

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP**

**FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU - FEB**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE ECONÔMICA E TÉCNICA DA INSERÇÃO DE  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA CONSUMIDORES  
INDUSTRIAIS**

**RAFAEL DA SILVA GONSALVES**

Bauru, SP

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP**

**FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU - FEB**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE ECONÔMICA E TÉCNICA DA INSERÇÃO DE  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA CONSUMIDORES  
INDUSTRIAIS**

**RAFAEL DA SILVA GONSALVES**

Defesa apresentada ao programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, como exigência para obtenção de título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. André Nunes de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Danilo Sinkiti Gastaldello

Bauru, SP

2023

G639a

Gonsalves, Rafael da Silva

Análise econômica e técnica da inserção de sistemas fotovoltaicos para consumidores industriais / Rafael da Silva Gonsalves. -- Bauru, 2023

77 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru

Orientador: André Nunes de Souza

Coorientador: Danilo Sinkiti Gastaldello

1. Sistema Fotovoltaico. 2. Geração Distribuída. 3. Energia Renovável. 4. Consumidores Industriais. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE RAFAEL DA SILVA GONSALVES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 14 dias do mês de julho do ano de 2023, às 08:30 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-Graduação, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de RAFAEL DA SILVA GONSALVES, intitulada **ANÁLISE ECONÔMICA E TÉCNICA DA INSERÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA CONSUMIDORES INDUSTRIAIS**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. ANDRE NUNES DE SOUZA (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Engenharia Eletrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. PEDRO DA COSTA JUNIOR (Participação Presencial) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. HAROLDO LUIZ MORETTI DO AMARAL (Participação Presencial) do(a) Departamento de Tecnologia em Sistemas Biomédicos / Faculdade de Tecnologia - FATEC Bauru. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO \_\_\_\_\_. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. ANDRE NUNES DE SOUZA

## **IMPACTO POTENCIAL DESSA PESQUISA**

A elaboração de análises econômicas e técnicas referentes à implementação de sistemas fotovoltaicos direcionados a consumidores industriais apresenta um impacto significativo, tanto para a popularização desta tecnologia quanto para a sociedade em geral. A constatação de benefícios econômicos e a mitigação das emissões de poluentes potencializam a atratividade desta tecnologia para o segmento industrial. A meta desta pesquisa é examinar distintos modelos fotovoltaicos, avaliando suas viabilidades técnico-econômicas e impactos ambientais em comparação à geração de energia convencional. Com sistemas de elevada eficiência energética, é possível a redução das tarifas de energia elétrica, o que contribui para a descentralização e o aumento da resiliência do sistema elétrico nacional. Ademais, esse panorama incentiva o incremento desta inovadora tecnologia, a emergência de novas formações acadêmicas e a criação de empregos, culminando em uma mão de obra mais qualificada, capaz de atender às demandas da sociedade contemporânea.

## **POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH**

The development of economic and technical analyses related to the implementation of photovoltaic systems directed at industrial consumers carries significant impact, both for the popularization of this technology and for society at large. The verification of economic benefits and the mitigation of pollutant emissions enhance the attractiveness of this technology for the industrial sector. The objective of this research is to examine distinct photovoltaic models, assessing their technical-economic viabilities and environmental impacts in comparison to traditional energy generation. With highly energy-efficient systems, it is possible to reduce electric power tariffs, which contributes to the decentralization and the increase of resilience of the national electrical system. Furthermore, this scenario encourages the promotion of this innovative technology, the emergence of new academic training, and the creation of jobs, culminating in a more skilled workforce, capable of meeting the demands of contemporary society.

## **DEDICAÇÃO**

Dedico este trabalho com todo carinho a  
minha mãe (Adriana), que me incentivou e  
deu total apoio para a concretização de mais  
essa etapa em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por toda a força, saúde e perseverança durante esta etapa da minha vida.

Agradeço em especial ao Prof. Dr. André Nunes de Souza pela orientação durante esse trabalho e pela oportunidade de participar do grupo de pesquisas LSISPOTI.

Agradeço ao Dr. Danilo Gastaldello e ao Me. André Gifalli pela ajuda, colaboração e apoio nas pesquisas deste trabalho e na participação em eventos, congressos e publicações.

## RESUMO

A crescente demanda por energia elétrica no Brasil associada ao desenvolvimento sustentável, fomenta a necessidade de estudos sobre a utilização de fontes de energia renováveis e análises de seus impactos técnico-econômicos e ambientais. Estudos apontam os setores que aderiram a Sistemas Fotovoltaicos (SFV) com maior incidência, sendo estes os setores residenciais, comerciais e com menor incidência o setor industrial. Com o setor industrial tendo a maior demanda de energia elétrica do país, elencam-se motivos pelos quais o setor não participa significativamente da geração de energia renovável via SFV. Dentre as hipóteses levantadas, a intermitência na geração de energia via SFV, a diferente tarifação com valores e normas específicas atreladas a demanda de cada indústria e período de uso da energia, os altos investimentos para inserção destes sistemas no setor e o prazo de retorno destes investimentos, são grandes desafios para adesão desta tecnologia pelo setor industrial. Como objetivo esta pesquisa realiza uma análise da inserção de SFV para consumidores industriais, com base em um estudo de caso na indústria obtendo dados técnicos e comerciais, assim com o levantamento do estado da arte sobre o tema através de estudo bibliométrico, abordando aspectos regulatórios, normativos tarifários e do mercado de energia elétrica, elaborou-se dimensionamentos de SFV de acordo com quatro cenários estabelecidos. Tendo como resultado dados destes dimensionamentos para os cenários simulados e as respectivas viabilidades técnico-econômicas e os impactos ambientais desta nova tecnologia nos âmbitos da descentralização, descarbonização e digitalização. Analisando e discutindo o melhor cenário de SFV simulado que engloba melhores custos-benefícios e menor tempo de retorno atrelando uma geração fotovoltaica com aproveitamento de energia mais eficiente e reduzindo as intermitências existentes. Conclui-se que os sistemas fotovoltaicos são técnica e economicamente viáveis para consumidores industriais, em específico o cenário 4 composto por sistemas híbridos (atrelando sistemas de gerenciamento de carga e bancos de baterias de lítio) possibilitando o autoconsumo de grande parte da energia gerada (até em momentos sem geração fotovoltaica), a venda da energia excedente às distribuidoras locais, minimizando as intermitências, os impactos ambientais, além de auxiliar na descarbonização junto ao processo de geração de energia elétrica, contribuindo no fomento desta tecnologia no âmbito nacional e em uma maior resiliência do setor elétrico brasileiro.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico; Geração Distribuída; Energia Renovável; Consumidores Industriais; Sistema Fotovoltaico Híbrido; Energia Sustentável; Geração Descentralizada.

## ABSTRACT

The growing demand for electricity in Brazil, associated with sustainable development, encourages the need for studies on the use of renewable energy sources and the analysis of their technical, economic and environmental impacts. Studies point out the sectors that adhered to Photovoltaic Systems (SFV) with the highest incidence, these being the residential and commercial sectors and with a lower incidence the industrial sector. With the industrial sector having the highest demand for electricity in the country, there are reasons why the sector does not participate significantly in the generation of renewable energy via SFV. Among the hypotheses raised, the intermittency in the generation of energy via SFV, the different tariffs with specific values and norms linked to the demand of each industry and period of energy use, the high investments for the insertion of these systems in the sector and the return period of these investments, are great challenges for the adhesion of this technology by the industrial sector. As an objective, this research performs an analysis of the insertion of SFV for industrial consumers, based on a case study in the industry, obtaining technical and commercial data and with a survey of the state of the art on the subject through a bibliometric study, addressing regulatory aspects, tariff regulations and the electricity market, SFV sizing was prepared according to four established scenarios. Resulting in data from these sizing for the simulated scenarios and the respective technical-economic feasibility and the environmental impacts of this new technology in the areas of decentralization, decarbonization and digitization. Analyzing and discussing the best simulated SFV scenario that encompasses better cost-benefits and shorter payback time, linking photovoltaic generation with more efficient energy use and reducing existing intermittence. It is concluded that photovoltaic systems are technically and economically viable for industrial consumers, specifically according to scenario 4 composed of hybrid systems (linking load management systems and lithium battery banks), enabling the self-consumption of much of the energy generated (even at times without photovoltaic generation), the sale of surplus energy to local distributors, minimizing intermittence, environmental impacts, as well as helping to decarbonize the electricity generation process, contributing to the promotion of this technology at the national level and in a greater resilience of the Brazilian electricity sector.

Keywords: Photovoltaic System; Distributed Generation; Industrial Consumers; Hybrid Photovoltaic System; Sustainable Energy; Renewable Energy; Decentralized Generation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	<b>Página</b>
Figura 1 - Gráfico representativo de matrizes energéticas .....	14
Figura 2 - Crescimento fotovoltaico no Brasil .....	15
Figura 3 - Paralelo entre uso de energia e potência instalada de SFV .....	16
Figura 4 - Fluxograma para coleta de dados .....	23
Figura 5 - Publicações no período analisado 2012 a 2022 .....	23
Figura 6 - Gráfico representando tipo de publicações da amostra .....	24
Figura 7 - Publicações dos <i>hot topics</i> ao longo do tempo .....	26
Figura 8 - Rede de Palavras-chave .....	27
Figura 9 - Resumo de progressão da capacidade de sistemas fotovoltaicos .....	39
Figura 10 - Potência Instalada de sistema fotovoltaico no Brasil .....	42
Figura 11 - Fluxograma da metodologia aplicada .....	44
Figura 12 - Curva de carga representativa da indústria metalúrgica .....	46
Figura 13 - Curva de carga representativa da indústria alimentícia .....	46
Figura 14 - Curva de carga representativa da indústria plástica .....	47
Figura 15 - <i>Payback</i> dos investimentos (cenário 1) .....	59
Figura 16 - <i>Payback</i> dos investimentos (cenário 2) .....	61
Figura 17 - <i>Payback</i> dos investimentos (cenário 3) .....	62
Figura 18 - <i>Payback</i> dos investimentos (cenário 4) .....	64
Figura 19 - Especificação de veículo .....	67
Figura 20 - Comparativo de VP e VPL nos cenários .....	70
Figura 21 - Comparativo de tempo de retorno dos investimentos .....	71

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
Tabela 1 - Definição para classificação de <i>hot topics</i> .....	22
Tabela 2 - Variáveis bibliométricas analisadas.....	22
Tabela 3 - Principais países com documentos publicados e publicações por área .....	24
Tabela 4 - Os 10 melhores periódicos classificados por índice de impacto .....	25
Tabela 5 - Publicações por autores e palavras-chave <i>hot topics</i> .....	26
Tabela 6 - Relação de principais autores relacionados ao tema .....	28
Tabela 7 - Regra disposta no art. 17 da lei nº 14.300 .....	37
Tabela 8 - Consumo do setor industrial por ramo de atividade .....	45
Tabela 9 - Dados técnicos das indústrias .....	47
Tabela 10 - Dados técnicos cenário 1 .....	53
Tabela 11 - Descritivos e custos dos SFV cenário 1 .....	53
Tabela 12 - Dados técnicos cenário 2 .....	54
Tabela 13 - Descritivos e custos dos SFV cenário 2 .....	55
Tabela 14 - Dados técnicos cenário 3 .....	55
Tabela 15 - Descritivos e custos dos SFV cenário 3 .....	56
Tabela 16 - Dados técnicos cenário 4 .....	56
Tabela 17 - Descritivos e custos dos SFV cenário 4 .....	57
Tabela 18 - Análise de viabilidade técnico-econômica (cenário 1) .....	58
Tabela 19 - Análise de viabilidade técnico-econômica (cenário 2) .....	60
Tabela 20 - Análise de viabilidade técnico-econômica (cenário 3) .....	61
Tabela 21 - Análise de viabilidade técnico-econômica (cenário 4) .....	63
Tabela 22 - Emissão de CO <sub>2</sub> da geração de energia elétrica .....	66
Tabela 23 - Relação entre redução de emissão de CO <sub>2</sub> com SFV e veículos .....	67

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>Sigla</b>	<b>Definição</b>
Abraceel .....	Associação brasileira dos comercializadores de energia
ACL .....	Ambiente de contratação livre
ACR .....	Ambiente de contratação regulada
ANEEL .....	Agência nacional de energia elétrica
CA .....	Corrente alternada
CC .....	Corrente contínua
CNPJ .....	Cadastro nacional de pessoa jurídica
CONFINS ....	Contribuição para o financiamento da seguridade social
CPF .....	Cadastro de pessoa física
EMUC .....	Condomínio solar
FC .....	Fator de correção
FCO .....	Capital inicial investido
FCt .....	Valor gerado pelo SFV no tempo
FiT .....	Taxa sobre o kwh
Ft .....	Fluxo de caixa no tempo
GD .....	Geração distribuída
GDR .....	Geração distribuída renovável
GN .....	Geração necessária
GS .....	Google scholar
GW .....	Gigawatts
GWh .....	Gigawatts hora
EHFP .....	Energia em hora fora ponta
EHP .....	Energia em hora ponta
ICMS .....	Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços
I-RECs .....	Certificados de energia renovável
JCR .....	Journal citation report
kW .....	Kilowatts
KWh .....	Kilowatts hora
METI .....	Ministério da economia, comércio e indústria
MMGD .....	Micro e minigeração distribuída
MWh .....	Megawatts hora
PIS .....	Programa de integração social
RN .....	Resolução normativa
RPS .....	Padrão de portfólio renovável
SFV .....	Sistemas fotovoltaicos
SIN .....	Sistema interligado nacional
SJR .....	<i>Scimago Journal Rank</i>
SNIP .....	Source normalized impact per paper
TE .....	Tarifas de energia
TIR .....	Taxa interna de retorno
TUSD .....	Tarifa de uso dos sistemas de distribuição
V .....	Volts
VP .....	Valor presente
VPL .....	Valor presente líquido
W .....	Watts
Wp .....	Watts pico

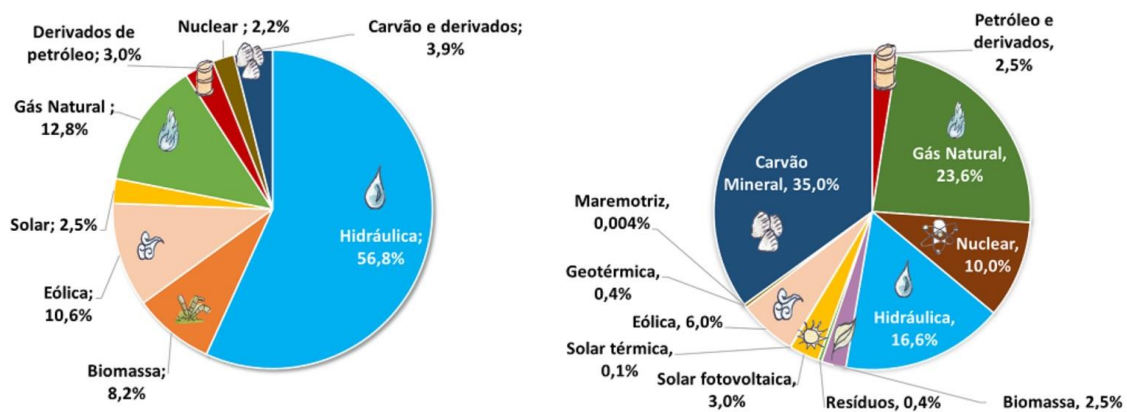
## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1. Motivação .....	15
1.2. Objetivo .....	17
1.3. Organização do Trabalho .....	18
1.4. Publicações .....	19
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1. Estudo Bibliométrico Quantitativo .....	21
2.1.1. Índice de quantificação e impacto de produção .....	21
2.1.2. Definição de amostras, critérios de busca e filtros aplicados .....	22
2.1.3. Metodologia de pesquisa e análise das variáveis .....	23
2.1.4. Análise da rede de palavras-chave .....	26
2.2. Estudo Bibliométrico Qualitativo .....	28
2.2.1. Trabalhos na área de sistemas fotovoltaicos .....	29
2.2.2. Trabalhos na área de tarifação .....	29
2.2.3. Trabalhos na área do setor industrial .....	31
2.2.4. Trabalhos na área de armazenamento de energia .....	31
<b>3. ASPECTOS NORMATIVOS TARIFÁRIOS .....</b>	<b>33</b>
3.1. Regulamentação da Geração Distribuída Fotovoltaica no Brasil .....	33
3.2. Cenário da Geração Distribuída Internacional .....	37
<b>4. MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA INDÚSTRIAS .....</b>	<b>41</b>
4.1. Geração Distribuída Renovável no Setor Industrial .....	41
4.2. Mercado de Energia e Ambientes de Contratação .....	42
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
5.1. Dados do Estudo de Caso .....	45
5.2. Sistema Fotovoltaico .....	47
5.3. Análise de Viabilidade Técnico-Econômica .....	50
<b>6. RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>53</b>
6.1. Simulações dos Cenários .....	53
6.2. Análises e Discussões .....	58
6.2.1. Análises Técnico-Econômicas .....	58
6.2.2. Análises Ambientais .....	64
6.2.3. Impactos dos 3Ds .....	65
6.2.4. Avaliação entre cenários e custo-benefício .....	70
<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>72</b>
<b>8. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>74</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A questão da geração de energia por fontes renováveis sempre foi um assunto fomentado no Brasil, pois o país tem como predominância de sua matriz elétrica o sistema hídrico, com aproximadamente 56,8% de sua produção elétrica total. A proporção de energia renovável em sua matriz elétrica é cerca de 82,9%, possuindo destaque frente à média mundial de 28,6%, conforme Figura 1. (EPE, 2022a).

Figura 1 - Gráfico representativo de matrizes energéticas



Fonte: Adaptado de EPE, 2022a.

Nos últimos 10 anos o desenvolvimento da tecnologia em equipamentos e materiais para a geração de energia a partir de fontes renováveis tem acentuado a participação de sistemas de geração, como Solar e Eólico. (ABRACEEL, 2022).

O avanço tecnológico combinado a redução nos custos e flexibilidade de instalação possibilitou a popularização do sistema de geração de energia renovável conhecido como sistemas fotovoltaicos (SFV) pelas classes residenciais e comerciais, representando 76% da capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos em 2022.

Incentivado por políticas públicas de redução de impostos, isenções e financiamentos por bancos privados e públicos, o cenário nacional de SFV evoluiu de forma a tornar esta tecnologia a de maior crescimento entre as matrizes de geração de energia renovável, partindo de 381 unidades instaladas no ano de 2014 para 121.624 unidades instaladas em 2022, conforme Figura 2. (EPE, 2022a).

Com o intuito de disseminar a cultura da geração de energia renovável para consumidores finais, a criação de micro/mini geradores de energia e auxiliar as distribuidoras e geradoras de energia nacionais, foram criadas normativas e métodos de aproveitamento da energia não utilizada pelos consumidores geradores (identificados como prosumidores) dos SFV, como a injeção do excedente desta energia gerada na rede de distribuição local, para o aproveitamento desta energia por consumidores próximos destas unidades geradoras, diferente da geração tradicional que ocorre longe dos grandes centros e necessita de linhas de transmissão espalhadas em todo território nacional.

Figura 2 - Crescimento fotovoltaico no Brasil



Fonte: Adaptado de EPE, 2022a.

Baseado neste crescimento e analisando os dados do EPE (2022a) dos últimos 8 anos da geração de sistemas fotovoltaicos no Brasil, pode-se concluir que a geração de energia via SFV é a matriz energética mais promissora para os anos seguintes, sendo esta tecnologia versátil que possibilita a implantação em praticamente todo território nacional, tendo a cada ano os custos reduzidos devido aos avanços tecnológicos (tanto de equipamentos, quanto de mão de obra) e os respectivos impactos ambientais expressivamente reduzidos, quando comparados com fontes tradicionais de geração.

### 1.1 Motivação

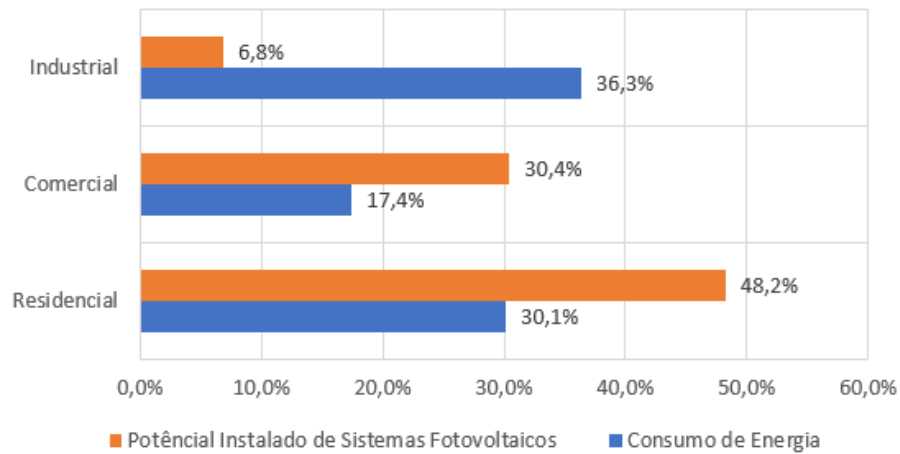
De acordo com os dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética, a tecnologia de geração de energia por meio de Sistemas Fotovoltaicos (SFV) ganhou uma ampla aceitação tanto nas residências quanto nos estabelecimentos comerciais. Uma análise dos números revela que, no ano de 2022, os setores que mais consumiram energia elétrica no Brasil foram: O setor industrial, representando 36,3%, O setor residencial, com 30,1% e o setor comercial com 17,4% do total da produção de energia no país.

Observou-se que a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos não segue proporcionalmente os padrões de consumo desses setores. No que diz respeito à adoção de SFV, o setor residencial lidera com 48,2% de participação, seguido pelo setor comercial com 30,4%.

Curiosamente, o setor industrial, que é o maior consumidor de energia tradicional e representa cerca de 6,8% do potencial total instalado de SFV, fica atrás em termos de adoção dessa tecnologia (EPE, 2022b, Figura 3).

Com este apontamento gerou-se a discussão e o questionamento do motivo pelo qual o setor industrial não adere a tecnologia de geração através de SFV com maior representatividade. Sendo este com maior consumo de energia e tendo uma demanda em constante crescimento, o interesse e o fomento em geração de energia renovável com impactos ambientais e emissão de poluentes reduzidos deveria ser prioridade. Em conjunto, há necessidade de uma ótica diferenciada pelos governos e entes federativos relacionados a esta área, como incentivos por distribuidoras e agências reguladoras de energia e políticas públicas que incentivem a implantação a estas tecnologias.

Figura 3 - Paralelo entre uso de energia e potência instalada de SFV



Fonte: Adaptado de EPE, 2022b.

Com um olhar voltado para o setor industrial, levantou-se a questão da implementação destes sistemas e como este impacta nas respectivas tarifações das indústrias que possui um método de tarifação diferente dos outros consumidores (residenciais e comerciais). Consumidores industriais possuem normas regulamentadoras e contratação de energia diferenciadas com tarifas, demandas contratadas por períodos e reguladas tanto por horários quanto por consumo a custos elevados comparados a outros setores, podendo variar a depender de cada distribuidora ou concessionária de distribuição.

Levanta-se em conjunto a questão dos custos para inserção de SFV de grande porte e a intermitência destes sistemas que são dependentes da radiação solar e estes estão vulneráveis a sazonalidades climáticas e intempéries tanto da natureza quanto de edificações e instalações que impactam na fonte da geração fotovoltaica.

Em periódicos consolidados na área de engenharia e energia não se identificou uma quantidade elevada de estudos e pesquisas sobre o assunto que envolvem a implantação de sistemas fotovoltaicos industriais, tarifação de energia por parte dos prosumidores, viabilidades técnico-econômicas e impactos ambientais.

Com este propósito, beneficiando tanto o cenário nacional da geração de energia quanto os responsáveis diretos pela geração, tal iniciativa pode fomentar e atrair a classe industrial para aderir esta tecnologia e impulsionar o crescimento da GDR através dos SFV.

Observa-se que políticas públicas voltadas à tarifação junto a implantação de sistemas de geração de energia renovável são necessárias para o fomento e disseminação destas tecnologias.

Exemplos dos benefícios destas práticas podem ser evidenciados em trabalhos publicados conforme WANG (2016), que relata a implementação no ano de 2013 de políticas públicas para atrair e incentivar a produção de energia fotovoltaica na China, beneficiando indústrias geradoras destes sistemas e prestadores de serviços envolvendo a implantação destes sistemas, resultando em um aumento significativo no setor, tendo um impacto positivo no desenvolvimento sustentável da indústria solar do país.

ZHANG (2017) descreve a efetividade das políticas de tarifas diferenciadas para indústrias fomentando a inserção de sistemas fotovoltaicos, são favoráveis no desenvolvimento desta tecnologia e avanços na área de SFV de um país, evidenciando que a relação entre as políticas públicas sobre a tarifação voltadas para as indústrias é extremamente importante para maior adesão a estas novas tecnologias.

Para CIARRETA (2014) com a inserção de políticas e ações voltadas para a energia renovável como alteração na tarifação, políticas energéticas envolvendo o mercado de energia contribuem para o desenvolvimento desta tecnologia assim como estes investimentos, à medida que são introduzidos, retornam em proporções equivalentes a pequeno e a médio prazo.

