



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL

EIXO DE TECNOLOGIA

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Débora Justino dos Santos

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA  
FOTOVOLTAICO EM UMA FÁBRICA DE PRODUTOS DE LIMPEZA EM  
MACEIÓ-AL**

DELMIRO GOUVEIA

2023



Débora Justino dos Santos

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA  
FOTOVOLTAICO EM UMA FÁBRICA DE PRODUTOS DE LIMPEZA EM  
MACEIÓ-AL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Msc. Camyla Ferreira Moreno

DELMIRO GOUVEIA

2023

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus Sertão**  
**Sede Delmiro Gouveia**

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

S237a Santos, Débora Justino dos

Análise da viabilidade econômica da implementação de sistema fotovoltaico em uma fábrica de produtos de limpeza em Maceió – AL / Débora Justino dos Santos. – 2023.  
58 f. : il.

Orientação: Camyla Ferreira Moreno.  
Monografia (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia de Produção. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Engenharia de Produção. 2. Energia solar fotovoltaica. 3. Viabilidade econômica. 4. Simulação Monte Carlo. 5. Indicadores financeiros. I. Moreno, Camyla Ferreira. II. Título.

CDU: 658.511.3

## Folha de Aprovação

DÉBORA JUSTINO DOS SANTOS

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA FÁBRICA DE PRODUTOS DE LIMPEZA EM MACEIÓ-AL

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão e aprovado em 29 de maio de 2023.



Documento assinado digitalmente  
CAMYLA FERREIRA MORENO  
Data: 29/05/2023 21:26:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Orientadora MsC. Camyla Ferreira Moreno – ITA/UNIFESP

### Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente  
CAMYLA FERREIRA MORENO  
Data: 29/05/2023 21:26:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Orientadora MsC. Camyla Ferreira Moreno – ITA/UNIFESP



Documento assinado digitalmente  
EVERTON DE SOUZA COELHO  
Data: 29/05/2023 21:56:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Msc. Everton de Souza Coelho, UFAL – Campus do Sertão



Documento assinado digitalmente  
ROBERIO JOSE ROGERIO DOS SANTOS  
Data: 30/05/2023 10:14:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Msc. Robério José Rogério dos Santos, UFAL – Campus Sertão

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo presente da vida e da saúde, pelos quais permitem que eu corra atrás dos meus objetivos. Gostaria de agradecer imensamente a cidade de Delmiro Gouveia, que por cinco anos me acolheu como uma filha da terra e me presenteou com experiências e amigos que eu vou levar para vida.

Agradeço à Universidade Federal de Alagoas, campus Sertão, que foi a minha segunda casa durante a graduação e que me apresentou experiências extracurriculares, como a minha participação no Centro acadêmico de Engenharia de Produção que me permitiu de certa forma ser útil para a vida acadêmica dos meus colegas, a minha participação na atlética de engenharias, que trouxe o esporte como válvula de escape para a rotina intensa do curso, além é claro, das viagens para outras Universidades e eventos que a UFAL possibilitou que eu realizasse.

Agradeço a minha mãe, dona Genivânia, por ter acreditado em mim, me incentivado e viabilizado minha formação em outra cidade. Agradeço minha orientadora Msc. e doutoranda Camyla Moreno por ter aceitado o desafio de assumir o papel de orientadora externa e me dar um suporte incrível durante esse processo de pesquisa. E agradeço a banca examinadora, Prof. Msc. Everton Coelho e Prof. Msc. Robério Santos, por ter aceitado o convite em participar da banca e contribuir com o trabalho.

O meu agradecimento especial a uma pessoa incrível, que foi imprescindível à realização desse trabalho, Iris Lima. Ela acreditou em mim mais do que eu mesma, e me deu um suporte emocional incrível do início ao fim. Muito obrigada, amor.

Não poderia deixar de agradecer aos amigos que fiz durante esses anos. Meu amigo Guêlbert, que não está mais entre nós pois foi vítima da Covid-19, mas que foi uma pessoa fundamental para que eu aprendesse não só as maravilhas da culinária, como também a ser um humano bondoso e que não pensa duas vezes antes de ajudar o próximo. Aos amigos que deixaram a graduação mais leve, Karla Pereira, Raira Silva, Joana Fortes, Jamilly Torres, Bárbara Coelho, Rebeca Pergentino, Jaine Cruz, Geyne Lohanna e Iolanda Victória. Ao grupo da magia, que durante seu auge nunca me deixou entristecer com nada, obrigada Jardel Souza, Luís Costa, Caio Lima, Thiago Veras e Artur Vasconcellos. E preciso agradecer também aos meus amigos que não deixaram faltar um pastel sublime nas minhas noites de estudo e que são pessoas maravilhosas, Iraneide e Douglas.

A todos vocês, meu muito obrigada por tudo, de alguma forma vocês foram marcantes para a minha vida e jamais esquecerei.

## RESUMO

Com o avanço da tecnologia, a demanda por energia elétrica tem aumentado significativamente. Por esse motivo, a busca por fontes de energia limpa tem se intensificado em todo o mundo, uma vez que a substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis é de interesse global. O Brasil, com altos índices de incidência solar, é um território ideal para indústrias adotarem o uso de placas solares como fonte de energia elétrica limpa e renovável. Neste cenário, o presente trabalho busca analisar a viabilidade econômica desta implementação. Com o objetivo de avaliar a rentabilidade do investimento, foram utilizados indicadores financeiros como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback descontado. Além disso, a Simulação de Monte Carlo foi empregada para realizar milhares de simulações, utilizando o software @Risk que também gerou histogramas e diversas informações estatísticas, como média, moda, valores máximos, mínimos e desvio padrão. Com base nesses resultados, concluiu-se que a implementação do sistema fotovoltaico é rentável em todos os cenários, mesmo considerando diferentes valores de investimento e cenários analisados.

**Palavras-chave:** Energia solar fotovoltaica, fábrica, análise de investimento, indicadores financeiros e simulação de Monte Carlo.

## ABSTRACT

With the advancement of technology, the demand for electricity has increased significantly. For this reason, the search for clean energy sources has intensified worldwide, since the substitution of fossil fuels with renewable sources is of global interest. Brazil, with high levels of solar incidence, is an ideal territory for industries to adopt the use of solar panels as a source of clean and renewable electricity. In this scenario, this work aims to analyze the economic viability of this implementation. In order to evaluate the profitability of the investment, financial indicators such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and discounted payback were used. In addition, Monte Carlo simulation was employed to perform thousands of simulations using the @Risk software, which also generated histograms and relevant statistical information such as mean, mode, maximum and minimum values, and standard deviation. Based on these results, it was concluded that the implementation of the photovoltaic system is profitable in any scenario, even considering different investment values and analyzed scenarios.

**Keywords:** Solar photovoltaic energy, factory, investment analysis, financial indicators and Monte Carlo simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo por setores de 2012 a 2021 .....	17
Figura 2 - Histórico de consumo de energia elétrica do setor industrial .....	17
Figura 3 - Evolução histórica da geração elétrica por fonte Solar .....	18
Figura 4- Principais tecnologias de células fotovoltaicas existentes.....	19
Figura 5 - Configuração básica das categorias de sistema FV .....	20
Figura 6 - Esquema de funcionamento do SFCR.....	21
Figura 7 - Composição da tarifa de energia .....	24
Figura 8 - Histórico do custo da energia em Alagoas para o setor B .....	26
Figura 9 - Diagrama de coleta e análise de dados .....	28
Figura 10 - Histórico de consumo energético do local estudado.....	35
Figura 11 - Distribuição da densidade de probabilidade do VPL para a Empresa 1 .....	38
Figura 12 - Distribuição da densidade de probabilidade da TIR para a Empresa 1 .....	38
Figura 13 - Distribuição da densidade de probabilidade do Payback descontado para a Empresa 1 ....	39
Figura 14 -Distribuição da densidade de probabilidade do VPL para a Empresa 2 .....	41
Figura 15 - Distribuição da densidade de probabilidade da TIR para a Empresa 2 .....	41
Figura 16 - Distribuição da densidade de probabilidade do Payback descontado para a Empresa 2 ....	42
Figura 17 - Distribuição da densidade de probabilidade do VPL para a Empresa 3.....	43
Figura 18 - Distribuição da densidade de probabilidade da TIR para a Empresa 3 .....	44
Figura 19 - Distribuição da densidade de probabilidade do Payback descontado para a Empresa 3 ....	44
Figura 20 - Comparativo dos resultados .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados da SELIC, bandeiras tarifárias e tarifa convencional.....	35
Tabela 2 - Cálculo das variáveis e indicadores iniciais para a Empresa 1 .....	36
Tabela 3 - Síntese da variação da distribuição para a Empresa 1.....	40
Tabela 4 - Cálculo das variáveis e indicadores iniciais para a Empresa 2 .....	40
Tabela 5 - Síntese da variação da distribuição para a Empresa 2.....	42
Tabela 6 - Cálculo das variáveis e indicadores iniciais para a Empresa 3 .....	43
Tabela 7 - Síntese da variação da distribuição para a Empresa 3.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AIR	Análise de Impacto Regulatório
CC	Corrente Contínua
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
GWh	Gigawatt hora
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
MW	Megawatt hora
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SF	Sistema fotovoltaico
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de atratividade
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
TWh	Terawatt hora
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>13</b>
<b>4.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
4.1	Descrição do cenário.....	15
4.2	O cenário da energia fotovoltaica no Brasil.....	16
4.3	O sistema fotovoltaico (SF).....	19
4.4	Regulação da ANEEL sobre GD solar fotovoltaica.....	21
4.5	Custo da energia elétrica em Alagoas.....	24
<b>5.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
5.1	Classificação da pesquisa.....	27
5.2	Coleta e análise dos dados.....	28
5.3	Ferramentas utilizadas.....	30
5.3.1	Indicadores econômicos.....	30
5.3.2	Simulação Monte Carlo.....	32
<b>6.</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
6.2	Resultados obtidos para a Empresa 1.....	36
6.3	Resultados obtidos para a Empresa 2.....	40
6.4	Resultados obtidos para a Empresa 3.....	42
6.5	Análise comparativa dos resultados.....	45
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, a necessidade de energia elétrica tem se tornado cada vez mais importante e fundamental para o desenvolvimento da sociedade moderna (VELOSO, TEIXEIRA e JÚNIOR, 2021). O perfil de um consumidor mais participativo e aberto às inovações, trouxe uma mudança no estilo de vida das pessoas desde a primeira revolução industrial, com a utilização da máquina a vapor em 1840 (COSTA, 2020).

Dados da *International Energy Agency* - IEA mostram que o consumo de energia elétrica no mundo cresceu 61,18% entre os anos de 1990 e 2020. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, no Brasil o consumo de energia aumentou em mais de 50% de 2004 a 2021 (IEA, 2022). Aliado a esse grande crescimento e preocupação com a utilização de combustíveis fósseis, a utilização de fontes de energia renováveis tem sido discutida em eventos mundiais como a Rio+20 e a Cúpula Mundial de Líderes pelo Clima 2021, para o incentivo de que a seja deixado de lado um pouco mais a cada ano as derivadas de combustíveis fósseis.

A substituição de energia proveniente de combustíveis fósseis por fontes renováveis como hidrelétrica, eólica, solar, biomassa, torna-se uma opção limpa e de menor impacto ao meio ambiente, evitando danos causados pela queima de combustíveis fósseis, como: impactos no efeito estufa, produção de poluentes e degradação do solo e água (SANTANA *et al*, 2020). Os investimentos mais rentáveis estão sempre de olho no meio ambiente, provocando melhorias para conseguir perpetuar por muitos anos diante dos acordos com o crescimento econômico.

Em países da Europa, como a Alemanha por exemplo, existe uma política de incentivo ao uso de energia limpa, pela qual a operadora de rede de energia é obrigada a comprar toda a energia gerada por fontes renováveis e ainda é oferecido ao proprietário do sistema gerador de energia limpa uma gratificação de acordo com a tecnologia utilizada. (SALAMONI e RÜTHER, 2007). No Brasil, este cenário ainda não é uma realidade, embora haja incentivos do governo para a produção de energia limpa.

Em 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL publicou a resolução normativa 482, que embora tenha sofrido alterações, segue oferecendo o benefício da compensação de crédito pela qual a unidade produtora de energia concede sua produção excedente para a rede de distribuição em formato de empréstimo, tornando-se um crédito que poderá ser utilizado pela unidade produtora por um período de até 60 meses. Além disso, o Ministério de Minas e Energia criou um Grupo de Trabalho – GT, que através do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD (BRASIL, 2016) incentiva bancos públicos oferecerem linhas de crédito específicas para facilitar o

financiamento do sistema, a adesão mais simplificada do sistema, bem como a regulamentação do funcionamento.

É importante destacar que em 2022 entrou em vigor a Lei nº 14.300 (BRASIL, 2022), com o intuito de regulamentar e dar maior segurança jurídica a utilização e produção de energia solar, entretanto a partir dessa lei surge o primeiro ponto negativo de sua adesão, a taxação de acordo com a potência de energia gerada.

A implementação da energia solar, independente qual seja sua classe de consumo, vem se demonstrando vasta a cada ano que passa. O Brasil possui um grande potencial para a geração de energia através da irradiação solar. Os menores índices de insolação diária, no Brasil, são registrados na região sul e são superiores aos melhores índices de insolação diária registradas em países como a Alemanha, que possui uma das maiores capacidades de geração fotovoltaica do mundo (NASCIMENTO, 2017).

Segundo dados da ANEEL, o crescimento de potência instalada passou de 48.526kW em 2016 para 6.889.215 kW em 2022, comprovando a grande capacidade do crescimento do setor e se tornando atrativo para consumidores mais difíceis, como o segmento industrial que representa apenas 6,83% da potência instalada atualmente (BRASIL, 2023).

