i>off-grid</i> instalado.....	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Análise do sistema <i>on-grid</i> .....	37
<b>Tabela 2</b> – Custo por kWh no sistema <i>on-grid</i> .....	38
<b>Tabela 3</b> – Análise do sistema <i>off-grid</i> .....	39
<b>Tabela 4</b> – Custo por kWh no sistema <i>off-grid</i> .....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APE	Autoprodução Energética
BEN	Balanco Energético Nacional
ca	Corrente Alternada
cc	Corrente Contínua
ddp	Diferença de Potencial
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
OIE	Oferta Interna de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
SIN	Sistema Interligado Nacional

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVO GERAL .....	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA E AS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA.....	14
2.1	PARTICIPAÇÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN).....	15
2.2	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	16
2.2.1	Impactos ambientais provenientes do fornecimento energético .....	18
3	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	20
3.1	COMPONENTES FÍSICOS.....	21
3.1.1	Módulos fotovoltaicos .....	21
3.1.2	Materiais elétricos .....	23
3.1.3	Estrutura física .....	24
3.1.4	Inversores .....	24
3.1.5	Controladores de carga .....	25
3.1.6	Baterias.....	26
4	SISTEMA OFF-GRID E SISTEMA ON-GRID .....	27
4.1	ON-GRID.....	28
4.2	OFF-GRID.....	29
5	ESTUDO DE CASO.....	32
5.1	IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA ON-GRID .....	32
5.2	IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA OFF-GRID .....	34
6	RESULTADOS .....	36
6.1	RESULTADO DO SISTEMA ON-GRID.....	36
6.2	RESULTADO DO SISTEMA OFF-GRID .....	38
7	CONCLUSÃO .....	41
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

# 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico, que ocasiona o aumento do uso de equipamentos eletroeletrônicos nas residências e empresas, e o crescimento da população têm demandando um aumento na produção de energia elétrica. Dessa forma, com o intuito de diminuir os impactos deste processo no meio ambiente, buscam-se recursos energéticos renováveis, reduzindo os efeitos ambientais negativos.

A energia solar é uma excelente alternativa para suprir a demanda energética minimizando os efeitos negativos no processo de obtenção da energia elétrica. Em especial, países como o Brasil, tem a vantagem de ser ensolarado na maior parte do ano, podendo aproveitar a energia solar, basicamente, todos os dias.

O grande diferencial da energia solar, em comparação a outros tipos de geração renovável é que ela pode ser feita por pessoas comuns nas suas casas. Ou seja, não há necessidade de se construir grandes instalações, subestações e nem ocupar espaços utilizáveis. Os painéis solares geralmente são instalados nos telhados das residências.

Apesar da crescente utilização nos últimos anos, o sistema de distribuição ainda apresenta uma parcela muito pequena de utilização da energia solar. Ou seja, é imprescindível que um país de dimensão continental, crescimento populacional elevado e características climáticas e ambientais favoráveis invista não só na energia solar, mas em outras fontes renováveis – energia eólica, energia das ondas, biomassa, entre outras.

Este trabalho pretende estudar as vantagens e desvantagens do uso de cada sistema de geração solar, considerando aspectos econômicos, viabilidade técnica e circunstâncias ambientais inerentes a cada projeto específico. Dessa forma, necessita-se de um estudo de caso para exemplificar, através de valores reais, indicadores que possam comparar a utilização de um sistema ou de outro, permitindo uma tomada de decisão assertiva.

A utilização de placas voltaicas para obter energia elétrica oferece dois tipos de sistemas, os quais, por suas particularidades, podem gerar dúvidas na escolha entre o *on-grid* e *off-grid*. Assim, justifica-se que as comunidades

acadêmicas e profissionais, bem como usuários comuns, necessitam saber as suas similaridades e diferenças, reforçando o poder de contribuição deste trabalho para sociedade, de maneira geral.

### **1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral do trabalho é analisar e comparar os sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*, permitindo que sejam tomadas decisões quanto a escolha de um ou outro sistema, por usuários comuns e empresas.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Este trabalho tem os objetivos específicos a seguir:

- Interpretar os dados referentes ao Sistema Interligado Nacional, a participação das fontes renováveis de energia elétrica e a sua relação com o crescimento populacional e demanda energética;
- Descrever o funcionamento da energia solar fotovoltaica e dos sistemas *on-grid* e *off-grid*;
- Relacionar, através de um estudo de caso, a implantação dos dois sistemas fotovoltaicos de maneira que, através dos resultados, seja possível decidir por qual dos dois se deve optar quando for converter energia solar em elétrica para cada caso.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Os capítulos do trabalho foram organizados de maneira que facilite o entendimento, incluindo referências bibliográficas confiáveis e atualizadas de outros autores. O Capítulo 1 trata do mercado energético, principalmente ressaltando a evolução das fontes renováveis dentre as diversas formas de se obter energia elétrica.

O Capítulo 2 expressa como a energia elétrica é obtida a partir da energia solar, detalhando as tecnologias, equipamentos e ferramentas presentes, bem como os tipos de sistemas utilizados no processo. O Capítulo 3 compara os

sistemas de energia elétrica fotovoltaica, gerando dados que permitam uma escolha assertiva entre os dois – *on-grid* e *off-grid*.

Por último, o Capítulo 4 demonstra os resultados obtidos, os valores dos indicadores e uma breve síntese de qual sistema é conveniente para supostos casos, além de possíveis trabalhos futuros que deem continuidade a pesquisa.

## **2 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA E AS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA**

O Brasil, um país de dimensão continental, possui diversas fontes de energia, renováveis e não renováveis. A sua política energética é direcionada por objetivos que tem a intenção de garantir acesso a população a serviços de qualidade com um preço justo, sem prejudicar o meio ambiente que será utilizado pelas gerações futuras, manejando de forma sustentável os seus recursos naturais disponíveis (Tolmasquim, 2012).

Tolmasquim (2012) acrescentou que, no cenário mundial, a preocupação com a dependência dos combustíveis fósseis tem feito com que os países se diversifiquem quanto as suas fontes de energia, priorizando as renováveis e de impactos ambientais reduzidos. O Brasil é reconhecido como um dos precursores no desenvolvimento de alternativas energéticas eficientes e sustentáveis, tendo um destaque maior para o etanol.

Assim, o país tem alcançado espaço no cenário mundial quanto ao seu desenvolvimento econômico, alterando diversos fundamentos na administração pública para acompanhar esse crescimento. No setor energético, as melhorias regulatórias contornaram a crise vivida em 2001, conhecida também como apagão de 2001, onde a escassez de chuvas, a ausência de um plano de ação, e o aumento da demanda fizeram com que grande parte do país ficasse sem eletricidade (NERIS, 2016).

No que tange a investimentos no setor energético, em consequência do crescimento econômico brasileiro, ocorre um aumento da demanda na oferta de energia, principalmente para o futuro, exigindo um fortalecimento da rede nacional. Assim, há necessidade em buscar obter energia elétrica de outras fontes não tão convencionais. O Brasil investe cerca de 1% do seu Produto Interno Bruto (PIB) no setor, o que pode ser melhorado (NERIS, 2016).

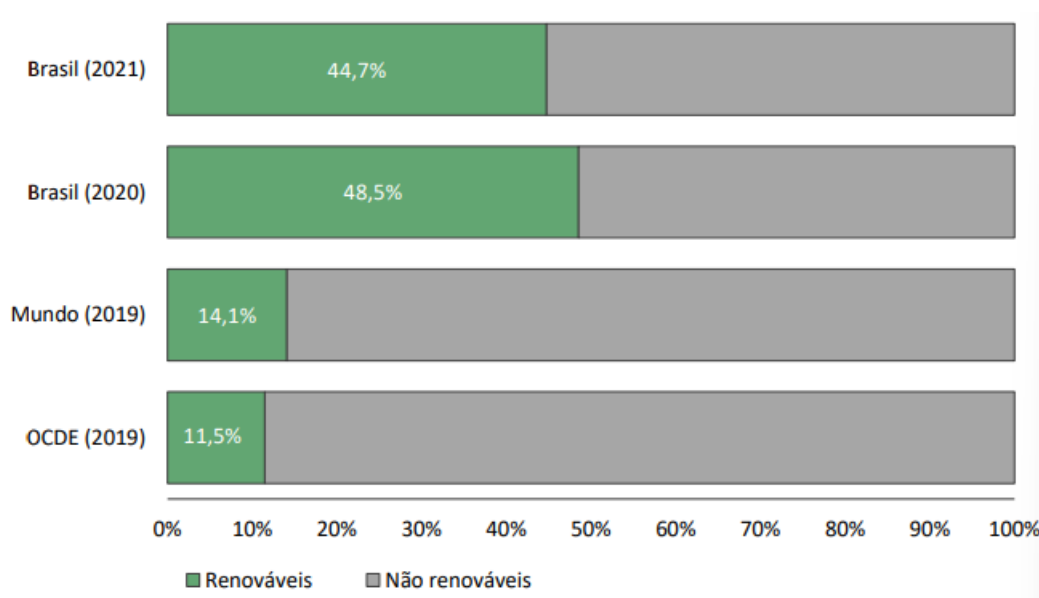
Alane Neris (2016) complementa que existe uma preocupação da escola de economia da sobrevivência com as gerações futuras, fazendo uma relação onde a energia que vem de recursos renováveis é considerada renda e a energia que parte de combustíveis fósseis é capital, pois não se renovam. Por isso, todas as pessoas devem, não só economizar, mas investir em alternativas mais limpas.