## 1.2 Objetivo

Como objetivo geral:

Realizar uma análise da inserção de sistemas fotovoltaicos para consumidores industriais, avaliando as viabilidades técnico-econômicas dos sistemas e os impactos ambientais.

Como objetivo específico:

- Identificar os aspectos normativos, regulatórios e do mercado de energia elétrica para consumidores industriais;
- Investigar os impactos das novas tecnologias da GDR no âmbito da descarbonização, descentralização e digitalização;
- Dimensionar sistemas fotovoltaicos com base em três cenários específicos e um estudo de caso em três indústrias (Metalúrgica, Alimentícia e Plástica);
- Propor um quarto cenário de dimensionamento fotovoltaico com base nos resultados dos três anteriores, priorizando a modalidade de SFV com melhor custo-benefício, período de retorno de investimento e menores impactos ambientais; e
- Realizar análises e discussões sobre as viabilidades técnico-econômicas e ambientais dos diferentes cenários simulados, identificando o cenário que obteve os melhores parâmetros resultantes.

### 1.3 Organização do Trabalho

**Capítulo 2** - Aborda o referencial teórico com um estudo bibliométrico e análises quantitativas e qualitativas de publicações de trabalhos referentes ao tema, atrelando sistemas fotovoltaicos no setor industrial com sua respectiva tarifação, evidenciando as publicações mais relevantes ao tema, analisando tanto as quantidades quanto o conteúdo destas, evidenciando a importância e relevância do tema para a pesquisa;

**Capítulo 3** - Detalha os aspectos normativos tarifários da energia para o setor industrial, leis e normativas que regulamentam a geração distribuída e sistemas fotovoltaicos no Brasil e expõe um paralelo entre estas e as regulamentações internacionais;

**Capítulo 4** - Abrange o mercado de energia elétrica brasileiro para o setor industrial, abordando a geração distribuída renovável no setor, e os ambientes de contratação;

**Capítulo 5** - Descreve a metodologia utilizada, com um fluxograma resumindo o modo de desenvolvimento da pesquisa, aquisição e tratamento de dados, elaboração de cenários, dimensionamento e elaboração dos SFV simulados, método utilizado para avaliação de viabilidade técnico-econômica e ambiental;

**Capítulo 6** - Resultados das pesquisas, contendo os dimensionamentos dos SFV, as avaliações das viabilidades técnico-econômicas e ambientais dos cenários simulados estabelecidos. A análise dos resultados, interpretações dos cenários simulados e comparativos: Valores totais gerados pelos SFV e os valores líquidos gerados em cada cenário. Tempo de retorno dos capitais iniciais investidos em cada cenário, identificando o de melhor rentabilidade e eficiência no aproveitamento de energia atrelando sistemas auxiliares aos SFV; e

**Capítulo 7** - Conclusões descrevendo os principais parâmetros obtidos nas análises técnico-econômicas e ambientais, com os apontamentos positivos e negativos de SFV para consumidores industriais, salientando o quarto cenário contendo nova configuração de SFV resultando em um melhor aproveitamento da energia, menores custos e impactos ambientais.

#### 1.4 Publicações

Durante a execução desta pesquisa foram submetidos e publicados trabalhos com os resultados preliminares obtidos, bem como trabalhos realizados com o grupo de pesquisa (LSISPOTI), em eventos científicos, que contribuíram para a elaboração deste estudo.

- Gonsalves, R. S; Souza, A. N; **Utilização de Inteligência Artificial para Gerenciamento de Cargas em Sistemas de Energia.** In: XI Seminário de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, 2021, Bauru, São Paulo;
- Gonsalves, R. S; Souza, A. N; **Análise de Enquadramento Tarifário Industrial com Inserção de Sistemas Fotovoltaicos.** In: I Congresso de Pós-graduação em Engenharia de Bauru, 2022, Bauru, São Paulo;
- Gonsalves, R. S; Souza, A. N; Gifalli A, Carvalho F. O, Gastaldello D. S, Figueiredo W. **Bibliometric Study on Tariff Framework in Photovoltaic Systems.** In: The XIV Latin-American Congress Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE, 2022, Rio de Janeiro, Brasil;
- Carvalho, F. O; Souza, A. N; Gifalli, A; Gonsalves, R. S; Gastaldello, D. S; Santos, K. A. G; Freitas, W. R; **Photovoltaic Insertion Impact on the Distribution Transformer Losslife.** In: The XIV Latin-American Congress Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE, 2022, Rio de Janeiro, Brasil; e
- Gonsalves, R. S; Souza, A. N; Gastaldello D. S ; Gifalli A; **Análise Técnico Econômica da Viabilidade de Aplicação de Sistemas Fotovoltaicos em Indústrias.** XV Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica - CBQEE 2023. São Luís - Maranhão, Brasil.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

No Brasil a demanda de energia elétrica apresenta um constante crescimento tanto por setores residenciais e comerciais quanto pelo setor industrial. Indicando que a geração de energia elétrica por fonte renovável é uma solução viável para atender as demandas de energia elétrica em constante crescimento, minimizar emissões de poluentes e futuramente com o aumento da inserção SFV pode-se refletir em alterações tarifárias para consumidores cativos e livres.

Dados do Balanço Energético Nacional BEN (2022) apresentam o crescimento de 84% da Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) em relação ao ano de 2020, que expressa o exponencial crescimento de 88,3% da geração de energia fotovoltaica.

De acordo com EPE (2022b) a classe de consumo com maior aumento de demanda em comparação ao ano de 2020 foi a classe industrial com um consumo total de 180.366 GWh representando 36,3% do consumo total de energia do país, com aumento de 8,4% em comparação ao ano anterior. No entanto, esta classe detêm o menor percentual de potência instalada de sistemas fotovoltaicos 6,8%, a classe comercial apresenta 30,4% e a classe residencial 48,2%.

Baseado nos dados do BEN (2022) algumas hipóteses para a baixa adesão desta tecnologia pela classe industrial foram levantadas como questões relacionadas aos altos investimentos para implantação dos sistemas que para operações de médio e grande porte utilizam equipamentos específicos como inversores e controladores de carga de grandes potências e em sua maioria importados, tornando os SFV de alto custo.

Outra hipótese para a baixa adesão envolve a intermitência dos sistemas, que consistem na geração de energia em função da radiação solar, estando está ausente, tendo algum tipo de obstrução solar no local de geração ou até mesmo alguma falha parcial, a geração é mitigada, tornando a intermitência um ponto crucial no sistema de energia via SFV, passível de estudos pois para minimizar estas intermitências utilizam-se sistemas auxiliares atrelados aos SFV com a finalidade de suprir as demandas em períodos de baixa geração pelo sistema como bancos de baterias que possibilita o funcionamento do sistema em determinados períodos suprimindo a energia ausente.

Contudo surgem outras hipóteses relacionada aos consumidores como: Dificuldade de acesso das indústrias a financiamentos, visto que a implementação de SFV exigem um alto investimento inicial, este financiamento passa a ser um obstáculo para as indústrias de pequeno e médio porte.

A falta de conhecimento técnico de profissionais atuantes no mercado, pois sem um estudo e uma proposta técnica informando as possibilidades positivas da implementação de um SFV para a indústria, o consumidor não terá a verdadeira noção do seu potencial de geração, do retorno do investimento e da economia que o sistema lhe proporcionará no decorrer dos anos.

Em conjunto as limitações de espaço representam um desafio a ser superado, uma vez que a instalação de painéis fotovoltaicos necessita de uma área considerável. Assim como existe uma barreira de consumidores conservadores com receio de mudanças e as dificuldades de interligação entre os sistemas SFV e as redes elétricas convencionais.

Para uma maior coleta de informações sobre o desenvolvimento do tema no meio acadêmico, realizou-se um estudo bibliométrico evidenciando os principais trabalhos e publicações referentes ao tema, levantando os principais autores, países, periódicos e descritores com relação a esta pesquisa.

## 2.1 Estudo Bibliométrico Quantitativo

A bibliometria consiste em um conjunto de leis e princípios que contribuem para estabelecer os fundamentos teóricos da Ciência da Informação. O termo Bibliometria foi utilizado pela primeira vez em 1922, por E. Wyndham Hulme, discriminado como *Statistical Bibliography*, com objetivo de esclarecimento dos processos científicos e tecnológicos, por meio da contagem de documentos.

O termo Bibliometria do inglês *Bibliometrics*, foi sugerido por Allan Pritchard no ano de 1969 para indicar áreas de estudos que utilizam métodos matemáticos e estatísticos para investigar e quantificar os processos de comunicação escrita, acrescenta este que alguns parâmetros como publicações, autores, palavras-chave, usuários, citações e periódicos são observáveis em estudos bibliométricos da literatura. Sendo este estudo fundamental para identificar o estado da arte de pesquisas em áreas específicas.

### 2.1.1 Índice de Quantificação e Impacto de Produção

O índice mais utilizado para identificar o impacto de produções é o índice *h* (*h-index*) proposto por JORGE HIRSH (2005) como um útil processo para caracterizar a produção científica de um pesquisador, partindo do pressuposto que a relevância da produção científica individual e a quantificação do impacto são, por vezes, necessárias para a avaliação de pesquisadores e comparação de propósitos.

O índice *h - b* proposto por BANKS (2006) é uma extensão do índice *h*, este obtido através do número de citações de um tópico ou combinação em determinado período, listado em ordem decrescente de citações, agregando critérios para elaboração do índice *m*, apresentado na Tabela 1 obtido através da equação (1), utilizado para definição de um *Hot Topics*, aplicado para comprovar a relevância de uma palavra no contexto da pesquisa, composto por índices bibliométricos como índice *h*, índice *h - b* e índice *m*, correlacionado com o período de anos que deseja obter informações.

$$m = \frac{h-b}{n} \quad (1)$$

Onde:

*m*: Índice proposto para definição de um *Hot Topic*;

*h - b* : Número de citações de um tópico ou combinação em determinado período; e

*n*: Período de anos que se deseja obter a informação.

Alguns índices bibliométricos vinculam tanto a visibilidade do periódico quanto à procura dos termos que se enquadram no mecanismo de busca da plataforma *Scopus* pela comunidade científica, fornecendo um único parâmetro como um fator de impacto deste periódico. Como por exemplo o *SCImago Journal Rank (SJR)* que indica a relação do número

médio de citações de um periódico específico, pela soma do número de documentos publicados por este periódico nos três últimos anos anteriores ao período desejado.

Tabela 1 - Definição para Classificação de *Hot Topics*

Índice <i>m</i>	Tópico / Combinação
$0 < m \leq 0,5$	Pode ser de interesse para pesquisadores em um campo específico de pesquisa, o qual engloba uma comunidade pequena.
$0,5 < m \leq 2$	Provavelmente pode se tornar um “ <i>hot topic</i> ” como área de pesquisa, no qual a comunidade é muito grande ou o tópico/combinação apresenta características muito interessantes
$m \geq 2$	É considerado um “ <i>hot topic</i> ”, tópico exclusivo com alcance não apenas na sua própria área de pesquisa e é provável que tenha efeitos de aplicação ou características únicas.

Fonte: Banks, 2006.

De acordo com GARCÍA (2021) o indicador *SJR* é uma das formas de identificar o fator de impacto, portanto quanto mais alto o valor *SJR* de um periódico, maior seu prestígio. Assim como *CiteScore* e *SNIP* são utilizados similares ao *SJR* como indicadores de fator de impacto na plataforma.

### 2.1.2 Definição de Amostras, Critérios de Busca e Filtros Aplicados

Os dados utilizados nesta pesquisa foram coletados através da base de dados da plataforma *Scopus* da editora Elsevier. Essa base multidisciplinar contém mais de 80 milhões de registros e indexa títulos acadêmicos revisados por pares, títulos de acesso livre, anais de conferências, publicações comerciais, além de permitir análise da produção científica. Tendo todos os periódicos incluídos na base de dados *Scopus* uma revisão para qualidade a cada ano, de acordo com quatro tipos de métricas para cada título: *h-index*, *CiteScore*, *SJR* e *SNIP*.

Para este estudo, utilizou-se parâmetros para a pesquisa em resumos, palavras-chave e títulos. As palavras-chave utilizadas para a coleta de dados preliminares foram *photovoltaic* e *renewable energy*, resultando em 25.281 documentos encontrados de no período de 2012 a 2022, conforme Figura 4.

Para a seleção dos documentos analisados, após a busca preliminar foram aplicados filtros com a inserção dos descritores *tariff* e *industry*, obtendo o total de 870 documentos relacionados a todos os descritores aplicados dentro do período de pesquisa.

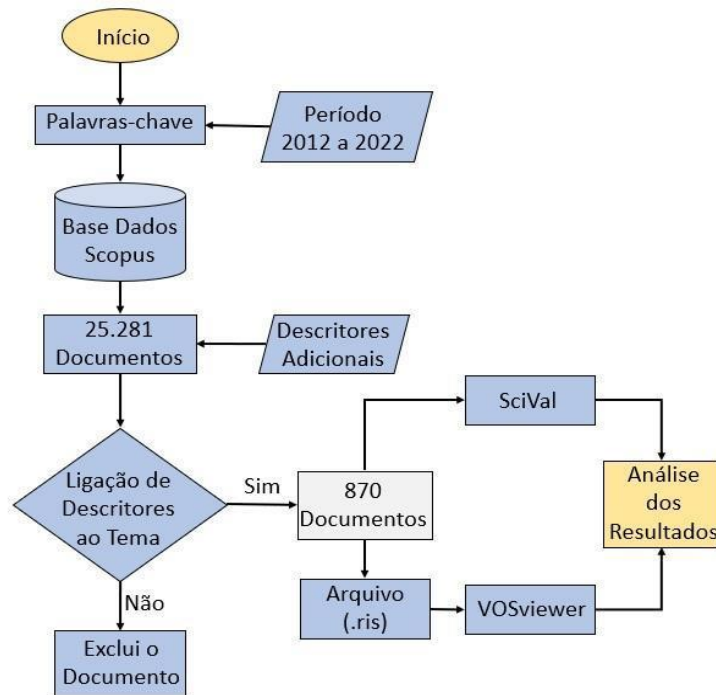
Esta análise bibliométrica buscou identificar na base de dados *Scopus*, produções científicas com as variáveis dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis Bibliométricas Analisadas

Características das Publicações	Índices
Total de publicações	Índice <i>h</i>
Ano das publicações	Índice <i>h-b</i>
Países	Índice <i>m</i>
Autores	Fator de Impacto
Áreas temáticas	<i>SJR</i>
Tipos de documentos	<i>SNIP</i>
Periódicos	<i>CiteScore</i>

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Figura 4 - Fluxograma para coleta de dados



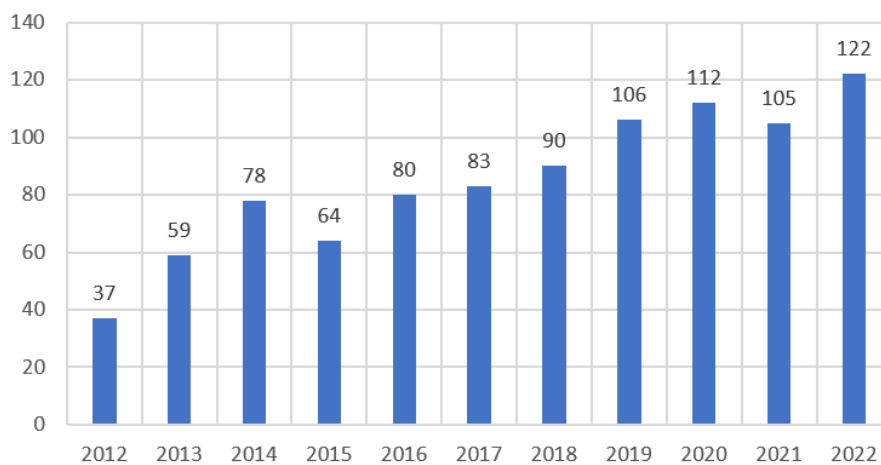
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

### 2.1.3 Metodologia de Pesquisa e Análise das Variáveis

Através da análise dos indicadores conforme Tabela 2, pode-se estabelecer em qual *status* estão os estudos na área de sistemas fotovoltaicos, energia renovável com vinculação a tarifação e a indústria.

Em periodicidade de publicações, o ano de 2015 teve leve queda em comparação aos anos anteriores, situação similar registrada nos anos de pandemia do Covid-19 (2021 e 2022), como apontado na Figura 5 o que demonstra crescente interesse pelo tema e mostra que pesquisas nesta área estão em desenvolvimento.

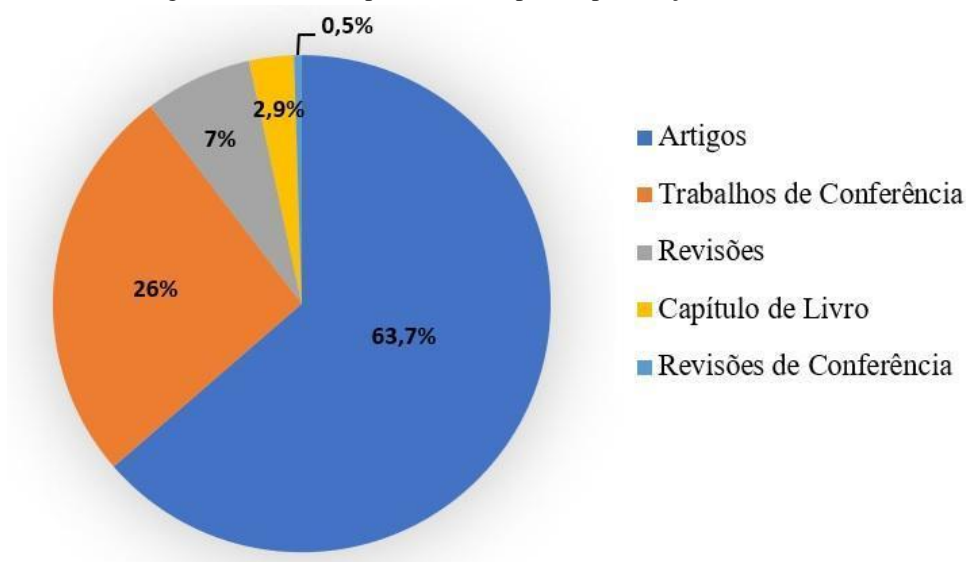
Figura 5 - Publicações no período analisado 2012 a 2022



Fonte: Adaptado de Scopus, 2022.

Em tipos de documentos publicados, como representado na Figura 6, constitui em sua maioria artigos e documentos de conferência, que juntos correspondem 89,7% do total, destacando o cunho científico do tema abordado. Revisões, capítulo de livro e revisões de conferência representam o conjunto restante dos dados (10,3%).

Figura 6 - Gráfico representando tipos de publicações da amostra



Fonte: Adaptado de CiteScore, 2022.

Considerando a relação dos países, dispostos na Tabela 3, é possível concluir que os cinco primeiros: Estados Unidos, China, Alemanha, Reino Unido e Austrália, empregam com maior frequência os termos *photovoltaic*, *renewable energy* e *tariff*, com participação acima de 1/3 dos documentos.

Tabela 3 - Principais Países com Documentos Publicados e Publicações por Área

Países	Nº de Documentos	Percentual	Áreas de Maior Publicação	Percentual sobre Amostra (%)
1. Estados Unidos	74	8,3%	Energia	34,5
2. China	73	8,1%	Engenharia	20,9
3. Alemanha	65	7,2%	Ciência Ambiental	13,8
4. Reino Unido	65	7,2%	Ciências da Computação	7,2
5. Austrália	64	7,1%	Matemática	6,4
6. Japão	57	6,3%	Ciências Sociais	4,4
7. Itália	56	6,2%	Gestão de Negócios	2,6
8. Malásia	46	5,1%	Ciência dos Materiais	2,0
9. Índia	45	5%	Economia e Finanças	1,9
10. Brasil	34	3,8%	Outros	6,4

Fonte: Adaptado de Scopus, 2022.

As principais áreas relacionadas ao tema de pesquisas estão presentes na Tabela 3, com maior concentração em artigos e documentos de conferência, nas áreas de Energia e Engenharia (55,4%).

Os periódicos com maiores índices de impacto *SJR* estão listados na Tabela 4, obtidos através da plataforma *Scopus* em julho de 2022. Observa-se que o periódico de maior impacto na área do tema é o *Nature Energy*, com 501 publicações, *SJR* de 16.736, *CiteScore* de 16.736 e *SNIP* de 8.000, indicando ter grande impacto e prestígio no meio acadêmico.

Tabela 4 - Os 10 melhores periódicos classificados por índice de impacto

Periódico	Publicações	SJR
Nature Energy	501	16.736
Energy and Environmental Science	1286	11.558
Advanced Energy Materials	2815	8.226
ACS Energy Letters	1607	7.362
Electrochemical Energy Reviews	92	7.061
Progress in Energy and Combustion Science	124	6.777
Nature Sustainability	489	5.789
Energy Storage Materials	1643	4.865
Nano Energy	3971	4.684
IEEE Transactions on Power Systems	2178	4.638

Fonte: Adaptado de Scopus e CiteScore, 2022.

Os autores com maior percentual de publicações relacionadas ao tema conforme Tabela 5 são: Muhammad Sukki F. 7 publicações e índice *h* de 21. Taylan O. 7 publicações e índice *h* de 12. Senjyu T. 6 publicações e índice *h* de 56. Correspondendo os autores citados a 7% do total de produções analisadas neste estudo.

Utilizando as ferramentas analíticas disponíveis na plataforma *Scopus*, foi feita uma seleção dos 10 tópicos mais citados relacionados ao tema e a combinação destes com os descritores *Photovoltaic AND Tariff*, *Renewable Energy AND Tariff* e *Industry AND Tariff*.

Calculado o índice *h - b*, e o índice *m*, apresentados na Tabela 5 que contém todos os resultados obtidos destas combinações. Conforme descrito classifica-se como *Hot Topic*: Descritores que obtiverem índice *m* maior ou igual a 2, sendo tópico exclusivo com alcance não apenas na sua própria área de pesquisa e é provável que tenha efeitos de aplicação ou características únicas.

Dentre os termos utilizados apenas os descritores *electric industry* com índice *m* de 1,8 e *tariff structure* com índice *m* de 1,7 não enquadram-se como um *Hot Topic*, descritores com índice *m*, maior que 0,5 e menor que 2, classificam-se como: Provavelmente pode se tornar um “*Hot Topic*” como área de pesquisa, no qual a comunidade é muito grande ou o tópico/combinção apresenta características muito interessantes.

Demonstrando que estes descritores estão presentes em estudos e pesquisas frequentes podendo tornar-se um *Hot Topic* ao longo do desenvolvimento dos estudos nos próximos anos.

Considerando 10 descritores sendo analisados 8 classificaram-se como *Hot Topics*, destacando *feed-in tariff*, *solar power generation* e *energy policy*, demonstrando que estes tópicos são usualmente empregados em pesquisas e trabalhos relacionados a temática sistemas fotovoltaicos, energia renovável e tarifação. Denotando o desenvolvimento do tema e os constantes estudos nas áreas apontadas.

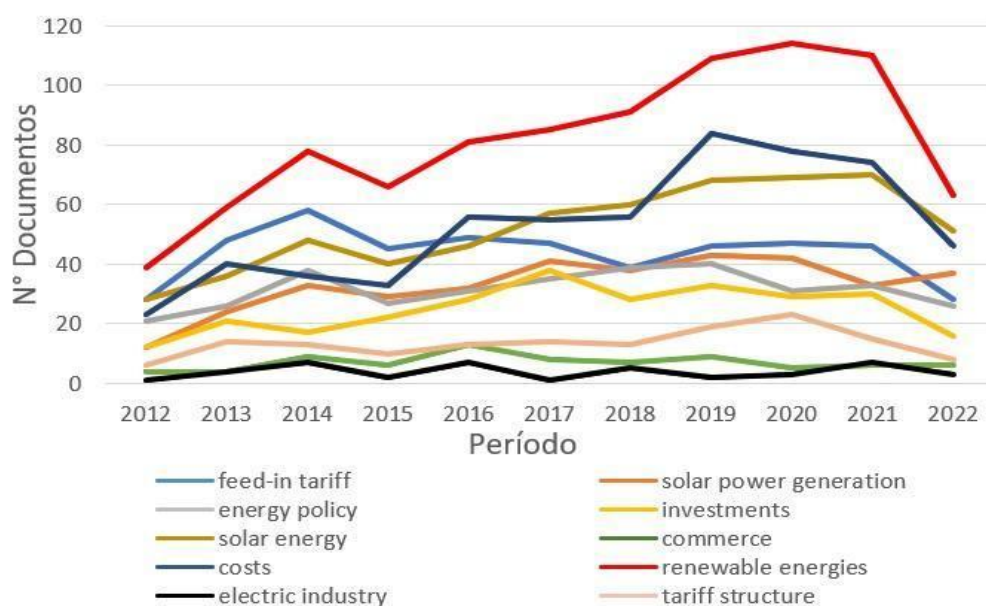
Tabela 5 - Publicações por Autores e Palavras-Chave “Hot Topics”

Autores	Nº Public.	Índice h	Descritores	Nº Public.	Índice h - b	Índice m
Muhammad-Sukki, F.	07	21	feed-in tariff	458	67	6,7
Taylan, O.	07	12	solar power generation	437	58	5,8
Senjyu, T	06	56	energy policy	408	50	5
Maaroufi, M.	06	26	investments	389	51	5,1
Ouassaid, M.	06	24	solar energy	352	59	5,9
Munir, A.B.	06	18	commerce	313	4	4
Ramirez-Iniguez,R.	06	15	costs	292	38	3,8
Al-Ghussain, L.	06	13	renewable energies	289	33	3,3
Azaroual, M.	06	2	electric industry	154	18	1,8
Fichtner, Wolf.	05	37	tariff structure	142	17	1,7

Fonte: Adaptado de Scopus e CiteScore, 2022.