Ainda de acordo com a ANEEL, em abril de 2023, para empresas de pequeno e médio porte, que fazem uso do sistema de rede elétrica da concessionária principal do estado, o custo médio do kWh está de R\$0,73 (BRASIL, 2023). O que significa que uma empresa de pequeno porte com um consumo mensal de 5.000 kWh tem um gasto aproximado de R\$3.650, além de outras possíveis taxas. Esse alto valor pode gerar impactos decisivamente negativos na receita da empresa. Considerando os custos envolvidos com o modelo de consumo citado, o presente estudo tem como objetivo responder as seguintes questões: seria viável para empresa instalar um sistema fotovoltaico? Se sim, qual seria o melhor orçamento para investir?

O presente trabalho está dividido em oito capítulos. Este primeiro capítulo, de caráter introdutório, o capítulo 2 a seguir, que aborda o objetivo do estudo. Em seguida, no capítulo 3 é apresentada a justificativa do trabalho, no capítulo 4 é abordado o referencial teórico, no capítulo 5 a metodologia, no capítulo 6 são demonstrados os resultados e discussões, e por fim, no capítulo 7 as considerações finais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar um estudo de viabilidade econômica para a implementação de um sistema solar fotovoltaico em uma fábrica de produtos de limpeza na cidade de Maceió.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar pesquisa bibliográfica para compreender o setor da energia fotovoltaica no Brasil;
- Determinar os indicadores econômicos mais relevantes para o estudo;
- Identificar as variáveis do mercado que interferem na viabilidade econômica de implementação do sistema fotovoltaico (SF);
- Calcular os indicadores financeiros em diferentes cenários;
- Analisar a viabilidade da implementação.

## **3. JUSTIFICATIVA**

Após a maior crise energética da história, em 1970, pela qual a escassez de combustíveis fósseis foi um problema no mundo todo, a readaptação para utilização de energia de fontes renováveis passou a ser pauta de interesse mundial e se tornou motivo para reuniões internacionais realizadas com um único objetivo de discutir questões ambientais (citar).

Segundo relatório aprovado em abril de 2022 emitido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), órgão das Nações Unidas para avaliar a ciência relacionada às mudanças climáticas, para alcançar a meta de controlar a temperatura do planeta em até 1,5°C pelos próximos 30 anos será preciso que os países adotem medidas de contenção. Uma dessas medidas é a utilização de energia limpa, através de fontes renováveis (CLARKE *et al*, 2022).

Embora a adesão da energia solar no Brasil tenha sido alta, os números estão longe do que as regiões do país são capazes de produzir devido aos grandes índices de radiação solar durante a maior parte do período do ano. Essa adesão desproporcional pode ser causada pela necessidade de um investimento inicial alto para a implementação do sistema solar fotovoltaico e o baixo conhecimento da população sobre o seu funcionamento e o retorno financeiro que ele pode trazer. Com isso, é proveitoso um esclarecimento sobre o investimento e a rentabilidade para que o projeto seja colocado em prática.

Para confirmar essa narrativa, o presente trabalho surgiu quando o alto valor cobrado em uma fatura de energia de uma fábrica de produtos limpeza foi observada pelo proprietário dessa fábrica. Dado o crescimento da implementação de captação de energia solar no estado, foi conversado com o proprietário da fábrica sobre a possibilidade da implementação do sistema e ele demonstrou interesse no assunto, mas não tinha certeza se era um investimento realmente rentável e seguro quanto a sua garantia de eficiência a longo prazo.

Sendo então apresentada a proposta ao proprietário de utilizar a empresa como objeto de estudo para a realização deste trabalho e em contrapartida ele obteria resposta quanto suas incertezas. Na possibilidade de o sistema ser de fato implementado, além de reduzir os custos, a empresa se tornaria mais próxima de ser sustentável.

## **4. REFERENCIAL TEÓRICO**

O presente capítulo visa a apresentação das principais temáticas relacionadas ao estudo. Assim, este capítulo está dividido em cinco seções. A primeira seção, de caráter introdutório, descreve o cenário pelo qual foi o objeto de estudo. A segunda seção exhibe a síntese do consumo energético brasileiro, especialmente no que diz respeito a energia fotovoltaica. A seção seguinte resume os materiais e componentes básicos de um sistema fotovoltaico, a fim de mostrar seu funcionamento básico, seguido das regulações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para o setor (seção 4.4), e finalizando essa temática, é apresentado o contexto geral da energia elétrica no estado de Alagoas (seção 4.5).

### **4.1 Descrição do cenário**

O estudo foi realizado em uma fábrica de médio porte de produtos de limpeza, localizada na cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas. A fábrica faz parte de um grupo que realiza três tipos de atividades distintas: a produção dos materiais de limpeza, a distribuição desses itens para supermercados e comerciantes municipais e intermunicipais interessados em revender o produto, e venda direta realizada em duas lojas localizadas na mesma cidade.

São produzidos na unidade de fabricação água sanitária, detergente para lavar louças, desinfetantes e sabão líquido, todos para utilização doméstica. A empresa também é produtora de cera, detergentes automotivos e sabonetes líquidos corporais, além de outros produtos com receitas menores. A fábrica conta com a colaboração de aproximadamente 10 pessoas no seu quadro de funcionários.

As atividades são realizadas com um pequeno grupo de maquinário, que mesmo assim composto, por ser de nível industrial o consumo de energia é elevado, são eles: tanques de polietileno, máquina de engarrafamento, embaladora com sucção à vácuo, máquina de sopro para garrafas pet e empilhadeira manual.

Durante a pandemia, a empresa precisou se adequar a nova forma de executar suas atividades e suprir a demanda de novos produtos, como álcool 70% em gel e líquido em diferentes volumes. Ou seja, diferente dos outros setores, a fábrica não parou suas atividades presenciais e aumentou a diversidade de produtos. Isso indica que a fábrica não interrompeu, nem diminuiu seu consumo de energia elétrica mesmo em condições adversas à normalidade.

O aumento do mix de produtos fornecido pela fábrica fez com os custos fixos aumentassem, e dentre eles está o consumo de energia elétrica. Há ainda um outro fator que reforça a preocupação com custos referentes a energia elétrica, está em seu plano estratégico o aprimoramento do processo produtivo através da sua automatização, se fazendo então necessário implementar máquinas adicionais ou substituir equipamentos antigos por equipamentos de última geração ou mais atualizados, tais fatores em conjunto levam a reflexão sobre a necessidade de economizar ou evitar que os custos com energia elétrica sejam tão elevados a ponto de trazerem prejuízos ao financeiro da indústria. Assim, propôs-se a implementação de sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*) para a diminuição a longo prazo dos custos de energia.

#### **4.2 O cenário da energia fotovoltaica no Brasil**

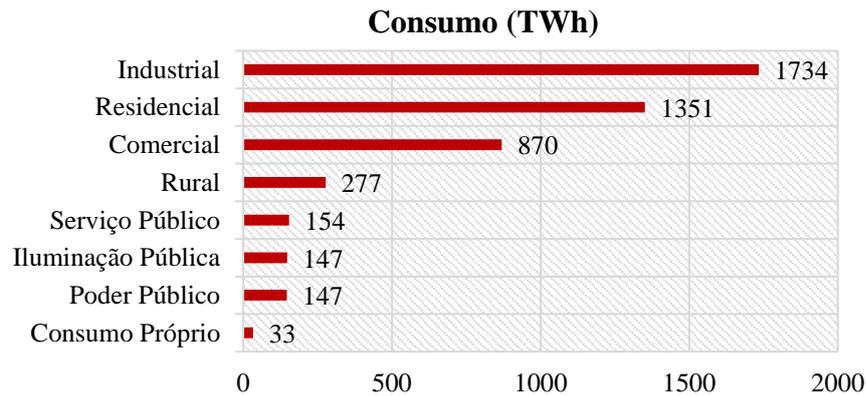
O setor da energia solar fotovoltaica tem atraído investimentos significativos no Brasil nos últimos cinco anos, destaca-se no ano de 2020 que foram investidos cerca de R\$ 13,6 bilhões em projetos de energia solar fotovoltaica, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2020). Dentre tais investimentos financeiros, atualmente, bancos e financeiras disponibilizam diversos planos de financiamento para a compra e instalação de sistemas geradores de energia solar fotovoltaica, para pessoa física ou jurídica, em uso residencial, industrial ou comercial (NETTO et al., 2022).

O equilíbrio ambiental é um direito de todos, sendo essencial à sadia qualidade de vida, e este foi estabelecido pela própria Constituição Federal do Brasil (GUERRA e LIMA, 2021). Assim, com o objetivo de transitar para modelos ou sistemas de energia de baixa emissão de carbono, aumentando a participação das energias provenientes de fontes renováveis, o Brasil vem investindo no setor de energia solar fotovoltaica desde 2012 (MICHELETTI et. al, 2020) e tem lançado políticas públicas que fomentam a implantação de sistemas e métodos sustentáveis, como os de geração de energia fotovoltaica pelos consumidores em suas residências, como parte de sua estratégia de proteção ambiental (GUERRA e LIMA, 2021).

O sistema de energia elétrica brasileiro inclui aproximadamente 86 milhões de usuários que consumiram em 2021, cerca de 497 TWh (EPE, 2022), estando dividido entre os setores residencial, comercial, agricultura, serviço público, transportes e indústria. A Figura 1 apresenta o histórico de consumo acumulado por classe no período de 2012 a 2021. Através da Figura 1, observa-se que o setor industrial é o que possui maior participação acumulada ao longo dos anos, com 1734 TWh de consumo durante o período (EPE, 2022).

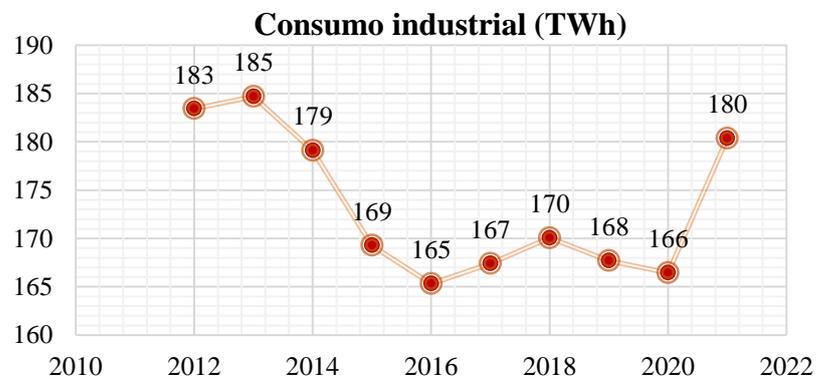
O consumo desta classe está diretamente relacionado a movimentação da economia (SILBER, 2020). No ano de 2020, com o advento da pandemia do vírus SARS-COV-2 percebe-se uma queda singular no consumo de energia (Figura 2) em virtude, principalmente, da paralização das atividades econômicas, assim, a retomada parcial das atividades fez com que houvesse um aumento de aproximadamente 8% entre 2020 e 2021 (EPE, 2022).

Figura 1 - Consumo por setores de 2012 a 2021



Fonte: EPE (2022)

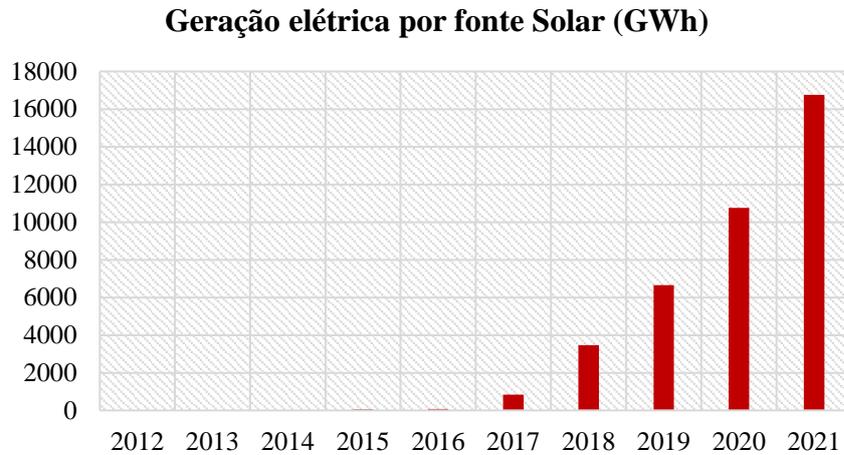
Figura 2 - Histórico de consumo de energia elétrica do setor industrial



Fonte: EPE (2022)

Dentre toda a oferta nacional de energia elétrica ano de 2021 apenas 2,47% são advindas de fonte solar (EPE, 2022). A Figura 3 apresenta o crescimento, em um intervalo de nove anos, da geração elétrica por fonte solar, havendo 1,62 GWh de energia gerada no ano de 2012 enquanto no ano de 2021 foi registrado o valor de 16,75 TWh (EPE, 2022). Mais recentemente, comparando o ano de 2020 a 2021 esse aumento foi de 55,9% na energia elétrica gerada e 40,9% na potência instalada no país (EPE, 2022).

Figura 3 - Evolução histórica da geração elétrica por fonte Solar



Fonte: EPE (2022)

Apesar de mostrar-se expressivo o crescimento e participação da energia de fonte solar, o Brasil apresenta grande potencial climático e de matéria prima para o desenvolvimento deste setor, em especial, o sistema solar fotovoltaico (NASCIMENTO, 2017). Alguns estímulos, advindos de poderes governamentais e municipais, têm proporcionado incentivos para o setor na energia solar fotovoltaica, como abatimentos sobre algumas categorias de impostos que se iniciou em 2015 (MICHELETTI et. al, 2020).

O governo brasileiro tem realizado leilões de energia desde 2014 (RUSCHEL *et al.*, 2020) com o objetivo de contratar novas usinas de energia elétrica, e nesse contexto a energia solar fotovoltaica tem sido cada vez mais competitiva nos leilões, com preços mais baixos do que outras fontes de energia, possuindo a maior participação dentre as outras fontes no ano de 2020 (EPE, 2020). No entanto, como sugerido por Corrêa e Cário (2022), o objetivo primário desse instrumento é a garantia da segurança energética através da diversificação da matriz elétrica, e não a implementação das fontes renováveis em específico visto que demais fontes também participam.