## 2.1 PARTICIPAÇÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)

A quantidade total de energia ofertada no país atingiu, em 2021, 301,5 Mtep, representando um avanço de 4,5% em comparação com o ano anterior. A escassez hídrica, que reduziu a oferta de energia hidráulica, e a utilização emergencial de usinas termelétricas fez com que a parcela de participação das fontes renováveis fosse marcada. Porém, com a utilização das fontes solar e eólica, o grau de participação de 44,7% das energias renováveis foi mantido (EPE, 2022).

**Figura 1 - Participação das Renováveis na OIE**



**Fonte:** Empresa de Pesquisa Energética, 2022.

O Balanço Energético Nacional (BEN) (2022), realizado com base no ano 2021, verificou um aumento na oferta interna de energia elétrica – 25,7 TWh (+3,9%) em relação a 2020. Este período demonstrou que a geração hidráulica reduziu cerca de 8,5%, sendo acompanhada pela queda do número de importação. No entanto, outras fontes avançaram, como foi o caso da geração de energia através do gás natural, com um aumento de 46,2% com relação ao ano anterior (EPE, 2022).

A geração eólica chegou ao patamar de 72 TWh, um crescimento superior a 25%, com uma potência de 20.771 MW. Porém, o grande destaque foi a geração baseada na energia solar, alcançando 16,8 TWh, ou seja, um avanço

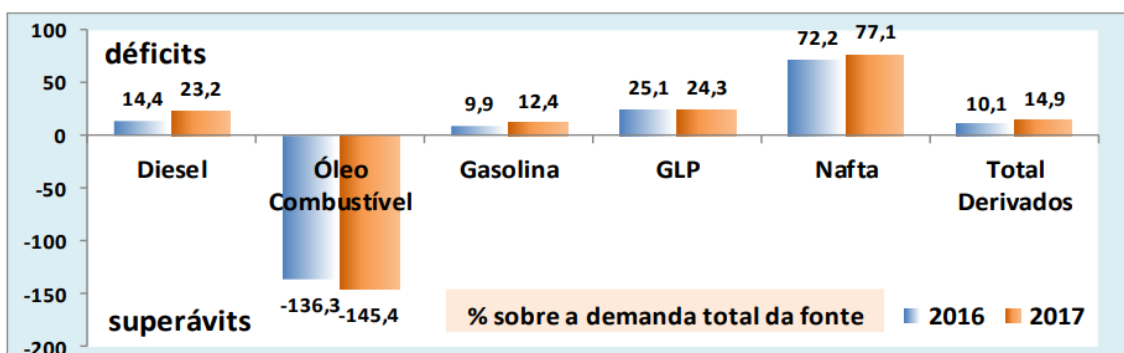
de 55,9% com relação ao ano anterior. Assim, no ano de 2021, a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira ficou em 78,1% (EPE, 2022).

## 2.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A industrialização, um importante passo para a modernização da sociedade, alterando-a economicamente e, conseqüentemente, seu histórico rural, teve como uma das principais bases o setor automobilístico. Assim, desde a década de 1950, todos os governos investem uma grande parcela de seus recursos na construção de rodovias, incentivando o uso dos automóveis no Brasil. A consequência disso é o aumento da demanda por petróleo (CARMONA; KASSAI, 2019).

Bruna Carmona e José Kassai (2019) afirmam que após duas décadas do período de início da industrialização, já em 1970, o petróleo chegou ao seu patamar máximo, sendo a principal fonte energética. Neste mesmo período, cerca de 45% de todas as fontes energéticas praticadas no Brasil eram derivadas do petróleo, gerando um impacto negativo no meio ambiente.

**Figura 2 – Déficits e superávits de derivados de petróleo (%)**



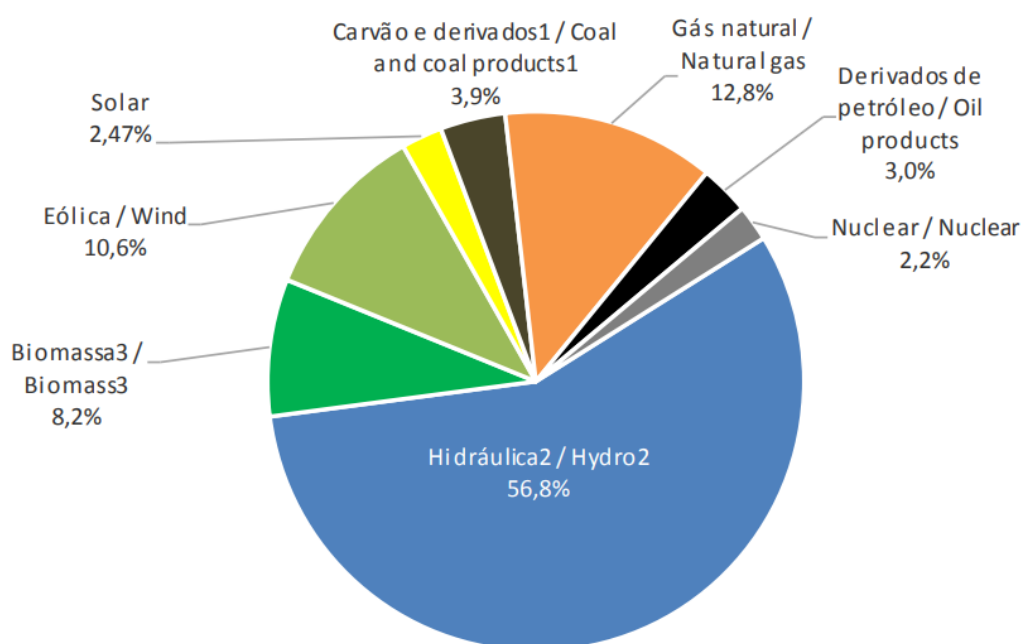
Fonte: Brasil, 2018.

A cada ano a Oferta Interna de Energia (OIE) vem crescendo. Em 2017, foi ofertada 293,5 Mtep, um crescimento de 1,8% em relação ao ano anterior, representando 2,12% de toda energia gerada no mundo. Percebeu-se ainda uma diminuição da supremacia da geração hidráulica, que vem sendo reduzida desde 2017 quando caiu para 65,2%, diferente dos 68,1% praticados em 2016. É importante ressaltar que ainda que a energia gerada por hidrelétricas seja considerada renovável, o impacto ambiental é bem maior que outras fontes (BRASIL, 2018).

Determinadas empresas de alguns setores industriais fazem a sua própria produção energética, sendo classificadas como autoprodução (APE), é o caso das produtoras de papel e celulose, açúcar e álcool, química, siderúrgicas, entre outras. A APE, em 2021, atingiu uma participação de 17,4% do total, levando em consideração todas as fontes, chegando a 114 TWh. Do total, 65,9 TWh foram utilizadas pelos próprios produtores e o restante injetado na rede, colaborando com o SIN (EPE, 2022).

A Balanço Energético Nacional (2022) constatou que a autoprodução clássica é uma das formas das organizações contribuírem e conseqüentemente economizar gerando a sua própria eletricidade, proporcionando mais competitividade frente aos seus concorrentes. A produção advinda de fontes não renováveis em 2021 alcançou 22,6%, bem maior do que os 16,8% em 2020, devido a evolução do gás natural que tem diminuído o consumo do diesel e reduzindo as emissões gasosas (EPE, 2022).

**Figura 3 – Oferta interna de energia elétrica por fonte**



**Fonte:** Empresa de Pesquisa Energética, 2022.

A matriz energética, segundo a Figura 3, é majoritariamente alimentada por fontes renováveis, com um destaque para a hidrúlica, correspondendo a 53,4% da oferta interna. Com as importações que partem da usina de Itaipu, a fonte hídrica chega a quase 57%. No total, as fontes renováveis representam aproximadamente 78% da matriz energética brasileira, um excelente indicador.

### 2.2.1 Impactos ambientais provenientes do fornecimento energético

A situação ideal e o principal objetivo dos cientistas quanto ao fornecimento de energia é que não exista impactos negativos no meio ambiente neste processo. Isto justifica a discussão mundial sobre priorizar as fontes renováveis em detrimento das não renováveis. Porém, com o plano de diversificar a capacidade instalada, é bem provável que haja crescimento da participação, também, de fontes poluidoras, visando a confiabilidade da matriz energética e, em paralelo, o crescimento econômico (ALVES, 2009).

Laura Alves (2009) reitera que o grande impacto das fontes que emitem gases de efeito estufa e material particulado se dá nas mudanças climáticas e na poluição do ar. Assim, uma das formas de reverter isso é incentivar a produção de energia elétrica através de fontes alternativas que, inclusive, o consumidor final pode adotar. Por meio de incentivos fiscais, descontos nas contas de energia e impostos que incidem sobre a pessoa física é possível que parte da população opte por investir em um sistema pessoal elétrico autossuficiente.

Principal fonte energética do Brasil, as hidrelétricas, consideradas renováveis, causam impactos ambientais e devem ser levadas em consideração. A decomposição da vegetação que é submersa gera gases causadores de mudanças climáticas, como: gás carbônico, óxido nítrico e metano. As inundações provocam ainda o afastamento de pessoas que vivem próximas aos locais inundados, mesmo assim, esse sistema consegue equilibrar uma geração de energia sustentável para o Brasil (CUSTÓDIO; LORUSSO; CAVALCANTE; LOPES, 2022).