Em uma análise de periodicidade na utilização dos termos em publicações gerou-se a Figura 7, destacando os descritores: *Renewable Energies*, *Costs*, *Solar Energy* e *Feed-in Tariff*, salientando o descritor Energias Renováveis com 110 publicações indicando o crescente desenvolvimento do tema em sua respectiva área nos últimos dez anos.

Figura 7 - Publicações dos Hot Topics ao longo do tempo.



Fonte: Adaptado de Scopus/CiteScore, 2022.

#### 2.1.4 Análise da Rede de Palavras-Chave

Realizada uma análise baseada nos 20 descritores de maior relevância no banco de dados obtidos através da plataforma *Scopus*.

Com auxílio do Software *VOSviewer*, consolidado para uso de estudos bibliométricos por diversos pesquisadores e trabalhos publicados, foi realizado um estudo e criado um mapa de com os principais descritores presentes no conjunto de dados analisados. Utilizando como exemplo o artigo de MADSUHA (2021) que traz um mapeamento de 30 anos de trabalhos de

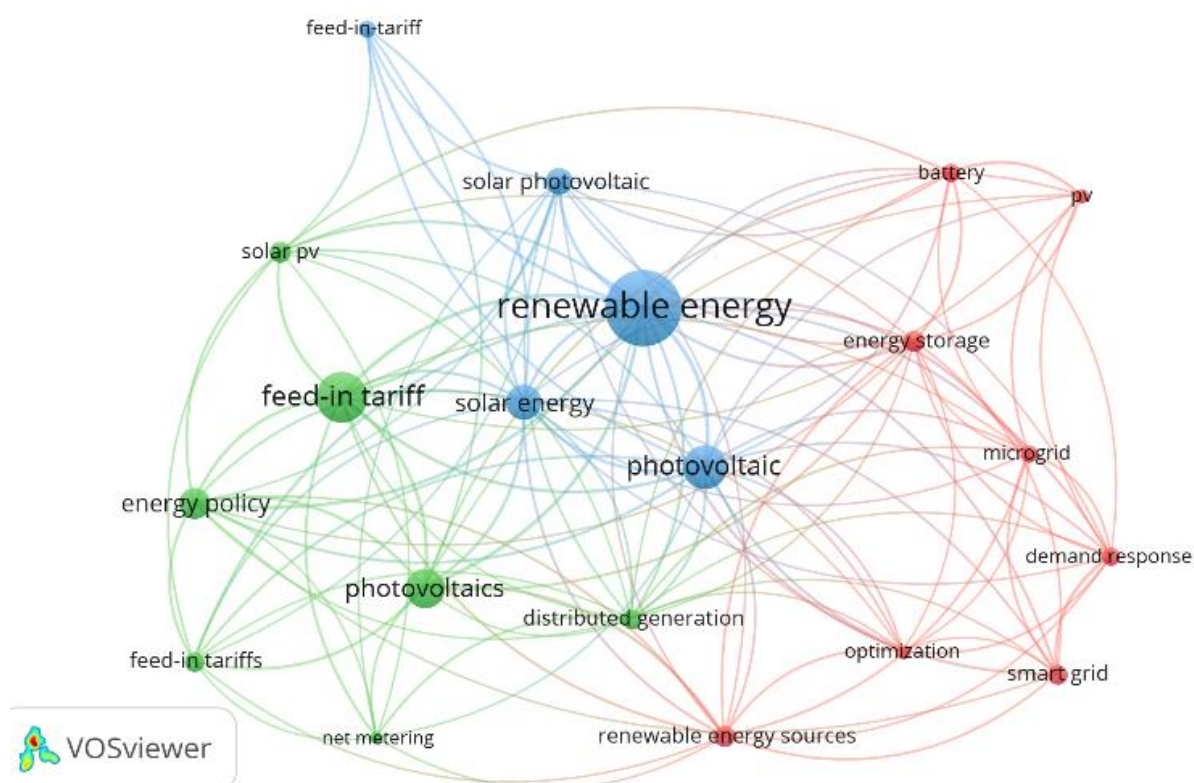
pesquisa em energia solar, com a utilização do software *VOSviewer* para análise das tendências de publicações com base nas palavras-chave e autores.

As palavras-chave foram divididas em 3 grupos (*clusters*) cada palavra é representada por um nó no mapa de descritores, este varia de tamanho de acordo com a quantidade de vezes que a palavra foi empregada em um documento. Cada nó está interligado por linhas sendo a cor e espessura das linhas representam um conjunto de referências que estão conectadas as palavras-chave, criando ligações entre os nós dos 3 *clusters*.

Identifica-se cada *cluster* com uma palavra-chave de maior impacto recebendo e realizando ligações entre as demais palavras-chave do próprio *cluster* pertencente e dos demais.

Partindo de uma avaliação da Figura 8 pode-se explorar documentos e trabalhos publicados com maior citação de acordo com as palavras-chave mais relevantes, esta avaliação auxilia em novos trabalhos e pesquisas na área pois pode-se utilizar como referência.

Figura 8 - Rede de Palavras-chave



Fonte: Adaptado de VOSviewer. 2022.

**Cluster Azul:** Apresenta como palavras-chave de maior relevância *Renewable Energy*, e as secundárias em sua predominância estão relacionadas a estudos nas áreas: Energia Renovável e Energia Solar.

Pode-se observar sua relevância de acordo com o trabalho de CALISE (2019) que descreve a utilização de Energia Renovável (fotovoltaica), atrelada a sistemas de armazenamento de energia (baterias de chumbo-ácido e baterias de íon-lítio) para uma análise profunda de um novo método de mobilidade sustentável.

Como resultado o autor realiza um comparativo econômico da implantação do sistema e sua geração, apontando suas intermitências decorrentes das condições climáticas e sua viabilidade, com um retorno aceitável em aproximadamente 6 anos.

**Cluster Verde:** Tem como a palavra-chave de maior relevância *Feed-in Tariff*, e as secundárias nas áreas de estudo de: Tarifação, Fotovoltaico e Geração Distribuída. De acordo com CHU, TAEUCHI (2022) que realizou um estudo sobre o impacto de Tarifa de Alimentação (*feed-in tariff*) no Japão, demonstra a importância de políticas públicas voltadas a energia fotovoltaica, relatando alterações na legislação local com propósito de fomentar a inserção de SFV integrados de grande porte em áreas com custos altos de implantação, aumentando a capacidade instalada de energia renovável do Japão e possibilitando estudos e revisões políticas nesta área.

**Cluster Vermelho:** Apresenta palavras-chave de menor impacto relacionados ao tema em comparação aos demais *clusters* como: *Smart Grid* e *Micro Grid* relacionando armazenamento de energia e banco de baterias com as principais palavras-chave dos demais grupos.

DHUNDHARA (2018) destaca a importância das micro redes como uma alternativa a sistemas de geração convencionais de energia renovável e seu principal ponto de fragilidade, a intermitência. Ressaltando a utilização de sistemas de armazenamento como fundamentais para superar estes desafios. Em uma análise o autor descreve diferentes tipos de baterias para armazenamento de energia vinda de micro redes de sistemas fotovoltaicos, eólicos, diesel, concluindo que para este armazenamento as baterias de íons de lítio têm maior viabilidade técnico-econômica que as demais analisadas.

No tópico seguinte serão descritos os resultados do estudo bibliométrico utilizando a metodologia qualitativa, descrevendo os principais autores e artigos relacionados ao tema.

## 2.2 Estudo Bibliométrico Qualitativo

Com base no estudo quantitativo levantou-se os principais autores, publicações e descritores na área junto a plataforma *Scopus*, possibilitando a identificação das publicações e autores com maior relevância, conforme a Tabela 6 que descreve os 4 principais autores com publicações relacionadas às áreas deste estudo.

Tabela 6 - Relação de principais autores relacionados ao tema

Autor	Área Relacionada
Muhammad-Sukki, F.	Sistema Fotovoltaico e Tarifação
Taylan, O.	Armazenamento de Energia, Sistema Fotovoltaico e Energia Renovável
Al-Ghussain, L.	Sistema Fotovoltaico Híbrido, Energia Renovável e Indústria
Kusakana, K	Armazenamento de Energia, Tarifação, Indústria e Sistema Fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Para uma análise qualitativa utilizou-se 12 publicações dos 4 principais autores, sendo estes trabalhos agrupados de acordo com suas áreas relacionadas: Sistemas Fotovoltaicos, Tarifação, Indústria e Armazenamento de Energia.

### 2.2.1 Trabalhos na Área de Sistemas Fotovoltaicos

MUHAMMAD (2013) avalia o impacto da implantação de SFV no Reino Unido dos anos de 2010 a 2012, abordando a relevância deste sistema para o País, e realizando uma análise técnico-econômica, envolvendo a tarifação para SFV, sobre estes sistemas, a importância destes e os incentivos para a implantação.

AL-GHUSSAIN (2019) relaciona o SFV e sistemas de energia renovável híbridos, (eólico), a fim de maximizar a energia gerada em sazonalidades, vinculando os impactos ambientais da implantação dos sistemas ao custo final da energia gerada, avaliando tanto os custos para a geração quanto o período de retorno do investimento que no estudo de caso descrito no artigo, deu-se em 9,82 anos, com impactos na redução de utilização de combustíveis fósseis, e redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

Para TAYLAN (2016) relacionam-se SFV em conjunto com outros sistemas que em períodos de baixa geração ou de intermitências, acionam sistemas de banco de baterias e/ou eólicos, ambos conectados à rede de distribuição local quando o sistema identifica energia excedente.

Sendo relacionado a importância de não depender unicamente da geração de energia por meios tradicionais e propõe a junção de sistemas utilizando o Sol (Sistemas Fotovoltaicos) e o Vento (Sistemas Eólicos), salientando a viabilidade da implantação destes sistemas sem grandes impactos ambientais assim como a importância de incentivos a estas gerações por parte governamental.

Em conjunto aborda e incentiva a implantação de SFV para os setores residenciais, comerciais e industriais, demonstram que desde o início de sua expansão em meados de 2010 até os dias atuais, a cada ano a utilização desta tecnologia vem crescendo e tornando-se a geradora de energia elétrica renovável mais difundida e acessível na atualidade, tendo baixo impacto ambiental para implementação, baixa emissão de CO<sub>2</sub> e retorno do investimento para sua implantação de curto e médio prazo (para consumidores residenciais).

Porém, mencionam-se na maioria dos trabalhos que SFV por ter como sua fonte primária para conversão de energia elétrica a luz solar, quando esta (luz), se ausenta não há geração, sendo este ponto uma insegurança para futuros investimentos neste tipo de sistema, para minimizar estas possíveis intermitências são atrelados sistemas de armazenamento com banco de baterias para suprir a demanda em períodos cujo não há geração por este motivo, assim como vinculam-se outros sistemas como diesel, eólico, biomassa junto a SFV para nestes períodos auxiliarem na geração para que o sistema opere satisfatoriamente.

### 2.2.2 Trabalhos na Área de Tarifação

Segundo KUSAKANA (2018) os impactos da geração descentralizada de energia renovável via SFV, relatando as medidas adotadas em um estudo de caso na África do Sul, cujo governo local incentiva a geração de energia e estabelece a obrigatoriedade das principais distribuidoras de energia comprar da energia excedente dos produtores locais, incentivando o aumento da produção e popularizando o sistema no País.

Demonstrando a relevância e necessidade de estudos nas áreas de SFV e sistemas de armazenamento a fim do melhor aproveitamento da energia produzida e envolvimento das agências reguladoras e governamentais para implementação de políticas públicas para a tarifação da energia.

MUHAMMAD-SUKKI (2014) demonstra a importância de incentivos e políticas públicas voltadas a geração de energia renovável em especial SFV, para exemplificar relatou em seu artigo o caso do Japão que desde o ano de 2012 vem implementando normativas e leis impactando na tarifação da energia consumida por prosumidores de energia renovável, em específico de SFV, relatando que após o acidente com a usina nuclear em Fukushima, investiu-se nestes sistemas e implementou-se novas tarifações a utilização de energia vinda de SFV.

O autor traça um paralelo entre o Japão e outros Países no mesmo período e evidencia a importância do sistema tarifário diferenciado para energia renovável, gerando resultados positivos para os produtores e para o país, com um retorno do investimento em médio prazo evidenciando que SFV são tendência para os próximos anos e demonstra que a vinculação de programas e sistemas de tarifação diferenciados são necessárias tanto para incentivos quanto para fomento da área, tendo benefícios para o sistema elétrico tradicional (distribuidores) e prosumidores.

Relata ainda em conjunto exemplo na Malásia que implementou políticas voltadas a tarifação de energia para SFV em 2011 e promulgou leis específicas para energia renováveis resultando em uma alta expressiva na adesão de SFV tanto em sistemas isolados quanto na em sistemas que injetam o excedente de energia para rede de distribuição local.

Com estas medidas, propiciou novos postos de trabalho relacionados a SFV tanto na instalação quanto na manutenção dos sistemas, fomentando outros sistemas como eólicos e biomassa para em conjunto com SFV minimizar as intermitências e complementar a geração de energia.

Os trabalhos e artigos publicados atrelando SFV a tarifação demonstram a importância destes ajustes para não só fomentar a implantação desta tecnologia, como para manter em funcionamento os SFV já existentes operantes. Auxiliando tanto as empresas de energia com o aumento de demanda disponível no local próximo a geração sem a necessidade de investimento (por parte das distribuidoras) nas redes de distribuição e lucrando com a cobrança de um aluguel pelo sistema de distribuição utilizado para esta injeção de energia, retornando aos prosumidores créditos a serem utilizados no abatimento de seus consumos futuros.

Exemplos de Países que implementaram estas tarifações de alimentação diferenciadas para prosumidores de energia renovável em específico de SFV, foram bem sucedidos com um aumento de implantação destes sistemas nos Países, como as cobranças de taxas de “aluguel” da infraestrutura para distribuição da energia excedente injetada na rede de distribuição contribuíram para o aumento de SFV no percentual de matriz energética destes países.

O avanço na utilização de fontes renováveis, a diminuição da emissão de gases poluentes (com a diminuição da utilização de fontes de energia a partir de combustíveis fósseis), demonstrando que em conjunto com o incentivo de SFV há necessidade de novas políticas para tarifação diferenciada deste segmento.

### 2.2.3 Trabalhos na Área do Setor Industrial

De acordo com AL-GHUSSAIN (2018) em um estudo de caso de uma indústria na Jordânia, cujo foi proposto um sistema híbrido composto por SFV e Eólico para atender esta indústria, com a implantação de um banco de baterias de Lítio-Íon para o armazenamento de energia gerada a ser utilizada para suprir a demanda, os sistemas correspondiam a (SFV 20,75 MW, Eólico 26 MW e Banco de Baterias 16,8 MWh), sendo este aproximadamente 62,53% da demanda da indústria. Com este sistema estimou-se o retorno do investimento em 3,44 anos e a redução de 50% a 60% dos custos com energia elétrica, assim como a redução da emissão de CO<sub>2</sub> em 71.373 toneladas por ano.

O setor industrial no Brasil ainda adere de maneira tímida (pequena) a SFV comparado a outros setores, com uma breve análise dos artigos abordados pode-se aventar que a intermitência dos SFV é um dos motivos para que este setor não tenha maior representatividade como a tarifação e os incentivos para estes sistemas não são atrativos, há necessidade de incentivo específicos para indústrias pois este é o setor com maior consumo de energia no Brasil, que menos investe e que tem capacidade financeira para aderir a sistemas de geração de energia renováveis massivamente.

### 2.2.4 Trabalhos na Área de Armazenamento de Energia

Em sua maioria, os trabalhos publicados salientam a necessidade de um sistema de armazenamento de energia para SFV, o meio mais viável são bancos de baterias de Lítio-Íon, por ter seu funcionamento (carregamento e descarregamento) mais adequado comparado a outros tipos de baterias.

TAYLAN (2020) descreve que sistemas de armazenamento com baterias vêm para fornecer uma estabilidade aos SFV e sistemas de energia renováveis, em seu estudo propõe um dimensionamento de sistemas de armazenamento para sistemas geradores como Fotovoltaicos, Eólicos e Células de Hidrogênio. Em seus estudos e simulações observa-se o aumento da demanda na geração com sistemas híbridos (fotovoltaicos e Eólicos) de 46,5% a 89,4%, com a utilização de um sistema atrelado de armazenamento com baterias.

No mesmo contexto KUSAKANA (2022) relata a relevância de um dimensionamento para sistemas de armazenamento de energia via banco de baterias, salientando seu benefício e êxito na utilização destes sistemas atrelados a SFV e de energia renováveis.

Destinando seu trabalho a uma revisão sobre esta utilização de sistemas de armazenamento para atribuição de maior segurança e confiabilidade nas redes renováveis e a necessidade de um gerenciamento deste armazenamento para maximizar sua eficiência e difundir e fomentar estes sistemas a fim de redução dos custos dos equipamentos.

Com a análise dos trabalhos e artigos publicados fica evidente a necessidade de sistemas de armazenamento para sistemas de geração de energia renováveis e intermitentes em específico com SFV pois para a intermitência destes sistemas em períodos de baixa geração, o sistema de armazenamento contorna esta intermitência garantindo a segurança e confiabilidade no SFV para utilização em locais onde existe demanda constante. Devendo estes sistemas serem ampliados e popularizados com auxílio de isenções fiscais para redução de valores de equipamentos com finalidade de contribuir na ampliação dos sistemas junto a prosumidores industriais.

Concluindo o estudo bibliométrico é importante iniciar o próximo capítulo abordando a regulamentação, as leis, normativas, tarifação e forma de contratação relacionadas à energia elétrica via sistemas fotovoltaicos no Brasil.

### 3. ASPECTOS NORMATIVOS TARIFÁRIOS

Os aspectos normativos e tarifários da geração de energia elétrica referem-se às regulamentações e padrões impostos pelas autoridades competentes para gerir a produção, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica. Essas normas são implementadas para garantir a segurança, a eficiência e a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica nacional.

#### 3.1 Regulamentação da Geração Distribuída Fotovoltaica no Brasil

A início a energia fotovoltaica era regulamentada apenas por resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica pela Resolução Normativa (RN) nº 482 criada em 2012, que permitiu ao consumidor a produzir sua própria energia elétrica através de fontes renováveis tornando-se um prosumidor. (ANEEL, 2012).

A partir de 2012 pessoas físicas e jurídicas foram autorizadas a instalar microgeração e/ou minigeração na produção de energia elétrica via SFV para atendimento da demanda de consumo.

Os principais pontos estabelecidos pela RN-482 da ANEEL foram a definição do que é uma Microgeração e Minigeração de energia, referindo-se à potência na autogeração de energia via SFV, sendo a Microgeração instalações geradoras com potência menor ou igual a 75 kW. E Minigeração instalações geradoras com potência maior ou igual a 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

Em conjunto a RN-482 estabeleceu o sistema de compensação de energia elétrica, sendo este um ponto crucial e atrativo para fomentar a geração por SFV no país, seu funcionamento consiste na injeção da energia excedente produzida pelo prosumidor na rede distribuidora local como um empréstimo, retornando ao prosumidor em forma de créditos energéticos que são utilizados para abater a energia consumida da rede quando não há geração pelo sistema próprio.

Estes créditos podem ser usados em outras unidades consumidoras de mesma titularidade (desde que as propriedades sejam atendidas pela mesma rede de distribuição). Tendo os créditos prioridade para o abatido na fatura de energia da unidade geradora e o restante as outras unidades, podendo ser utilizados no período máximo de 60 meses.

Os dimensionamentos dos sistemas entre os grupos de consumidores estão expostos na RN-482, sendo esta para cada tipo de consumidor estipulado pela ANEEL:

- Grupo A - Consumidores de Alta Tensão (grandes empresas e indústrias), a potência do gerador que será instalado é limitada à demanda contratada na conta de energia elétrica da unidade consumidora.
- Grupo B - Consumidores de Baixa Tensão (casas e estabelecimentos comerciais de pequeno porte), a potência das centrais fica limitada à carga instalada da unidade.

Quanto a injeção da energia excedente por prosumidores na rede de distribuição local, saliente-se que havendo uma demanda de injeção superior a demanda contratada da indústria

é possível pedir um aumento da demanda para os consumidores do Grupo A junto as distribuidoras, já para o Grupo B o pedido deve ser de aumento da carga instalada.

Sendo estes pedidos limitados a potência dos projetos fotovoltaicos e de acordo com a potência dos transformadores de distribuição instalados na rede local, para assegurar à rede distribuidora de energia maior segurança e qualidade da energia para todos os consumidores da região atendida. Contudo na maior parte dos casos, a potência dos transformadores da rede distribuidora de energia local é suficiente para suportar a injeção da energia elétrica gerada via SFV das unidades locais sem necessidade de alterações na rede.

A taxa mínima cobrada para cada grupo de consumidor foi um dos pontos estabelecidos pela RN-482, em que o consumidor gera toda a energia de que necessita em sua residência ou comércio, as normas da geração distribuída da ANEEL exigem o pagamento de uma taxa mínima de uso e disponibilidade da rede elétrica pública.

Apesar da autogeração suprir toda a necessidade de energia é preciso usar a rede da distribuidora local, portanto as taxas destinam-se a manutenção e reparo das redes e devem ser pagas pelo cliente que está utilizando, esta taxa é calculada de diferentes formas para cada grupo de consumidores:

**Grupo A:** Consumidores deste grupo têm a cobrança de um valor mínimo que se refere à demanda contratada, uma vez que existe a possibilidade de a produção local atender completamente o consumo o sistema gera os créditos a serem utilizados em faturas posteriores.

Nos outros casos, o faturamento é feito pelo consumo de energia (ativo) nos horários de ponta e fora de ponta com subtração dos créditos energéticos do sistema de compensação no mesmo período em que foram gerados.

Caso os créditos gerados sejam maiores do que o consumo de energia tradicional, é possível usar o excedente para abater o consumo de energia no horário seguinte, observando-se a proporção entre os valores das Tarifas de Energia (TE) para os diferentes horários (postos tarifários) uma vez que 1 kWh produzido na hora fora de ponta tem um valor de TE menor que o mesmo 1 kWh gerado na hora de ponta.

**Grupo B:** Consumidores do grupo B são submetidos a uma cobrança mínima que corresponde ao valor da disponibilidade de acesso à rede. Em todos os outros casos é cobrado o consumo ativo, já descontados os créditos energéticos.

Estes consumidores são capazes de descontar todo o consumo de energia elétrica da produção de energia do gerador fotovoltaico. Portanto, pode-se concluir que a conta de luz de um consumidor residencial que tenha um gerador de energia solar instalado, teria o valor nulo.

Porém, com a finalidade de manter os serviços operacionais a rede distribuidora cobra de todos os consumidores do grupo B uma taxa mínima, chamada de ‘Custo de Disponibilidade’ assim mesmo que a unidade consumidora produza 100% da energia que ela precisa durante o mês será cobrado uma taxa mínima de operação.

Em 2015 foi publicado a RN nº 687 pela ANEEL, revisando a regulamentação do segmento de GDR passando a valer a partir de 1º de março de 2016 tendo como destaque a criação de três modalidades de GDR e possibilitando o surgimento de novos grupos de prosumidores ampliando a geração de microgeradores e minigeradores, com a RN-687 ampliou a procura por SFV por parte dos consumidores residenciais e comerciais, aumentando em

aproximadamente três vezes a quantidade de geradores instalados no Brasil. Sendo as seguintes modalidades criadas pela RN-687, ANEEL (2015):

- Empreendimento Com Múltiplas Unidades Consumidoras - Esse modelo permite que vários moradores de um prédio ou de um condomínio se juntem para instalar um SFV. A energia gerada será compartilhada entre os participantes, assim como poderá ser usada nas áreas comuns dos estabelecimentos. O proprietário do estabelecimento (condomínio ou predial) deve assumir a gestão do sistema e toda a energia gerada será injetada na rede elétrica local se transformando em créditos. Assim a distribuidora irá calcular no final do mês, o valor da energia elétrica consumida por cada unidade consumidora e descontar dos créditos energéticos que foram injetados na rede.
- Geração Compartilhada - É possível fazer a transferência dos créditos excedentes entre propriedades onde a conta de luz esteja sobre o mesmo CPF/CNPJ ou CPFs/CNPJs diferentes desde que firmado em contrato particular e registrado. Neste modo pode-se transferir os créditos de energia para uma outra propriedade sua ou fazer isso através de cooperativas e consórcios de pessoas ou empresas sendo possível unir um grupo de empresas ou amigos, construir um gerador de energia fotovoltaica maior e dividir esta produção de energia para diversas pessoas ou empresas.
- Autoconsumo Remoto - Esta modalidade tornou possível a geração para consumidores que não possuem locais com espaço ou sol suficiente, a utilizar-se de espaços (terrenos) de sua propriedade para construir um SFV e usar a produção de energia dele para abater a sua conta de luz, porém para fazê-lo é necessário que tanto a geradora quanto o consumidor final esteja dentro da mesma área da distribuidora.