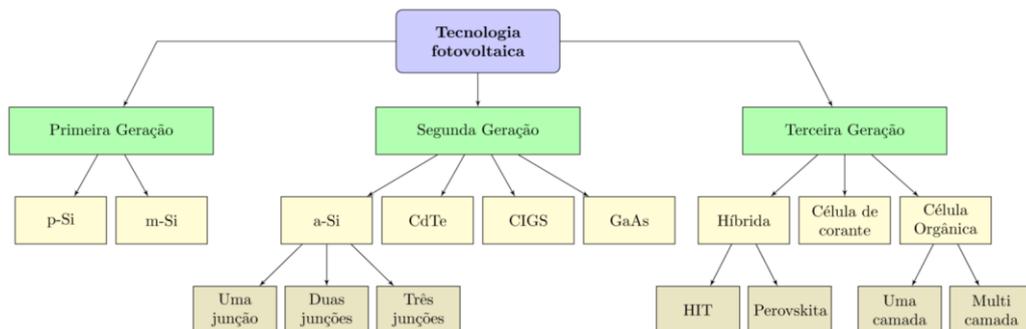
O investimento em inovações tecnológicas para o setor se mostra fortemente importante para sua evolução. O mapeamento das startups brasileiras no setor da energia realizado por Martins e Vanin (2021) mostra que das 201 empresas cadastradas, e onze categorias identificadas, apenas 1,49% está voltada ao desenvolvimento de novos equipamentos para o setor. Como apontado por Corrêa e Cário (2022), a evolução do setor no Brasil se torna prejudicada pela ausência de uma grande base de produção de equipamentos para a geração de energia solar fotovoltaica, e a conseqüente dependência de tecnologias desenvolvidas em outros países.

### 4.3 O sistema fotovoltaico (SF)

Segundo Rosa *et al.* (2005), o efeito fotovoltaico foi notado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel, para que esse aconteça utiliza-se um dispositivo semiconductor designado de célula solar ou célula fotovoltaica que realiza a conversão direta da luz solar em eletricidade (CRESESB, 2006). A energia proveniente dessa fonte é renovável, inesgotável e não poluente, podendo ser gerada em instalações de pequenos geradores para autoconsumo até grandes centrais fotovoltaicas (ROSA *et al.*, 2005).

Para a composição da célula os materiais base hoje utilizados são o silício monocristalino, policristalino ou amorfo ou outros materiais semicondutores de camada fina (MOURA, 2021). As células solares aplicadas em tecnologia fotovoltaica podem ser divididas em 3 subcategorias (Figura 4).

Figura 4- Principais tecnologias de células fotovoltaicas existentes



Fonte: Bühler, Gabe e Santos (2017)

Para a 1ª geração, as células de silício monocristalino possuem boa eficiência, entre 18% e 20% em média, com alto grau de pureza, mas com custo elevado (BÜHLER, GABE e SANTOS, 2017). São usados em áreas como a aeroespacial, onde a eficiência tem prioridade sobre o preço (MAGARREIRO, FREITAS e BRITO, 2016). As células de silício policristalinos são mais baratas que a anterior, no entanto a eficiência decai um pouco (REIS, 2017), são amplamente aplicadas para uso residencial.

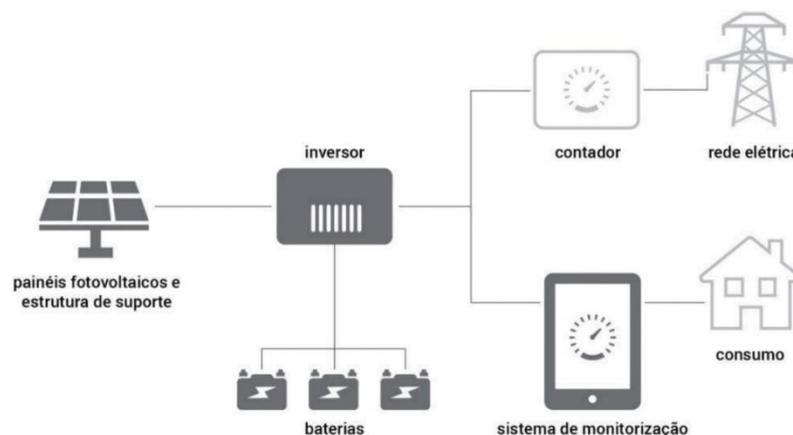
A 2ª geração, denominada de células de película fina ou filme fino, se refere a tecnologias fotovoltaicas que empregam materiais com espessuras da ordem de apenas 1  $\mu\text{m}$  (BÜHLER, GABE e SANTOS, 2017). A eficiência da célula de laboratório ultrapassa atualmente os 21%, tem como principal vantagem seu peso mais leve e tem-se mostrado uma forte alternativa para SF de baixo custo, permitindo aplicações em fachadas de edifícios

(PLANAS, 2019). No entanto as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo a eficiência ao longo da vida útil (CRESESB, 2006).

As células solares de 3ª geração usam materiais orgânicos, são representantes da categoria as células solares orgânicas (OSC) e as células solares sensibilizadas por corante (CSSC), há ainda as células solares de múltiplas junções, que por absorverem uma faixa ampla do espectro solar e correspondem às células com as maiores eficiências entre todos os dispositivos fotovoltaicos, sendo a categoria mais recente, ainda em desenvolvimento, a eficiência deste tipo de célula para tripla junção já atingiu 40% (MOURA, 2021).

A Figura 5 apresenta o esquema de funcionamento básico das categorias de SF. Estes sistemas podem ser classificados em três principais categorias: isolados, conectados à rede e híbridos (CRESESB, 2006). Os SF isolados ou *off-grid* utilizam de alguma forma armazenamento da energia gerada, assim, não há envio de excedente a rede elétrica. Apesar de possuir um custo inicial maior, devido a instalação das baterias, essa categoria ainda se torna econômica no longo prazo, sendo indicada para locais com pouco acesso a eletricidade ou instabilidade da rede, como em zonas rurais e similares, proporcionando maior independência momentos de baixa produção e da concessionária de energia (MOURA, 2021).

Figura 5 - Configuração básica das categorias de sistema FV

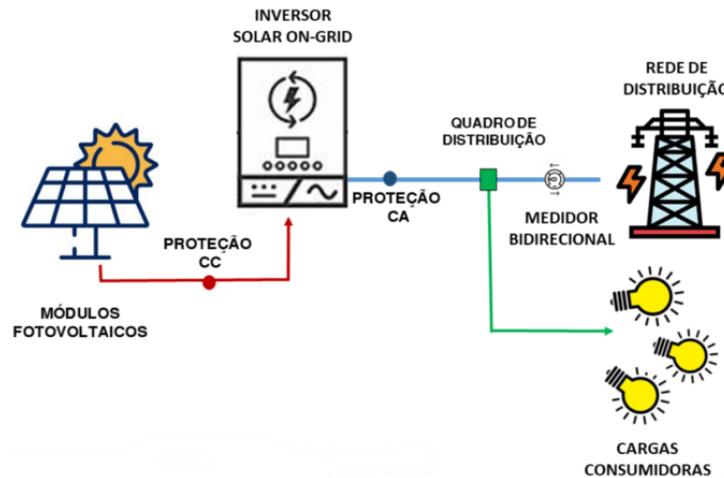


Fonte: Energias Madeira (2021)

Os SF Conectados à Rede (SFCCR) ou *on-grid*, por sua vez, são aqueles em que parte da energia gerada é injetada na rede, gerando créditos de compensação de energia (ANEEL, 2012), e são constituídos basicamente por três componentes gerais: o módulo fotovoltaico, o inversor e o medidor bidirecional (Figura 6). O módulo é responsável por converter a energia solar em energia elétrica de Corrente Contínua (CC), enquanto o inversor transforma a CC em corrente alternada, adequada para o consumo, por fim, o medidor bidirecional é responsável por

contabilizar o quanto de energia gerada foi injetada na rede e o quanto foi consumida da concessionária (NEGREIROS, MAIA e GARBI, 2022).

Figura 6 - Esquema de funcionamento do SFCR



Fonte: ENERGÊS (2020)

Por último, a terceira categoria é o SF híbrido, que nada mais é que a combinação de duas ou mais fontes de energia, ele consegue ser conectado à rede elétrica (*on-grid*) e possuir um sistema de armazenamento de energia (*off-grid*). Ainda, as fontes de energia utilizadas por esta categoria podem ser renováveis ou convencionais (FREITAS e SOUSA, 2020).

#### 4.4 Regulação da ANEEL sobre GD solar fotovoltaica

Para sintetizar algumas das resoluções publicadas no Brasil, que tem como objetivo o incentivo a geração distribuída por fonte solar, será apresentado neste tópico uma descrição breve das resoluções.

No ano de 2010 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) realizou a Consulta Pública nº 015/2010 (BRASIL, 2010) para realizar o comparativo entre os instrumentos regulatórios do Brasil e outros países que incentivam a Geração Distribuída (GD), com o intuito de identificar e reduzir as barreiras para a instalação de GD a partir de fontes renováveis de energia no Brasil.

Em 2012 foi publicada a Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 (ANEEL, 2012), estabelecendo que o consumidor pode gerar sua própria energia elétrica como GD a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e, ainda, fornecer o excedente à rede de distribuição, sendo assim foi criado o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Tal sistema efetiva a geração de créditos de energia com validade de 60 meses, que são usados para reduzir a conta de diferentes unidades consumidoras do mesmo titular. Dantas e Pompermayer (2018)

apontam que esse modelo de compensação promove um sistema de incentivo inadequado, especialmente por não remunerar adequadamente o consumidor, visto que ele é remunerado pela tarifa média paga à concessionária, o valor da energia comprada é muito superior ao praticado pelos leilões de energia e, por fim, a GD é remunerada pelo mesmo valor da tarifa da distribuidora.

O ano de 2015 foi um momento importante para a GD no Brasil, onde houve a publicação da REN nº 687/2015 que apresentou as definições de micro e minigeração (ANEEL, 2015). Definindo que a primeira consiste em uma central geradora de energia elétrica com capacidade instalada igual ou inferior a 75 kW, para fontes renováveis, conectada à rede de distribuição. A segunda, por sua vez, corresponde à usina de geração elétrica com capacidade instalada superior a 75 kW e igual ou inferior a cinco MW (ANEEL, 2015). Juntamente a resolução, o convênio ICMS nº 16/2015 autorizou os estados brasileiros a concederem isenção dos impostos estaduais sobre a energia injetada (*net-metering*) (CONFAZ, 2015). Complementar ao convênio, a Lei nº 13.169/2015 determinou a isenção dos tributos federais Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) sobre a parcela de energia injetada, para GD nas modalidades de geração junto a carga e autoconsumo remoto (CONGRESSO NACIONAL, 2015).

Devido a evolução do mercado da GD solar fotovoltaica foi visualizada a necessidade de revisão das regras anteriormente definidas, assim, a ANEEL realizou a Consulta Pública nº 10/2018 que iniciou a revisão da REN 482/2012 (ANEEL, 2012). Através da Análise de Impacto Regulatório (AIR) 0004/2018 (ANEEL, 2018) da REN 482/2012 (ANEEL, 2012) a ANEEL publicou seis alternativas possíveis para a revisão proposta referente a regulação da mini e microgeração, em que a cada alternativa perde-se uma componente tarifária (MICROINVERSOR, 2020).

Grande parte da justificativa da AIR está associada a redução do impacto financeiro para as concessionárias de energia elétrica causado pela injeção de energia na rede de distribuição, pois estes novos pontos de geração demandam investimentos em infraestrutura no setor elétrico (VARGAS, 2020). Esse comportamento da Agência causou preocupação ao setor, que visualizou um risco grande de ter a GD inviabilizada sem que tal decisão decorra de uma discussão técnica, transparente, imparcial e fruto também da vontade da sociedade (MICROINVERSOR, 2020).

No ano de 2019 a Agência apresentou sua proposta que entrou em etapa de consulta pública, por meio da Audiência Pública 040/2019. A preocupação do setor e da sociedade de

forma geral foi demonstrada expressivamente pela sua participação, a primeira audiência pública que ocorreu em 2011 contou com 35 participantes e 39 agentes, enquanto a audiência do ano de 2019 contou com 827 participantes e 157 agentes, com o objetivo de obter subsídios para a AIR nº 003/2019 (VARGAS, 2020). Ainda neste ano todos os estados brasileiros aderiram ao convênio ICMS, publicado em 2015, concedendo a isenção fiscal estadual para o SCEE, e no ano seguinte a GD solar fotovoltaica atingiu 4 GW de capacidade instalada, representando um aumento de 400% em comparação a 2019 (ANEEL, 2022a).

Em virtude da pandemia do SARS-COV-2 os empresários do setor identificaram facilmente a desaceleração que ocorreu nesse período (GREENER, 2020), em conjunto com esse fator as empresas do setor indicam as alterações propostas como prejudiciais ao investimento em GD (CARDOSO *et al.*, 2021). A revisão da REN 482/2012 ficou conhecido como o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, este gerou fortes reações nas associações da classe, no poder legislativo e executivo (VARGAS, 2020). O projeto de lei 5.829 de 2019 (BRASIL, 2021), sancionado no início de 2022 pela Lei 14.300/22, determina que os indivíduos que utilizam da GD para produzir energia elétrica devem arcar com a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST). A primeira, TUSD, faz com que, em prazo determinado, os créditos gerados pelo sistema de GD deixem de ser abatidos sobre a parcela da conta de energia. Por outro lado, a mesma lei prevê ainda a eliminação do pagamento do custo de disponibilidade como ocorria anteriormente. A nova legislação não afeta diretamente sistemas já instalados, no entanto, todos os projetos protocolados e desenvolvidos em 2023 passam a fazer o pagamento das tarifas.

Em resumo, anteriormente o consumidor, produtor da energia, era responsável pelo pagamento do custo de disponibilidade sob a energia injetada na rede e pela energia consumida da rede. A atualização isenta os consumidores que fazem parte deste sistema de compensação dessa segunda cobrança, havendo assim mudanças na distribuição dos créditos de energia. A ANEEL publicou a REN nº 1.059/2023 (BRASIL, 2023) que detalha as regras de conexão à rede de distribuição de energia elétrica e à compensação de créditos de energia gerados por sistemas de mini e microgeração distribuída.