A verdade é que todos os meios de se produzir energia, independente de renováveis ou não, geram impacto natural, seja de grande ou pequena proporção. O que se busca é conscientizar a população mundial de que a vida no planeta Terra depende diretamente dos recursos naturais, e que sem eles, não vai haver equilíbrio. No entanto, a nível de evolução o homem necessita de energia elétrica para se desenvolver (CAMPOS; RODRIGUES, 2022).

Campos e Rodrigues (2022) alegaram que é provável que a produção da energia solar se intensifique nos próximos anos, pois é uma das formas mais limpas de se obter energia elétrica. Assim, ela não polui o ar, não influencia no

efeito estufa e não necessita de gerador e turbinas, sendo seu principal impacto o visual, o que pode custar a vida de algumas aves. Uma das desvantagens do fornecimento energético a partir da energia solar é que ela ainda exige altos investimentos, além do que acaba se tornando inviável em locais onde não há grande incidência de raios solares.

Outros impactos observados com o uso da energia solar são as modificações na paisagem, além da alta movimentação de equipamentos que não compõem o ambiente onde será instalada. Uma usina solar provoca ainda impactos no ecossistema local, alterando ciclos de flora e fauna durante o período da construção e, também, após a finalização das obras. Ou seja, todo fluxo rotineiro ambiental é afetado por uma obra de tal magnitude, o que poderia ser reduzido se cada residência tivesse a sua própria geração solar (CAMPOS; RODRIGUES, 2022).

### 3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A UNESP (2018), define a energia solar como a utilização de energia pelo homem a partir da captação de luminosidade, ou seja, energia térmica, originada no sol. A energia solar fotovoltaica é a que utiliza diretamente a luz, no entanto, é importante frisar que existem outros tipos de energia solar, como a energia hipotérmica e a energia termossolar.

A energia solar fotovoltaica é, portanto, a conversão da radiação solar em eletricidade, utilizando materiais semicondutores, tendo como resultado o efeito fotovoltaico. Descoberto por Edmon Becquerel (1820-1891), físico francês, o termo foi resultado da observação de tensão entre eletrodos em uma solução de selênio, a partir da exposição à luz solar (RIBEIRO, 2016).

A radiação solar depende de condições atmosféricas, como nebulosidade e umidade do ar. Além disso, ela depende da latitude do local, da hora em que é medida e do dia do ano. Essas causas são provenientes da inclinação do eixo em que a Terra gira - rotação - e o movimento que ela faz em torno do Sol - translação (ANEEL, 2016).

**Figura 4** – Estações do ano e movimento da Terra em torno do Sol



**Fonte:** Prefeitura de Goiânia, 2021.

O *National Renewable Energy Laboratory* (2017), ou Laboratório Nacional de Energias Renováveis afirma que a Terra recebe  $1,77 \times 10^{17}$  W de potência emitidas no Sol. Através do efeito fotovoltaico é possível aproveitar essa energia. A potência irradiante é de  $1.367 \text{ W/m}^2$  na atmosfera, no entanto, chega à

superfície terrestre, após perder cerca de 30%, o equivalente a aproximadamente  $1.000 \text{ W/m}^2$ .

Essa energia que se origina do Sol e chega ao planeta Terra com a magnitude citada anteriormente pode ser convertida e utilizada por pessoas nos seus diversos itens eletroeletrônicos. Ou seja, o conjunto formado por módulos fotovoltaicos, inversores, sistema de proteção elétrica e condutores elétricos, possibilitam a geração de energia elétrica, para seus mais variados fins, a partir da luz solar (NASCIMENTO, 2019).

### 3.1 COMPONENTES FÍSICOS

Independentemente do tipo de sistema, alguns elementos são essenciais no funcionamento de uma geração elétrica a partir da fonte solar. São eles: módulos fotovoltaicos, materiais elétricos, estrutura física, inversores, controladores de carga e baterias (OCA ENERGIA, 2020).

#### 3.1.1 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos, ou placas solares, como também são conhecidos, são considerados a parte principal de um sistema de energia solar. As placas solares são formadas através de um conjunto de células associadas em serie e/ou paralelo, variando conforme a demanda energética do projeto, tornando esse componente o básico para gerar energia elétrica (RIBEIRO, 2020).

**Figura 5** – Instalação de módulos solares em residência brasileira



Fonte: Ideal Energia Solar, 2019.

Giankarlo Ribeiro (2020) acrescenta que a tensão do sistema em corrente contínua (CC) é definida pela quantidade de módulos que são conectados em série. Já a corrente determinada pela conexão paralela de placas ou o conjunto delas associadas em série, é denominada de *strings*. Para obter a potência total do sistema basta somar a potência nominal de cada módulo.

Os módulos fotovoltaicos se diferenciam pelas tecnologias presentes em cada um deles, especificamente, pelos elementos químicos que são constituídos e o processo de produção a que são submetidos. Quase todas placas fotovoltaicas são feitas de alguma variação do silício, o elemento mais relevante para transformar energia solar em elétrica (NASCIMENTO, 2019).

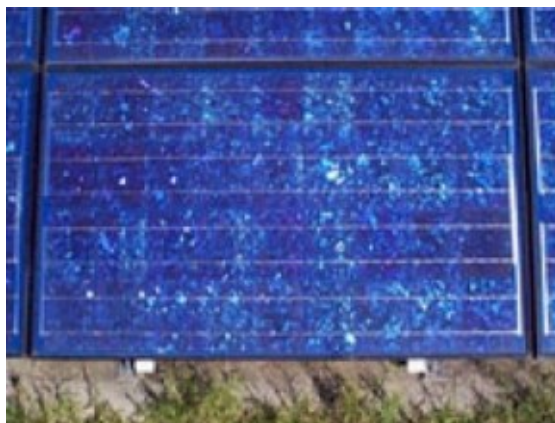
Rafael Oliveira (2019) citou que para a fabricação dos módulos é utilizado silício ultrapuro, ou seja, com pureza de 99,9999% e que as células são divididas em três tipos de classificação, de acordo com a estrutura molecular, são elas: monocristalinas, policristalinas e silício amorfo.

**Figura 6** – Células monocristalinas



Fonte: Pedro Reis, 2019.

**Figura 7** – Células policristalinas



Fonte: Pedro Reis, 2019.



**Figura 8** - Célula de silício amorfo



**Fonte:** Pedro Reis, 2019.

Cada tipo de célula passa por um processo de produção diferente, portanto, cada uma tem seu custo associado, suas vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas para optar pela melhor opção em cada caso. No entanto, o fator mais importante é a eficiência média de cada uma, ou seja, o percentual de energia solar que é convertido (OLIVEIRA, 2019).

A monocristalina tem um custo mais elevado, porém tem uma eficiência média de 16,5%, já as células policristalinas tem um custo de fabricação menor e a sua porcentagem de eficiência varia entre 14,5% e 16,2%. Por fim, o silício amorfo, um módulo de filme fino apresenta uma eficiência entre 5% e 10%, sendo essa a sua principal desvantagem frente aos outros tipos (OLIVEIRA, 2019).

### 3.1.2 Materiais elétricos

Entre os materiais elétricos, o principal é o cabo. É necessário que haja itens de qualidade para que o funcionamento do conjunto não seja prejudicado. Além de utilizar cabos especiais, são recomendados conectores que garantam a transmissão correta, evitando desperdício de energia e diminuindo a eficiência do sistema (HCC, 2022).

A Oca Energia (2020) frisa que além do dimensionamento dos cabos, outro requisito importante é o revestimento diferenciado para suportar a incidência direta de luz solar nos cabos, podendo queimá-los. Todos esses fatores estão associados a tensão do sistema de energia solar fotovoltaica. Por

fim, disjuntores de proteção formam um conjunto básico de materiais elétricos para o fornecimento de energia a partir da luz solar.

### 3.1.3 Estrutura física

As estruturas e demais ferramentas de fixação são, geralmente, em alumínio ou aço inoxidável pela exposição ao ambiente, conseqüentemente em contato com chuva e muita umidade. Dessa forma é possível manter a qualidade dos equipamentos, sem o aparecimento de ferrugens. Para a instalação dos módulos é necessário que o suporte seja preparado considerando a inclinação que irá captar o máximo de radiação solar possível (OCA ENERGIA, 2020).

**Figura 9** – Estrutura de fixação em alumínio



Fonte: Imagem autoral.

### 3.1.4 Inversores

Os inversores são responsáveis por converter corrente contínua (cc) gerada nas placas solares para corrente alternada (ca), atendendo aos padrões da rede de concessionária elétrica. Além disso, tais equipamentos são responsáveis por monitorar, seccionar, gerar mais segurança e permitir que desde a geração no sistema elétrico até o consumo, o funcionamento seja adequado (NASCIMENTO, 2019).

Rafael Oliveira (2019) concluiu que além de transformar a cc gerada nos módulos fotovoltaicos em ca, os inversores também alteram o sinal de saída para uma onda quadrada ou senoidal e elevam a tensão com o intuito de atingir os

valores utilizados nas residências. Ele acrescenta que atualmente três tipos de inversores são usados: inversor de onda quadrada, inversor de onda senoidal modificada e inversor de onda senoidal pura.

**Figura 10 – Inversor interativo**



Fonte: Imagem autoral.