Em 2019 a ANEEL atualizou-se as disposições do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) módulo 3 que estipula parâmetros e características específicas para geradores, inversores, as conexões destes na rede de distribuição e os requisitos de operação e segurança, conforme disposto:

3.1 – Requisitos para conexão de microgeração e minigeração distribuída: estabelece requisitos técnicos para conexão de microgeração e minigeração distribuída ao sistema de distribuição. 3.2 – Requisitos para conexão de central geradora: estabelece requisitos técnicos para conexão de central geradora ao sistema de distribuição. 3.3 – Requisitos de projeto das instalações de conexão: define os requisitos a serem observados para elaboração de projetos de instalações de conexão. 3.4 – Requisitos dos sistemas de proteção para demais usuários: define requisitos gerais de proteção para usuários que não se enquadram nas Seções 3.1 e 3.2. 3.5 – Requisitos de operação, manutenção e segurança da conexão: estabelece diretrizes para a operação, manutenção e segurança das conexões. (ANEEL - PRODIST, 2019, pag.2-18).

Em 2019 a Câmara dos Deputados aprovou o texto substitutivo do PL n° 5829/19, o projeto de lei que institui o marco legal da geração própria de energia conhecida como (GDR). Derivando por este a Lei n° 14.300/2022 sancionada em janeiro de 2022 que trouxe algumas mudanças para novos consumidores que desejam instalar SFV a partir de sua vigência, uma das

principais alterações foi a cobrança de uma taxa que incide na conta de energia (já chamada de taxa do sol).

Vigorando a partir de janeiro de 2023 a nova lei nº 14.300 impõe que consumidores que adquirirem um SFV partir desta data serão incluídos na nova regra, quem gera energia via SFV passa a pagar pelo uso da infraestrutura disponibilizada pela distribuidora nos períodos em que há injeção de energia excedente na rede local.

A taxa refere-se em específico ao pagamento do Fio B (até o momento isento de pagamento por parte de consumidores). A conta de energia divide-se em duas tarifas básicas, a Tarifa de Energia (TE) e a Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD), sendo que dentro destas tarifas existem outros custos, na TE incluem a energia consumida e seus encargos, já no TUSD incluem a cobrança relativa ao Fio A, Fio B, Encargos e Perdas do sistema. Assim como impostos (ICMS e PIS/COFINS), todos aplicados diretamente ao kWh, além das bandeiras tarifárias pagas a cada 1kWh de acordo com a categoria (bandeira verde, amarela, vermelha e preta).

A lei nº 14.300 determina o pagamento da taxa pelo consumidor sobre o Fio B em períodos que não houver simultaneidade entre geração e consumo, sendo esta taxa sobre o Fio B determinada pela concessionária e validada anualmente pela ANEEL, este refere-se ao valor pago pelas linhas de distribuição até a residência, ou seja referente ao custo dos serviços prestados pela distribuidora de energia e varia de acordo com a região do país.

Com a entrada em vigor da lei 14.300 em janeiro de 2023 os créditos gerados passam a ser taxados com o intuito de cobrir as despesas das distribuidoras com infraestrutura e investimentos de manutenção e modernização da rede elétrica. (Porém até a defesa desta dissertação o valor ainda não havia sido definido pela ANEEL).

Esta nova taxa sobre dos créditos gerados tem prazos diferentes para diferentes modelos de geração, sendo estas cobradas da seguinte forma:

Para modelos de geração com Autogeração Remota até 500 kW, Geração junto à carga, Geração Compartilhada, EMUC (condomínio solar) e Fontes Despacháveis, esta cobrança será escalonada ao longo do tempo iniciando a um percentual de 15% em 2023 até 90% em 2028, conforme Tabela 7.

Nos modelos de Autoconsumo Remoto acima de 500kW e Geração Compartilhada com 25% dos créditos, a cobrança será de 100% sobre o Fio B, 40% sobre o Fio A além da taxa de fiscalização de serviços de energia elétrica e encargos de pesquisa e desenvolvimento.

Ressalta-se que para consumidores que possuem SFV homologados até dezembro de 2022 a cobrança sobre os fios A e B inicia a partir do ano de 2045, já para consumidores com Geração Compartilhada com mais de 25% de créditos, Autoconsumo Remoto maior que 500 kW e consumidores que homologar sistemas a partir de janeiro de 2023 aplica-se os dispostos na Lei nº 14.300 com o pagamento das taxas escalonadas e/ou imediatas a depender da potência gerada, (até a defesa desta dissertação não havia sido estipulado a data para início da cobrança da taxa sobre os fios A e B).

Tabela 7 - Regra disposta no Art. 17 da Lei nº 14.300

<b>Taxa sobre Fio B</b>	
<b>Percentual</b>	<b>Ano de Início</b>
15 %	2023
30 %	2024
45 %	2025
60 %	2026
75 %	2027
90 %	2028

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2022.

### 3.2 Cenário da Geração Distribuída Internacional

De acordo com EXAME (2022) Países, Uniões Econômicas e Políticas (no caso da União Europeia - UE) nos últimos dez anos tem investido de forma regular e planejada em sistemas de geração de energia renovável com principais destaques para sistemas fotovoltaicos e sistemas eólicos. Visando a minimização da utilização de fontes tradicionais (Carvão, Diesel, Nuclear), estando na vanguarda de utilização de SFV:

**1° China** - Tendo o 2° maior números de habitantes do planeta e a maior emissão de gás carbônico na atmosfera a China tem um constante compromisso de buscar novas e eficientes fontes de energia renovável, em uma declaração entre China e Estados Unidos (*Join Glasgow Declaration* - 2021), ambos os países se comprometeram a trabalhar em conjunto para o desenvolvimento de tecnologias para o fomento de utilização das fontes renováveis.

Conforme a Administração Nacional de Energia (NEA) da China em 2021 foi instalado mais de 48 GW em SFV totalizando 360 GW de potência instalada no país, representando 33% do potencial instalado em SFV mundial.

**2° União Europeia** - Sendo composta por 25 países da Europa, em 2021 a UE deteve um crescimento de 19,8 GW sendo os principais países responsáveis por este crescimento a Alemanha, Holanda e Espanha, seguidos da Polônia, França e Bélgica. Totalizando uma capacidade de SFV instalada de 138 GW, sendo um percentual aproximado de 56% das instalações realizadas em telhados residenciais e comerciais.

**3° Estados Unidos** - Na terceira posição dos países com maior potencial instalado em SFV com aproximadamente 95 GW até o final de 2020, expandindo neste mesmo ano cerca de 19,7 GW com o auxílio de incentivos governamentais dados ao setor residencial para a expansão rápida da geração renovável via placas fotovoltaicas.

**4° Japão** - Tendo um território reduzido em comparação aos anteriores, porém densamente povoado, enquadra-se entre os países que mais produz energia via SFV totalizando um potencial instalado em 2021 de 77 GW, com uma inserção de 6,4 GW entre os anos de 2020 e 2021 auxiliados por políticas públicas e incentivos governamentais para a expansão de SFV no país.

**5° Índia** - Conforme relatório da Agência Internacional de Energia - AIE, em 2021 o país avança aproximadamente 13 GW ao ano, fomentou o setor por incentivos e políticas públicas, governamentais com um plano de expansão de energia renovável que propiciou os investimentos em energia solar, garantindo aos prosumidores um preço de venda da energia gerada via SFV acima do mercado sendo competitivo e atrativo a geração de energia advinda destas fontes. Permitindo ao país crescer muito mais que o projetado inicialmente, totalizando em 2022 um potencial instalado de SFV de 60,4 GW.

**10° Brasil** - Entre a lista de países com maior potencial instalado de SFV o Brasil ocupa a décima posição com um potencial instalado em 2022 de 21 GW e crescimento de aproximadamente 52% no ano de 2022 em comparação ao ano anterior.

Devido às mudanças na legislação de geração própria que entrou em vigor em janeiro de 2023, houve uma “corrida” para aproveitar a isenção de taxas para sistemas homologados antes desta data, porém nos anos anteriores apesar de um crescimento constante não houve políticas públicas e incentivos massivos para a expansão de utilização de SFV para os consumidores no país sendo está uma meta a ser executada, fomentando pesquisas e a implantação de sistemas geradores de energia elétrica renováveis.

A crescente demanda de instalação de energia fotovoltaica em muitos países foi catalisada principalmente pela implementação de um incentivo financeiro conhecido como esquema de tarifa de alimentação (*Feed for Tariff* - FiT) que está em vigor em mais de 80 países desde o ano de 2008.

Como um exemplo de País que colocou em prática novas regulamentações para SFV é o Japão que antes do acidente com a usina de Fukushima (2011), representava um papel mínimo na matriz energética do país, tendo como um ponto frágil e desestimulador para sua ampliação a falta de uma estrutura regulatória com ênfase em energia renovável.

De acordo com CHU L; TAKEUCHI (2022) o primeiro programa relacionado à energia fotovoltaica foi o programa de faturamento líquido, que começou no ano de 1992.

Este programa voluntário foi realizado por 10 empresas de serviços públicos em que cada empresa comprou eletricidade excedente gerada de instalações fotovoltaicas com a taxa de compra igual ao preço de varejo da eletricidade de aproximadamente US\$ 0,82 por 1 kWh. Posteriormente, o governo introduziu um programa nacional de subsídios para instalação residencial de energia fotovoltaica, em 1994, o subsídio cobria 50% do custo de instalação.

O programa foi bem sucedido e financiou mais de 250.000 instalações com capacidade superior a 930 MW. Conseguindo reduzir o custo médio de instalação dos SFV de US\$ 34.393 (média) em 1994 para US\$ 11.068 (em média) em 2005. Paralelamente ao programa de subsídios o governo introduziu outra política de energia renovável conhecida como “*Renewable Portfolio Standard* - RPS” em 2003.

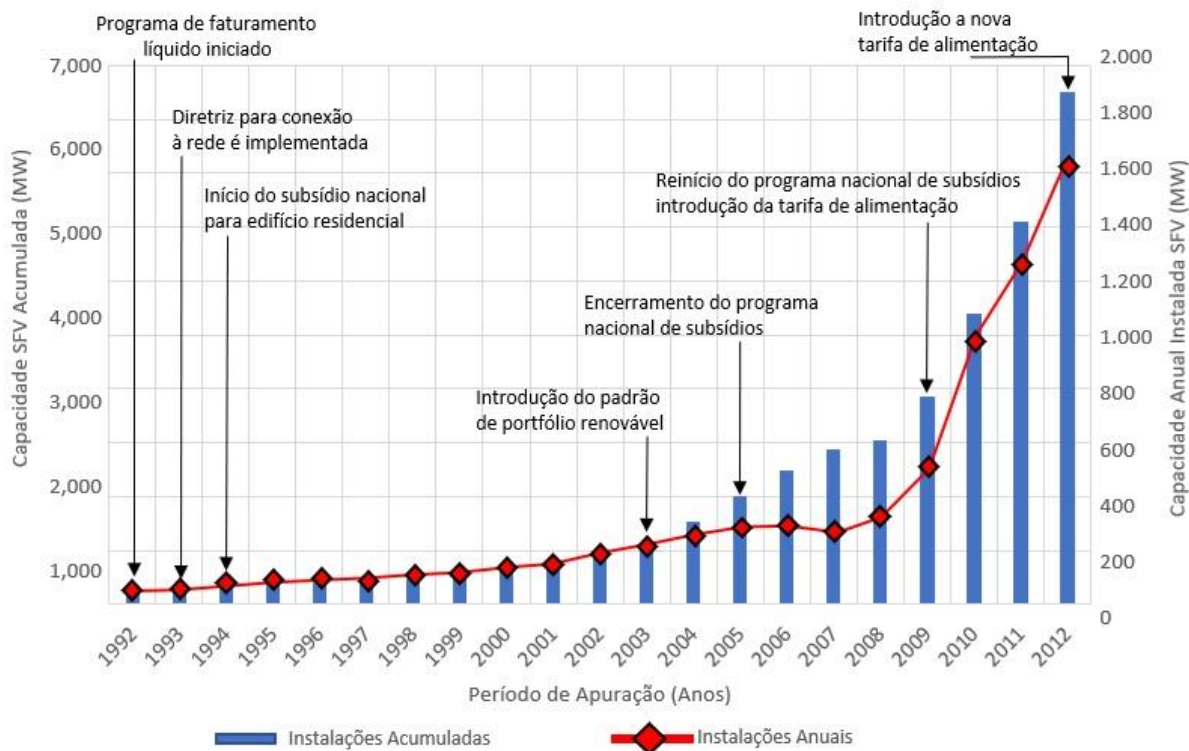
Entre 2003 a 2009 conforme a Figura 9, o país obteve um crescimento linear e visando tanto a expansão quanto o cumprimento de metas estabelecidas para geração de energia via fontes renováveis, no ano de 2009 foi implantado o esquema FiT.

O esquema FiT era elegível apenas para energia solar e para instalações de até 500 kW, para instalações domésticas, a taxa FiT era de US\$ 0,88 por 1 kWh até 10 kW e paga por um período de 10 anos, tanto o subsídio quanto a taxa FiT eram revisadas anualmente.

No entanto ao contrário do esquema FiT de outros países, no Japão obrigou-se as empresas de serviços públicos a comprar apenas eletricidade excedente gerada pelos painéis solares.

Apesar da restrição, a capacidade instalada cresceu mais 200% comparado a 2008, atingindo um valor acumulado de 4,9 GW em 2011, mais de 90% das instalações fotovoltaicas foram realizadas em edifícios residenciais.

Figura 9 - Resumo de Progressão da Capacidade de Sistemas Fotovoltaicos



Fonte: Adaptado de Muhammad-Sukki, F.(2014).

Com o acidente de Fukushima o governo foi pressionado por uma reforma agressiva na política energética do país. A Lei de Compra de Eletricidade de Fontes de Energia Renovável por Concessionárias de Energia (Lei No. 108) foi aprovada em agosto de 2011 na qual um FiT mais abrangente foi introduzido.

O novo FiT começou em 2012 e incorporou outras fontes de energia renovável além da fotovoltaica, como a eólica, geotérmica, hídrica e biomassa. O esquema visou atingir entre 20% e 35% da energia proveniente de fontes renováveis até 2030, especificamente para a energia fotovoltaica. Espera-se que a capacidade instalada cresça para 90 GW até o final de 2030.

O esquema FiT é financiado pelos próprios consumidores com um aumento médio nas contas de energia elétrica de US\$ 1,77 por mês, o novo esquema FiT é direcionado a segmentos não residenciais, dimensionamentos fotovoltaicos de grande escala nos setores comercial e industrial.

O Japão poderá se tornar o segundo maior mercado mundial de energia solar e possivelmente conquistar o primeiro lugar em termos de capacidade instalada de energia fotovoltaica em um futuro próximo. Isso se deve principalmente à lucrativa tarifa FiT que

atualmente é mais que o dobro da tarifa oferecida na Alemanha e mais de três vezes o valor pago na China.

Demonstrando que políticas públicas voltadas para subsidiar e fomento na geração de sistemas de energia renováveis em especial sistemas fotovoltaicos são fundamentais para o crescimento desta tecnologia, assim como sua disseminação e popularização destas novas formas de geração de energia. (CHU L; TAKEUCHI, 2022).

Com as informações dos aspectos normativos e tarifários explanadas neste capítulo, o próximo descreverá o panorama da geração distribuída no Brasil, a definição e o funcionamento do mercado de energia elétrica nacional.

## 4. MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA INDÚSTRIAS

O mercado de energia elétrica é um sistema econômico em que a eletricidade é produzida, comprada e vendida entre diferentes participantes, como geradores, distribuidores, consumidores e comerciantes. Este é regulado por políticas governamentais e normas protegidas por autoridades competentes.

Neste mercado os geradores de energia produzem eletricidade a partir de fontes diversas como usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas, solares, entre outras. Essa eletricidade é então vendida para as distribuidoras que são responsáveis por transportá-la e distribuí-la aos consumidores finais.

Estes consumidores podem ser residenciais, comerciais, industriais ou governamentais e adquirem eletricidade por meio de contratos de fornecimento de energia. Existe em paralelo a possibilidade de negociação no mercado livre de energia, em que consumidores de grande porte podem escolher seus fornecedores e negociar preços diferenciados.

O mercado de energia elétrica ainda envolve a negociação de contratos futuros, leilões de energia, certificados de energia renovável e outros instrumentos financeiros relacionados à energia elétrica.

O principal objetivo do mercado é garantir o suprimento adequado de eletricidade a preços competitivos, promovendo a eficiência e a concorrência entre os participantes.

### 4.1 Geração Distribuída Renovável no Setor Industrial

A GDR é a geração de energia feita em diversos pontos descentralizados, através de sistemas geradores que se localizam próximos ou até mesmo na própria unidade consumidora (casas, comércios ou indústrias) e que são ligados a rede de distribuição local, estas prosumidores injetam energia no sistema de distribuição e recebem créditos por esta energia.

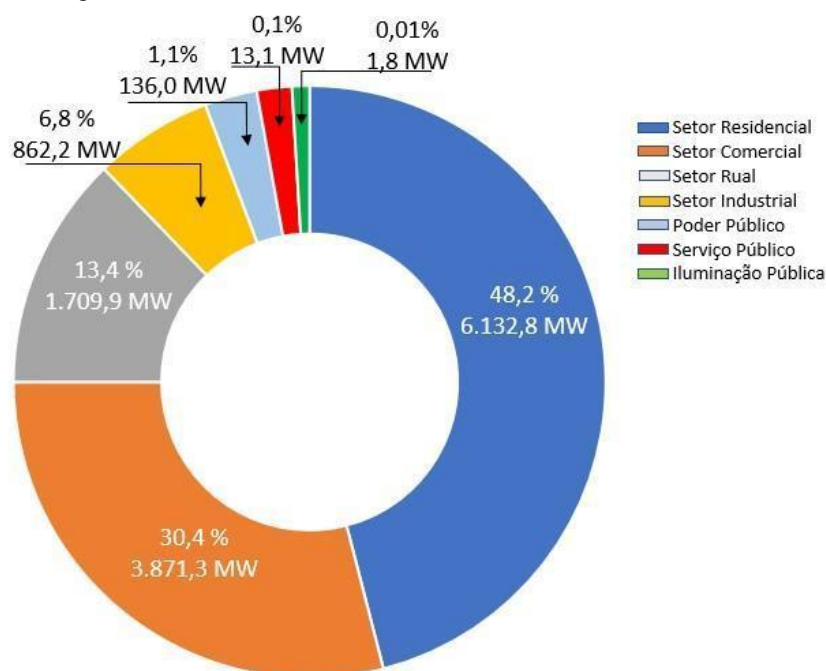
A principal diferença entre o modelo de geração descentralizada via SFV e a geração centralizada é que na geração centralizada grandes usinas geradoras produzem a energia, a enviam aos consumidores através de grandes linhas e redes de transmissão chegando até os consumidores finais pelas distribuidoras locais. Já a geração descentralizada ocorre próximo aos grandes centros de consumo sendo a energia injetada diretamente na rede de distribuição local evitando a utilização das linhas de transmissão primárias sendo distribuídas diretamente a outros consumidores finais atendidos pela mesma rede de distribuição próximas a esta unidade, minimizando as perdas de energia ocorrido nas linhas de transmissão.

O setor industrial no ano de 2022 correspondeu a um consumo total de 36,3% da energia elétrica total produzida, seguido pelo setor residencial 30,1%, e o setor comercial com 17,4%, sendo a relação de potência instalada de SFV no país apresentada na Figura 10.

Nota-se que a participação do setor industrial na geração de energia por SFV não acompanha o consumo desta mesma classe, existem pontos sensíveis em SFV que ainda afastam os consumidores industriais.

De acordo com KIPPER (2021), a intermitência do sistema em períodos diurnos devido a condições climáticas (chuvas, ventos, nuvens) e a falta de geração satisfatória em período noturno é um dos principais pontos no momento de decidir aderir ao SFV.

Figura 10 - Potência Instalada de Sistema Fotovoltaico no Brasil



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2022.

BITTENCOURT (2018) relata a necessidade de sistemas atrelados ao SFV para que este possa suprir as demandas da indústria, funcionando como um sistema auxiliar em sua maioria são utilizados bancos de baterias e/ou geradores a diesel para complementar a demanda tornando a geração estável e confiável no período de necessidade, embora não sendo uma fonte renovável geradores a diesel apresentam-se como alternativas com bom custo-benefício para complementar a demanda junto a SFV na atualidade.

Conforme DANTAS; POMPERMAYER (2018) os custos para a implantação de SFV de médio e grande porte são altos por parte das indústrias, com retorno a longo prazo e incentivos por parte de políticas públicas praticamente nulas, não motivam o setor industrial a investir nesta tecnologia.

Para esta implantação, os equipamentos e tecnologias são em sua totalidade importados, impactando não só nos custos, mas em prazos longos para entrega, importações, taxas alfandegárias, além de assistência e suporte técnico não serem no Brasil, tendo a necessidade de comunicar-se via e-mail ou vídeo conferência em outra língua (não sendo o português), demandando prazos longos para solucionar problemas por muitas vezes emergentes.

#### 4.2 Mercado de Energia e Ambientes de Contratação

O setor energético brasileiro é segmentado em dois ambientes: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL).

ACR forma-se por consumidores cativos que têm acesso à energia com tarifa estabelecida, realizando pagamentos mensais pelo serviço de distribuição, geração e o respectivo consumo.

ACL forma-se por consumidores livres que negociam energia no mercado livre de energia, comercializando energia com preços mais acessíveis que os disponíveis para

consumidores cativos (em sua maioria), sendo possível a definição de valores e condições de pagamento pela energia de acordo com a geradora ou comercializadora.

Para ambos os segmentos existem dois grupos em que consumidores são classificados:

**Grupo A**, reuni consumidores de média, alta tensão e sistemas subterrâneos, contendo cobranças “horário ponta”, energia utilizada entre as 18h e 21h e “horário fora ponta”, energia utilizada entre as 21h e 18h do dia seguinte, e as tarifas “horário azul” e “horário verde”.

**Grupo B**, reuni consumidores de baixa tensão, residenciais, rurais, iluminação pública e demais classes, contendo duas tarifações: convencional, com a tarifa mantendo-se a mesma independente do horário utilizado e branca na qual a tarifa muda conforme o horário de utilização no dia.

Em 2021, segundo o boletim da Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (Abraceel) 88% dos consumidores industriais de energia elétrica no Brasil já estavam no ACL com benefícios em relação ao ACR como a redução de até 40% na conta de energia elétrica da indústria. O mercado livre de energia proporciona flexibilidade de contratação e previsibilidade orçamentária, ainda no sentido financeiro consumidores livres podem obter rentabilidade extra no ACL através de operações estruturadas como contratação sazonal e swap entre fontes.

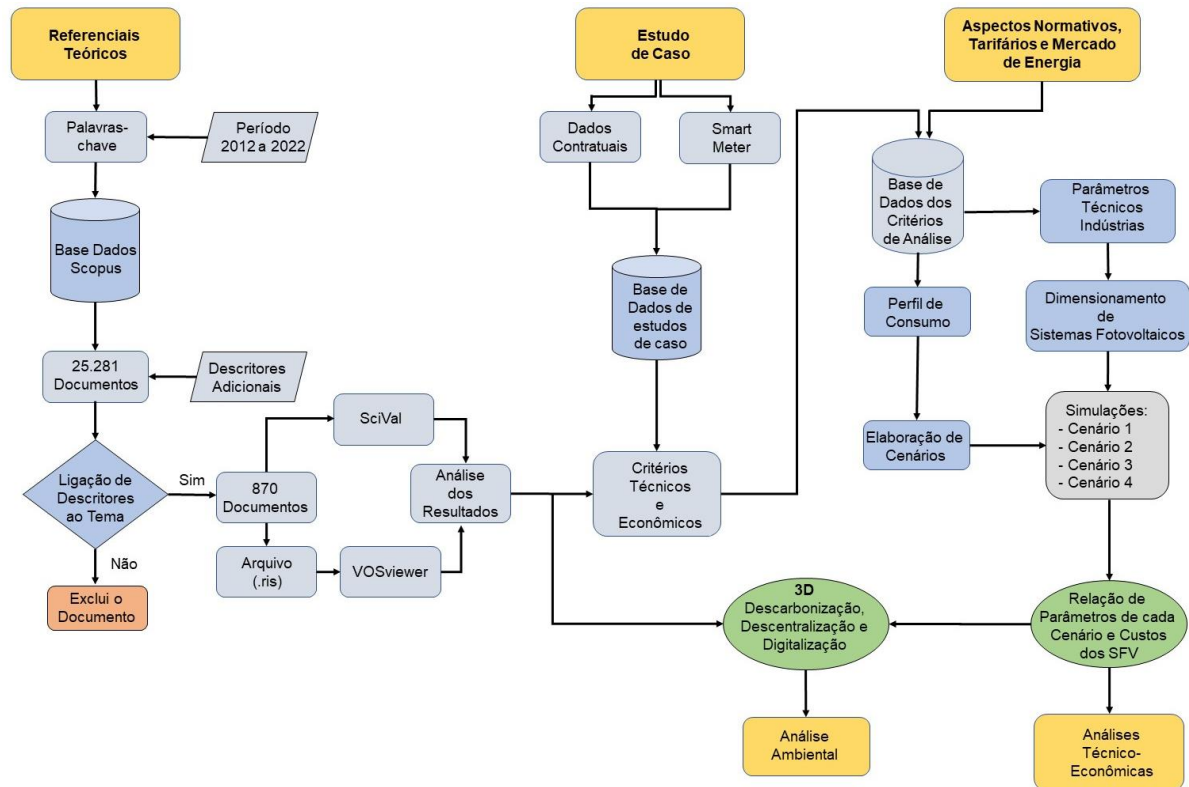
Do ponto de vista ambiental, no ACL o consumidor pode escolher a fonte da energia que será consumida pela indústria. Dessa forma pode-se optar pela contratação de fontes renováveis e contribuir para a redução das emissões de gases poluentes, podendo-se comprovar essa prática com a emissão de certificados de energia renovável (I-RECs) que atesta a origem renovável da energia elétrica consumida pela indústria.