Vargas (2020) e Cardoso *et al.* (2021) analisaram os impactos da proposta de nova regulamentação da ANEEL sob a atratividade do investimento no setor, de acordo com percentuais e taxas apresentadas para os cinco cenários. Ambos os estudos verificaram que mudanças significativas no regime tarifário podem dificultar novos investimentos (VARGAS, 2020) e até mesmo impossibilitar a viabilidade (CARDOSO *et al.*, 2021). Os autores indicam

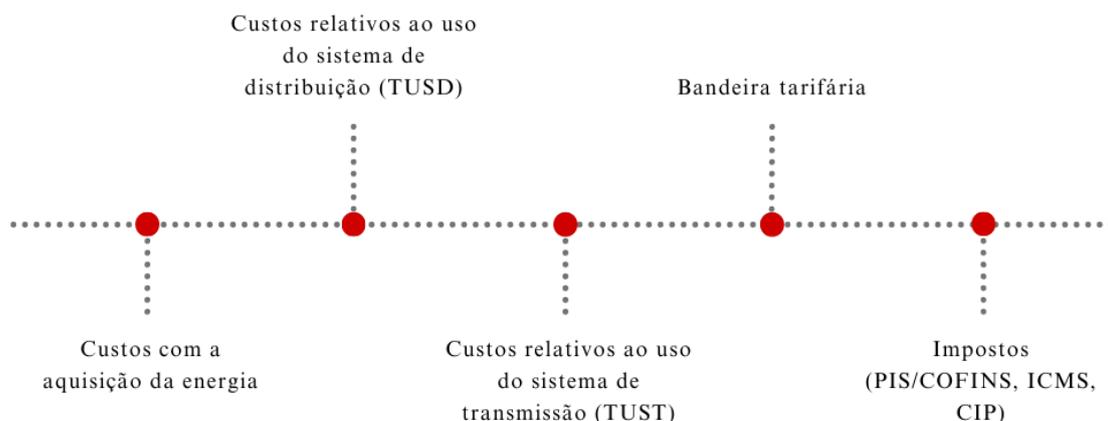
ainda que a solução apontada pela AIR nº 003/2019 não foi aceita pelos consumidores e empresas ligadas à GD, pois estas alegam que seu estudo se apresentou incompleto, visto que abordou apenas uma parcela limitada dos atributos elétricos, energéticos, sociais, ambientais, econômicos e estratégicos que a GD traz para a sociedade brasileira (VARGAS 2020; CARDOSO *et al.*, 2021).

O futuro da energia solar fotovoltaica no Brasil encontra-se incerto, neste momento, visto que as regulações do setor influenciam fortemente seu crescimento ou estagnação. O desenvolvimento de políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento do setor pode, em conjunto com as regulações, proporcionar investimentos contínuos e crescentes. Apesar disto, a análise singular das regulações não é suficiente para determinar a viabilidade de investimento visto que diversos outros fatores possuem influência direta, os ganhos que podem ser advindos do setor além de econômicos são ambientais.

#### 4.5 Custo da energia elétrica em Alagoas

Para definir o valor da tarifa de energia é preciso identificar qual tipo de tarifa será aplicada à unidade consumidora. Esse tipo de tarifa pode ser definido por grupo, subgrupo, classe, subclasse e modalidade tarifária (ANEEL, 2022b). De modo geral, a tarifa de energia elétrica é composta pelo valor da energia gerada, somada ao transporte da energia até as unidades consumidoras (TUSD e TUST) e adicionado os encargos setoriais PIS/COFINS, ICMS e Contribuição para Iluminação Pública (CIP) (ANEEL, 2022b). A composição do custo da tarifa de energia está representada na Figura 7.

Figura 7 - Composição da tarifa de energia



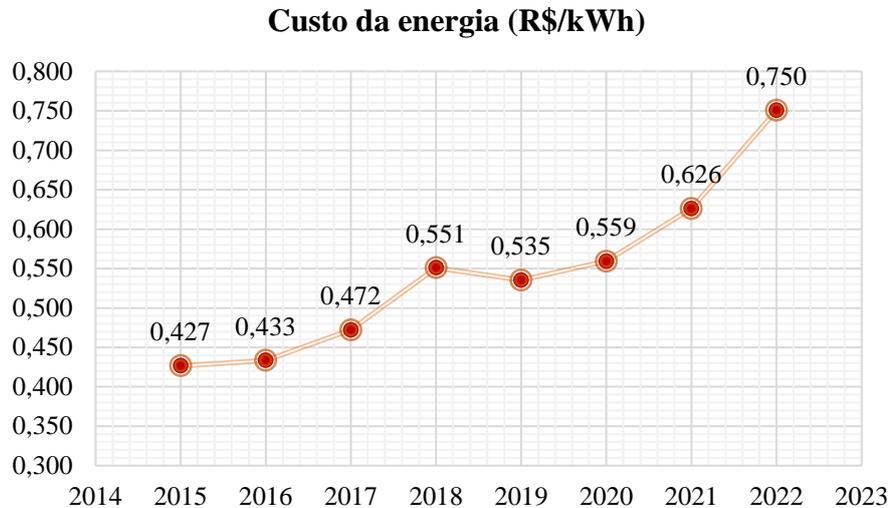
Fonte: ANEEL (2022)

O valor da energia gerada é dado pela composição dos custos com a aquisição da energia, que desde 2004 passou a ser adquirida pelas distribuidoras através de leilões públicos (LEI 10.848/2004) (BRASIL, 2004), e suas mudanças em relação ao tempo podem ser observadas na Figura 8. O item seguinte, que compõe o custo da energia, são as bandeiras tarifárias, que por sua vez não são enquadradas como uma categoria de imposto. Elas compõem um sistema de sinalização aplicado pela distribuidora, proporcionalmente aos dias de vigência de cada bandeira (ANEEL, 2021).

O sistema de bandeiras tarifárias foi implementado em 2015, como uma forma mais transparente do consumidor identificar o custo real da geração de energia e possivelmente adaptar sua forma de consumo. As bandeiras são divididas por cores, são elas: bandeira verde, aplicada quando a geração de energia se encontra em condições favoráveis e nenhuma tarifa é acrescentada ao valor do kWh; a bandeira amarela, apresentando condições menos favoráveis e acrescentando R\$0,01874 em cada kWh consumido; a bandeira vermelha – patamar 1, aplicadas em situações em que o custo da geração de energia é maior e acrescenta R\$ 0,03971 para cada kWh consumido; e a bandeira vermelha – patamar 2, a condição mais cara de geração de energia em que a tarifa acrescenta R\$0,09492 para cada kWh consumido (GOUVÊA, FERNANDES e TELES, 2022).

Em 1º de setembro de 2021 entrou em vigor a bandeira de escassez hídrica, criada pela Medida Provisória nº 1.055/2021 na Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidroenergética – CREG, para custear o acionamento de usinas térmicas e da importação de energia devido a maior escassez hídrica desde 1991 (GOUVÊA, FERNANDES e TELES, 2022). Com essa bandeira, foi acrescentado R\$14,20 a cada 100 kWh consumidos (GOUVÊA, FERNANDES e TELES, 2022).

Figura 8 - Histórico do custo da energia em Alagoas para o setor B



Fonte: ANEEL (2023)

Os valores referentes ao transporte da energia são localizados nos custos de distribuição (TUSD) e transmissão (TUST). Em relação aos encargos setoriais, são valores implementados pelo Congresso Nacional para viabilizar a inclusão de políticas públicas no setor elétrico. Os impostos são divididos em três âmbitos: os tributos federais, composto pelo Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) cobrados pela União com a finalidade de atender os programas sociais do Governo Federal; os tributos estaduais, através do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) que é definido por cada estado de competência; e os tributos municipais, por meio da Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP), pela qual, através da Câmara Municipal é aprovada uma lei que define sobre a forma de cobrança e a base do cálculo para esse imposto (LIMA, MARTINS e HERCULANI, 2021).

## **5. METODOLOGIA**

Para melhor compreensão, o processo metodológico deste trabalho foi dividido em duas etapas: coleta de dados e análise de dados, que foram abordadas no terceiro subtópico e exemplificado no diagrama da Figura 9. Sendo então esta seção apresentada em três subtópicos: classificação da pesquisa, coleta e análise dos dados e ferramentas utilizadas.

### **5.1 Classificação da pesquisa**

Uma pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza, seus objetivos e seus procedimentos. Uma pesquisa aplicada trata-se de uma aplicação prática, dirigida a um problema real, específico e de interesse particular. Ou pode ser classificada como básica, quando o seu objetivo é gerar novos conhecimentos científicos e ainda não possui aplicação prática, envolvendo apenas verdades e interesses universais (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Esta pesquisa trata-se de uma aplicação prática de conceitos econômicos para a análise da solução de um problema para uma empresa em particular. Dessa forma, configura-se uma pesquisa de natureza aplicada.

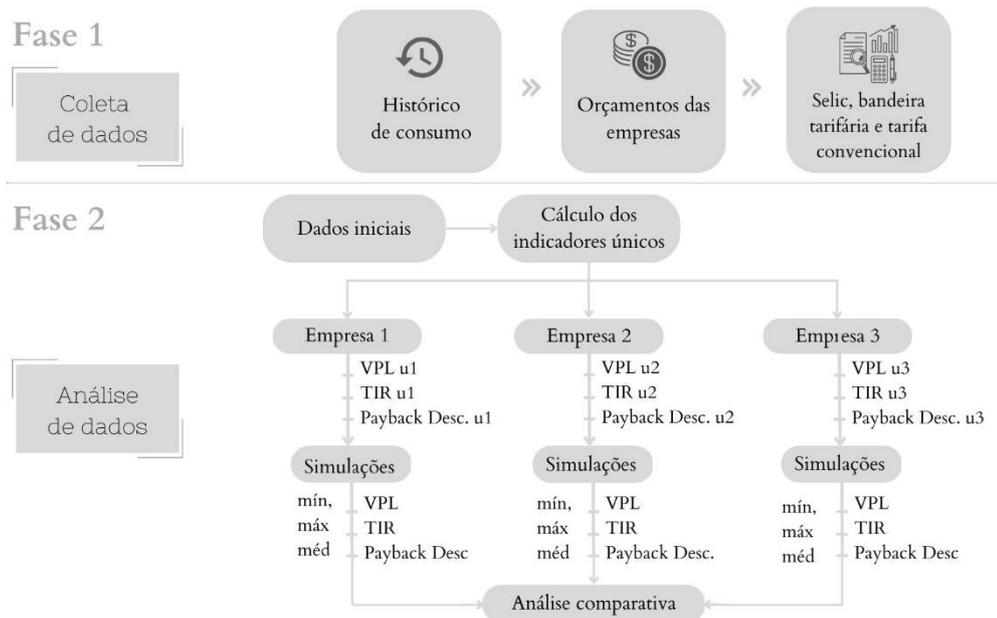
Segundo Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa qualitativa não se preocupa com representatividade numérica e sim uma compreensão aprofundada de um grupo social ou de uma organização, enquanto a pesquisa quantitativa tem suas raízes no pensamento lógico, enfatizando um raciocínio dedutivo, baseado em atributos mensuráveis e lógicos. Visto que esta pesquisa faz uma análise aprofundada em prol de uma empresa, utilizando recursos mensuráveis para um raciocínio dedutivo, no que diz respeito a abordagem sua classificação é quali-quantitativa.

Quanto aos objetivos, classifica-se como descritivos. A pesquisa descritiva é a pesquisa que faz com que o pesquisador obtenha informações que permita descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987). Além disso, o trabalho utiliza o procedimento de estudo de caso, Miguel (2012) define que neste método há um baixo envolvimento do pesquisador com os indivíduos da empresa, sendo a iteração restrita a obtenção de dados através de entrevistas, observações ou análise de documentos.

## 5.2 Coleta e análise dos dados

Para a fase 1 de coleta dos dados foi preciso a coleta de três conjuntos de dados distintos e na fase 2 foi realizada a análise desses dados, o fluxo de etapas adotado está apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Diagrama de coleta e análise de dados



Fonte: Autoria própria (2023)

Na fase 1 foi necessária a realização da coleta dos seguintes dados: histórico de consumo de energia elétrica da fábrica no período de um ano, orçamentos para implementação do SF e dados externos referentes a Taxa SELIC, bandeiras tarifárias e a tarifa convencional de energia elétrica. Para obter o histórico de consumo foi coletado uma fatura de energia que possuía os dados de consumo dos doze meses anteriores ao mês referente a fatura.

Para a formação dos orçamentos foram contatadas três empresas implementadoras da área, estas realizaram o dimensionamento do sistema fotovoltaico com base na média de consumo anual. Segundo Yin (2001), certos períodos em um estudo de caso podem ser marcados por classes de eventos que diferem substancialmente daqueles de outros períodos, logo, o fato de o período de 12 meses englobar todas as estações e apresentar as possíveis variações entre épocas mais quentes e frias, tarifas maiores e menores, e consecutivamente cobranças mais caras ou não na tarifa de energia. Um ano foi considerado tempo suficiente para a coleta de dados de consumo. Uma das empresas que realizou o orçamento foi indicada pelo

proprietário da fábrica e as outras duas selecionadas a partir da pesquisa entre as empresas mais populares da cidade de acordo com a ferramenta de pesquisa *Google*.

Os dados externos selecionados foram utilizados como fatores variáveis dentro da simulação que realizada, para incorporar o histórico das variáveis com o intuito de realizar simulações de viabilidade em diversos cenários da econômicos e ambientais, sejam estes favoráveis ou desfavoráveis. Esta análise é importante visto que as possíveis futuras variações nos preços dos serviços e as alterações da inflação, que segue as alterações da taxa SELIC, terão impacto direto no investimento. O período histórico da taxa SELIC considerado para esta análise foi de janeiro de 2015 até fevereiro de 2023 (BCB, 2022), para igualar ao período analisado das bandeiras tarifárias, visto que elas só passaram a entrar em vigor em janeiro de 2015. Para assemelhar a análise histórica da Selic e das bandeiras tarifárias, a tarifa convencional foi considerada durante os anos de 2015 a 2022 (ANEEL, 2022c).