Álvaro Nascimento (2019) afirma que inversores destinados a pequenos geradores solares fotovoltaicos, geralmente utilizados em residências, podem ser usados para uma única placa – microinversores – e, também, para uma série (*strings*) de placas. Os microinversores, por exigir menos energia no seu funcionamento, não comprometem a geração elétrica, no entanto o seu custo é mais elevado do que o de dimensões maiores.

### 3.1.5 Controladores de carga

Controladores de carga servem para gerenciar as cargas e descargas, aumentando a vida útil da bateria. Essa regulação é feita através de solicitações intervaladas de energia das baterias para que a inatividade não comprometa o seu funcionamento, isso acontece mesmo a geração de energia sendo o

suficiente para suprir a demanda de consumo. Os mais utilizados são os que possuem relé de chaveamento de cargas – sólido microprocessado (RIBEIRO, 2019).

**Figura 11** – Controlador de carga



**Fonte:** Oca Energia, 2020.

### 3.1.6 Baterias

As baterias ou acumuladores, como são também conhecidas, é o principal requisito para o aproveitamento da energia solar. A geração de energia e o consumo dificilmente coincidem, tornando necessário o seu armazenamento, principalmente em sistemas que não tem ligação com o SIN. Assim, utilizando baterias é possível atender a demanda energética mesmo em períodos onde não há incidência de luz solar (RIBEIRO, 2020).

**Figura 12** – Bateria solar de chumbo-ácido



**Fonte:** Portal Solar, 2018

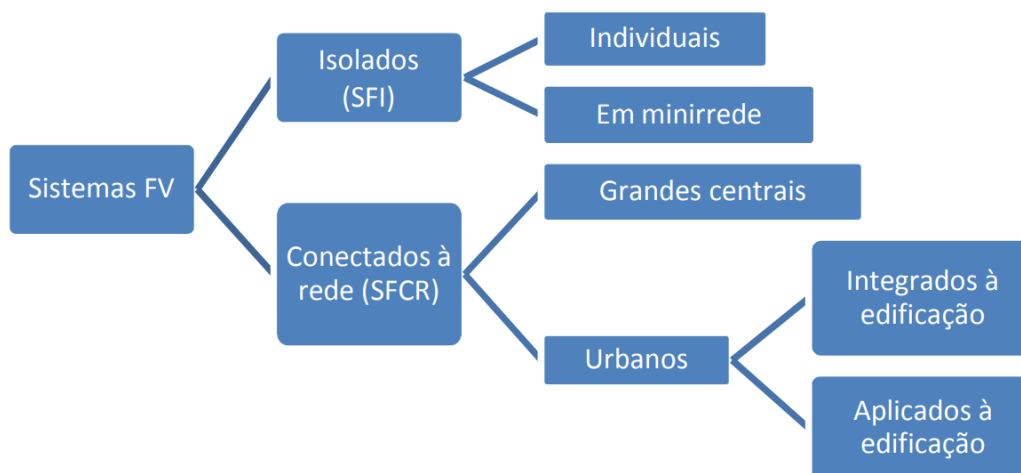
As células eletroquímicas presentes em uma bateria são divididas em ânodo e cátodo. Estes são colocados em um eletrólito, gerando corrente com

uma diferença de potencial (ddp) entre os terminais positivos e negativo, que é diretamente proporcional a quantidade de material disponível. Portanto, a bateria é o conjunto de células em paralelo ou em série, utilizada secundariamente, revertendo a reação química e reestabelecendo a carga energética do sistema fotovoltaico (NASCIMENTO, 2019).

#### 4 SISTEMA OFF-GRID E SISTEMA ON-GRID

Tem-se, neste capítulo os tipos de sistemas fotovoltaicos que são o sistema *off-grid* e o sistema *on-grid*, Além do sistema híbrido que representa a junção entre os dois. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 11704, de nome “Sistemas fotovoltaicos – Classificação” define os sistemas fotovoltaicos como sistema fotovoltaico isolado da rede de energia elétrica (*off-grid*) e o sistema fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica (*on-grid*) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

**Figura 13** – Tipos de sistemas fotovoltaicos



**Fonte:** Jair Urbanetz, 2010.

Normalmente, os sistemas isolados da rede (*off-grid*), são utilizados em locais onde não existe acesso à eletricidade, necessitando do conjunto de baterias para armazenar energia que é utilizada em períodos sem sol ou com pouca geração. Os sistemas conectados à rede (*on-grid*) são vistos como distribuidores de energia em baixa ou média tensão, contribuindo para a disponibilidade de consumo (URBANETZ, 2010).

## 4.1 ON-GRID

O sistema *on-grid*, ou sistema fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica, tem aumentado sua parcela de participação energética nos países desenvolvidos. Assim, recebem o status de fonte complementar do sistema elétrico, já que uma característica dessas nações é já atender a sua demanda energética. O sistema *on-grid* tem a rede elétrica como uma bateria receptora de tudo que excede o consumo local (ALVES, 2019).

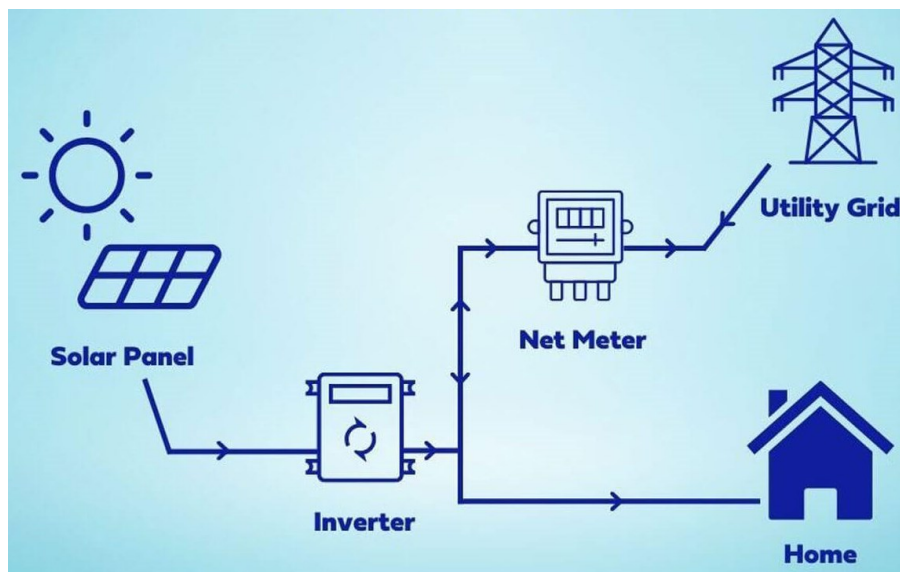
Fabianna Tonin (2017) citou que o sistema *on-grid* tem duas principais vantagens:

- Elevada produtividade, pois toda energia que é produzida é utilizada ou jogada na rede;
- Ausência do grupo de baterias, que tem uma vida útil curta e um elevado custo de manutenção.

Marliana Alves (2019) conclui que existe um grande potencial de crescimento deste tipo de sistema, principalmente com a sua aplicação em áreas ensolaradas pelo mundo. O Brasil é um exemplo de grande destaque, devido a sua disponibilidade de energia solar. Logo, durante o dia, caso haja um pico de demanda, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem contribuir para essa máxima exigida, como por exemplo, centros comerciais que utilizam ar condicionado durante momentos mais quentes.

Os sistemas *on-grid* são formados, em suma, por painel fotovoltaico e inversor. Isso se deve à ausência de baterias, a principal diferença do outro tipo de sistema. Além disso, uma característica marcante desse sistema é que, quando não há tensão, ou seja, energia na rede, o inversor desliga automaticamente o sistema, evitando que haja o ilhamento. Este fenômeno acontece quando parte da rede energética é desconectada do sistema e, ainda assim continua energizada, como um sistema isolado (URBANETZ, 2010).

**Figura 14** – Esquemático do sistema *on-grid*



Fonte: Freyr Energy, 2023.

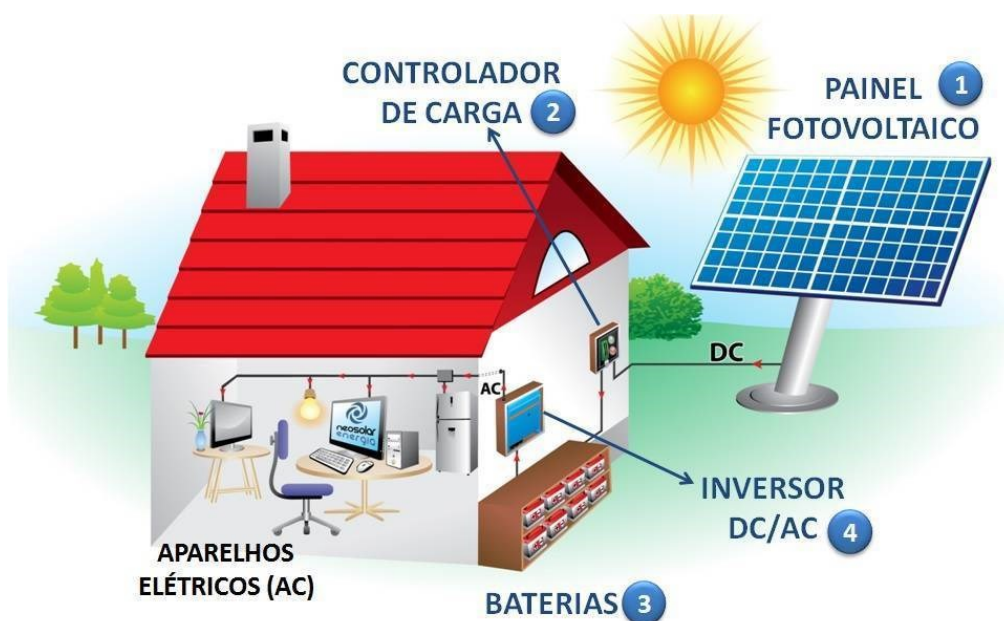
Fabianna Tonin (2017) ressalta a importância do medidor bidirecional. Ele é responsável por registrar a energia líquida do sistema, ou seja, a diferença entre o que é retirado e o que é injetado na rede, em kWh. Dessa forma, é possível que os créditos excedentes, criados em dias de bastante sol seja utilizado posteriormente em períodos de pouca produção energética. Todos os sistemas fotovoltaicos conectados à rede de energia elétrica são regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

## 4.2 OFF-GRID

Rayon Santos (2019) define sistemas off-grid como sistemas isolados e, também conhecidos como sistemas não conectados à rede elétrica. Dessa forma, este tipo de sistema trabalha de forma autônoma, sem ter nenhum tipo de ligação com a rede elétrica convencional.