Finalizando este capítulo relacionado ao mercado de energia será abordado no capítulo seguinte a metodologia utilizada para realizar este estudo, a forma de aquisição de dados, elaboração de cenários, simulações e as análises propostas.

## 5. METODOLOGIA

A Figura 11 apresenta de forma resumida um fluxograma da metodologia empregada nesta dissertação de mestrado.

Figura 11 - Fluxograma da metodologia aplicada



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Inicialmente realizado um estudo bibliométrico para o levantamento do estado da arte sobre o tema, abrangendo os principais periódicos sobre o assunto da pesquisa durante um período de 10 anos (2012 a 2022) e desenvolvendo avaliações quantitativas e qualitativas.

Com os resultados do estudo bibliométrico pode-se observar que os temas sistemas fotovoltaicos, energia renovável, tarifação e sistemas fotovoltaicos para indústrias são temas fomentados separadamente, porém juntos em uma única pesquisa abordando a inserção de sistemas fotovoltaicos para consumidores industriais com uma ótica econômica e envolvendo tarifação são poucos os trabalhos publicados.

Em paralelo ao estudo bibliométrico foi realizado um estudo de caso em três indústrias dos segmentos Metalúrgico, Alimentício e Plástico. Com um levantamento dos dados contratuais de utilização da energia elétrica tradicional de cada indústria e a aquisição de parâmetros de consumo através de um medidor inteligente (*Smart Meter*), possibilitando gerar curvas de carga de cada indústria e consumo em hora ponta e fora ponta, utilizados como base para dimensionamentos fotovoltaicos.

Para que as simulações e análises propostas fossem executadas, realizou-se um estudo dos aspectos normativos, regulatórios tarifários e do mercado de energia elétrica destinados a consumidores industriais para que os parâmetros utilizados nas simulações estivessem de acordo com as normas e regulamentações vigentes.

Com a análise de todos os dados obtidos (análise dos resultados do estudo bibliométricos, dados do estudo de caso e as leis, normas e regulamentações vigentes), foi desenvolvido 4 cenários específicos para realizar as simulações.

Utilizando como base os cenários específicos foram dimensionados sistemas fotovoltaicos para cada indústria considerando cada cenário estipulado, obtendo cotações de materiais e equipamentos necessários para a instalação e o funcionamento de cada sistema.

Concluído os dimensionamentos fotovoltaicos, realizou-se análises de viabilidade técnico-econômica de cada indústria em cada cenário simulado, obtendo parâmetros de rentabilidade, lucratividade, tempo de retorno do investimento, assim como uma projeção de valor presente, valor presente líquido e taxa interna de retorno de cada sistema simulado considerando este como um investimento financeiro. Possibilitando uma análise entre os cenários e aferindo o de melhor custo-benefício para inserção de SFV em consumidores industriais.

Em conjunto utilizou-se os dados de consumo e geração de energia via sistemas fotovoltaicos para calcular a emissão de CO<sub>2</sub> dos sistemas simulados, realizando uma análise ambiental entre as emissões quando utilizado o sistema tradicional de energia e via sistema fotovoltaico, evidenciando os benefícios da utilização de SFV tanto na descarbonização, quanto na descentralização da geração de energia e a digitalização dos sistemas elétricos.

A Tabela 8 ilustra os subsetores industriais junto aos seus respectivos consumos médios anuais, sendo baseado nesta e nas condições apresentadas no período do estudo a seleção dos segmentos industriais para realizar o estudo de caso nas indústrias (Metalúrgica, Alimentícia e Plástica).

Tabela 8 - Consumo do Setor Industrial por Ramo de Atividade

Ramos Industriais	2019 (MWh)	2020 (MWh)	2021 (MWh)
Indústria Metalúrgica	37.857.929	39.381.184	43.612.504
Fabricação de produtos alimentícios	21.840.388	22.300.467	23.416.565
Fabricação de produtos químicos	17.357.122	17.170.676	19.024.374
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	12.603.709	13.047.896	14.547.055
Extração de minerais metálicos	11.629.564	11.325.841	12.531.446
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	9.329.646	9.209.945	9.973.684
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	8.469.860	8.483.023	8.936.507
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	6.716.181	5.655.158	6.491.957
Fabricação de produtos têxteis	6.026.430	5.696.346	6.711.536
Fabricação de produtos de metal	4.161.884	3.808.755	4.302.265
<b>Total de Consumo no Ano:</b>	<b>135.992.712</b>	<b>136.079.290</b>	<b>149.547.893</b>

Fonte: Balanço Energético Nacional BEN, 2022.

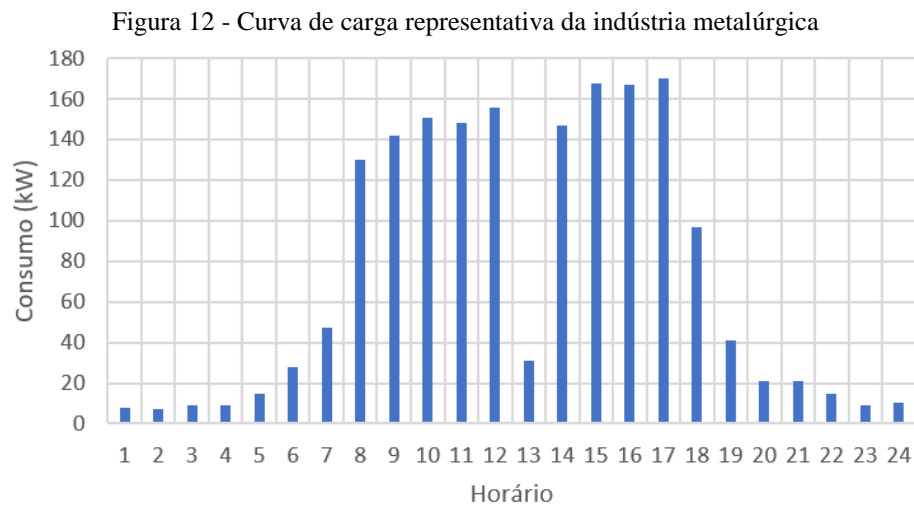
### 5.1 Dados do Estudo de Caso

Para o estudo de caso nas industriais foi utilizado um medidor digital inteligente (*Smart Meters*) do Fabricante Solar View, Modelo SMTSCH3F, obtendo os seguintes parâmetros: Potência Ativa, Potência Reativa, Tensão, Corrente, com intervalo de coleta de dados de 5 minutos com autonomia de 10 dias.

Instalados em cada indústria para aferir o real consumo, gerar curvas e perfis de carga, período de pico de utilização de energia (período de maior e menor consumo) assim como

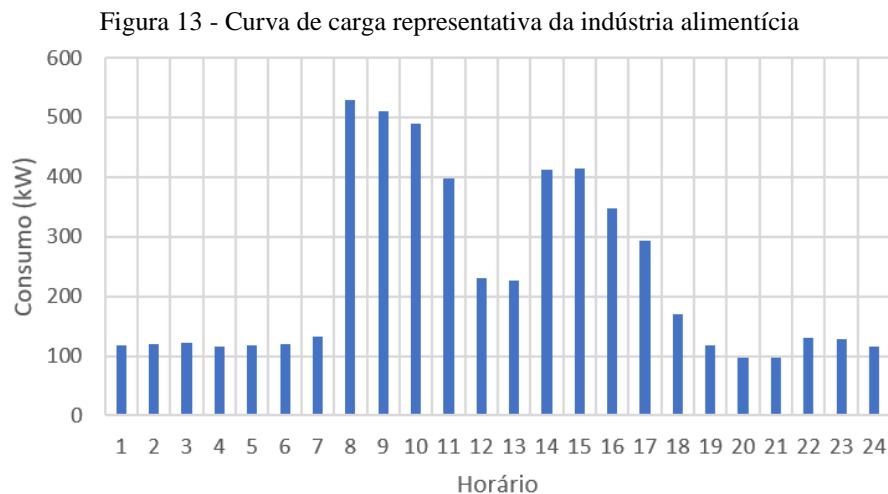
evidenciando suas características de funcionamento e as limitações de uso em horários específicos:

**Indústria Metalúrgica** - Funcionamento em horário comercial (7h às 17h30min) com baixa no consumo no horário entre 12h e 13h. Tendo um consumo administrativo representando aproximadamente 20% da demanda e o consumo da produção representando 80% da demanda total. Tendo um consumo mínimo em períodos noturnos e em Hora Ponta (EHP), com consumo em horário de funcionamento da produção Hora Fora Ponta (EHFP), com pico de consumo em períodos de funcionamento (diurno) minimizando as atividades próximo ao EHP, demonstrando o impacto desta tarifação diferenciada na linha de produção da indústria representado na Figura 12.



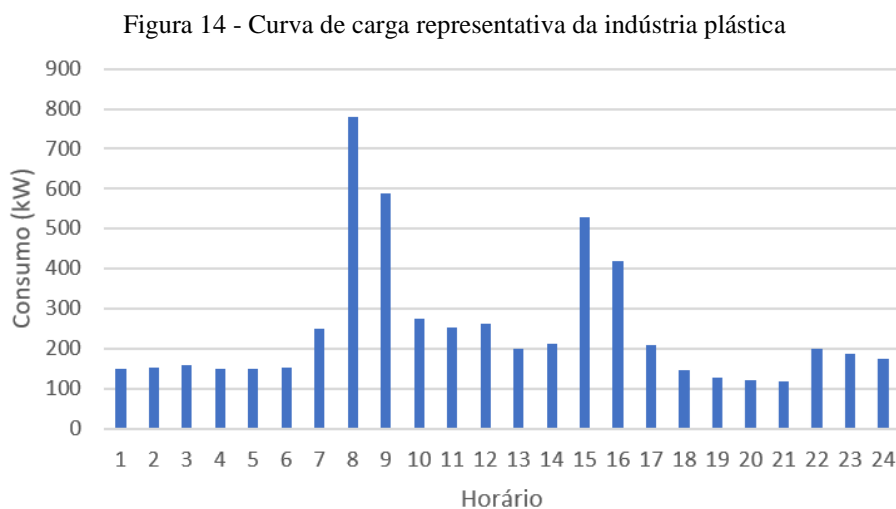
Fonte: Elaborado pelo Autor (estudo de caso), 2022.

**Indústria Alimentícia** - Funcionamento integral (diurno e noturno) com gráfico de curva de carga evidenciando o trabalho em turnos e consumo constante, indicando maquinários de médio e grande porte com funcionamento ininterrupto por período, tendo um consumo maior em períodos diurnos em EHFP e consumo menor em períodos noturnos em EHFP e em EHP, há uma produção reduzida a partir das 18h com finalidade de reduzir o consumo, retomando a produção após as 21h conforme Figura 13.



Fonte: Elaborado pelo Autor (estudo de caso), 2022.

**Indústria de Plástico** - Funcionamento integral, diurno e noturno, demonstrando o trabalho em vários turnos com uma demanda constante de energia, tendo um consumo maior em períodos diurnos em EHFP, consumo menor em períodos noturnos tanto em EHP quanto em EHFP, há uma produção reduzida no período entre 18h e 21h retomando a produção após EHP conforme Figura 14.



Fonte: Elaborado pelo Autor (estudo de caso), 2022.

Resultando a Tabela 9, descrevendo para cada indústria analisada, seu respectivo Enquadramento Tarifário, Demanda Contratada, Consumos, Tarifas Aplicadas, dentre outros parâmetros.

Tabela 9 - Dados técnicos das indústrias

Dados Aferidos:	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Demanda Contratada	200 kW	600 kW	700 kW
Consumo Total Mensal	52.410 kWh	166.800 kWh	178.890 kWh
Consumo EHP/mês	5.400 kWh	14.520 kWh	15.360 kWh
Consumo EHFP /mês	47.010 kWh	152.280 kWh	163.530 kWh
Enquadramento Tarifário	Grupo A4 - Horo Sazonal Verde		
Tarifa TE EHP	0,39 R\$/kWh		
Tarifa TUSD EHP	0,96 R\$/kWh		
Tarifa TE EHFP	0,24 R\$/kWh		
Tarifa TUSD EHFP	0,035 R\$/kWh		
Custo Demanda	37,53 R\$/kWh		

Fonte: Elaborado pelo Autor (estudo de caso), 2022.

## 5.2 Sistema Fotovoltaico

Para as simulações elaborou-se dimensionamentos de SFV para cada indústria, abrangendo três cenários específicos com a metodologia utilizada no mercado atual, baseando-se no consumo energético das indústrias e segmentando o sistema em setores de utilização, atribuindo um percentual representativo para cada segmento.

O quarto cenário foi elaborado com base nos resultados dos três anteriores, priorizando o melhor custo-benefício, retorno do investimento e redução de impactos ambientais, aplicando uma metodologia que considera a utilização de um sistema híbrido atrelando a demanda contratada de cada indústria e a demanda de energia utilizada em Hora Ponta.

- **Cenário 1** - Sistema dimensionado para atender a demanda da indústria em 100% da área administrativa (correspondente a 20% da demanda total) e em 40% da demanda da produção (correspondente a 80% da demanda total). Com a geração de energia via SFV *On-Grid* utilizando a energia produzida diretamente na indústria e havendo excedente, este será injetado na rede de distribuição local gerando créditos para serem utilizados no abatimento de faturas posteriores (SFV *On-Grid*);
- **Cenário 2** - Sistema dimensionado para atender a demanda da indústria em 100% da área administrativa e em 70% da demanda da produção. Atrelando ao SFV um gerenciador de carga e um banco de baterias para minimizar as intermitências, possibilitando a utilização de parte da energia produzida fora do período de geração, havendo energia excedente, esta será injetado na rede de distribuição local (SFV Híbrido);
- **Cenário 3** - Sistema dimensionado para atender a demanda da indústria em 100% da área administrativa e 100% da demanda da produção. Atrelando ao SFV um gerenciador de carga e um banco de baterias para minimizar as intermitências utilizando de parte da energia produzida e armazenada fora do período de geração e injetando o excedente de energia na rede de distribuição local (SFV Híbrido); e
- **Cenário 4** - Sistema dimensionado para geração de energia conforme demanda contratada de cada consumidor acrescido da potência utilizada em hora ponta (EHP), atrelando ao SFV um gerenciador de carga e um banco de baterias para minimizar as intermitências e utilizar parte da energia produzida e armazenada fora do período de geração, com a utilização de energia gerada instantânea pela indústria, havendo excedente este é injetado na rede de distribuição local (SFV Híbrido).

Para elaboração dos dimensionamentos dos SFV aplicam-se os parâmetros estabelecidos para cada cenário, na indústria metalúrgica um SFV com potencial de até 200 kW (CA), para a indústria alimentícia um SFV com potencial de até 600 kW (CA) e para indústria plástica um potencial fotovoltaico de até 700 kW (CA).

Ressalta-se que conforme dispostos nas RN 482 e RN 687 da ANEEL, e pela Lei nº 14.300 a geração de energia própria via SFV para sistemas interligados à rede (*On-Grid*) é limitada a demanda contratada do consumidor industrial.

Com os dados das indústrias e os cenários estabelecidos, utiliza-se as seguintes equações para obtenção dos valores para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos.

Inicialmente para obter o índice de radiação solar no local de instalação utiliza-se os dados do Centro de Ciência do Sistema Terrestre CCST, a radiação solar incidente na região

das indústrias analisadas (Região da Grande São Paulo, S.P) é de em média 4,91 kWh/m<sup>2</sup> por dia.

Utiliza-se o Fator de Correção (FC) para compensação do consumo em EHP, sendo uma proporção entre valores tarifários de EHP e EHFP conforme equação (2).

$$FC = \frac{TE\ Ponta}{TE\ Fora\ Ponta} \quad (2)$$

Onde:

*FC* - Fator de Correção;

*TE Ponta* - Tarifa de energia em horário de ponta; e

*TE Fora Ponta* - Tarifa de energia em EHFP.

Para obter o valor da Geração Necessária (GN) de potência para atendimento ao consumidor utiliza-se a equação (3).

$$GN = CMFP + (CMP \times FC) \quad (3)$$

Onde:

*GN* - Geração necessária de energia via SFV;

*CMFP* - Consumo médio em hora fora ponta;

*CMP* - Consumo médio em hora ponta; e

*FC* - Fator de Correção.

Ao obter os valores da *GN* segmenta-se este para atender os cenários propostos e calcula-se a potência que deve se obter em corrente contínua via módulos fotovoltaicos para suprir o consumo aferido com relação ao consumo diário utilizando a equação (4).

$$PCC = \frac{\left(\frac{GN}{30\ (dias)}\right)}{IRR \times (1 - Perdas)} \quad (4)$$

Onde:

*PCC* - Potência em corrente contínua (CC) na entrada dos inversores;

*GN* - Geração Necessária de energia;

*IRR* - Média de irradiação solar medida em kWh/m<sup>2</sup> por dia; e

*Perdas* - Relacionadas as perdas envolvidas no SFV, adota-se 15% como padrão, conforme literatura (perdas térmicas, perdas de eficiência do inversor, cabeamentos ...).

Define-se posteriormente a potência CA do SFV, que é a potência total nas saídas dos inversores, calculada utilizando um fator de *Overload* de 25% (de acordo com a especificação do inversor utilizado) conforme a equação (5).

$$PCA = \frac{PCC}{OV} \quad (5)$$

Onde:

*PCA* - Potência de saída dos inversores em Corrente Alternada (CA);

*PCC* - Potência CC (corrente contínua); e

*OV* - Valor de *overload* aplicado nos inversores.

### 5.3 Análise de Viabilidade Técnico-Econômica

Nesta Etapa segmenta-se esta análise em 2 partes, a análise técnica e a análise econômica:

**Análise Técnica:** Realizada em campo para se verificar as condições técnicas do local a ser implementado o SFV, no qual é levantado as condições e restrições do entorno, condições de solo e restrições geotécnicas e ambientais, taxa de ocupação do solo, permeabilidade e recuos assim como os requisitos legais segundo as legislações vigentes (municipais e estaduais), zoneamento, regras condominiais e de ocupações urbanas, limitações técnicas de infraestrutura por parte da concessionária local, disponibilidade de demanda, levantamento de plano diretor municipal, código sanitário, florestal e cenários e alternativas viáveis para a implementação do SFV caso incida em alguma situação burocrática que o inviabilize.

Para os cenários e a implantação dos sistemas propostos serão considerados os aspectos técnicos em conformidade com os requisitos acima descritos.

Realiza-se uma relação entre a área necessária para implementação de uma planta fotovoltaica industrial e o espaço físico de cada indústria, tem há necessidade de aproximadamente  $5,60 \text{ m}^2$  para cada 1 kW gerado, sendo que para sistemas *On-Grid* relaciona-se o valor da demanda contratada, e para sistemas *Off-Grid* um dimensionamento do banco de baterias.

**Análise Econômica:** Este estudo verifica a viabilidade econômica do negócio criando uma projeção financeira do comportamento dos SFV ao longo do tempo, considerando a vida útil do sistema conforme informado pelo fabricante (30 anos). As análises realizadas expõem tanto a lucratividade quanto a rentabilidade dos sistemas.

Com a utilização de metodologias já consolidadas no mercado para realizar estas análises econômicas com os métodos: Valor Presente, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Tempo de Retorno do Investimento detalhados abaixo.

**Valor Presente Líquido VPL** - O valor presente líquido é método de análise de investimentos que busca converter tanto as entradas quanto as saídas de capital para os valores atuais expresso na equação (6), o que facilita o processo de comparar esses montantes ao capital inicial requerido pelos SFV, retornando em três resultados possíveis:

- $VPL \geq 0$ : Demonstrando que o SFV restituirá o capital inicial investido, e gerará lucro, sendo considerado viável como investimento financeiro;
- $VPL = 0$ : Demonstra que o SFV não irá produzir lucro ou prejuízo, irá retornar o capital inicial, porém não havendo projeção de lucro posterior, em uma ótica estritamente financeira é considerado inviável; e
- $VPL \leq 0$ : Demonstra que o SFV não retornará o capital inicial e nem lucro no intervalo de tempo calculado, tornando este investimento inviável.

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FCt}{(1+i)^n} - FC0 \quad (6)$$

Onde:

- $FCt$  - Valor gerado pelo SFV;
- $i$  - Taxa de juros estipulada ao ano para o ajuste em valor presente;
- $n$  - Número de anos que o SFV estará em funcionamento; e
- $FC0$  - Capital inicial investido.

**Taxa Interna de Retorno (TIR)** - Utilizada para os cálculos dos resultados de investimentos com base em padrões relativos, permitindo que sejam apresentados de forma percentual e possibilitando a comparação de investimentos de tipos diferentes. Diferentemente do VPL, a TIR complementa os resultados do Valor Presente Líquido (VPL) e reflete os investimentos efetuados em determinado período. O cálculo da TIR exige que o VPL seja igual a zero, ou seja, que as entradas de capital sejam iguais às saídas de caixa. A fórmula para o cálculo do VPL é apresentada na equação (7).

$$VP = \sum_{t=1}^N \frac{Ft}{(1+j)^t} \quad (7)$$

Onde:

- $VP$  - Deve ser igualado a 0.
- $Ft$  - Fluxo de caixa no tempo.
- $j$  - Taxa TIR.
- $t$  - Período em anos, vinculado a cada fluxo de caixa.
- $N$  - O período final de investimento.

**Tempo de Retorno do Investimento (Payback)** - Demonstrando o período máximo que a indústria irá levar para obter o retorno do investimento, incluindo neste cálculo uma taxa de juros, contornando uma conhecida desvantagem neste método pois com esta taxa o cálculo passa a considerar o valor do capital no decorrer do tempo (descontando os fluxos de caixa futuros).

Para este, deve-se criar uma Tabela de fluxo de caixa, calcular o valor presente (VP) deste fluxo de caixa e atualizar o saldo do investimento ano a ano. Para calcular o VP sobre os valores do fluxo de caixa, utiliza-se a equação (8), em cada um dos valores recebidos.

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^t} \quad (8)$$

Onde:

- $VP$  - Valor presente.
- $VF$  - Valor futuro de entrada em caixa.
- $i$  - Taxa de juros.
- $t$  - Período em anos.

Na Tabela de fluxo de caixa, utiliza-se o VP para atualizar o valor dos fluxos ao longo do tempo e amortizar o capital inicial. Em um determinado período, a amortização se tornará positiva, indicando o momento de *Payback*.

Considera-se para estes cálculos uma taxa de juros equivalente a um investimento conservador no mercado atual, com uma rentabilidade nominal de 11,8% ao ano (em um comparativo com a caderneta de poupança, que obteve no ano de 2022 uma rentabilidade nominal de 7,89% ao ano). Descontando a inflação de 5,79% (considerando o valor referente ao ano de 2022), tem-se uma rentabilidade real para o estudo nesta dissertação de 6,01% ao ano.

Entendendo o método utilizado e as respectivas ferramentas e equações aplicadas, o capítulo seguinte descreverá os resultados obtidos nos cenários simulados e as análises de viabilidades econômicas e ambientais realizadas.

## 6. RESULTADOS E ANÁLISES

Inicia-se os resultados com a apresentação dos dimensionamentos fotovoltaicos de acordo com os cenários estabelecidos, vinculando parâmetros técnicos e de demanda de cada indústria analisada.

Como padrão dos dimensionamentos fotovoltaicos considerou-se módulos fotovoltaicos monocristalino de 144 células com potência máxima de geração de 540 Wp e inversores trifásicos 220V/380V com potência de acordo com os requisitos de cada indústria em cada cenário, assim como seu modelo e modo de operação, sendo estes *On-Grid*, *Off-Grid* ou inversores Híbridos (exercendo as duas funções simultaneamente), materiais e mão de obra com seus respectivos investimentos médios para sua implementação em campo adquiridos via orçamentos e cotações comerciais válidos utilizando como referência o ano de 2023.

### 6.1 Simulações dos Cenários

Para o Cenário 1 foi considerado um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (*On-Grid*), para o qual foi utilizado os dados apresentados na Tabela 10.

Esses dados correspondem às informações sobre as indústrias para suprir 100% da demanda administrativa e 40% da demanda da produção sendo a energia gerada consumida no momento de geração e o excedente injetado na rede elétrica de distribuição local.