Posteriormente foram definidos os indicadores que seriam calculados para a análise de viabilidade com base na literatura, que estão dispostos no tópico 5.3.1 deste trabalho. Foi utilizado o *software Microsoft Excel 365<sup>®</sup> v. 2304* para a montagem dos fluxos de caixa, com aplicação de equações da própria ferramenta para calcular os indicadores de VPL, TIR e payback descontado para cada cenário analisado, nomeados de indicadores únicos.

Como o objetivo principal da análise dos dados é a análise da viabilidade econômica em diferentes cenários de simulação, nesta pesquisa além das variáveis externas apresentadas utilizou-se dos orçamentos individuais como cenário para as análises, assim, cada orçamento corresponde a análise de cada empresa. Os fluxos de caixa construídos representam o demonstrativo do pagamento de cada SF orçado no período de vida útil do SF.

De posse do fluxo de caixa foi imprescindível a aplicação do software @Risk. De acordo com o seu desenvolvedor (PALISADE, 2023), este software é utilizado para modelagem e análise de risco sendo este um complemento integrado ao software *Microsoft Excel<sup>®</sup>* que utiliza da simulação de Monte Carlo para calcular milhares de resultados possíveis, bem como a probabilidade de cada um ocorrer. Para a simulação no software foi utilizado a distribuição triangular, que permite um “melhor palpite” quanto aos resultados mais aproximados por exigir a definição de valores máximos, mínimos e mais prováveis para as variáveis analisadas (FAIRCHILD, MISRA e SHI, 2016).

Assim, para a SELIC e bandeiras tarifárias considerou-se o valor máximo o maior valor da série histórica e valor mínimo como o menor valor, enquanto o valor mais provável para a

SELIC foi considerado o valor máximo, diferente das bandeiras tarifárias que foi considerada a moda, por seus valores serem tabulados e não contínuos.

Para estimativa destes valores para os orçamentos obtidos foi feita uma sugestão de variação de 10% para englobar possíveis variações de custos nos projetos, como renegociação de preço ou imprevistos que possam ocorrer na implementação do SF. Finalmente, para a estimativa dos valores da tarifa convencional de energia o período histórico considerado foi de agosto de 2015 a fevereiro de 2023, o valor mínimo adotado foi o menor valor da série, o valor máximo corresponde ao maior valor e, considerando que a tendência da tarifa é de crescimento, adotou-se o valor máximo como valor mais provável.

Todos estes valores detalhados em conjunto formam os cenários de avaliação, sendo estes representados pelos balões nomeados “simulações” na Figura 9. Todos estes dados foram inseridos no @Risk, para serem executadas as 500 mil simulações para cada cenário e obtidos as distribuições de frequência de seus indicadores (VPL, TIR e *Payback*). Este número de simulações é elevado quando comparado à literatura, mas definido assim para que apresente uma visualização mais ampla quanto a sua interpretação de que mesmo com milhares de simulações os resultados serão sempre favoráveis na implementação do SF. Por fim, foi feita uma análise comparativa entre os diferentes cenários, analisando seus indicadores e estatísticas das distribuições.

### **5.3 Ferramentas utilizadas**

Nesta seção serão descritas as ferramentas utilizadas para a realização do estudo. Na primeira subseção estão os indicadores econômicos definidos que mais se adequaram as necessidades da pesquisa e em seguida, e na segunda subseção, uma descrição da Simulação Monte Carlo, ferramenta utilizada para as simulações em diferentes cenários.

#### **5.3.1 Indicadores econômicos**

Para (NEWNAN e LAVELLE, 2000), os indicadores financeiros são essenciais para avaliar a viabilidade de um investimento e auxiliar na tomada de decisão. Eles são um conjunto de métodos capazes de medir a estabilidade atual de uma empresa e prever sua situação futura. Nos tópicos seguintes, serão detalhados os indicadores utilizados no estudo, juntamente com suas respectivas definições.

### 5.3.1.1 Payback descontado

Para entender o funcionamento do payback descontado, é preciso entender sobre o payback simples. De acordo com Gitman (2007), payback simples é o tempo necessário para que o investimento seja recuperado de acordo com os valores do fluxo de caixa informado. Entretanto, não se aplica ao presente estudo visto que precisamos de um indicador que considere a variação de taxas no tempo. O indicador que consegue fazer esse cálculo é o payback descontado. A fim de realizar esse cálculo, o primeiro passo é encontrar o valor presente (VP), equação (1), do fluxo de caixa atrelado a taxa de desconto e aplicar na equação de payback simples, conforme equação (2).

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

Onde:

VP: Valor presente;

VF: Valor futuro;

i: Taxa de desconto;

N: período.

$$\text{Payback descontado} = \text{Investimento} \div \text{Valor Presente}. \quad (2)$$

### 5.3.1.2 Valor presente líquido (VPL)

Gitman (2007) define o Valor Presente Líquido (VPL) como uma técnica sofisticada que considera o valor do dinheiro no tempo. Essa característica se faz bastante útil em uma análise de investimento, visto que no decorrer dos meses ou anos as taxas de juros variam e podem levar um investimento que parecia ser positivo a se tornar um prejuízo por não ter sido considerada nenhuma variação.

Segundo o autor, o cálculo do VPL desconta o fluxo de caixa a uma taxa determinada como a taxa mínima para que o investimento tenha um retorno mínimo. Essa taxa é denominada de Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que no presente estudo ela foi equiparada a taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC), visto que como citada anteriormente é a taxa básica de juros que influencia várias taxas de juros praticadas no mercado, incluindo a inflação. O VPL é calculado de acordo com a equação (3).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t} - I_o \quad (3)$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido;

$FC_t$  = Valor Presente das entradas de caixa;

TMA = Taxa mínima de atratividade;

$I_o$  = Investimento Inicial.

### 5.3.1.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Um outro indicador bastante utilizado para análise de investimentos é a Taxa Interna de Retorno (TIR). Através desse método é possível obter a taxa de desconto quando o VPL é igual a zero. Ao zerar o valor do VPL, temos um investimento inicial igual aos valores descontados no fluxo de caixa, o que resulta em um investimento quem não tem prejuízo, assim como não tem lucro (GITMAN, 2007).

Para um investimento ser rentável, pelo qual seja proveitoso aceitar, a TIR precisa ser maior que a TMA, visto que a TMA é considerada como taxa de “neutralidade”. Caso ocorra de a TIR ser menor que a TMA, o investimento precisa ser rejeitado por significar prejuízo. A TIR pode ser obtida a partir da equação (4).

$$R\$O = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_o \quad (4)$$

### 5.3.2 Simulação Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo (SMC) é uma técnica que a partir de amostras aleatórias de entrada gera amostras aleatórias de variáveis de saída (SOARES, 2006). Em uma análise de viabilidade de investimentos em âmbitos de incertezas, a SMC é capaz de construir milhares de cenários possíveis e as distribuições de probabilidades geradas possibilitam uma visualização dos riscos (MACEDO, ALBUQUERQUE e MORALLES, 2017). Sendo assim, ela permite avaliar as interações de um modelo determinístico através da utilização de números randômicos como entradas (RITTER *et al.*, 2014). Então, a SMC uma ferramenta aplicável a qualquer estudo que contemple simulação de cenários (PANZENHAGEN, 2017).

Para iniciar o processo de simulação são inseridas variáveis de entrada, que são as responsáveis por fixar limites de variabilidade e utilizadas por dados aleatórios gerados pela simulação, que utiliza o tipo de distribuição que melhor se adequa às características das variáveis de entrada, e apresenta variáveis de saída que se pretende obter. A execução da simulação consiste em repetidas vezes gerar resultados de série de distribuição, capazes de descrever o comportamento das variáveis modeladas de acordo com alguma função de densidade de probabilidade (MAHADEVAN, 1997).

Felipe e Leismann (2019) realizaram uma análise comparativa entre os métodos determinísticos e probabilísticos, aplicados a análise de investimento, e constataram que apesar do método determinístico possuir aplicação mais simples, ele se mostra limitado pois não incorpora a simulação de cenários de acordo com sua probabilidade de ocorrência. Lacuna esta que é suprida pelos métodos de simulação probabilísticos, como a SMC. Os autores ainda indicam que a tendência das análises de investimentos se direciona para a forte utilização de métodos probabilísticos integrados a outras técnicas, como árvore de decisão, permitindo que os riscos inerentes sejam reduzidos, garantindo maiores benefícios para os investidores (FELIPE e LEISMANN, 2019).

## 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar e analisar os resultados obtidos na pesquisa realizada. Para facilitar a compreensão, serão abordados em cinco subtópicos. O primeiro apresentará os dados iniciais coletados, enquanto os três seguintes serão dedicados à análise de três resultados distintos, com base nos orçamentos das empresas pesquisadas. Por fim, será realizada uma análise de sensibilidade dos indicadores calculados, a fim de identificar possíveis variações nos resultados.

Os resultados foram obtidos com a simulação de Monte Carlo e tratados estatisticamente pelo software @Risk, que realizou 500 mil simulações e de forma sucinta gerou gráficos que permitiram uma análise visual dos cenários, com intervalo de confiança (IC) de 90%, possibilitando identificar quais valores obtinham maiores e menores possibilidades de ocorrer.

### 6.1 Dados iniciais

Após a definição dos indicadores financeiros, percebeu-se a necessidade de complementar os cálculos com dados externos ao estudo. Na análise de viabilidade econômica, é essencial considerar os custos do equipamento e da implementação para definir os orçamentos. Além disso, é importante levar em conta o comportamento da taxa SELIC ao longo do tempo, uma vez que ela é utilizada como referência para outras taxas de juros praticadas no mercado, conforme definido pelo Banco Central do Brasil (BCB, 2023), instituição financeira responsável por estabelecê-la.

Embora a Taxa SELIC tenha entrado em vigor em 1996, os valores observados neste estudo são a partir de 2015, para equiparar ao tempo analisado das bandeiras tarifárias. Sendo assim, obtemos um valor mínimo de 2,96%, um valor máximo de 14,21% e uma média de 8,84% (Tabela 1).

Além da taxa SELIC foi preciso considerar os valores que são acrescidos, em períodos de escassez hídrica, em cada kWh consumido, que são dados pelas bandeiras tarifárias disponíveis para visualização do consumidor na própria fatura de consumo e no site da concessionária fornecedora de energia. Por serem valores padronizados, é possível analisar um valor modal e ao mesmo tempo mais provável para os acréscimos das bandeiras tarifárias, que foram utilizados nos cálculos, além do valor mínimo possível e o valor máximo.

Para a tarifa convencional de energia o período histórico considerado foi de agosto de 2015 a fevereiro de 2023, dessa base o valor mínimo adotado foi o menor valor da série, o valor máximo corresponde ao maior valor e, por fim, considerando que a tendência da tarifa é de

crescimento, adotou-se o valor máximo como valor mais provável, visto que é o valor mais recente (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados da SELIC, bandeiras tarifárias e tarifa convencional

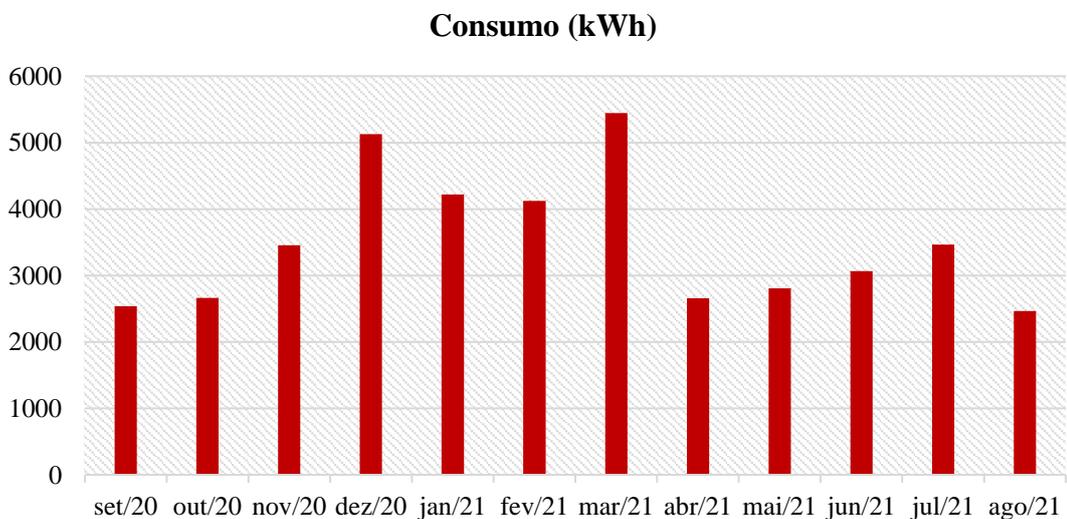
Medidas de tendência	Dados externos		
	SELIC (%)	Bandeiras tarifárias (R\$)	Tarifa convencional (R\$/kWh)
<b>Média</b>	8,84	N/A	0,54
<b>Moda</b>	6,5	0,001	N/A
<b>Desvio padrão</b>	4,28	N/A	0,11
<b>Valor mínimo</b>	2,96	0,001	0,43
<b>Valor máximo</b>	14,21	0,142	0,75
<b>Valor mais provável</b>	14,21	0,001	0,75

Fonte: A autora (2023)

Para calcular a viabilidade da implementação do sistema foi utilizado como base o consumo mensal do local de estudo durante um ano, para identificar possíveis variações foi realizada uma análise do consumo durante o período, obtendo um consumo médio mensal de 3586 kWh.

A Figura 10 apresenta o histórico de consumo ao longo do ano base para o estudo, no qual se percebe que os meses de dezembro e março possuem um maior consumo energético. A empresa em questão é uma fábrica de produtos de limpeza que executa suas atividades 6 dias por semana em 8 horas diárias, mas que em alguns momentos, para atender a demanda, necessita de horas extras no turno da noite.

Figura 10 - Histórico de consumo energético do local estudado



Fonte: A autora (2023)

## 6.2 Resultados obtidos para a Empresa 1

Para a utilização dos produtos e serviços prestados pela Empresa 1 é necessário um investimento de valor inicial igual a R\$109.334,00, que foi o valor real fornecido pela empresa, portanto, considerado o valor mais provável. Aplicando uma margem de negociação de 10% obtemos uma variação no valor do investimento inicial entre R\$98.400,60, definido como o valor mínimo, e R\$120.167,40 o valor máximo, como apresentado na Tabela 2.