Sistemas off-grid são sistemas isolados da rede de distribuição energética e geralmente são utilizados em locais que não possuem distribuição de energia elétrica como em zonas rurais muito distantes da cidade, ilhas, praias e outros locais remotos. Este modelo é ainda uma opção para estabelecimentos que não podem ter o seu fornecimento energético interrompido, mas estão situados em locais com constantes apagões (SANTOS, 2019).

**Figura 15** – Esquemático do sistema *off-grid*



Fonte: NeoSolar, 2019.

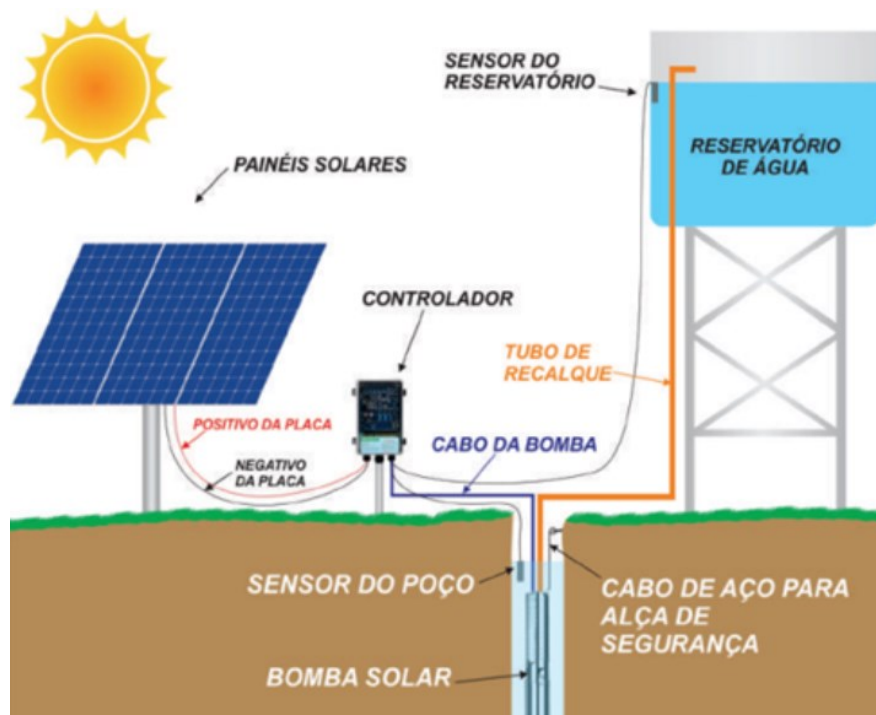
Na Figura 15 é possível observar que quatro componentes principais compõem o sistema isolado: painel fotovoltaico, controladores de carga, baterias e inversor. O painel fotovoltaico e o inversor possuem as mesmas funcionalidades que tem no sistema *on-grid*, já o controlador de carga serve como uma proteção do banco de baterias, evitando que haja descarga ou sobrecarga. Os controladores são utilizados em pequenos sistemas, pois por possuírem uma tensão baixa e cc, a mínima falha pode ocasionar consequências irreversíveis (ALVES, 2019).

A utilização de baterias acaba gerando um custo a mais para o proprietário de um sistema *off-grid*, tanto na implantação, como durante os anos de uso. O sistema desconectado da rede tem um longo período em operação, cerca de três décadas. No entanto, as baterias utilizadas tem uma vida útil de 4 ou 5 anos, necessitando que haja novas aquisições, representando a diferença de custos entre os dois tipos de sistema de mesma potência (SOLARVOLT, 2015).

Marliana Alves (2019) afirma que o armazenamento nem sempre é com banco de baterias, em casos de sistemas de abastecimento de água, por exemplo, pode ser realizado em tanques, na forma de energia gravitacional. Porém, quando se utiliza baterias, geralmente são as de chumbo ácidas, por serem mais baratas, mesmo que outros tipos tenham uma vida útil maior e mais eficiência – como a níquel-cádmio, íon, lítio, entre outras.



**Figura 16** – Esquemático de um sistema *off-grid* com reservatório gravitacional



Fonte: Alessandra Neris, 2022.

Rayon Santos (2019) acrescentou que o sistema *off-grid* possui três vantagens, são elas:

- Disponibilidade de energia em locais que não tem rede de distribuição de energia elétrica;
- Não há necessidade em pagar conta de luz, por ser um sistema isolado;
- O proprietário se torna independente energeticamente através do armazenamento energético no banco de baterias.

As desvantagens do sistema isolado são (SANTOS, 2019):

- Aquisição de mais componentes, como as baterias e o controlador de carga;
- Custo mais elevado, ocasionado pelo valor do banco de baterias;
- A vida útil das baterias é curta, portanto, necessitam ser substituídas;
- Utiliza mais espaço para ser instalado.

## 5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresenta, de forma separada, a implantação dos dois sistemas em casos reais, permitindo que, a partir do exposto, decisões sejam tomadas. Assim, tanto os valores monetários, como os indicadores calculados representam a realidade.

### 5.1 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA ON-GRID

A implantação do sistema de microgeração solar fotovoltaico conectado à rede foi realizada em uma empresa na cidade de Guará, interior do estado de São Paulo. Configurada como uma loja de roupas e acessórios, a organização foi fundada em 2004 e nos últimos anos pagou muito caro pela conta de energia, fazendo a proprietária desconfiar de alguma fuga energética.

Após avaliação da concessionária energética, constatou-se que não havia nada errado com a instalação elétrica. Assim, a proprietária decidiu investir em uma geração própria a partir da luz solar, com a finalidade de gerar crédito conforme as determinações do órgão regulador federal, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), dentro do sistema de compensação de energia elétrica.