Tabela 10 - Dados Técnicos Cenário 1

Dados Aferidos:	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Consumo Administrativo	11.108,4 kWh/mês	35.044,32 kWh/mês	37.559,76 kWh/mês
Consumo Produção	17.773,44 kWh/mês	56.070,91 kWh/mês	60.095,62 kWh/mês
Demanda Contratada	200 kW	600 kW	700 kW
Fator de Conversão	1,580		
Geração Necessária (CC)	28.881,84 kWh/mês	91.115,23 kWh/mês	97.655,38 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	230,67 kW	727,72 kW	779,96 kW
Potência do SFV (CA)	184,54 kW	582,18 kW	623,97 kW

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Com a utilização dos parâmetros de consumo obtidos de cada indústria para determinação dos valores necessários (potências de geração e de saída), com o limite de geração na saída dos inversores atrelado ao valor de demanda contratada conforme estabelecido pela ANEEL, obteve-se os valores médios dos materiais e equipamentos contidos na Tabela 11.

Tabela 11 - Descritivos e custos dos SFV Cenário 1

Descrição do Produto	Valor Médio	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Módulo fotovoltaico 540W, Mod. EMSH 540BM HC	R\$ 990,00	428 un.	1348 un.	1445 un.
String (380 Vca / 209A)	R\$ 1.500,00	2 un.	5 un.	5 un.
String (1.000Vcc/16A)	R\$ 620,00	32 un.	80 un.	80 un.
Estrutura horizontal	R\$ 85,00	1.298 m <sup>2</sup>	4.088 m <sup>2</sup>	4.382 m <sup>2</sup>
Grampos de fixação	R\$ 9,50	1.010 un.	3.168 un.	2.252 un.
Cabo flexível 4mm	R\$ 5,00	1.597 mts	5.108 mts	5.390 mts
Conectores Mc4	R\$ 25,00	64 un.	190 un.	204 un.

Implementação por m <sup>2</sup>	R\$ 180,00	1.298 m <sup>2</sup>	4.088 m <sup>2</sup>	4.382 m <sup>2</sup>
<b>On-Grid</b>				
Inversor trifásico, Mod. Max-125kw-TL3X-LV.Fabricante: Growatt	R\$ 48.035,00	1 un.	4 un.	5 un.
Inversor trifásico, Mod.MAX-75kw-TL3-LV.Fabricante: Growatt	R\$ 34.500,00	1 un.	1 un.	---
<b>Custos para Indústria Metalúrgica:</b>			R\$ 892.245,00	
<b>Custos para Indústria Alimentícia:</b>			R\$ 2.761.966,00	
<b>Custos para Indústria Plástica:</b>			R\$ 2.942.499,00	

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

No Cenário 2 foi considerado um sistema fotovoltaico híbrido simulado para suprir 100% da demanda administrativa e 70% da demanda da produção, sendo: A Parte *On-Grid* do sistema conectado à rede elétrica de distribuição injetando a energia excedente na rede local e a parte *Off-Grid* do sistema destinado a utilização da energia gerada exclusivamente pela indústria (sem a injeção desta na rede) possuindo um sistema auxiliar atrelado ao SFV *Off-Grid* com um gerenciador de carga e banco de baterias com função de minimizar as intermitências do SFV em período diurno e utilização da energia armazenada em período de não geração fotovoltaica conforme dados da Tabela 12.

Tabela 12 - Dados Técnicos Cenário 2

<b>Dados Aferidos:</b>	<b>Ind. Metalúrgica</b>	<b>Ind. Alimentícia</b>	<b>Ind. Plástica</b>
Consumo Administrativo	11.108,4 kWh/mês	35.044,32 kWh/mês	37.559,76 kWh/mês
Consumo Produção	31.102,40 kWh/mês	98.124,09 kWh/mês	105.167,32 kWh/mês
Demanda Contratada	200 kW	600 kW	700 kW
Fator de Conversão	1,580		
Geração Necessária Total (CC)	42.210,80 kWh/mês	133.168,41 kWh/mês	142.727,08 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	337,13 kW	1063,60 kW	1.139,94 kW
Potência do SFV (CA)	269,70 kW	850,88 kW	911,95 kW
<b>Geração On-Grid</b>			
Geração Necessária (CC)	31.301,30 kWh/mês	93.903,75 kWh/mês	109.554 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	250 kW	750 kW	875 kW
Potência do SFV (CA)	200 kW	600 kW	700 kW
<b>Geração Off-Grid</b>			
Geração Necessária (CC)	10.909,50 kWh/mês	39.264,66 kWh/mês	33.173,08 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	87,13 kW	313,60 kW	264,95 kW
Potência do SFV (CA)	69,70 kW	250,88 kW	211,96 kW
Banco de Baterias (AH):	160 kWh	500 kWh	450 kWh

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Utilizou-se os dados da Tabela 12 para o dimensionamento relacionado aos custos e despesas totais para inserção deste sistema nas indústrias conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Descritivos e custos dos SFV Cenário 2

Descrição do Produto	Valor Médio	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Módulo fotovoltaico 540W, Mod. EMSH 540BM HC	R\$ 990,00	625 un.	1970 un.	2112 un.
String (380 Vca / 209A)	R\$ 1.500,00	4 un.	13 un.	13 un.
String (1.000Vcc/16A)	R\$ 620,00	46 un.	148 un.	158 un.
Estrutura horizontal	R\$ 85,00	1.893,75 m <sup>2</sup>	5.969,10 m <sup>2</sup>	6.399,36 m <sup>2</sup>
Grampos de fixação	R\$ 9,50	1475 un.	4630 un.	3.292 un.
Cabo flexível 4mm	R\$ 5,00	2.332 mts	7465 mts	7878 mts
Conectores Mc4	R\$ 25,00	94 un.	278 un.	298 un.
Implementação por m <sup>2</sup>	R\$ 180,00	1.893,75 m <sup>2</sup>	5.969,10 m <sup>2</sup>	6.399,36 m <sup>2</sup>
<b>On-Grid</b>				
Inversor trifásico, Mod. Max-125kw-TL3X-LV.Fabricante: Growatt	R\$ 48.035,00	1 un.	5 un.	5 un.
Inversor trifásico, Mod.MAX-75kw-TL3-LV.Fabricante: Growatt	R\$ 34.500,00	1 un.	--	1 un.
<b>Off-Grid</b>				
Inversor/Controlador de carga trifásico, Mod. SUN-8k-SG03LP1-EU, Fabricante: Deye	R\$ 7.630,00	10 un.	31 un.	26 un.
Banco de Baterias Solares de Lítio 48V / 10 kWh. Mod. LF-48-100-RDJ, Fabricante: Rui De Jin	R\$ 7.980,00	16 un.	50 un.	45 un.
<b>Custos para Indústria Metalúrgica:</b>			R\$ 1.469.651,25	
<b>Custos para Indústria Alimentícia:</b>			R\$ 4.607.336,50	
<b>Custos para Indústria Plástica:</b>			R\$ 4.814.439,40	

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

O Cenário 3 destina-se a suprir 100% da demanda administrativa e 100% da demanda da produção, similar ao cenário anterior utiliza um SFV híbrido segmentado em *On-Grid* produzindo e injetando energia excedente na rede de distribuição local e *Off-Grid* com um sistema auxiliar atrelando um gerenciador de carga com baterias conforme Tabela 14.

Tabela 14 - Dados Técnicos Cenário 3

Dados Aferidos:	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Consumo Administrativo	11.108,4 kWh/mês	35.044,32 kWh/mês	37.559,76 kWh/mês
Consumo Produção	44.433,60 kWh/mês	140.177,28 kWh/mês	150.239,04 kWh/mês
Demanda Contratada	200 kW	600 kW	700 kW
Fator de Conversão	1,580		
Geração Total Nec. (CC)	55.542 kWh/mês	175.222 kWh/mês	187.799 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	443,6 kW	1.400 kW	1.500 kW
Potência do SFV (CA)	354,88 kW	1.120 kW	1.200 kW
<b>Geração On-Grid</b>			
Geração Necessária (CC)	31.301,30 kWh/mês	93.903,75 kWh/mês	109.554 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	250 kW	750 kW	875 kW
Potência do SFV (CA)	200 kW	600 kW	700 kW
<b>Geração Off-Grid</b>			
Geração Necessária (CC)	24.240,70 kWh/mês	81.318,25 kWh/mês	78.245 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	193,60 kW	649,48 kW	624,93 kW
Potência do SFV (CA)	154,88 kW	519,58 kW	499,94 kW
Banco de Baterias (AH):	300 kWh	1.040 kWh	1.000 kWh

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Como base para os orçamentos e cotações dos valores de equipamentos e materiais dos SFV utilizou-se os dados da Tabela 14 resultando nos valores totais para cada indústria de acordo com a Tabela 15.

Tabela 15 - Descritivos e custos dos SFV Cenário 3

Descrição do Produto	Valor Médio	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Módulo fotovoltaico 540W, Mod. EMSH 540BM HC	R\$ 990,00	822 un.	2.592 un.	3.912 un.
String (380 Vca / 209A)	R\$ 1.500,00	12 un.	37 un.	37 un.
String (1.000Vcc/16A)	R\$ 620,00	60 un.	195 un.	292 un.
Estrutura horizontal	R\$ 85,00	2490,66 m <sup>2</sup>	7856 m <sup>2</sup>	11853 m <sup>2</sup>
Grampos de fixação	R\$ 9,50	1939,92 un.	6094 un.	6098 un.
Cabo flexível 4mm	R\$ 5,00	3067,05 mts	9825 mts	14592 mts
Conectores Mc4	R\$ 25,00	123,62 un.	366 un.	552 un.
Implementação por m <sup>2</sup>	R\$ 180,00	2490,66 m <sup>2</sup>	7856 m <sup>2</sup>	11853 m <sup>2</sup>
<b>On-Grid</b>				
Inversor trifásico, Mod. Max-125kw-TL3X-LV.Fabricante: Growatt	R\$ 48.035,00	1 un.	5 un.	5 un.
Inversor trifásico, Mod.MAX-75kw-TL3-LV.Fabricante: Growatt	R\$ 34.500,00	1 un.	--	1 un.
<b>Off-Grid</b>				
Inversor/Controlador de carga trifásico, Mod. SG03LO1-16kW, Fabricante Deye	R\$ 15.160,00	10 un.	32 un.	31 un.
Banco de Baterias Solares de Lítio 48V / 10 kWh. Mod. LF-48-100-RDJ, Fabricante: Rui De Jin	R\$ 7.980,00	30 un.	104 un.	100 un.
<b>Custos para Indústria Metalúrgica:</b>			R\$ 1.844.364,89	
<b>Custos para Indústria Alimentícia:</b>			R\$ 5.879.923,00	
<b>Custos para Indústria Plástica:</b>			R\$ 7.155.791,00	

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Para o Cenário 4 foi considerado um sistema fotovoltaico híbrido simulado para suprir 100% das demandas contratadas das indústrias acrescido de 100% do consumo de energia em hora ponta de cada indústria, sendo segmentado em SFV *On-Grid* conectado à rede elétrica de distribuição local e SFV *Off-Grid* com sistema auxiliar de gerenciamento de carga e banco de baterias, conforme Tabela 16.

Tabela 16 - Dados técnicos cenário 4

Dados Aferidos:	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Consumo Total Mensal	52.410 kWh/mês	166.800 kWh/mês	178.890 kWh/mês
- Consumo EHP	5.400 kWh/mês	14.520 kWh/mês	15.360 kWh/mês
- Consumo EHFP	47.010 kWh/mês	152.280 kWh/mês	163.530 kWh/mês
Demanda Contratada	200 kW	600 kW	700 kW
Geração Total Nec. (CC)	36.700 kWh/mês	108.520 kWh/mês	124.860 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	293,11 kW	866,73 kW	997,24 kW
Potência do SFV (CA)	234kW	693 kW	797 kW
<b>Geração On-Grid</b>			
Geração Necessária (CC)	31.300 kWh/mês	94.000 kWh/mês	109.500 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	250 kW	750 kW	874 kW
Potência do SFV (CA)	200 kW	600 kW	700 kW

<b>Geração Off-Grid</b>			
Geração Necessária (CC)	5.400 kWh/mês	14.520 kWh/mês	15.360 kWh/mês
Potência do SFV (CC)	70 kW	165 kW	175 kW
Potência do SFV (CA)	70 kW	165 kW	175 kW
Banco de Baterias (AH):	200 kWh	500 kWh	520 kWh

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Para o levantamento dos custos totais para este SFV no cenário 4, utilizou-se como base os dados da Tabela 16 para relacionar os itens necessários para os sistemas dispostos na Tabela 17.

Tabela 17 - Descritivos e custos dos SFV Cenário 4

<b>Descrição do Produto</b>	<b>Valor Médio</b>	<b>Ind. Metalúrgica</b>	<b>Ind. Alimentícia</b>	<b>Ind. Plástica</b>
Módulo fotovoltaico 540W, Mod. EMSH 540BM HC	R\$ 990,00	434 un.	1.284 un.	1.478 un.
String (380 Vca / 209A)	R\$ 1.500,00	5 un.	11 un.	14 un.
String (1.000Vcc/16A)	R\$ 620,00	32 un.	75 un.	82 un.
Estrutura horizontal	R\$ 85,00	1.315 m <sup>2</sup>	3.890 m <sup>2</sup>	4.478 m <sup>2</sup>
Grampos de fixação	R\$ 9,50	1.024 un.	3.017 un.	2.302 un.
Cabo flexível 4mm	R\$ 5,00	1.619 mts	4.865 mts	5.513 mts
Conectores Mc4	R\$ 25,00	64 un.	180 un.	208 un.
Implementação por m <sup>2</sup>	R\$ 180,00	1.315 m <sup>2</sup>	3.890 m <sup>2</sup>	4.478 m <sup>2</sup>
<b>On-Grid</b>				
Inversor trifásico, Mod. Max-125kw-TL3X-LV. Fabricante: Growatt	R\$ 48.035,00	1 un.	5 un.	5 un.
Inversor trifásico, Mod. MAX-75kw-TL3-LV. Fabricante: Growatt	R\$ 34.500,00	1 un.	---	1 un.
<b>Off-Grid</b>				
Inversor/Controlador de carga trifásico, Mod. SG03LO1-16kW, Fabricante Deye	R\$ 15.160,00	4 un.	10 un.	11 un.
Inversor/Controlador de carga trifásico, Mod. SUN-8k-SG03LP1-EU, Fabricante: Deye	R\$ 7.630,00	1 un.	---	---
Banco de Baterias Solares de Lítio 48V / 10 kWh. Mod. LF-48-100-RDJ, Fabricante: Rui De Jin	R\$ 7.980,00	20 un.	50 un.	52 un.
<b>Custos para Indústria Metalúrgica:</b>			R\$ 1.135.303,00	
<b>Custos para Indústria Alimentícia:</b>			R\$ 3.213.269,50	
<b>Custos para Indústria Plástica:</b>			R\$ 3.632.759,00	

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Descritos todos os dados resultantes das simulações dos cenários estabelecidos, no próximo tópico será apresentado as análises e discussões dos resultados, salientando os aspectos mais relevantes de cada cenário e evidenciando qual deles obteve os parâmetros mais viáveis para o estudo.

## 6.2. - Análises e Discussões

Este tópico destina-se as análises e discussões das viabilidades técnico-econômicas dos SFV simulados nos cenários 1, 2, 3 e 4.

Em conjunto as análises ambientais, traçando um paralelo entre a utilização de energia elétrica advinda de fontes tradicionais obtidos através dos dados do Sistema Interligado Nacional (SIN) e a energia gerada via SFV simulados, avaliando os aspectos da descentralização da geração de energia via sistemas renováveis, a descarbonização na geração de energia via SFV e a digitalização dos sistemas de energia nacional (os conhecidos 3Ds).

### 6.2.1 Análises Técnico-Econômicas

Conforme parâmetros estabelecidos no capítulo 5 realizou-se os cálculos considerando os dados obtidos no estudo de caso e nas simulações dos cenários obtendo os parâmetros para análise financeiro dos SFV. Possibilitando um comparativo dentre outros investimentos existentes no mercado atual, assim como a tomada de decisão sobe uma ótica econômica, se há uma viabilidade, rentabilidade e sustentabilidade nos SFV propostos.

No Cenário 1 com a utilização de um SFV *On-Grid*, gerando energia e injetando-a na rede de distribuição local, obteve-se os resultados contidos na Tabela 18.

Tabela 18 - Análise de viabilidade técnico-econômica (cenário 1)

Parâmetros	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Capital Inicial	R\$ 892.245,00	R\$ 2.761.966,00	R\$ 2.942.499,00
Taxa de Juros	6,01 %		
Valor Previsto Gerado (ano)	R\$ 95.310,07	R\$ 300.680,26	R\$ 322.262,75
Valor Presente VP (30 anos)	R\$ 1.310.524,43	R\$ 4.134.388,16	R\$ 4.431.149,88
Valor Presente Líquido VPL (30 anos)	R\$ 418.279,43	R\$ 1.372.422,16	R\$ 1.488.650,88
TIR do SFV	10,1%	10,3%	10,4%
Taxa de Lucratividade	1,46	1,49	1,50
Tempo de Retorno ( <i>Payback</i> )	14,17 anos	13,77 anos	13,64 anos

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Com rentabilidade média de 10,3%, comparado a outros investimentos atuais presentes no mercado, compara-se a investimentos extremamente conservadores com uma margem de lucratividade superior ao rendimento de uma caderneta de poupança (7,89% em 2022).

Em uma análise detalhada nas indústrias obteve-se:

**Indústria Metalúrgica** - Com custo médio anual de energia elétrica de R\$ 384.000,00 dos quais a demanda contratada (valor fixo) representa a quantia de R\$ 90.000,00 (considerando a não ultrapassagem de mais de 5% da demanda contratada pelo período especificado pela distribuidora), o consumo em EHFP representa em média R\$ 156.000,00 e o consumo em EHP representa em média R\$ 85.500,00.

Sendo o restante da fatura: Consumo reativo em ambos os horários (A energia reativa, medida em kVAr, é a componente da energia elétrica que não realiza trabalho, mas é consumida pelos equipamentos com a finalidade de formar os campos eletromagnéticos necessários para o funcionamento) e adicionais tarifários em cima do consumo a depender da concessionária e da ANEEL (adicionando um valor específico dependendo das fonte geradora de energia), assim como impostos (COFINS, PIS e a incidência de ICMS), além de outras cobranças como iluminação pública.

Com a inserção do SFV proposto no cenário 1, projeta-se a geração de aproximadamente 28.881,84 kWh/mês, utilizado os mesmos parâmetros da fatura atual do consumidor, a geração de energia elétrica via SFV gera anualmente de lucro a indústria a quantia de R\$ 95.310,00 representando uma redução de 39,46% do consumo total.

**Indústria Alimentícia** - Com um custo médio anual de R\$ 1.256.000,00 dos quais a demanda contratada representa R\$ 270.216,00 (com as mesmas considerações anteriores), consumo em EHFP R\$ 502.000,00 e o consumo em EHP R\$ 235.000,00.

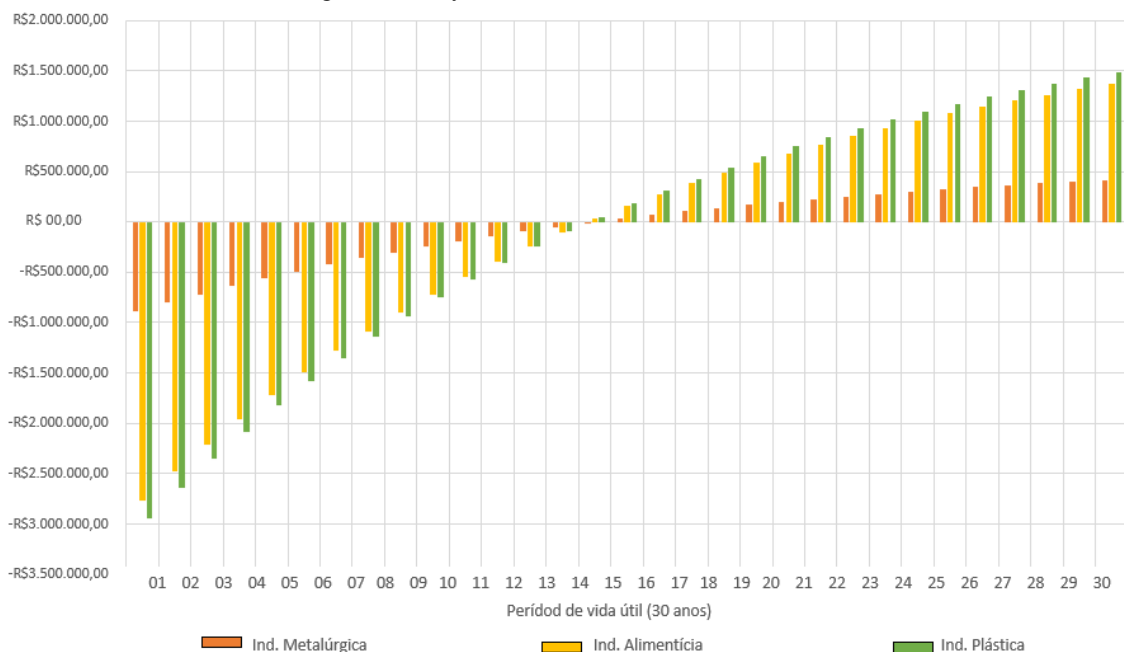
Com a inserção de SFV simulado, será gerado aproximadamente 91.115,23 kWh/mês, produzindo um lucro a indústria de R\$ 300.680,16 representando uma redução de 40,79% no consumo total.

**Indústria Plástica** - Detêm um custo médio anual com energia elétrica R\$ 1.380.000,00 dos quais a demanda contratada é R\$ 315.600,00. O consumo em EHFP R\$ 540.000,00 e em EHP representa R\$ 248.000,00.

Implementando um SFV para esta indústria, projeta-se a geração de 97.655,38 kWh/mês, a geração via SFV produz anualmente um lucro de R\$ 322.262,75 a indústria, representando uma redução de 40,89% no consumo total.

Em uma ótica estritamente econômica de investimento, os SFV no cenário 1 apresentam-se viáveis, geram lucro no decorrer de suas respectivas vidas úteis (30 anos) com um tempo de retorno entre 13 e 14 anos, classificando estes como investimentos de longo prazo conforme representado na Figura 15, relacionando o *Payback* para o sistema (considerando o investimento no ano de 2023 e o retorno do investimento com a correção dos valores conforme VP), em comparação com outros investimentos existentes no mercado, classifica-se como um investimento conservador.

Figura 15 - Payback dos investimentos (cenário 1)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

O Cenário 2 utiliza um SFV híbrido, tendo parte da geração de energia consumida no momento de geração e injetada na rede local de distribuição (*On-Grid*) e parte destinada ao carregamento do banco de baterias utilizado como sistema auxiliar (*Off-Grid*) e o excedente utilizado no momento de geração pela indústria, obteve-se os resultados contidos na Tabela 19.

Tabela 19 - Análise de viabilidade técnico-econômica (cenário 2)

Parâmetros	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Capital Inicial	R\$ 1.469.651,25	R\$ 4.607.336,50	R\$ 4.814.439,40
Taxa de Juros	6,01 %		
Valor Previsto Gerado (ano)	R\$209.279,64	R\$658.155,75	R\$667.829,36
Valor Presente VP (30 anos)	R\$2.877.619,13	R\$9.049.717,32	R\$9.182.730,58
Valor Presente Líquido VPL (30 anos)	R\$1.407.967,88	R\$4.442.380,82	R\$4.368.291,18
TIR do SFV	14,0%	14,0%	13,6%
Taxa de Lucratividade	1,95	1,96	1,90
Tempo de Retorno ( <i>Payback</i> )	9,40 anos	9,36 anos	9,74 anos

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Com uma rentabilidade média de 13,86%, comparado ao rendimento de uma caderneta de poupança (7,89% em 2022), obtêm-se acima de 75% de lucro.

Em uma análise nas indústrias tem-se:

**Indústria Metalúrgica** - Custo anual de energia elétrica R\$ 384.000,00 dos quais a demanda contratada representa R\$ 90.000,00 o consumo em EHFP em média R\$ 156.000,00 e o consumo em EHP representa R\$ 85.500,00.

Com a inserção de um SFV neste cenário, projeta-se a geração de 42.210,80 kWh/mês em EHFP e de 4.320 kWh/mês em EHP, produzindo anualmente de crédito a indústria R\$ 209.279,64 representando uma redução de 86,65% no consumo total.

**Indústria Alimentícia** - Custo anual de R\$ 1.256.000,00 sendo a demanda contratada R\$ 270.216,00 o consumo em EHFP R\$ 502.000,00 e o consumo em EHP R\$ 235.000,00.