O valor do item “tarifa (R\$)”, apresentado na Tabela 2, é formado por duas componentes: o adicional da bandeira tarifária (BT) somado a tarifa convencional (TC) de energia, popularmente conhecida como preço do kWh de energia. Assim, o valor final apresentado é resultado da soma destas duas tarifas (BT+TC), de acordo com seus valores de mínimo, máximo e mais provável que estão presentes na Tabela 1.

Em relação ao custo anual (R\$), foi somado o consumo de todos os meses no período de um ano, resultando no valor de 42.032 kWh (CA), em seguida multiplicado pelo valor da tarifa, anteriormente calculado. Logo, o custo anual apresentado é resultado da multiplicação do consumo anual com a tarifa (CA\*Tarifa), formando três valores possíveis: o consumo associado a bandeira tarifária mínima, a máxima e a mais provável.

Na Tabela 2 é possível observar os valores mínimos, máximos e mais prováveis pelos quais as variáveis investimento inicial, TMA, tarifa e custo de anual assumiram. Com o uso do @Risk, essas variáveis foram convertidas em valores de saída, que forneceram um resultado único exposto na coluna “Resultado” da Tabela 2.

Foi então produzido o FC e calculado os indicadores únicos ( $VPL_{U1}$ ,  $TIR_{U1}$  e  $Payback_{U1}$ ) mostrados na Tabela 2. Estes indicadores foram denominados “únicos” pois foram calculados em sua forma tradicional, não havendo, portanto, a análise de cenários distintos. Estes resultados indicam um investimento atrativo, visto que o  $VPL_{U1}$  é maior que zero, a  $TIR_{U1}$  é superior a TMA e o  $Payback_{U1}$  é de aproximadamente cinco anos.

Tabela 2 - Cálculo das variáveis e indicadores iniciais para a Empresa 1

Variáveis	Dist. triangular			Resultado	Indicadores		
	Mínimo	Máximo	Mais provável		$VPL_{U1}$	$TIR_{U1}$	$Payback_{U1}$
<b>Investimento(R\$)</b>	98400,6	120.267,40	109.334,00	109.334			
<b>TMA (%)</b>	2,968	14,21	14,21	8,67			
<b>Tarifa (R\$)</b>	0,7505	0,892501	0,7505	0,7978	228.840,40	31%	3,99
<b>Custo anual (R\$)</b>	31545	37513,6	31545,02	33534,54			

Fonte: A autora (2023)

De posse dos dados apresentados na Tabela 2 foi realizada a simulação de Monte Carlo com o auxílio do @Risk. Para a ocorrência dessa simulação o software utiliza da fórmula de definição, para cada um dos indicadores, de forma a encontrar resultados individuais para o número definido de cenários a serem avaliados, aplicados em todas as três empresas analisadas.

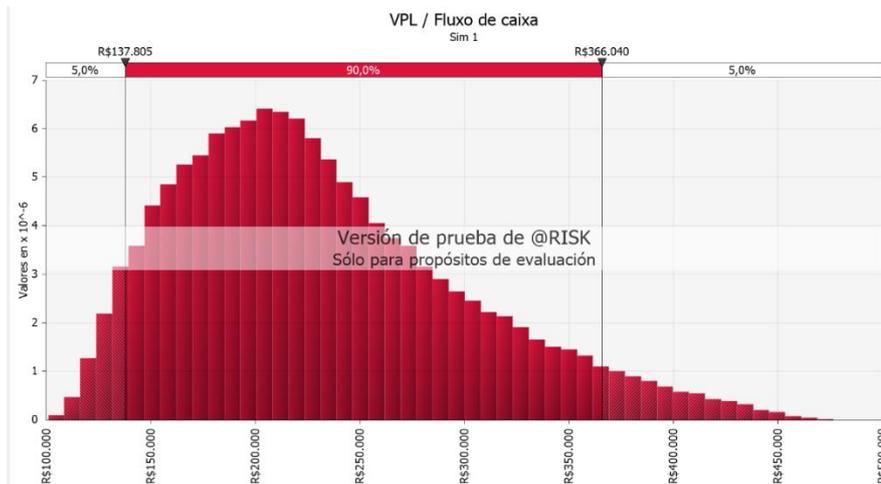
A título de exemplo do processo de simulação, para o cálculo dos 500 mil cenários do VPL o @Risk utiliza dos intervalos de mínimo, máximo e mais provável das variáveis, apresentadas na Tabela 2, aplicados na Equação 1, existindo, portanto, 500 mil valores de VPL. Como forma de sintetizar estes resultados calculados o software apresenta o histograma da distribuição da densidade de probabilidade para o VPL, acompanhado de outros dados que caracterizam a distribuição. A associação feita entre a fórmula e as variáveis da tabela é que: o valor do  $FC_t$  corresponde ao custo anual, o investimento inicial é subtraído da equação, a taxa (i) equivale a TMA e o período (t) é o tempo de vida útil do sistema.

Esse processo descrito foi realizado para as três empresas analisadas e para o cálculo dos três indicadores. Nas Figuras 11, 12 e 13 podem ser visualizadas as distribuições da densidade de probabilidade para os valores de VPL, TIR e Payback obtidos com as 500 mil simulações para a Empresa 1.

A função densidade de probabilidade, resultado da simulação, indica a probabilidade de a variável analisada assumir valores em um intervalo específico. Para a análise do VPL (Figura 11), a densidade de probabilidade está no eixo Y e representa a probabilidade relativa de que o VPL assuma um determinado valor. O pico desta curva representa o valor mais provável do VPL, enquanto a área sob a curva representa a probabilidade total de todos os possíveis valores do VPL.

De todas as simulações realizadas o menor valor encontrado para o VPL foi de R\$109.910,84, podendo chegar a R\$490.146,95. Sendo esses valores de máximo e mínimo localizados em apenas 5% das chances de cada um ocorrerem esses valores. A média encontrada deste indicador foi o valor de R\$239.200,71 e o valor mais frequente entre as milhares de simulações realizadas foi de R\$225.463,31, pelos quais estão entre o índice de confiança de 90%.

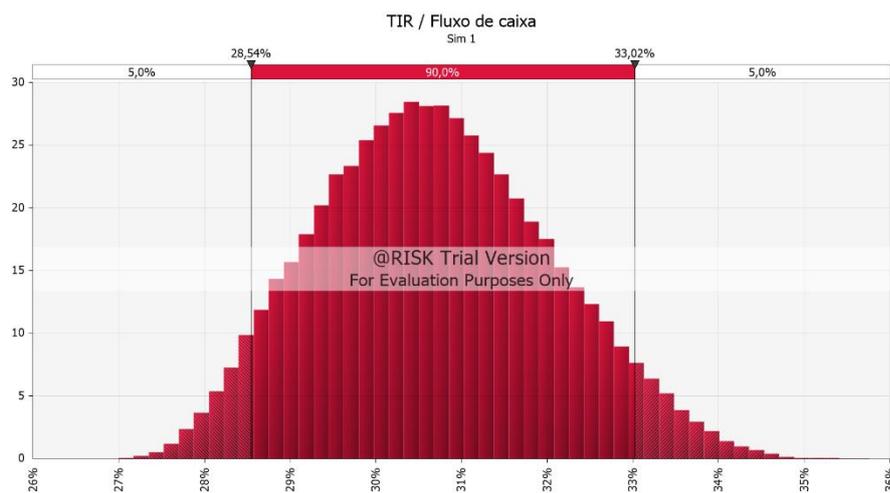
Figura 11 - Distribuição da densidade de probabilidade do VPL para a Empresa 1



Fonte: @Risk (2023)

A distribuição para os valores de TIR (Figura 12) está mais próxima de uma distribuição assimétrica à direita, a densidade de probabilidade está no eixo Y e os valores de TIR no eixo X. Os valores encontrados para esse indicador variam de 27% a 35,53% apresentando uma média de 30,68%, um valor com maior frequência de 30,51% e um desvio padrão de 1,35%. Tomando como base a TMA em 14,21%, os índices encontrados estão acima do limite para um investimento rentável.

Figura 12 - Distribuição da densidade de probabilidade da TIR para a Empresa 1

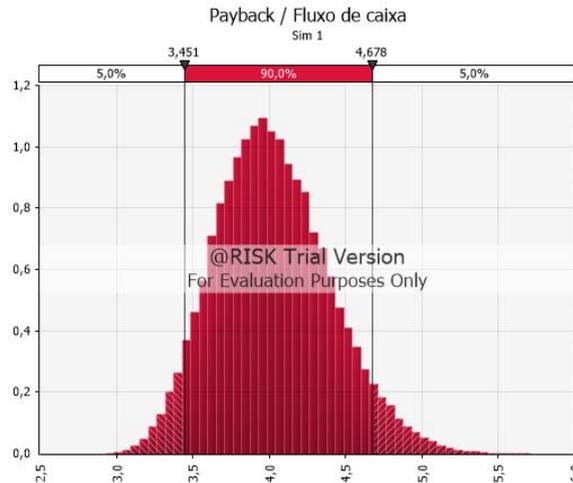


Fonte: @Risk (2023)

O payback descontado da Empresa 1 também trouxe um resultado positivo para a implementação do sistema, como observado no Figura 13, o comportamento da distribuição – sendo estreito e alto – indica que há uma alta probabilidade de o Payback ser próximo ao valor

mais provável. Os resultados encontrados indicam que antes mesmo dos 3 anos pode ocorrer o retorno do investimento e o máximo que esse retorno poderia se estender em aproximadamente 6 anos. Valores interessantes, visto que o período analisado é de 25 anos.

Figura 13 - Distribuição da densidade de probabilidade do Payback descontado para a Empresa 1



Fonte: @Risk (2023)

A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados das distribuições de probabilidade para os três indicadores analisados. O VPL médio encontrado para a empresa 1 foi no valor de R\$ 239.200,71 com uma TIR média de 30,68%. Cabe destaque ao valor mínimo de payback encontrado, que foi de aproximadamente três anos com desvio estatístico de, aproximadamente, cinco meses. O que indica um período de retorno altamente vantajoso dada a tempo de vida útil do SF de 25 anos.

A Tabela 3 confirma a assimetria a direita para a distribuição do VPL, dado que o coeficiente de assimetria encontrado foi de 0,71. Segundo Markowitz (1959), assimetria é uma medida de risco associada ao retorno do investidor, sendo assimétrica a direita quando a cauda mais longa está na direita. Quanto o valor do coeficiente for maior que zero a curva é caracterizada como assimétrica a direita, quando menor que zero será assimétrica a esquerda e quando equivalente a zero a curva será simétrica.

Para análise de investimento esse resultado da Figura 11 indica ser atrativo pois há mais chances de o VPL ser maior que o valor mais provável do que o VPL ser menor que o mais provável, portanto, esse resultado indica retornos atrativos com maior probabilidade para valores acima do esperado. A caracterização dessa distribuição mostra que a média é maior que o valor mais provável.

As distribuições da TIR e Payback descontado apresentam fraca assimetria a direita, indicando que não há forte viés em relação a resultado positivo ou negativo, estando associados a retornos moderados com leve tendência de crescimento.

Tabela 3 - Síntese da variação da distribuição para a Empresa 1

Distribuição	Assimetria (p)	Investimento (R\$)			
		Mínimo	Máximo	Médio	Desvio estatístico
VPL	0,7114	109.910,84	490.146,95	239.200,71	69.131,81
TIR	0,1999	27,09	35,53	30,68	1,35
Payback descontado	0,3363	2,92	5,71	4,02	0,37

Fonte: A autora (2023)

### 6.3 Resultados obtidos para a Empresa 2

Para a Empresa 2, o investimento inicial necessário para implementar o sistema foi de R\$146.812,80, com a aplicação da margem de negociação obtemos uma variação no valor do investimento inicial entre R\$132.131,52 e R\$161.494,08. Como pode ser verificado na Tabela 4. Os resultados dos indicadores apontam o investimento como atrativo, visto que o  $VPL_{U2}$  é maior que zero, a  $TIR_{U2}$  é superior a TMA e o  $Payback_{U2}$  é de aproximadamente seis anos.

Tabela 4 - Cálculo das variáveis e indicadores iniciais para a Empresa 2

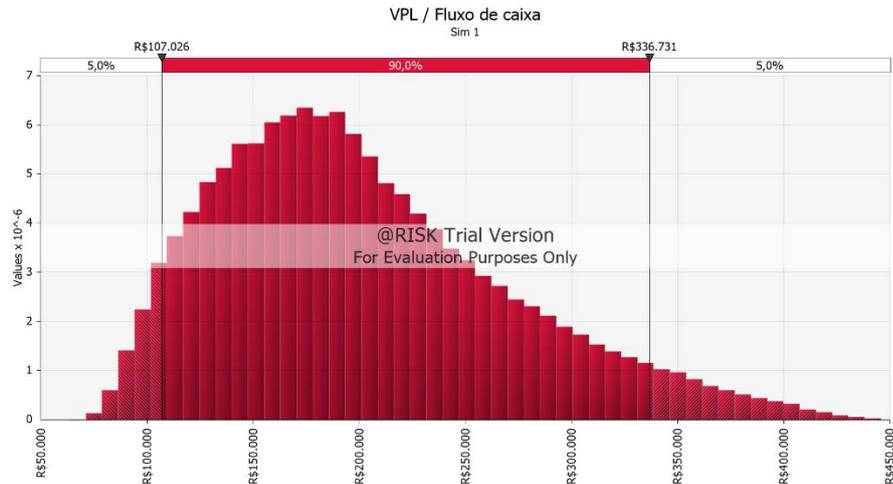
Variáveis	Dist. triangular			Resultado	Indicadores		
	Mínimo	Máximo	Mais provável		$VPL_{U2}$	$TIR_{U2}$	$Payback_{U2}$
Investimento (R\$)	132.131,52	161.494,08	146.812,80	146.812,8			
TMA (%)	2,968	14,21	14,21	8,67			
Tarifa (R\$)	0,7505	0,892501	0,7505	0,7978	191.361,60	23	5,74
Custo anual (R\$)	31.545,02	37.513,6	31.545,02	33.534,54			

Fonte: A autora (2023)

Assim, foi realizada a simulação e os resultados das distribuições da densidade de probabilidade para cada indicador estão apresentados nas Figura 14, 15 e 16 respectivamente. Das 500 mil simulações realizadas, o menor valor encontrado para o VPL da Empresa 2 foi de R\$63.400,47 e o maior valor encontrado foi de R\$445.729,76. O valor médio encontrado foi de R\$201.723,86 e o valor mais encontrado foi de R\$169.021,52, pico da distribuição. A distribuição da densidade de probabilidade do resultado das simulações para esse indicador está

disponível na Figura 14, e como na empresa anterior, aparenta ser uma distribuição assimétrica a esquerda.