**Figura 17** – Conta de energia antes da implantação do sistema conectado à rede

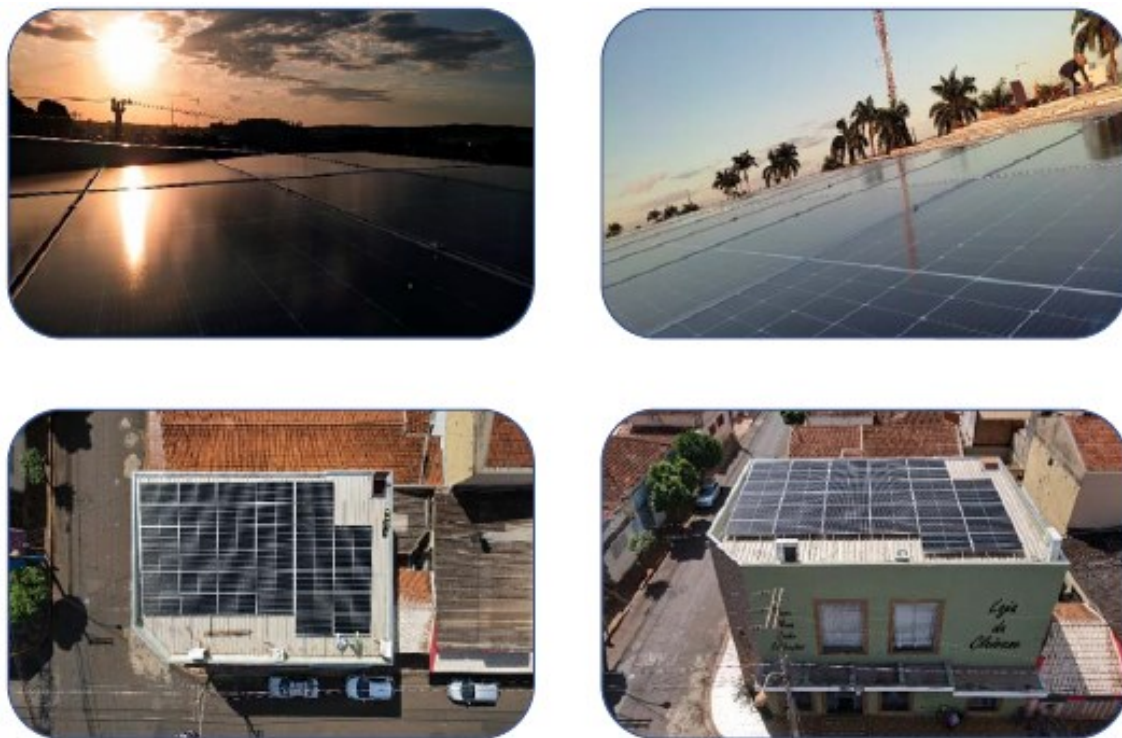
ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR									
0800 010 1010 www.cpfl.com.br	711223885	INSTALAÇÃO 19835353	ABR/2022	28/04/2022	1.484,37									
DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO														
Cod. 115	Descrição da Operação Nº 51115215566	Mês Ref.	Quant. Faturada	Unid. Med.	Tarifa com Tributos R\$	Valor Total da Operação R\$	Base Cálculo ICMS R\$	Allq. ICMS	ICMS	Base Cálculo PIS/COFINS	PIS 0,74%	COFINS 3,46%	Bandeiras Tarifárias (Dias)	
D655	Consumo Uso Sistema [kWh]-TUSD	ABR/22	1.419,000	kWh	0,40331934	572,31	572,31	18,00	103,02	469,29	3,47	16,24	Esc. Histórica	
D601	Consumo - TE	ABR/22	1.419,000	kWh	0,37878788	537,50	537,50	18,00	96,75	440,75	3,26	15,25	17 Dias	
D601	Adicional de Bandeira Vermelha	ABR/22				256,50	256,50	18,00	46,17	210,33	1,56	7,28	Esc. Histórica	
	Total Distribuidora					1.366,31							14 Dias	
DÉBITOS DE OUTROS SERVIÇOS														
D807	Contrib. Custeio IP-CIP Municipal	ABR/22				118,06								
<b>Total Consolidado</b>						<b>1.484,37</b>	<b>1.366,31</b>	<b>245,94</b>	<b>1.120,37</b>	<b>6,29</b>	<b>36,77</b>			
HISTÓRICO DE CONSUMO		kWh	Dias	TARIFA ANEEL		EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO / DATAS DE LEITURAS								
2022	ABR	1419	31	Consumo	TUSD	TE	Nº	Energia	Leitura	Leitura	Fator	Consumo	Taxa de Perda	Leitura
	MAR	1326	28	Consumo kWh	0,31689129	0,29798813	31314615	Ativa	9050	7631	1,00	1.419	[%]	16/05/2022
	FEV	1045	31											
	JAN	1320	29											
2021	DEZ	2038	30											
	NOV	1249	32											
	OUT	959	30											
	SET	667	33											
	AGO	364	30											
	JUL	374	30											
	JUN	398	28											
	MAI	536	32											
	ABR	840	30											
						<b>INDICADORES DE CONTINUIDADE DE FORNECIMENTO DE ENERGIA</b>								
						Para consulta dos indicadores acesse nosso site <a href="http://www.cpfl.com.br">www.cpfl.com.br</a>								

Fonte: Imagem autoral.

A Figura 17 demonstra que o consumo de 31 dias foi de 1419 kWh, gerando um valor de R\$ 1.484,37 de custo com energia elétrica. Assim, foi implementado um sistema com a capacidade de produção energética de 2400 kWh/mês e uma potência pico de 19,44 kWp, através do aproveitamento da área disponível de 94m<sup>2</sup>.

Além dos outros componentes elétricos e do medidor bidirecional, os principais equipamentos do sistema foram o módulo fotovoltaico e o micro inversor. Os módulos ou placas solares foram da fabricante Canadian, um total de 33, com potência de 540 Wp. Já o micro inversor da fabricante Hoymiles, modelo HMS2000, potência de 2.000 W e um total de 9 unidades.

**Figura 18** – Fotos do sistema executado



Fonte: Imagem autoral.

O sistema instalado, com peso distribuído dos módulos de 10,44 kg/m<sup>2</sup>, custou R\$ 86.500,00 a empresa contratante que pagou a vista, sendo 60% antes do início da instalação e 40% ao final. Ele possui uma vida útil estimada de 25 a 35 anos, sendo que o módulo tem garantia de 12 anos contra defeitos e o micro inversor 10 anos. Portanto, a proprietária terá apenas o custo de limpeza dos módulos quando acumular poeira.

## 5.2 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA OFF-GRID

O sistema *off-grid* foi instalado também na cidade de Guará, interior de São Paulo, em um ambiente onde a temperatura média é de 25 °C. Por motivos pessoais, o contratante não quis conectar à rede, optando por utilizar um banco de baterias e, caso fosse necessário, usar a energia fornecida pela concessionária. Ou seja, nos dias que a geração solar não fosse suficiente para o consumo noturno, a energia da rede seria utilizada.

**Figura 19** – Baterias do banco de baterias (sistema *off-grid*)



Fonte: Imagem autoral.

Após estudar a propriedade onde a instalação foi feita, observou-se que o consumo médio mensal era de 561,6 kWh e, dessa forma, projetou-se um sistema com a potência de 4,4 kWp, dispostos em uma área de 24 m<sup>2</sup>, gerando um peso distribuído de 11,3 kg/m<sup>2</sup>. O valor do sistema, incluindo todos os equipamentos necessários foi de R\$ 16.500,00 e foram pagos à vista.

**Figura 20** – Valor total da conta antes da instalação do sistema

ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
0800 010 1010 www.cpfl.com.br	710235017	INSTALAÇÃO 19838190	OUT/2022	19/10/2022	340,81

Fonte: Imagem autoral

A geração de energia foi estimada com base no banco de dados do CRESESB ou NASA, representando médias mensais e anuais. Porém, essa geração pode variar de acordo com os meses do ano, variando em função de fatores ambientais. Assim, o sistema foi criado considerando o atual perfil de consumo do cliente.

A manutenção preventiva, assim como no outro tipo de sistema, não é exigida, pois não há equipamentos móveis. No entanto, é recomendado que semestralmente os painéis sejam higienizados, retirando a poeira que é arrastada para lá nos períodos mais secos do ano. Dessa forma, a geração é otimizada, pois a película de poeira atrapalha parcialmente o contato dos raios solares com a placa.

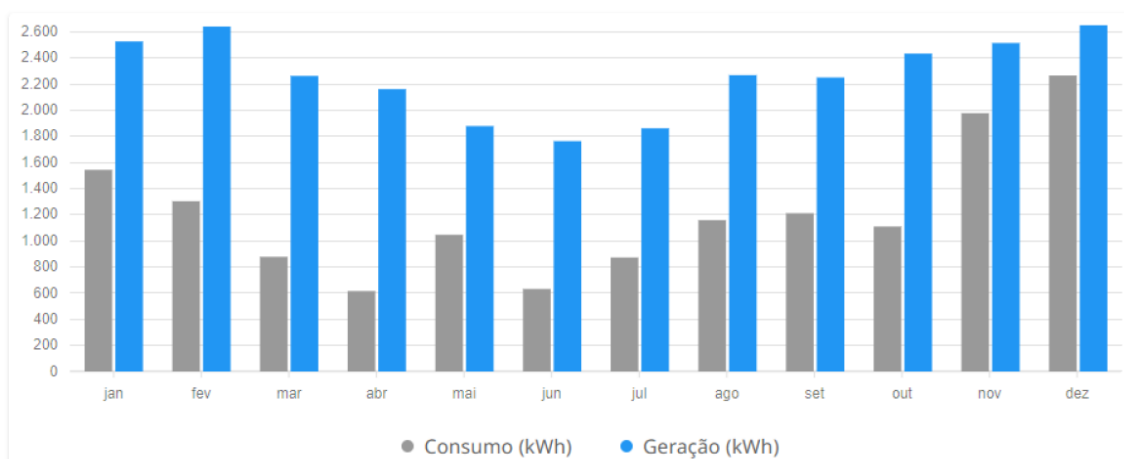
## 6 RESULTADOS

A partir dos resultados encontrados, foi possível fazer uma análise financeira. Dessa forma, foi possível avaliar as contas com energia elétrica antes e depois e calcular o Payback de cada sistema isoladamente, servindo de base para projetos futuros.

### 6.1 RESULTADO DO SISTEMA ON-GRID

A empresa que instalou o sistema conectado à rede conseguiu uma excelente margem de geração elétrica, principalmente entre os meses de novembro a fevereiro, com alguns valores superiores a 2.600 kWh. Dessa maneira, o excedente computado pelo medidor bidirecional foi disponibilizado na rede elétrica. O Gráfico 1 expressa a relação entre o consumo e a geração energética.

**Figura 21 – Consumo x Geração**



Fonte: Imagem autoral.