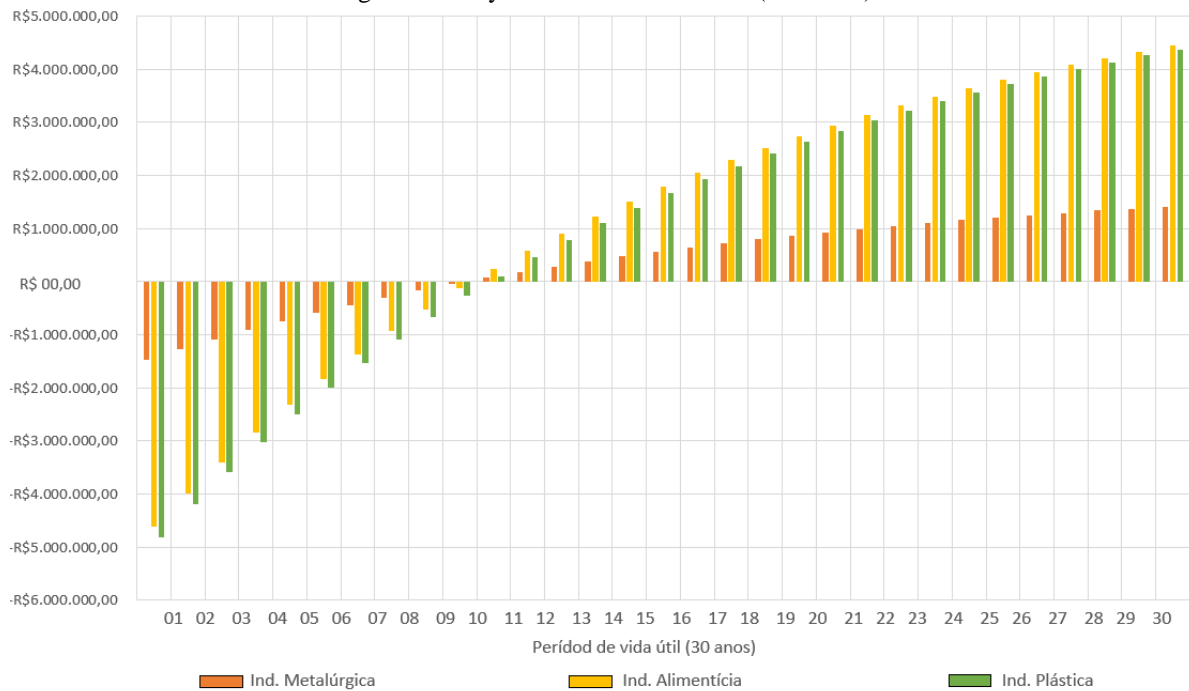
Implementando o SFV para esta indústria, projeta-se a geração de aproximadamente 133.168,41 kWh/mês em EHFP e 13.500 kWh/mês em EHP, a geração de energia elétrica via SFV produz anualmente de lucro a este consumidor de R\$ 658.155,75 representando uma redução de 89,30% no consumo total.

**Indústria Plástica** - Custo anual de R\$ 1.380.000,00 dos quais a demanda contratada representa R\$ 315.600,00 o consumo em EHFP R\$ 540.000,00 e o consumo em EHP R\$ 248.000,00.

Inserindo o SFV simulado, projeta-se a geração de 142.727,08 kWh/mês em EHFP e 12.150 kWh/mês em EHP, produzindo anualmente de lucro a indústria R\$ 667.829,36 representando uma redução de 84,74% no consumo total.

Em uma ótica estritamente econômica os SFV simulados são viáveis, gerando um lucro no decorrer de suas respectivas vidas úteis (30 anos) e produzindo créditos superiores a 50% do valor da fatura com um tempo de retorno entre 9 e 10 anos, classificando estes como investimentos de médio/longo prazo conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Payback dos investimentos (cenário 2)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Cenário 3 contempla SFV híbridos sendo parte da geração de energia destes sistemas consumida no momento de geração e injetada na rede local de distribuição (*On-Grid*) e parte destinada ao sistema auxiliar e utilizado no momento de geração pela indústria (*Off-Grid*) conforme Tabela 20.

Tabela 20 - Análise de viabilidade técnico-econômica (cenário 3)

Parâmetros	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Capital Inicial	R\$ 1.844.364,89	R\$ 5.879.923,00	R\$ 7.155.791,00
Taxa de Juros	6,01 %		
Valor Previsto Gerado (ano)	R\$ 307.218,60	R\$ 1.007.856,60	R\$ 1.032.836,70
Valor Presente VP (30 anos)	R\$ 4.224.291,09	R\$ 13.858.144,19	R\$ 14.201.623,44
Valor Presente Líquido VPL (30 anos)	R\$ 2.379.926,20	R\$ 7.978.221,19	R\$ 7.045.832,44
TIR do SFV	16,5%	17,0%	14,2%
Taxa de Lucratividade	2,29	2,35	1,98
Tempo de Retorno ( <i>Payback</i> )	7,67 anos	7,40 anos	9,23 anos

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Com rentabilidade média de 15,9%, comparada a caderneta de poupança o SFV tem o dobro de rentabilidade. Em uma análise nas indústrias obteve-se:

**Indústria Metalúrgica** - Custo anual de energia elétrica R\$ 384.000,00 dos quais a demanda contratada representa R\$ 90.000,00 o consumo em EHFP em média R\$ 156.000,00 e o consumo em EHP representa R\$ 85.500,00.

Com a inserção do SFV, projeta-se a geração de 55.542 kWh/mês em EHFP e 7.650 kWh/mês em EHP, produzindo anualmente de lucro para indústria R\$ 307.218,60 representando uma redução de 127% no consumo total e de 80% na fatura.

**Indústria Alimentícia** - Custo anual de R\$ 1.256.000,00 sendo a demanda contratada R\$ 270.216,00 o consumo em EHFP R\$ 502.000,00 e o consumo em EHP R\$ 235.000,00.

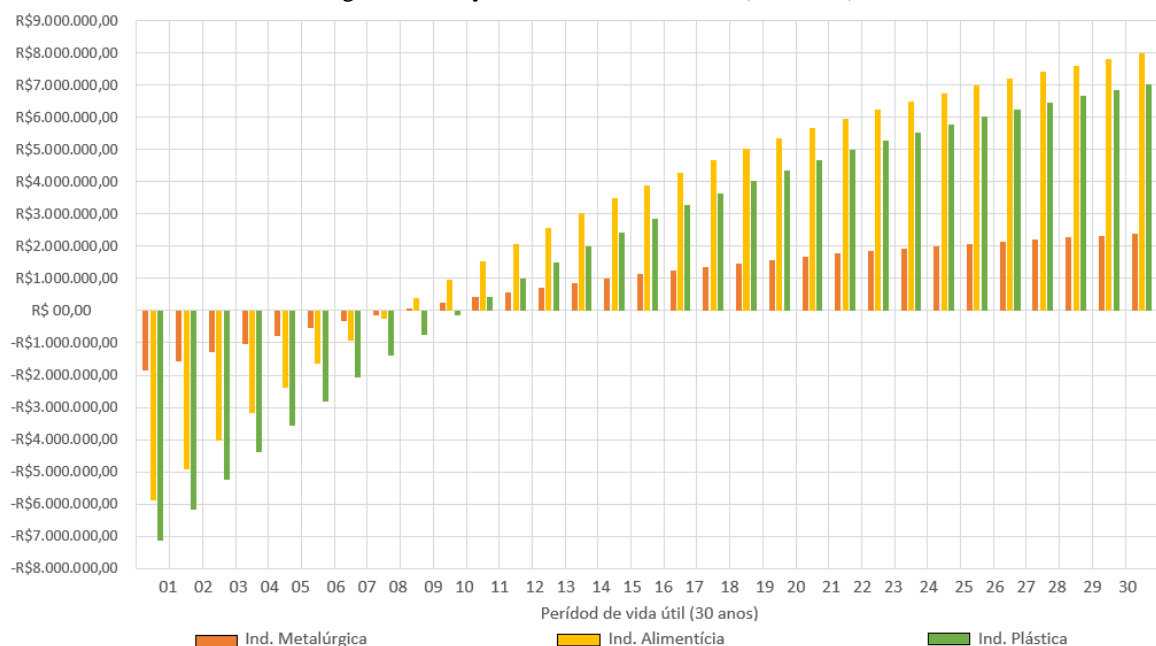
Implementando o SFV simulado, projeta-se a geração de aproximadamente 175.222 kWh/mês em EHFP e 26.520 kWh/mês em EHP obtendo anualmente de lucro ao consumidor R\$ 1.007.856,60 representando uma redução de 136% no consumo total e de 80,24% na fatura.

**Indústria Plástica** - Custo anual de R\$ 1.380.000,00 dos quais a demanda contratada representa R\$ 315.600,00 o consumo em EHFP R\$ 540.000,00 e o consumo em EHP R\$ 248.000,00.

Com o sistema SFV para esta indústria, projeta-se 187.799 kWh/mês em EHFP e 25.500 kWh/mês em EHP, a geração de energia elétrica produzirá anualmente de lucro ao consumidor R\$ 1.032.836,70, representando uma redução de 131% no consumo total e de 74,84% na fatura.

Os SFV apresentam-se economicamente viáveis, geram um lucro no decorrer de suas respectivas vidas úteis (30 anos) acima de 70% do valor total da fatura, com um tempo de retorno médio de 8,1 anos, classificando estes como investimentos de médio prazo conforme representado na Figura 17.

Figura 17 - Payback dos investimentos (cenário 3)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Cenário 4 utiliza de um sistema fotovoltaico híbrido aplicando a metodologia contemplando um SFV (*On-Grid*) dimensionado conforme a legislação vigente, atrelado ao limite da demanda contratada e um SFV (*Off-Grid*) dimensionado para suprir a demanda de energia elétrica em EHP de cada indústria, obteve-se os dados da Tabela 21.

Tabela 21 - Análise de viabilidade técnico-econômica (cenário 4)

Parâmetros	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
Capital Inicial	R\$ 1.135.303,00	R\$ 3.213.269,50	R\$ 3.632.759,00
Taxa de Juros	6,01 %		
Valor Previsto Gerado (ano)	R\$ 208.590,00	R\$ 576.816,00	R\$ 639.486,00
Valor Presente VP (30 anos)	R\$ 2.868.136,50	R\$ 7.931.286,36	R\$ 8.793.006,07
Valor Presente Líquido VPL (30 anos)	R\$ 1.732.833,50	R\$ 4.718.016,86	R\$ 5.160.247,07
TIR do SFV	18,3%	17,8%	17,5%
Taxa de Lucratividade	2,52	2,46	2,42
Tempo de Retorno ( <i>Payback</i> )	6,79 anos	6,99 anos	7,16 anos

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Com uma rentabilidade média de 17,86%, comparado a outros investimentos atuais presentes no mercado, enquadra-se como um investimento atrativo de boa rentabilidade superior em mais 100% de rentabilidade comparado ao rendimento da caderneta de poupança.

Analisando o cenário em cada indústria:

**Indústria Metalúrgica** - Atualmente com custo médio anual de R\$ 384.000,00 dos quais a demanda contratada representa R\$ 90.000,00 o consumo em EHFP R\$ 156.000,00 e o consumo em EHP R\$ 85.500,00.

Com a inserção do SFV proposto para esta indústria, projeta-se a geração de aproximadamente 36.700 kWh/mês em EHFP e de 5.400 kWh/mês em EHP, a geração de energia via SFV gera anualmente de lucro a indústria de R\$ 208.590,00 representando uma redução de 86,37% no consumo total.

**Indústria Alimentícia** - Custo médio anual de R\$ 1.256.000,00 dos quais a demanda contratada R\$ 270.216,00 o consumo em EHFP R\$ 502.800,00 e o consumo em EHP R\$ 235.000,00.

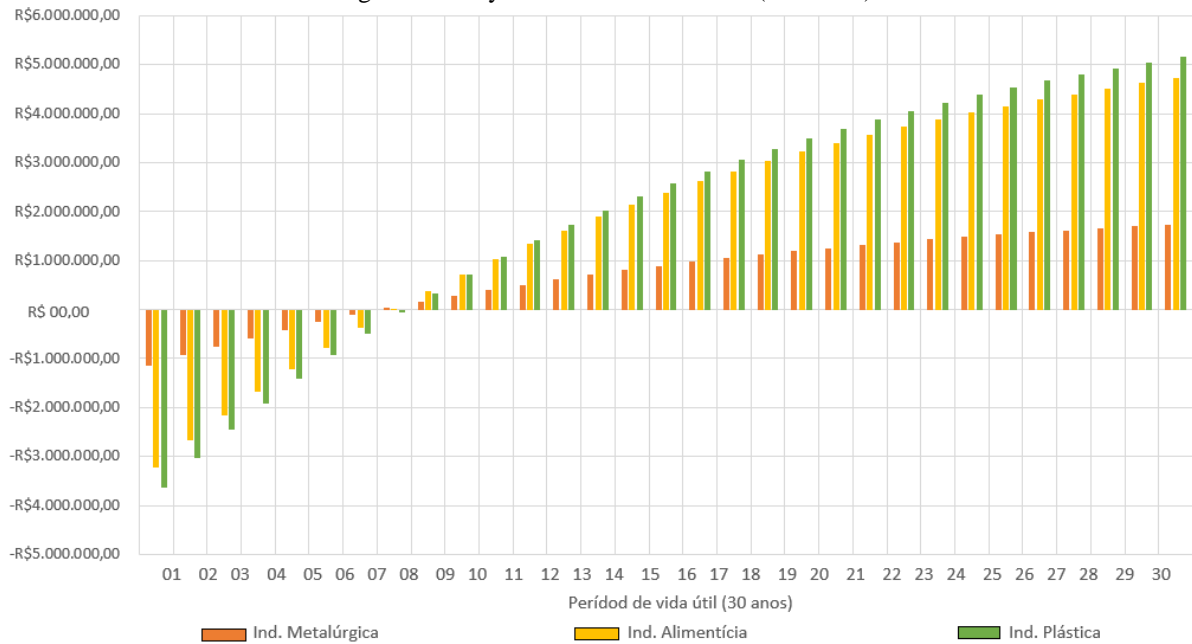
Implementando o SFV proposto, estima-se a geração de 108.520 kWh/mês em EHFP e de 13.500 kWh/mês em EHP, a geração via SFV produzira anualmente de lucro ao consumidor a quantia de R\$ 576.816,00 representando uma redução de 78,26% no consumo total.

**Indústria Plástica** - Tem custo médio total de R\$ 1.380.000,00 dos quais a demanda contratada R\$ 315.600,00 o consumo em EHFP R\$ 540.000,00 e o consumo em EHP R\$ 248.000,00.

Com a inserção de um SFV para esta indústria, projeta-se a geração de 124.860 kWh/mês em EHFP e de 17.040 kWh/mês em EHP, produzindo anualmente de lucro a esta indústria de R\$ 639.486,00 representando uma redução de 81,15% no consumo total.

Analisando com uma ótica estritamente econômica de investimento, os SFV apresentam-se viáveis gerando um lucro no decorrer de suas vidas úteis (30 anos), com um tempo de retorno médio de 6,98 anos classificando estes como investimentos de curto/médio prazo conforme representado na Figura 18, relacionando o *Payback* para o sistema (considerando o investimento no ano de 2023 e o retorno do investimento com a correção dos valores conforme VP).

Figura 18 - Payback dos investimentos (cenário 4)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

### 6.2.2 Análises Ambientais

Os impactos ambientais relacionados à geração de energia fotovoltaica referem-se aos efeitos que essa forma de geração pode ter tanto na sociedade quanto no meio ambiente.

Embora a energia fotovoltaica seja considerada uma fonte de energia renovável, ainda existem alguns aspectos que podem ter impactos ambientais, tanto positivos quanto negativos:

- **Redução das emissões de gases de efeito estufa:** A energia solar fotovoltaica é uma forma limpa e renovável de gerar eletricidade. Ao utilizar sistemas fotovoltaicos, reduz-se a necessidade de utilizar fontes de energia com base em combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo. Isso leva a uma diminuição significativa das emissões de gases poluentes.
- **Melhoria na qualidade do ar:** Ao substituir fontes de energia mais poluentes, a energia solar contribui para a melhoria da qualidade do ar, isso é importante em áreas urbanas, onde o gás carbônico é um problema significativo para a saúde pública.
- **Geração de empregos:** A indústria solar fotovoltaica tem um potencial significativo de geração de empregos, a instalação, manutenção e operação de sistemas fotovoltaicos exigem mão de obra especializada, o que pode patrocinar a economia local e oferecer oportunidades de trabalho para a população.
- **Desenvolvimento comunitário:** A energia solar descentralizada, por meio de sistemas fotovoltaicos instalados em telhados residenciais, edifícios comerciais ou em indústrias, pode promover o desenvolvimento comunitário e favorecer uma autonomia energética.

- Uso de recursos naturais: A fabricação de células solares fotovoltaicas requer o uso de recursos naturais, como minerais e metais. A capacidade desses recursos pode ter impactos ambientais negativos, como a degradação do solo, contaminação de lençóis freáticos e cursos d'água. No entanto é importante notar que a quantidade de recursos necessários para a produção de energia solar é significativamente menor quando comparado a geração de energia tradicional.
- Gestão de resíduos: Os painéis solares têm uma vida útil longa e ao final dela devem ser descartados corretamente, a gestão adequada dos resíduos de painéis solares é essencial para evitar a contaminação do meio ambiente. Atualmente, existem programas de reciclagem e regulamentações em vigor para lidar com essa questão, mas é importante garantir que esses sistemas estejam em vigor e sejam amplamente seguidos.

Em geral os impactos ambientais da geração de energia com sistemas fotovoltaicos são considerados positivos, uma vez que essa forma de energia é renovável e contribui para a redução de gases poluentes. No entanto, é importante avaliar e mitigar os impactos associados à fabricação, instalação, operação e descarte dos componentes dos sistemas fotovoltaicos para garantir uma transição energética sustentável.

### 6.2.3 Impactos dos 3Ds

Os "3Ds" na geração de energia renovável referem-se a três princípios fundamentais que podem orientar o desenvolvimento e a implementação de sistemas de energia renovável. Esses princípios são: Descarbonização, Descentralização e Digitalização.

Esses três conceitos estão interconectados e desempenham um papel fundamental na transformação do setor energético, visando uma transição mais sustentável e resiliente.

A descarbonização, descentralização e digitalização da energia renovável são estratégias-chave para enfrentar os desafios das mudanças climáticas, promover a independência energética e contribuir para um sistema energético mais eficiente e limpo.

**Descarbonização:** Refere-se à redução das emissões de carbono associadas à produção e uso de energia. O objetivo é substituir gradualmente as fontes de energia que emitem grandes quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases de efeito estufa por fontes de energia limpa e renovável. A descarbonização envolve a transição de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, para fontes de energia com baixas ou nulas emissões de carbono, como a solar, eólica, hidrelétrica e outras tecnologias limpas.

Com a utilização de SFV é possível calcular a quantidade de dióxido de carbono não emitido em comparação com os sistemas convencionais de geração de energia.

Em âmbito mundial foi emitido em 2021 um total de aproximadamente 36,4 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, conforme dados do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG). O Brasil produziu 2,42 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, estando entre os 05 países que mais emitiram poluentes, atrás de países como China (11,1 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>) e Estados Unidos (5,1 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>).

Os parâmetros utilizados para calcular os poluentes emitidos foram obtidos no Sistema Interligado Nacional (SIN) que aponta a emissão de 0,090 kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera a cada 1 kWh produzido.

De acordo com Pacto dos Prefeitos para o Clima e Energia da Europa PP, o fator de emissão de CO<sub>2</sub> de um SFV a cada 1 kWh gerado é emitido entre 0,020 e 0,050 kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera, considerando uma média de 0,035 kg.CO<sub>2</sub> para cada 1 kWh, o qual será aplicado nos cálculos.

Com as respectivas produções de energia simuladas pode-se calcular a quantidade emitida via geração tradicional e com a inserção de SFV nos cenários simulados conforme Tabela 22.

Tabela 22 - Emissão de CO<sub>2</sub> da geração de energia elétrica

Parâmetros	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
<b>Cenário 1</b>			
Emissão CO <sub>2</sub> SIN	31,19 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	98,40 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	105,46 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Emissão CO <sub>2</sub> SFV	12,13 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	38,26 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	41,01 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Redução de CO <sub>2</sub>	19,06 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	62,14 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	64,45 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
<b>Cenário 2</b>			
Emissão CO <sub>2</sub> SIN	45,58 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	143,82 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	154,14 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Emissão CO <sub>2</sub> SFV	17,72 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	55,93 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	59,94 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Redução de CO <sub>2</sub>	27,86 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	87,89 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	94,20 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
<b>Cenário 3</b>			
Emissão CO <sub>2</sub> SIN	59,98 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	189,23 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	202,82 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Emissão CO <sub>2</sub> SFV	23,32 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	73,59 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	78,87 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Redução de CO <sub>2</sub>	36,66 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	115,64 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	123,95 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
<b>Cenário 4</b>			
Emissão CO <sub>2</sub> SIN	39,63 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	117,20 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	134,84 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Emissão CO <sub>2</sub> SFV	15,41 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	45,57 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	52,44 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Redução de CO <sub>2</sub>	24,22 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	71,63 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	82,40 Ton.CO <sub>2</sub> /ano

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Ao evidenciar os benefícios da adoção dos SFV para a geração de energia, nota-se uma vantagem significativa em comparação com os sistemas tradicionais, a emissão de CO<sub>2</sub> é reduzida em aproximadamente 61,11% o que demonstra um impacto ambiental extremamente reduzido.

Com uma maior adoção da Energia Solar Fotovoltaica pelas indústrias que representam sistemas de grande porte a redução da emissão de carbono se torna mais atrativa. Esta adoção é vantajosa tanto para as indústrias, que podem reduzir seus custos e melhorar sua sustentabilidade, quanto para o país de modo geral que se beneficia da venda de créditos de carbono e da redução de poluentes emitidos na geração de energia.

Para melhor entendimento da quantificação de CO<sub>2</sub>, utilizou-se o exemplo de um carro como um comparativo prático para quantificar a emissão de CO<sub>2</sub> sendo este um veículo popular com motor de 1.000 cilindradas que se desloca em média 1.800 quilômetros/mês e consome aproximadamente 164 litros de gasolina para este deslocamento mensal, de acordo com a Figura 19.

Figura 19: Especificação de veículo

Parâmetros:	Valores:
Motorização	1.000 Cilindradas
Consumo Médio (gasolina)	10,97 km/l (cidade)
Média de Deslocamento (mês)	1.800 km
Consumo aprox.(mês)	164 litros (gasolina)
Emissão de CO <sub>2</sub> (mês)	374 kg.CO <sub>2</sub>

Fonte: Adaptado de Montadora Fiat, 2023.

Conforme o Laboratório de Silvicultura Tropical (LASTROP/USP) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, cada litro de gasolina comum contem no máximo 82% de gasolina e no mínimo 18% de etanol.

Para calcular a emissão de CO<sub>2</sub> deste veículo deve-se realizar uma relação entre: A densidade da gasolina (0,75kg/litro) e o fator de transformação da gasolina em CO<sub>2</sub> que é 3,7, de acordo com a equação (9).

$$Emiss\tilde{a}o\ CO_2\ do\ ve\acute{i}culo = Lgc \times Pgc \times Dg \times Ftg \quad (9)$$

Onde:

*Lgc* - Litros de gasolina consumida.

*Pgc* - Percentual máximo de gasolina contido no combustível (gasolina comum).

*Dg* - Densidade da gasolina.

*Ftg* - Fator de transformação da gasolina em CO<sub>2</sub>.

Utilizando o veículo como exemplo, tem-se que este emite 374 kg.CO<sub>2</sub>/mês, aproximadamente 4,48 Ton. CO<sub>2</sub>/ano. Traçando uma relação entre as respectivas reduções de emissão de CO<sub>2</sub> com os SFV e a equivalência da quantidade de veículos necessários para emitir a mesma quantidade de CO<sub>2</sub> reduzida por cada indústria que insira a geração de energia via SFV, obteve-se a Tabela 23.

Tabela 23 - Relação entre redução de emissão de CO<sub>2</sub> com SFV e Veículos

Parâmetros	Ind. Metalúrgica	Ind. Alimentícia	Ind. Plástica
<b>Cenário 1</b>			
Redução de CO <sub>2</sub>	19,06 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	62,14 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	64,45 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Nº de Veículos	4,5 un.	13,87 un.	14,38 un.
<b>Cenário 2</b>			
Redução de CO <sub>2</sub>	27,86 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	87,89 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	94,20 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Nº de Veículos	6,21 un.	19,61 un.	21,08 un.
<b>Cenário 3</b>			
Redução de CO <sub>2</sub>	36,66 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	115,64 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	123,95 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Nº de Veículos	8,18 un.	25,81 un.	27,66 un.
<b>Cenário 4</b>			
Redução de CO <sub>2</sub>	24,22 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	71,63 Ton.CO <sub>2</sub> /ano	82,40 Ton.CO <sub>2</sub> /ano
Nº de Veículos	5,40 un.	15,98 un.	18,39 un.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Demonstrado neste comparativo que são expressivas as reduções de emissão de gases poluentes na adoção de SFV, sendo os veículos junto com as indústrias os principais emissores de poluentes na atmosfera. A adoção por parte das indústrias a esta tecnologia é parte de uma mudança necessária para o desenvolvimento e avanço destes sistemas no país e de redução da emissão de poluentes no Brasil perante as outras nações do mundo.

Prosseguindo com as definições e a importância dos 3Ds:

**Descentralização:** Em resumo a descentralização da geração de energia via fotovoltaica oferece uma série de vantagens, incluindo autonomia energética, redução de perdas de energia nas linhas de transmissão, maior resiliência do sistema elétrico, promoção de energias renováveis e estímulo à economia local.