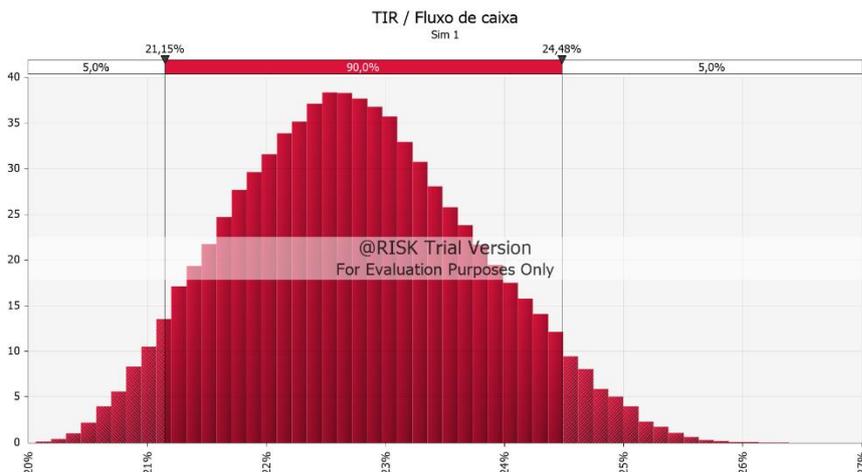
Figura 14 - Distribuição da densidade de probabilidade do VPL para a Empresa 2



Fonte: @Risk (2023)

A distribuição dos valores de TIR para a Empresa 2 (Figura 15) aparenta ser simétrica, com os valores de densidade de probabilidade no eixo Y e os valores de TIR no eixo X. Foi possível encontrar uma variação entre 20,06% e 26,38% apresentando uma média de 22,74%, um valor com maior frequência de 22,56% e um desvio padrão de 1,01%. Os índices encontrados estão acima do esperado para um investimento rentável.

Figura 15 - Distribuição da densidade de probabilidade da TIR para a Empresa 2

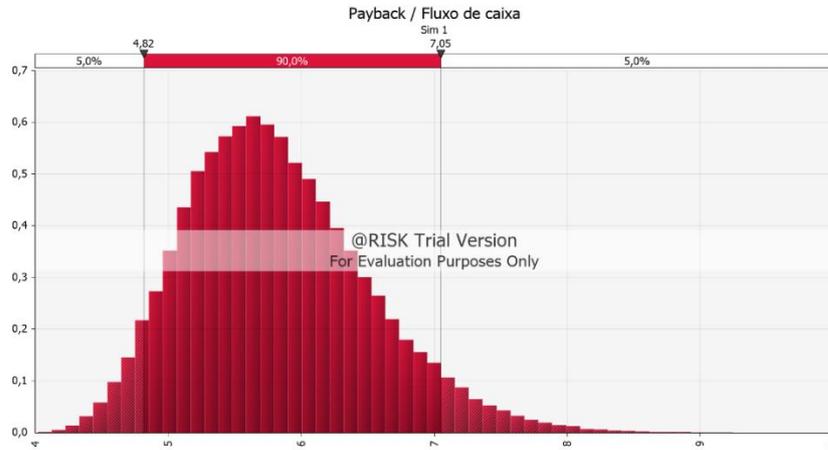


Fonte: @Risk (2023)

A distribuição para o payback descontado da Empresa 2 indica estar levemente assimétrico a direita (Figura 16). O payback descontado desta empresa apresenta valores maiores em relação às outras empresas e também resulta positivamente para a implementação

do sistema. A partir de aproximadamente 4 anos pode ocorrer o retorno do investimento e o máximo que esse retorno poderia se estender seria de até pouco mais de 9 anos.

Figura 16 - Distribuição da densidade de probabilidade do Payback descontado para a Empresa 2



Fonte: @Risk (2023)

A Tabela 5 apresenta a síntese dos resultados das distribuições de probabilidade para os três indicadores analisados. Para esta empresa, o VPL mínimo encontrado foi no valor de R\$ 63.400,47, com desvio estatístico de R\$ 69.252,67, com uma TIR mínima de 20,06% e desvio estatístico 1,01%. No entanto, o valor máximo de payback encontrado foi em torno de nove anos e três meses, com desvio de oito meses.

Tabela 5 - Síntese da variação da distribuição para a Empresa 2

Distribuição	Assimetria (p)	Investimento (R\$)			
		Mínimo	Máximo	Médio	Desvio estatístico
VPL	0,7067	63.400,47	445.729,76	201.723,86	69.252,67
TIR	0,1818	20,06	26,3877	22,7436	1,0081
Payback descontado	0,5489	4,0175	9,2457	5,8157	0,6829

Fonte: A autora (2023)

#### 6.4 Resultados obtidos para a Empresa 3

Para a Empresa 3, o investimento inicial necessário é de R\$119.214,40, aplicando uma margem de erro de 10% obtemos uma variação no valor do investimento inicial entre R\$107.292,96 e R\$131.1315,84, conforme apresentado na Tabela 6. Os resultados dos indicadores apontam o investimento como atrativo, visto que o  $VPL_{U3}$  é maior que zero, a  $TIR_{U3}$  é superior a TMA e o  $Payback_{U3}$  é de aproximadamente cinco anos.

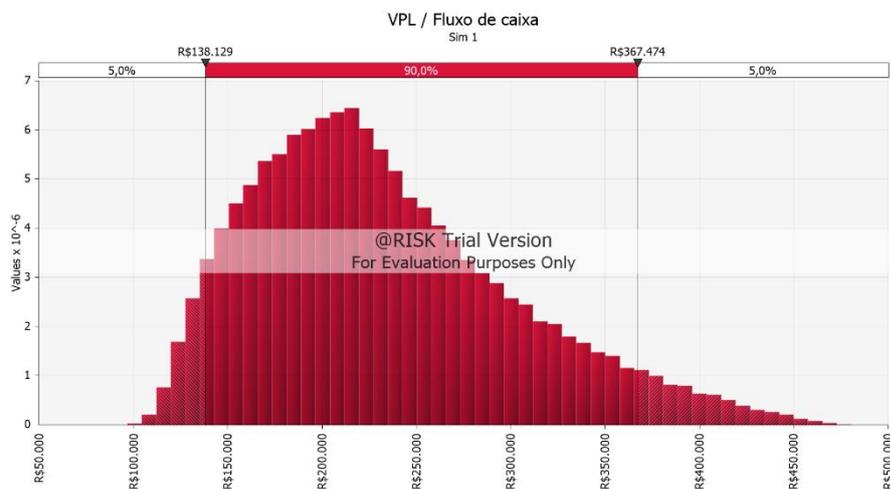
Tabela 6 - Cálculo das variáveis e indicadores iniciais para a Empresa 3

Variáveis	Dist. Triangular			Resultado	Indicadores		
	Mínimo	Máximo	Mais provável		VPL <sub>U3</sub>	TIR <sub>U3</sub>	Payback <sub>U3</sub>
<b>Investimento (R\$)</b>	107.292,96	131.135,84	119.214,40	119.214,4			
<b>TMA (%)</b>	2,968	14,21	14,21	8,67	222.253,47	29	4,28
<b>Tarifa (R\$)</b>	0,7505	0,8925	0,7505	0,7978			
<b>Custo anual (R\$)</b>	31545,02	37513,6	31545,02	33534,54			

Fonte: A autora (2023)

A simulação dos 500 mil cenários foi realizada e nas Figuras 17, 18 e 19 são apresentadas as distribuições da densidade de probabilidade para os valores de VPL, TIR e Payback descontado da Empresa 3. A Figura 17 apresenta a distribuição da densidade de probabilidade do VPL, que possui característica de distribuição assimétrica a direita. Dentre todas as simulações realizadas para esta empresa, o menor valor encontrado para o indicador foi de R\$96.667,14, o maior valor encontrado foi de R\$480.623,10 e uma média de R\$232.620,63. A taxa mais frequente, ou moda, foi de R\$218.787,34.

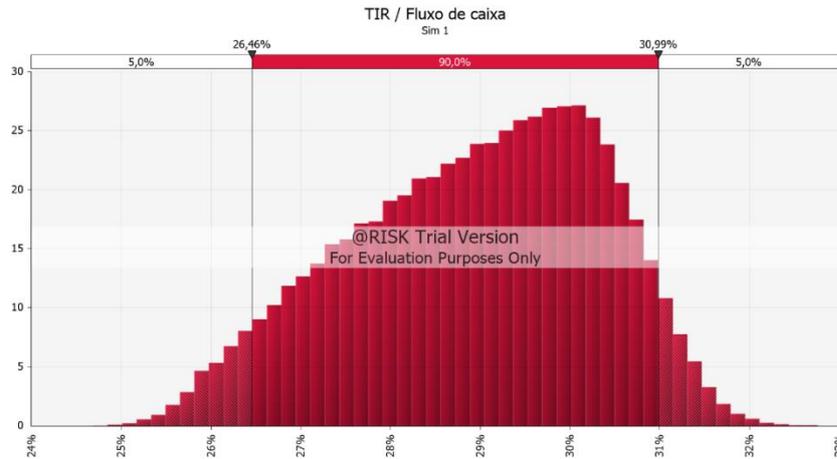
Figura 17 - Distribuição da densidade de probabilidade do VPL para a Empresa 3



Fonte: @Risk (2023)

Para a distribuição da densidade de probabilidade dos valores de TIR, a Figura 18 indica uma assimetria a esquerda, visto que a cauda da direita possui uma maior concentração de valores da distribuição. Os resultados encontrados variam de 24,68% a 32,46% apresentando uma média de 28,94%, um valor com maior frequência de 29,95% e um desvio padrão de 1,39%.

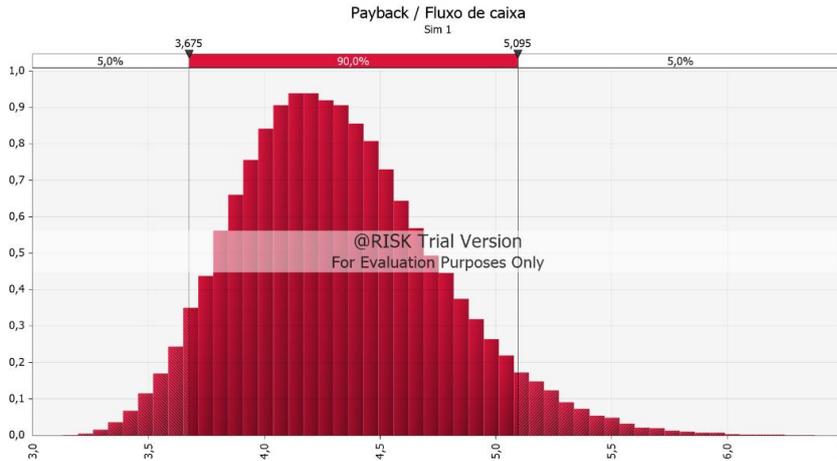
Figura 18 - Distribuição da densidade de probabilidade da TIR para a Empresa 3



Fonte: @Risk (2023)

A distribuição do Payback descontado da Empresa 3 indica uma leve assimetria a direita, mas tendenciando ao risco moderado. Os resultados encontrados para payback mínimo e máximo são, respectivamente, cerca de três e seis anos para que ocorra o retorno do investimento.

Figura 19 - Distribuição da densidade de probabilidade do Payback descontado para a Empresa 3



Fonte: @Risk (2023)

A Tabela 7 apresenta a síntese dos resultados das distribuições de probabilidade para os três indicadores analisados. O VPL médio encontrado para a Empresa 3 foi no valor de R\$ 232.620,63 e desvio estatístico de R\$ 69.244,56, resultado este muito similar a Empresa 1, esta similaridade se estende ainda aos valores de mínimo, máximo e mais provável da TIR e Payback descontado.

No entanto, quando analisado a variação da distribuição da TIR confirma-se que ela é do tipo assimétrica a esquerda, com coeficiente de assimetria igual a -0,30. Neste caso, o valor

mais provável é superior à média, ou seja, há mais chances de os valores da TIR serem menores que o valor mais provável. Assim, o risco associado mostra-se maior quando comparado as outras empresas pois há uma maior concentração de valores da distribuição anteriores ao valor mais provável. VPL e Payback descontado apresentam assimetria a direita ( $p > 0$ ), no entanto este último citado apresenta uma leve tendência a simetria, visto que o valor do coeficiente se encontra mais próximo a zero, apontando que para a Empresa 3 o período de retorno possui risco moderado.