**Figura 22 – Conta após a instalação do sistema on-grid**

ATENDIMENTO		PN	SEU CÓDIGO		CONTA MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR						
0800 010 1010 www.cpfl.com.br		711223885	INSTALAÇÃO 19835353		FEV/2023	28/02/2023	107,34						
DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO													
Cod. 115	Descrição da Operação Nº 914701635812	Mês Ref.	Quant. Faturada	Unid. Med.	Tarifa com Tributos R\$	Valor Total da Operação R\$	Base Cálculo ICMS R\$	Aliq. ICMS	ICMS	Base Cálculo PIS/COFINS	PIS 0,90%	COFINS 4,13%	Bandeiras Tarifárias (Dias)
0005	Energia Ativa Fomecida - TUSD	FEV/23	323.000	kWh	0,38535604	124,47				124,47	1,12	5,14	
0001	Energia Ativa Fomecida - TE	FEV/23	323.000	kWh	0,38000000	122,74	122,74	18,00	22,09	100,65	0,91	4,16	Verde 18 Dias
0005	Energia Ativa Injetada TUSD	FEV/23	323.000	kWh	0,38535604	124,47				124,47	1,12	5,14	Verde 13 Dias
0001	Energia Ativa Injetada TE	FEV/23	323.000	kWh	0,38000000	122,74	122,74	18,00	22,09	100,65	0,91	4,16	
0005	Custo de Disp. Energia TUSD	FEV/23	100.000	kWh	0,38540000	38,54				38,54	0,35	1,59	
0001	Custo de Disp. Energia - TE	FEV/23	100.000	kWh	0,38000000	38,00	38,00	18,00	8,84	31,18	0,28	1,29	
Total Distribuidora						78,54							
<b>DÉBITOS DE OUTROS SERVIÇOS</b>													
0807	Contrib. Custeio IP-CIP Municipal	FEV/23				30,80							

Fonte: Imagem autoral.

Na Figura 22, é possível ver a conta de energia do mês de fevereiro após a instalação do sistema. Assim, tem-se como resultado uma diferença de aproximadamente R\$ 1.300,00 a menos na conta de luz do estabelecimento comercial. Em meses com mais dias e com maior uso de equipamentos elétricos, esse valor foi um pouco maior, gerando um valor médio mensal de R\$ 172,50. A tabela a seguir expressa a análise financeira do projeto.

**Tabela 1 – Análise do sistema *on-grid***

<b>Valor médio mensal de energia após instalação</b>	R\$ 172,50
<b>Custo estimado do primeiro ano sem sistema instalado</b>	R\$ 12.581,58
<b>Custo estimado do primeiro ano com sistema instalado</b>	R\$ 2.070,00
<b>Economia média mensal estimada no primeiro ano</b>	R\$ 875,96
<b>Economia total estimada no primeiro ano</b>	R\$ 10.511,58

Fonte: tabela autoral.

Considerando 7% o reajuste anual de energia e o valor investido de R\$ 86.500,00, foi possível encontrar o Payback de 6 anos e 8 meses, ou seja, o tempo necessário para o valor investido retorne para a organização. Da mesma forma, foi possível calcular o retorno sobre investimento (ROI) de 6,69 vezes, gerando uma economia total de R\$ 578.347,32 em 25 anos de vida útil do equipamento.

A geração energética no empreendimento foi bastante satisfatória, gerando, inclusive, créditos além do necessário. A proprietária conseguiu, junto a concessionária energética, transferir parte dos créditos excedentes para sua residência, que também foi beneficiada com a redução da conta de luz, como é possível observar na discriminação da operação na Figura 19.

**Figura 23 – Conta da residência beneficiada com créditos excedentes**

ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR								
0800 010 1010 www.cpfli.com.br	711223885	INSTALAÇÃO 19846533	FEV/2023	03/03/2023	127,45								
DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO													
Cod. 115	Descrição da Operação N° 902804020672	Mês Ref.	Quant. Faturada	Unid. Med.	Tarifa com Tributos R\$	Valor Total da Operação R\$	Base Cálculo ICMS R\$	Aliq. ICMS	ICMS	Base Cálculo PIS/COFINS	PIS 0,90%	COFINS 4,13%	Bandeiras Tarifárias (Dias)
0806	Energia Ativa Fornecida - TUSD	FEV/23	318,000	kWh	0,38534592	122,54				122,54	1,10	5,08	Verde
0801	Energia Ativa Fornecida - TE	FEV/23	318,000	kWh	0,37996856	120,83	120,83	18,00	21,75	99,08	0,89	4,09	13 Dias
0806	Energ Atv Inj. oUC mPT - TUSD	FEV/23	318,000	kWh	0,38534592	122,54				122,54	1,10	5,08	Verde
0801	Energ Atv Inj. oUC mPT - TE	FEV/23	318,000	kWh	0,37996856	120,83	120,83	18,00	21,75	99,08	0,89	4,09	16 Dias
0805	Custo de Disp. Energia TUSD	FEV/23	50,000	kWh	0,38540000	19,27				19,27	0,17	0,80	
0801	Custo de Disp. Energia - TE	FEV/23	50,000	kWh	0,38000000	19,00		19,00	3,42	15,58	0,14	0,84	
0869	Conta do mês	JAN/23				38,00							
0807	Conta do mês	JAN/23				24,39							
	Total Distribuidora					100,66							
DÉBITOS DE OUTROS SERVIÇOS													
0807	Contrib. Custeio IP-CIP Municipal	FEV/23				28,79							

Fonte: Imagem autoral.

Outro dado importante é o custo por kWh. A tabela 2 demonstra os valores relativos aos anos de uso do sistema, considerando que não haja avaria, foram considerados 25, 30 e 35 anos de vida útil do sistema conectado à rede. É possível que o sistema dure mais do que 35 anos e, caso isso aconteça, o custo por unidade de geração é ainda menor.

**Tabela 2** – Custo por kWh no sistema *on-grid*

Vida útil estimada (anos)	Estimativa de geração (kWh)	Custo por kWh (R\$)
25	720000	R\$ 0,12
30	864000	R\$ 0,10
35	1008000	R\$ 0,09

Fonte: tabela autoral.

Observa-se, portanto que, caso o sistema tenha uma vida útil de 25 anos, o custo por kWh será de R\$ 0,12, sendo que no período de implementação do sistema, a concessionária cobrava R\$ 0,41 por kWh consumido no estabelecimento, o que gera uma economia de R\$ 0,29 por cada kWh.

## 6.2 RESULTADO DO SISTEMA OFF-GRID

Instalado em uma residência comum, o sistema off-grid atingiu uma enorme redução na conta de energia do proprietário. No mês de março a conta paga foi de R\$ 85,18 e em abril R\$ 97,71, como é possível ver figuras 24 e 25. Esses valores geraram uma previsão de redução média de R\$ 249,36 na conta de energia.

**Figura 24** – Conta do mês de março (pós-instalação)

ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
0800 010 1010 www.cpfl.com.br	710235017	INSTALAÇÃO 19838190	MAR/2023	22/03/2023	85,18

Fonte: Imagem autoral.

**Figura 25** – Conta do mês de abril (pós-instalação)

ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
0800 010 1010 www.cpfl.com.br	710235017	INSTALAÇÃO 19838190	ABR/2023	19/04/2023	97,71

Fonte: Imagem autoral.

A partir desses valores calculou-se a seguinte análise financeira do sistema off-grid.



**Tabela 3 – Análise do sistema *off-grid***

<b>Valor médio mensal de energia após instalação</b>	R\$ 91,45
<b>Custo estimado do primeiro ano sem sistema instalado</b>	R\$ 4.089,72
<b>Custo estimado do primeiro ano com sistema instalado</b>	R\$ 1.097,34
<b>Economia média mensal estimada no primeiro ano</b>	R\$ 249,37
<b>Economia total estimada no primeiro ano</b>	R\$ 2.992,38

**Fonte:** tabela autoral.

Considerando 7% o reajuste anual de energia e o valor investido de R\$ 16.500,00, foi possível encontrar o Payback de 5 anos e aproximadamente 6 meses, ou seja, o tempo necessário para o valor investido retorne para a organização. Da mesma forma, foi possível calcular o retorno sobre investimento (ROI) de 3,53 vezes, gerando uma economia total de R\$ 74.809,5 em 25 anos de vida útil do equipamento.

**Figura 26 – Sistema *off-grid* instalado**

**Fonte:** Imagem autoral.

Apesar dos excelentes indicadores financeiros, é importante ressaltar que o banco de baterias exige atenção e um possível custo. Esses valores não foram considerados no projeto, visto que a sua vida útil vai variar conforme o uso, assim, após as duas primeiras substituições é possível prever o melhor período de substituição, otimizando a geração e armazenagem elétrica.

A tabela 4 demonstra os valores relativos aos anos de uso do sistema, considerando que não haja avaria, foram considerados 25, 30 e 35 anos de vida útil do sistema não conectado à rede. Caso o sistema dure mais do que 35 anos,

o valor por cada kWh gerado será ainda menor. Foi considerado nos cálculos o custo das baterias, com previsão de serem trocadas a cada 5 anos.

**Tabela 4** – Custo por kWh no sistema *off-grid*

Vida útil estimada (anos)	Estimativa de geração (kWh)	Custo por kWh (R\$)
25	396000	R\$ 0,22
30	475200	R\$ 0,18
35	554400	R\$ 0,16

**Fonte:** tabela autoral.

É possível observar que o sistema, caso tenha uma vida útil mínima de 25 anos, o custo de geração por kWh será de R\$ 0,22, sendo que no período de implementação do sistema, a empresa de fornecimento energético cobrava R\$ 0,41 por kWh consumido na residência, gerando uma economia de R\$ 0,19 por cada kWh.

## 7 CONCLUSÃO

A utilização da energia solar através de placas fotovoltaicas é uma excelente forma de gerar energia elétrica limpa, ou seja, através de uma fonte renovável. Assim, garante-se o atendimento energético das gerações atuais sem prejudicar as gerações futuras, pois os principais impactos negativos das fontes energéticas convencionais são mitigados.