Esses benefícios contribuem para uma transição do sistema energético atual para um mais sustentável, resiliente e eficiente podendo ser relacionados:

- **Redução das perdas de transmissão:** Nas redes elétricas tradicionais, a eletricidade é gerada em grandes usinas distantes dos centros de consumo e transmitida por longas distâncias até chegar aos consumidores. Esse processo resulta em perdas de energia durante a transmissão. Com a geração descentralizada de energia fotovoltaica a eletricidade é produzida localmente, diminuindo significativamente as perdas de transmissão.
- **Redução das emissões de gases de efeito estufa:** A energia fotovoltaica é uma fonte de energia renovável e limpa, pois não emite poluentes ou gases de efeito estufa durante a geração. Ao descentralizar a geração de energia fotovoltaica, mais residências e empresas podem adotar essa tecnologia, reduzindo as emissões de carbono e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.
- **Estímulo à economia local:** A instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos descentralizados criam oportunidades de emprego e estimulam a economia local. Empresas especializadas em energia solar, instaladores, técnicos e outros profissionais são necessários para implementar e manter esses sistemas, gerando empregos e impulsionando a economia regional.

Quanto maior o número de indústrias adotando a tecnologia dos SFV, mais a matriz energética nacional torna-se flexível e descentralizada, tendo fontes geradoras de energia próximas aos respectivos consumidores, proporcionando um menor uso de grandes linhas de transmissão e investimentos na expansão de fontes geradoras existentes ou novas (que mesmo sustentáveis como hidrelétricas, causam impactos ambientais).

**Digitalização:** A digitalização do sistema elétrico fotovoltaico refere-se à integração de tecnologias digitais e de comunicação para melhorar o desempenho, a eficiência e a inteligência dos sistemas fotovoltaicos. Essa digitalização envolve a coleta de dados em tempo real, a análise e o gerenciamento desses dados, além da automação e da comunicação entre os diferentes

componentes do sistema.

Trazendo benefícios significativos, como o monitoramento em tempo real, a otimização da geração e do consumo, a integração de sistemas de armazenamento, a manutenção preditiva e a integração com a rede elétrica local. Essa digitalização aumenta a eficiência, a confiabilidade e a inteligência dos sistemas fotovoltaicos, contribuindo para uma maior utilização de energia renovável de forma mais eficiente e sustentável.

- **Monitoramento em tempo real:** A digitalização permite o monitoramento contínuo e em tempo real dos sistemas fotovoltaicos. Sensores e dispositivos de medição inteligentes coletam dados sobre a geração de energia, o consumo, a tensão, a corrente, fator de potência, harmônicas. Essas informações são transmitidas para um sistema centralizado que permite acompanhar o desempenho do sistema, identificar possíveis problemas e tomar medidas corretivas de forma proativa.
- **Otimização da geração e do consumo:** A análise dos dados coletados por meio da digitalização permite otimizar a geração e o consumo de energia fotovoltaica. Algoritmos e sistemas de inteligência artificial podem ser aplicados para prever a produção de energia solar com base nas condições climáticas, ajustar a operação dos painéis solares para maximizar a eficiência e otimizar o consumo de energia nos momentos de maior disponibilidade de radiação solar. Isso resulta em um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e na redução dos custos de eletricidade.
- **Integração de sistemas de armazenamento:** A digitalização facilita a integração de sistemas de armazenamento de energia, como baterias, aos sistemas fotovoltaicos. Essas baterias podem armazenar o excesso de energia gerada durante o dia para uso posterior durante a noite ou em momentos de menor geração solar. A digitalização permite o controle e o gerenciamento inteligente do fluxo de energia entre os painéis solares, o sistema de armazenamento e a rede elétrica, garantindo uma utilização eficiente da energia.
- **Manutenção preditiva:** A digitalização permite o monitoramento contínuo do desempenho dos componentes do sistema fotovoltaico, como inversores, cabos e painéis solares. Com base nos dados coletados, é possível implementar sistemas de manutenção preditiva, identificando possíveis falhas ou degradação do desempenho antes que causem interrupções ou danos significativos. Isso resulta em maior confiabilidade e disponibilidade do sistema.
- **Integração com a rede elétrica local:** A digitalização também facilita a integração dos sistemas fotovoltaicos à rede elétrica. Por meio da comunicação bidirecional, os sistemas fotovoltaicos podem interagir com a rede, permitindo a exportação de energia excedente para a rede quando a geração solar é maior do que o consumo e a importação de energia quando a geração solar é insuficiente. Isso permite uma maior flexibilidade e participação ativa dos sistemas fotovoltaicos na operação da rede.

### 6.2.4 Avaliação entre Cenários e Custo-benefício

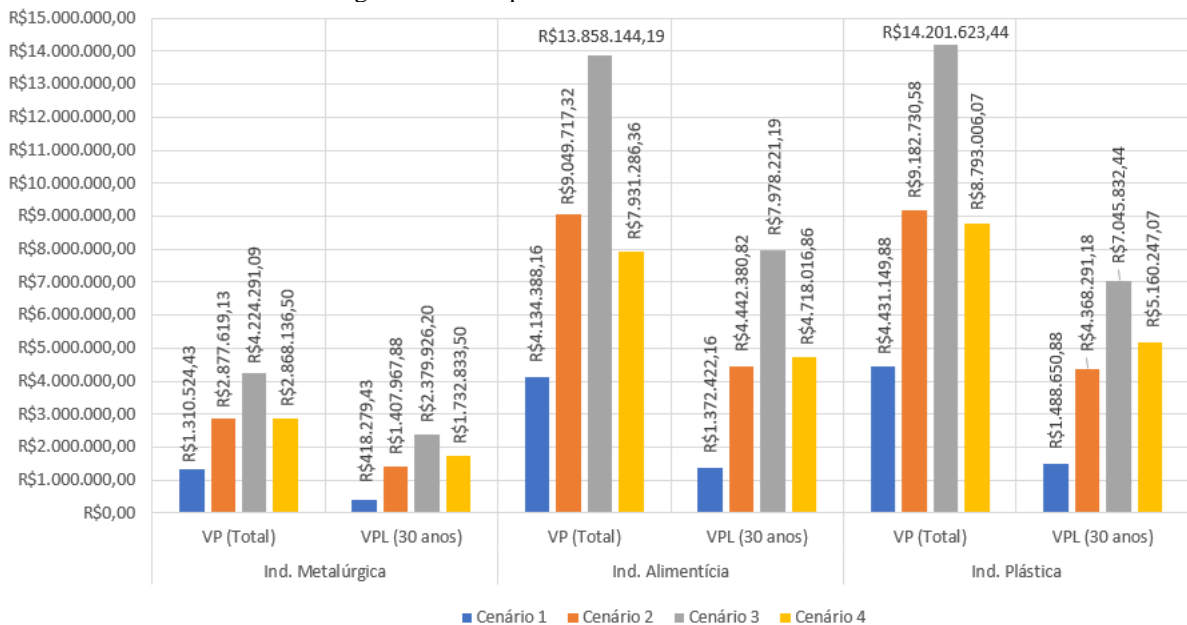
Conforme as análises técnico-econômicas e dos respectivos impactos ambientais entre todos os cenários de inserção de SFV para consumidores industriais.

Chegou-se a análise de acordo com as simulações, a modalidades de sistema com o melhor aproveitamento da energia gerada é o Sistema Fotovoltaico Híbrido que mescla um sistema *On-Grid* e *Off-Grid* na mesma planta fotovoltaica.

Dentre os cenários simulados que utilizaram sistemas híbridos, o cenário 4 apresentou o melhor custo-benefício. Este se destacou em vários aspectos, incluindo a capacidade de suprir as demandas energéticas das indústrias, a redução do consumo mensal e anual e os investimentos iniciais necessários. Além disso, o cenário 4 apresentou os melhores resultados em termos do valor total gerado pelo sistema ao longo do tempo (VP), o lucro gerado durante o período de vida útil do sistema (VPL) e o tempo de retorno do investimento *PayBack*.

Na Figura 20 observa-se os parâmetros dos valores totais gerados pelos SFV ao longo de toda a vida útil dos sistemas (VP) e o valor de lucro líquido gerado neste período (VPL) já descontado o capital inicial aportado.

Figura 20 - Comparativo de VP e VPL nos cenários



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Os resultados do primeiro cenário apresentam um valor total gerado baixo (comparado aos demais cenários) e um lucro líquido igualmente baixo, tornando de baixa atratividade como investimento.

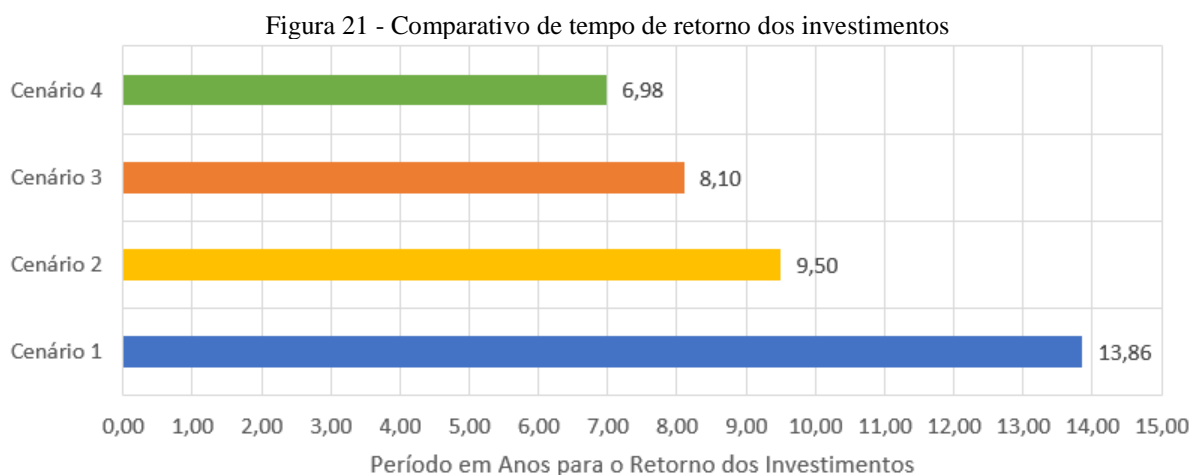
No segundo cenário, já apresenta uma relação entre valor total gerado e lucro líquido mais equalizado que no cenário 1, evidenciando os benefícios da utilização de um sistema com maior flexibilidade (Sistema Híbrido).

Para o terceiro cenário, pode-se observar que sistemas auxiliares de grande porte, afim de suprir as demandas totais não são economicamente recomendados para suprir totalmente as demandas, apesar de ainda produzir lucros líquidos positivos quando subtraídos os capitais iniciais, estes diferem muito dos valores totais gerados em comparação aos demais cenários.

O quarto cenário apresenta-se como o ideal nestas simulações, tendo uma geração total expressivamente satisfatória com relação aos capitais iniciais aportados, e lucros líquidos no período de vida útil igual e/ou superior aos demais cenários.

Analisando os cenários em relação ao tempo de retorno do investimento, similar as avaliações anteriores o quarto cenário se destaca com um *PayBack* menor que o restante das simulações, comparado em específico com o primeiro cenário, este tempo teve uma redução de mais de 90%.

Com base nos dados apresentados na Figura 21, o quarto cenário surge como uma opção extremamente atrativa para um investimento de médio prazo. Neste a previsão é de um retorno do investimento em uma média de 6,98 anos, tornando-o um investimento atrativo e rentável.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

## 7. CONCLUSÕES

A geração de energia advinda de fontes renováveis é uma tendência permanente na sociedade, tendo como consequência um número cada vez maior de consumidores aderindo aos SFV.

Conforme análises, posto a questão da geração de energia via SFV englobada na GDR, os benefícios da utilização de energia gerada por fontes renováveis envolvem tanto a geração e consumo próprio, obtendo autonomia de produção energética, reduções significativa de emissão de gases poluentes e contribuindo na redução do efeito estufa (descarbonização), quanto benefícios para as concessionárias, distribuidoras de energia e o país de modo geral, com aumento na geração de energia descentralizadas e contribuindo para a disseminação da GDR.

Observa-se nas simulações uma redução nos consumos de energia via SIN em todos os cenários, chegando a 86,37% de redução do consumo no cenário de melhor custo-benefício (cenário 4), assim como reduções expressivas de energia em hora fora ponta e em hora ponta.

Porém para consumidores industriais que necessitam de uma alta demanda de energia elétrica os custos para esta adesão são elevados e o prazo de retorno dos capitais investidos apresentou-se no melhor cenário de 6,98 anos (cenário 4 com melhor eficiência energética e custo-benefício) chegando a até 14 anos em outros cenários, quanto que para consumidores residenciais este retorno é obtido em aproximadamente 4 anos, resguardadas as devidas proporções.

Para a disseminação desta tecnologia a consumidores industriais, conforme resultados obtidos existe a necessidade de desenvolver alguns pontos específicos:

Os custos dos investimentos iniciais para implementação do SFV de grande porte, por serem em sua maioria equipamentos importados, há necessidade da compra em moeda estrangeira (dólar) acarretando a variação do câmbio na data da compra e os impostos de importação de equipamentos.

O tempo de retorno do investimento inicial com o desenvolvimento e os avanços da tecnologia tendem a ser mais curtos, porém até o momento (ano de 2023) este é um dos principais desafios para maior adoção deste modelo de geração de energia renovável a consumidores industriais. Esses fatores acentuam a necessidade de fomento e pesquisas na área de desenvolvimento de materiais para produção local.

Há necessidade de incentivos governamentais que possibilitem a estes consumidores benefícios ao utilizarem energia advinda de fontes renováveis, pois não só os prosumidores são beneficiado mais as distribuidoras, que passam a ter cargas energéticas que antes eram destinadas a estes consumidores podendo ser realocadas para outros locais da rede e outros consumidores, possibilitando um maior atendimento com a mesma demanda e infraestrutura.

O Brasil como um todo é beneficiado em uma visão macro com a utilização de SFV, com uma maior geração de energia descentralizada com GDR, obtendo pontos de geração mais próximas aos grandes centros aliviando as linhas de transmissão primárias, gradativamente utilizando menos sistemas de geração de energia como nuclear e derivados de fontes como carvão e diesel, contribuindo para a redução de gases poluentes e para uma maior resiliência do sistema elétrico nacional.

Analisando sob uma perspectiva estritamente financeira, constatou-se que os Sistemas Fotovoltaicos simulados apresentaram resultados economicamente viáveis. Estes sistemas obtiveram um prazo de retorno do investimento situando-se entre 6 e 14 anos, um período que pode ser considerado de médio a longo prazo. Além da redução significativa no consumo de energia elétrica.

Ações e sistemas atrelados a SFV para que estes tornem-se tecnicamente e economicamente mais eficientes e atrativos para consumidores industriais a um prazo mais curto que o obtido no cenário 1, apresentou-se uma solução extremamente viável.

Com uma reformulação nas linhas de produção, utilização de equipamentos de grande consumo de energia em períodos de maior geração do SFV e fora do EHP, a possibilidade de segmentação da produção para inserção de plantas de SFV híbridas com sistemas de gerenciamento de energia e banco de baterias (tornando o sistema mais digitalizado) com a finalidade da redução dos picos de consumo incidentes na demanda contratada e minimização de intermitências, possibilitou uma maior rentabilidade a médio prazo e uma redução de consumo mais acentuada em EHFP e até mesmo em EHP, conforme apresentado no cenário 4, tornando mais atrativa a inserção de SFV para consumidores industriais.

Conclui-se que para maior atratividade a SFV de grande porte é necessário um fomento não só nas áreas de pesquisa, desenvolvimento e produção de novos materiais e tecnologias, mas também na disseminação da cultura de utilização de novas fontes de energia renováveis, seus impactos ambientais e benefícios em sua utilização.

A capacitação e qualificação de profissionais para o manejo desses equipamentos apresenta-se essencial para o desenvolvimento desta tecnologia, tanto na fase de projeto quanto na execução. No estágio de projeto o conhecimento adequado é imprescindível para a indicação da planta mais adequada em cada cenário apresentado pelo cliente. Da mesma forma, na execução dos projetos, incluindo instalações e manutenções preditivas, preventivas e corretivas a capacitação e qualificação são indispensáveis para garantir a eficácia e eficiência dos sistemas implementados.

São grandes os desafios para o futuro da energia renovável no país, que envolvem órgãos federais, estaduais e municipais para uma maior adesão de sistemas fotovoltaicos (de pequeno, médio e grande porte).

Por parte das indústrias há necessidade de maior interesse e desapego aos métodos tradicionais, e para tal informativos, campanhas, benefícios e atrativos ofertados pelas distribuidoras e agências reguladoras são necessários.

Estabelecer uma nova cultura de utilização de energia elétrica com maior eficiência e advinda de fontes renováveis deve ser uma prioridade para um futuro sustentável.

O Brasil tem infraestrutura, tecnologia, investimentos e campo para esta implementação, com um maior foco na área de sistemas fotovoltaicos, investimentos e fomento em pesquisas e na formação acadêmica voltada a esta área em poucos anos o país tem um potencial de se tornar uma referência em energia fotovoltaica e eficiência energética no mundo.

## REFERÊNCIAS

- ALAN PRITCHARD, Statistical Bibliography Or Bibliometrics?. Journal of Documentation, pp.348-349, 1969.
- AL-GHUSSAIN, L. Optimization of hybrid PV-wind system: Case study Al-Tafilah cement factory, Jordan. Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 30, p. 24-36. 2018.
- \_\_\_\_\_. Sizing methodology of a PV/wind hybrid system: Case study in cyprus. Environmental Progress and Sustainable Energy, vol.38, ed.03, n° 1305. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA-ANEEL. Resolução Normativa 482. Brasília, Brasil 2012.
- \_\_\_\_\_. Resolução Normativa 687. Brasília, Brasil 2015
- \_\_\_\_\_. Resolução Normativa 714. Brasília, Brasil 2016
- \_\_\_\_\_. Resolução Normativa 783. Brasília, Brasil 2017
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA-ABRACEEL. Boletim Mensal (julho). Brasília, Brasil. 2022.
- AYADI, O. AL-ASSAD R. AL ASFAR J. Techno-economic assessment of a grid connected photovoltaic system for the University of Jordan. Sustainable Cities and Society, vol.39, p.93-98. 2018
- BANKS M. G. An extension of the Hirsch index: Indexing scientific topics and compounds. Scientometrics, vol.69, no.1, pp.161–168, 2006.
- BITTENCOURT F.T. Simulação computacional de viabilidade de sistemas híbridos de minigeração distribuída de energia elétrica biodiesel/diesel/solar conectados a rede elétrica para consumidores do grupo A: Estudo de caso.** 2018 (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Tocantins - UFT. Palmas/TO.
- BRASIL. Decreto N° 5163. Regulamenta a comercialização de energia elétrica. Brasília, Brasil. 2004.
- BRASIL. Lei N° 14.300. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Brasília, Brasil. 2022.
- CALISE, F. A novel paradigm for a sustainable mobility based on electric vehicles, photovoltaic panels and electric energy storage systems: Case studies for Naples and Salerno (Italy). Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.111, pp.97-114, 2019.
- CENTRO DE CIÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE-CCST (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE). Atlas Brasileiro de Energia Solar. Brasília, Brasil. 2020.
- CIARRETA A. ESPINOSA M.P. PIZARRO-IRIZAR C. Is green energy expensive? Empirical evidence from the Spanish electricity market. Energy Policy, vol.69, Pag. 205-215. 2014.

CHU L. E. TAKEUCHI K. The non-operating solar projects: Examining the impact of the feed-in tariff amendment in Japan. *Energy Policy*, vol. 160, art. 112712, 2022.

DHUNDHARA S. VERMA Y.P. WILLIAMS, A. Techno-economic analysis of the lithium-ion and lead-acid battery in microgrid systems. *Energy Conversion and Management*, vol.177, pp.122-142, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-EPE. Balanço Energético Nacional (BEN). Brasília, Brasil 2022a.

\_\_\_\_\_. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Brasília, Brasil 2022b.

FRANCISQUINI A. A. **Estimação de curvas de carga em pontos de consumo e em transformadores de distribuição.** 2006 (Dissertação de Mestrado). Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista - Ilha Solteira/S.P.

GARCÍA V.C. GARCÍA S.J.M. Bibliometric indicators to evaluate scientific activity. *Elsevier-Radiologia*, vol.63, pp.228-235, 2021.

GITMAN, L. J. Princípios de administração financeira. 10. ed. S.P : Pearson Addison Wesley.2004.

GUEDES V. L. S. BORSCHIVER S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. Encontro Nacional de Ciências da Informação, vol.6, p. 18. Bahia, Brasil. 2005.

HISCH A. PARAG Y. GUERRERO J. Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.90, pp.402-411, 2018.

HIRSCH J. E. An index to quantify an individual's scientific. *Proc Nat Acad Sci USA*, vol.102, no.46, 2005.

KASSAI, J.R. Uma abordagem matemática e contábil do retorno do investimento. *Caderno de estudos em administração*, São Paulo, FIECAFI, vol.14, julho/dezembro 1996.

KIPPER F.D. **Análise da dependência dos coeficientes térmicos de módulos fotovoltaicos com a irradiância solar.** 2021 (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre/RS.

KUSAKANA K. Impact of different South African demand sectors on grid-connected PV systems optimal energy dispatch under time of use tariff. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol.27, p.150 - 158. 2018.

\_\_\_\_\_. Optimal Energy Management of a Double-Tracking Grid-Connected Photovoltaic with Battery System for a Microbrewery. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications*, vol.10, p.133 - 138. 2021.

LIMA, M.S.O. **O gás natural como alternativa energética para a indústria têxtil: vantagem competitiva ou estratégia de sobrevivência?.** 2007 (Dissertação de Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos/S.P.

MADSUHA A.F. SETIAWAN E.A, WIBOWO N. HABIBURRAHMAN M. NURCAHYO R. SUMAEDI S. Mapping 30 years of sustainability of solar energy research in developing countries: Indonesia case. Sustainability - MDPI, vol.13, n°11415, 2021.

MAHMOUD L. YUN-LI G. Energy storage system design for large-scale solar PV in Malaysia: techno-economic analysis. Renewables: Wind, Water and Solar, vol.8, art.3. 2021.

MARCOS A. Análise Técnica: Essência e Estratégias Avançadas. Edit.Novatec, 1º edição. 2009.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA-MCT. Fator Médio Mensal e Anual da emissão de CO<sub>2</sub> / Wh. Brasília, Brasil. 2019.

MUHAMMAD-SUKKI F. ABU-BAKAR S. H. MUNIR A. B. Feed-in tariff for solar photovoltaic: The rise of japan. Renewable Energy, vol.68, p.636 - 643. 2014.

MUHAMMAD-SUKKI F. RAMIREZ-INIGUEZ R. Revised feed-in tariff for solar photovoltaic in the United Kingdom: A cloudy future ahead?. Energy Policy, vol.52, p.832 - 838. 2013.

MUHAMMAD-SUKKI F. MUNIR M. YASIN S. H. MCMEEKIN S. G. STEWART B. G. Progress of feed-in tariff in Malaysia: A year after. Energy Policy, vol.67, p.618 - 625. 2014.

NDWALI P. K; KUSAKANA K; NUMBI P.B; LIU S; SUN W; CAI J. A review of multistage solar driven photovoltaic thermal components with cascade energy storage system for tri-generation. Energy Reports. 2022.

OULD AMROUCHE S; REKIOUA D; REKIOUA T; E BACHA S. “Overview of energy storage in renewable energy systems”, International Journal of Hydrogen Energy, vol.41, pp.20914-20927, 2016.

PACTO DOS PREFEITOS PARA O CLIMA E ENERGIA DA EUROPA PP. Anexo técnico às instruções do modelo de PAES: Fatores de emissão (tCO<sub>2</sub>/MWh). 2018.

PINEHP J.T E GALDINO M.A., “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, vol.1, pp. 255-264. 2014.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA -PROCEL. Guia Técnico Gestão Energética, vol.1, pp. 51-54. 2005.

SALLES M.G.S. BONATTO B.D. RIBEIRO P. Análise Econômica-Tarifária da instalação de sistema de energia solar fotovoltaica com ou sem armazenamento no campus da UNIFEI-Itajubá. Conferência Brasileira Sobre Qualidade da Energia Elétrica- CBQEE, 2021.

STEFANO G. D. FABIANO M. P. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. 2018.

TAYLAN O. AL-GHUSSAIN L. SAMU R. FAHRIOGLU M. Sizing renewable energy systems with energy storage systems in microgrids for maximum cost-efficient utilization of renewable energy resources. Sustainable Cities and Society, vol.55, art. 102059. 2020.

TAYLAN O. BAKER D. AL-GHUSSAIN L. An investigation of optimum PV and wind energy system capacities for alternate short and long-term energy storage sizing methodologies. *International Journal of Energy Research*, vol.43, p.204 - 218. 2019.

TAYLAN O. SAMU R. FAHRIOGLU M. Feasibility study of a grid connected hybrid PV-wind power plant in Gwanda, Zimbabwe. 13th HONET-ICT International Symposium on Smart MicroGrids for Sustainable Energy Sources Enabled by Photonics and IoT Sensors, art. 7753434, p. 122 -126. 2016.

WANG H. ZHENG S. ZHANG, Y. ZHANG K. Analysis of the policy effects of downstream Feed-In Tariff on China's solar photovoltaic industry. *Energy Policy*. Vol.95, pag. 479-488. 2016.

ZHANG Y. ZHAO X. ZUO Y. REN L. WANG L. The development of the renewable energy power industry under feed-in tariff and renewable portfolio standard: A case study of China's photovoltaic power industry. *Sustainability (Switzerland)*, vol.09, art.532. 2017.