Os dois tipos de sistema, tanto o *on-grid*, como o *off-grid*, demonstraram ser eficientes com a redução de gastos com a conta de energia, oferecendo benefícios financeiros tanto para o ambiente empresarial, como para o residencial. Porém, foi possível verificar uma diferença na sua aplicação que pode servir de base para profissionais e clientes que buscam usufruir dessa fonte.

Foi possível analisar que o custo por kWh gerado no sistema *off-grid* é maior do que no sistema *on-grid* em todas as estimativas de vida útil dos equipamentos, isso se deve ao valor de aquisição e instalação do banco de baterias, bem como a necessidade de substituição delas a cada 5 anos aproximadamente.

O sistema *off-grid*, apesar de suprir as necessidades energéticas, é mais indicado para pessoas físicas ou jurídicas que não possuem acesso a rede de energia elétrica. Dessa forma, as pessoas que residem em locais afastados dos grandes centros. Os motivos que levaram a essa conclusão foram: o custo que se tem com o banco de baterias e o crédito que é recebido pela concessionária apenas para o sistema conectado à rede.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho, além de reunir informações a respeito do mercado energético, incluindo a participação de diversas fontes – renováveis e não renováveis – no SIN, demonstrou como a obtenção de um sistema de geração elétrica fotovoltaica pode ser benéfica para o meio ambiente, para as gerações futuras e para a vida financeira de quem obtém.

Por se tratar de uma instalação com um valor elevado e, de certa forma, bem distante de realidade da maioria dos brasileiros, a fonte energética solar acaba não sendo muito utilizada no Brasil. Essa realidade pode mudar através de políticas públicas que facilitem a aquisição, como a redução de impostos na compra de módulos, inversores e outros equipamentos que compõem os sistemas.

O trabalho, portanto, alcançou seu objetivo chegando à conclusão que o melhor sistema, em questões financeiras, é o conectado à rede (*on-grid*), sendo a utilização do *off-grid* uma melhor opção para instalações físicas que não tenham acesso à rede. Ou seja, é um sistema mais adequado para locais isolados, distantes dos centros urbanos. Motivações pessoais podem levar o proprietário a decidir pelo *off-grid* também.

Os sistemas de geração solar não exigem manutenção, apenas a limpeza dos seus módulos em períodos de seca. Sendo assim, os trabalhos futuros se concentram em relacionar a incidência de radiação solar local com o impacto na conta de energia, bem como estudar o momento correto que os módulos devem ser higienizados, otimizando a conversão da energia solar em elétrica.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAR TÉCNICAS. **Sistemas fotovoltaicos – classificação**. ABNT NBR 11704. 2008. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/222/abnt-nbr11704-sistemas-fotovoltaicos-classificacao>. Acesso em cesso em 17 de abril de 2023.
- ALVES, Laura. **A valoração dos impactos ambientais associados a expansão da matriz elétrica brasileira: proposta de instrumentos econômicos para a promoção das fontes alternativas e limpas**. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8CLEHF/1/laura\\_araujo\\_alves.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8CLEHF/1/laura_araujo_alves.pdf). 2009. Universidade Federal de Minas Gerais. Acesso em 17 de abril de 2023.
- ALVES, Marliana. **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](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf). 2019. Acesso em 17 de abril de 2023.
- ANEEL. **Energia Solar 3**. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf). Agência Nacional de Energia Elétrica. 2016. Acesso em 17 de abril de 2023.
- BRASIL. **Resenha Energética Brasileira**. Disponível em: <https://unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Resenha-Energetica-Brasileir-2018-.pdf>. 2018. Ministério de Minas e Energia. Acesso em 17 de abril de 2023.
- CAMPOS, Davi; RODRIGUES, Karine. **Impactos e consequências ambientais causados pela instituição de mecanismos geradores de energia**. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24891/1/Impactos%20e%20Consequ%C3%AAncias%20Ambientais%20Causados%20pela%20Institui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Mec%C3%A2nismos%20Geradores%20de%20Energia.pdf>. 2022. Acesso em 17 de abril de 2023.
- CARMONA, Bruna; KASSAI, José. **A matriz energética brasileira: uma análise perante a NDC e o ODS7**. Disponível em: <https://congressosp.fipecafi.org/anais/19UspInternational/ArtigosDownload/1751.pdf>. 2019. Universidade de São Paulo (USP). Acesso em 17 de abril de 2023.
- CUSTÓDIO, Douglas; LORUSSO, Jhonnata; CAVALCANTE, Lorenzo; LOPES, Ferreira. **Usinas hidrelétricas e seus impactos ambientais**. Disponível em: <https://revista.gru.ifsp.edu.br/exatecca/article/download/76/31>. 2022. Acesso em 17 de abril de 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional – Relatório Final**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. 2022. Acesso em 17 de abril de 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN – Relatório Síntese 2022**. 2022. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2022\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf). Acesso em 17 de abril de 2023.
- FREYR ENERGY. **Advantages of on-grid solar system**. Disponível em: <https://freyrenergy.com/advantages-of-on-grid-solar-system/>. Acesso em 17 de abril de 2023.
- HCC ENERGIA SOLAR. **Kit de energia solar: saiba quais são os equipamentos utilizados**. Disponível em: <https://hccenergiasolar.com.br/kit-de-energia-solar-saiba-quais-sao-os-equipamentos-utilizados/>. 2022. Acesso em 17 de abril de 2023.

IDEAL ENERGIA SOLAR. **Existem pré-requisitos para a instalação de placas solares fotovoltaicas**. Disponível em: <https://idealenergiasolar.com.br/existem-pre-requisitos-para-a-instalacao-de-placas-solares-fotovoltaicas/>. 2019. Acesso em 17 de abril de 2023.

NASCIMENTO, Álvaro. **Geração fotovoltaica distribuída como elemento subsidiário para sistemas de armazenamento de energia em ambiente de tarifas diferenciadas**. Dissertação (Mestrado). 2019.

National Renewable Energy Laboratory. **Solar Resource Glossary**. Disponível em: <https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/solar-glossary.html>. 2017. NREL. Acesso em 17 de abril de 2023.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. 2019. Acesso em 17 de abril de 2023.

NERIS, Alessandra. **Saiba o que é um gerador de energia solar off-grid e as novidades da ALDO**. <https://www.aldo.com.br/blog/saiba-o-que-e-um-gerador-de-energia-solar-off-grid-e-as-novidades-da-aldo-para-o-mercado/>. Aldo Blog. 2022. Acesso em 17 de abril de 2023.

NERIS, João. **Perfil do setor energético no Brasil**. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/1934/1/AMN04092017.pdf>. 2016. Universidade Federal da Paraíba. Acesso em 17 de abril de 2023.

OCA ENERGIA. **Quais são os componentes de um sistema fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/quais-sao-os-componentes-sistema-fotovoltaico/>. 2020. Acesso em 17 de abril de 2023

OLIVEIRA, Rafael. **Bancada didática para sistema fotovoltaico off-grid**. Departamento de Engenharia de Controle e Automação. Universidade Federal de Ouro Preto. 2019.

PREFEITURA DE GOIÂNIA. **Equinócio e Solstício**. [https://sme.goiania.go.gov.br/conexaoescola/ensino\\_fundamental/equinocio-e-solsticio/](https://sme.goiania.go.gov.br/conexaoescola/ensino_fundamental/equinocio-e-solsticio/). 2021. Conexão Escola. Acesso em 17 de abril de 2023.

PORTAL SOLAR. **Bateria solar: o que é, tipos e como funciona**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/bateria-solar.html>. Portal Solar. 2018. Acesso em 26 de abril de 2023.

REIS, Pedro. **Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares**. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituientes-de-paineis-solares/>. Portal Energia. 2017. Acesso em 17 de abril de 2023.

RIBEIRO, Giankarlo. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid em um motorhome**. UniCeub. Brasília. 2020.

SANTOS, Rayon. **Estudos de caso e comparação da viabilidade econômica para a implementação de um sistema fotovoltaico on-grid e off-grid**. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/33936-santos,-r.-a.-estudo-de-caso-e-comparacao-da-viabilidade-economica-para-a-implementacao-de-um-sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off-grid.-tcc,-2019..pdf>. 2019. Acesso em 17 de abril de 2023.

SOLARVOLT. **Kit de energia solar: qual a vida útil dos equipamentos**. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>. Solarvolt Energia. 2015. Acesso em 26 de abril de 2023.

TOLMASQUIM, Maurício. **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/jt7HSqtLSBMhyTgGYQgzqpn/?lang=pt>. 2012. SCIELO. Acesso em 17 de abril de 2023.

TONIN, Fabianna. **Caracterização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica na cidade de Curitiba**. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2876/1/CT\\_PPGSE\\_M\\_Tonin%2C%20Fabianna%20Stumpf\\_2017.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2876/1/CT_PPGSE_M_Tonin%2C%20Fabianna%20Stumpf_2017.pdf). Tese (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2017. Acesso em 17 de abril de 2023.

UNESP. **Energia Solar**. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/engenharia-eletrica/pesquisas-e-projetos/eco2/fontes-de-energia/solar/>. 2018. Acesso em 17 de abril de 2023.

URBANETZ, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Disponível em: [https://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese\\_Jair\\_Urbanetz\\_Junior.pdf](https://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Jair_Urbanetz_Junior.pdf). Universidade Federal de Santa Catarina. 2010. Acesso em 17 de abril de 2023.