Tabela 7 - Síntese da variação da distribuição para a Empresa 3

Distribuição	Assimetria (p)	Investimento (R\$)			
		Mínimo	Máximo	Médio	Desvio estatístico
VPL	0,7227	96.667,14	480.623,10	232.620,63	69.244,56
TIR	-0,3074	24,68	32,76	28,94	1,39
Payback descontado	0,4871	3,1297	6,3783	4,3187	0,4330

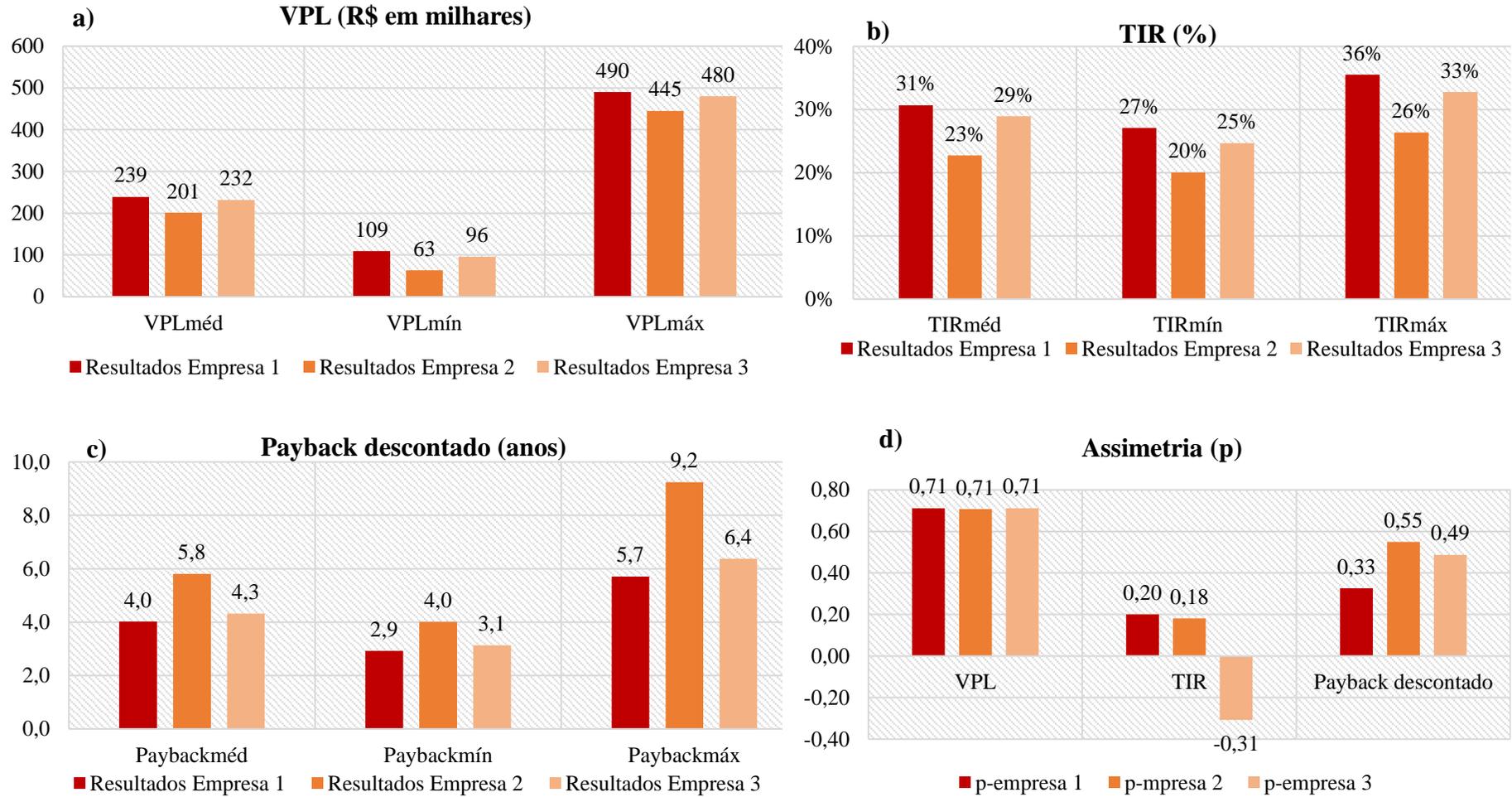
Fonte: A autora (2023)

## 6.5 Análise comparativa dos resultados

A Figura 20 apresenta o resumo de todos os resultados apresentados, esta figura está dividida em quatro seções. De modo geral percebe-se que os gráficos possuem certa homogeneidade em seus comportamentos, no entanto, a simulação de monte Carlo permite analisar as pequenas divergências que diferenciam as três empresas e direcionam a escolha de investimento mais assertiva.

A primeira seção (Figura 20 – a) diz respeito aos valores de VPL mínimo, máximo e mais provável para as três empresas analisadas. É possível visualizar que para a três categorias de VPL apresentadas a Empresa 1 é aquela que possui os maiores valores, enquanto a Empresa 2 possui os menores. Quando analisado a TIR esse comportamento se repete (Figura 20 – b), exceto para o valor de TIR máximo em que a Empresa 1 é a que possui maior valor (TIR = 35,53%). A caracterização do gráfico se altera consideravelmente quando analisamos o Payback descontado (Figura 20 – c), visto que neste caso a situação é de quanto menor o valor encontrado, melhor é o resultado, assim, a Empresa 1 permanece com os melhores resultados e a Empresa 2 com os menos favoráveis. No entanto, ao ser avaliado a simetria (p) das distribuições (Figura 20 – d), o valor de p encontrado para a TIR da Empresa 3 corresponde a -0,31, que indica assimetria a esquerda, possuindo então risco acentuado em comparação as demais empresas.

Figura 20 - Comparativo dos resultados



Os cálculos iniciais dos indicadores únicos mostraram que todas as empresas possuem atratividade para o investimento, de acordo com os indicadores avaliados. A comparação posterior destes resultados com os resultados médios dos indicadores, provenientes da simulação, mostram que não houve diferenças em grande escala. Para a Empresa 1 o  $VPL_{U1}$  foi de R\$ 228.840,40 enquanto o  $VPL_{méd}$  foi de R\$ 239.200,71, uma diferença de aproximadamente 4% entre os resultados encontrados. Similarmente ocorre para TIR da Empresa 2, onde a  $TIR_{U2}$  assumiu um valor de 23% e a  $TIR_{méd}$  R\$ 22,74%, sendo assim o diferencial de apenas 1,1%. O mesmo ocorre para o Payback descontado nas três empresas.

No mais, estas análises indicam que todas as empresas apresentam valores favoráveis para investimento, observa-se que todas as três empresas apresentaram um VPL positivo, uma TIR acima da taxa mínima de atratividade e um período de retorno de investimento (payback) descontado menor do que a vida útil do sistema.

No entanto, ao analisar as três empresas em conjunto, pode-se perceber que a Empresa 1 se mostrou a mais viável para investimento, uma vez que apresentou um VPL mais alto, uma taxa de retorno maior e um payback mais curto. Em seguida, a Empresa 3 apresentou a segunda maior viabilidade de investimento, enquanto a Empresa 2 apresentou o cenário menos favorável entre as três.

A análise comparativa permitiu identificar que apesar da Empresa 3 mostrar-se similar a primeira empresa em diversos resultados dos indicadores, o estudo da caracterização da distribuição de densidade de probabilidade para a TIR permitiu perceber que ela possui um maior risco, que pode estar associado a ocorrência de eventos negativos como um aumento significativo no custo de implementação do SF.

Dessa forma, a análise de cenários se mostra uma ferramenta imprescindível na tomada de decisão, permitindo que o decisor avalie diversas possibilidades e identifique a opção mais vantajosa, auxiliando na escolha do melhor investimento, minimizando os riscos e maximizando as oportunidades de sucesso. Além disso, a utilização de indicadores como o VPL, TIR e payback descontado proporcionam uma visão mais clara e objetiva dos resultados obtidos, facilitando a comparação entre as diferentes opções.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por fontes de energia limpa tem se intensificado em todo o mundo, uma vez que a substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis é de interesse global. O Brasil, com altos índices de incidência solar, é um território ideal para indústrias adotarem o uso de placas solares como fonte de energia elétrica limpa e renovável. O estudo de caso realizado mostrou a importância da implementação de energia limpa, no caso, a fotovoltaica, além de demonstrar que mesmo ao realizar milhares de simulações, utilizando o método do VPL, TIR e Payback descontado, é possível comprovar que a implementação do sistema fotovoltaico na empresa é rentável.

Embora as empresas fornecedoras do SF tenham apresentado valores diferentes, os três orçamentos demonstraram-se viáveis quando analisados em longo prazo. Entretanto, ainda assim, é preciso levar em consideração fatores importantes antes de aderir ao sistema, tais quais: localização da empresa, custo da energia, custo da implementação do sistema, o tamanho da instalação e os incentivos governamentais para o uso de energia limpa. Além disso, é preciso estar claro ao consumidor a diferença financeira entre os dois tipos de energia consumida.

Além dos benefícios econômicos, a implementação de energia fotovoltaica pode ter impactos positivos na imagem da empresa, ao demonstrar um compromisso com a sustentabilidade. A adoção de energia renovável pode melhorar a percepção da empresa por seus clientes e funcionários, aumentando sua reputação e contribuindo para uma cultura corporativa mais responsável.

No entanto, o contexto analisado neste estudo poderá mostrar-se inadequado ao investimento caso seja efetivado a aplicação do Marco Legal regulamentado pela ANEEL, pelo qual aplica taxas referentes a distribuição, transmissão e confiabilidade do fornecimento de energia elétrica. Essa regulação entrou em vigor no ano vigente, entretanto ainda há a possibilidade de ser reavaliada devido ao desfavorecimento a implementação do SF.

A pesquisa passou por algumas limitações, o estudo de caso foi realizado em uma região específica do Brasil e embora seja um país com alto potencial de radiação solar, os índices de radiação divergem entre as regiões brasileiras. Além disso, os tributos cobrados pelas concessionárias também variam de acordo com região ou estado. Desse modo, a todos

que se interessam em um investimento semelhante precisam avaliar as especificidades da região.

No que diz respeito a limitação dos resultados encontrados, percebeu-se similaridade entre os resultados das simulações para os indicadores VLP e Payback descontado entre as empresas 1 e 3, no entanto, para os valores de TIR da empresa 3 apresentaram comportamento que foge aos outros indicadores, sendo assim, este resultado encontrado pode indicar que existem variáveis não abordadas no estudo que possuem influência sob o comportamento dos resultados.

Com isso, sugere-se para trabalhos futuros que sejam inseridos na análise de simulação outras variáveis além daquelas neste estudo utilizadas, como a variação no custo dos equipamentos que compõem o SF, a periodicidade de manutenção e os encargos setoriais, dentre outros, bem como a inserção de mais indicadores financeiros para serem avaliados. Outro fator importante de se observar é a regulação proposta pela ANEEL, nomeada de Marco legal, a fim de verificar se o sistema continuará viável nos cenários propostos. De modo mais abrangente, sugere-se analisar a conjuntura do setor no Brasil, para além da geração de energia por fonte solar, buscando identificar suas contribuições no mercado de trabalho, movimentação da economia e diminuição dos impactos ambientais ocasionados pela produção de energia.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Relatório da Aneel sobre o aumento da potência gerada em energia solar no Brasil, 2022a. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWl3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 08 mar 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Custo da energia que chega aos consumidores. **Ministério de minas e energia**, 24 fev 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/custo-da-energia-que-chega-aos-consumidores>. Acesso em: 13 mai 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Base de Dados das Tarifas das Distribuidoras de Energia Elétrica**. Relatório contendo os dados das Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição, 2022c. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/basestarifas#!>. Acesso em: 10 abr 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Ministério de Minas e Energia. **Resolução normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>. Acesso em: 13 mai 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012**, 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Disponível em: < <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/atren2012482.pdf> >. Acesso em: 13 maio 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST, 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf> . Acesso em: 10 maio de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012**: relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018, 2018. Disponível em: < [https://git.aneel.gov.br/publico/centralconteudo/-/raw/main/manuaisinstrucoes/air/Modelo\\_AIR\\_SRD\\_Geracao\\_Distribuida.pdf](https://git.aneel.gov.br/publico/centralconteudo/-/raw/main/manuaisinstrucoes/air/Modelo_AIR_SRD_Geracao_Distribuida.pdf)>. Acesso em: 13 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). Capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no Brasil ultrapassa marca de 10 GW em janeiro de 2021. Disponível em: <https://absolar.org.br/noticia/capacidade-instalada-de-energia-solar-fotovoltaica-no-brasil-ultrapassa-marca-de-10-gw-em-janeiro-de-2021.html>. Acesso em: 25 abr. 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC)**, 2023. Disponível em <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/sistemaSELIC>. Acesso em: 12 jan 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Taxas de juros básicas – Histórico**, 2022. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 22 dez 2022.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm). Acesso em: 13 mai 2023.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. 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). Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm). Acesso em: 05 mar 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia/Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa ANEEL Nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023**. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília: Diário Oficial da União, 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.059-de-7-de-fevereiro-de-2023-463828999>. Acesso em: 13 mai 2023.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. Guia técnico sobre geração distribuída de energia elétrica por biogás em ETEs. Ministério das Cidades, Brasília, DF, 2016. ISBN 978-857-958-070-3. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/giz\\_guiatecnico\\_ETE.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/giz_guiatecnico_ETE.pdf). Acesso em: 13 mai 2023.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 5829 de 2019**. 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: Câmara dos Deputados, 2021. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/149862>. Acesso em: 13 mai 2023.

BRASIL. Diário Oficial da União. Aviso de Consulta Pública nº 015/2010. Seção 3, pag. 112. Disponível em: [https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta\\_publica/documentos/Aviso%20CP%20015\\_2010%20se%C3%A7%C3%A3o%203%20pg%20112%2010.09.10.pdf](https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Aviso%20CP%20015_2010%20se%C3%A7%C3%A3o%203%20pg%20112%2010.09.10.pdf) Acesso em: 07 mai 2023

BÜHLER, A. J.; GABE, I. J.; SANTOS, F. H. dos. Uma revisão sobre as tecnologias fotovoltaicas atuais. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Gramado, abril 2018 Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/267/267>. Acesso em: 13 mai 2023.

CARDOSO, D. S.; LOCATELLI, P. S.; RAMALHO, W. Distributed generation of photovoltaic solar energy: impacts of anel's new regulation proposal on investment attractiveness. **Revista de Administração da UFSM**, v. 14, n. 4, p. 1097-1113, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/61993/pdf>. Acesso em: 26 abr. 2023.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). Energia solar princípios e aplicações. **CEPEL: sistemas eletrobrás**, 2006. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf). Acesso em: 10 mai 2023.

CLARKE, L.; Y.-M. WEI, A.; NAVARRO, A.; GARG, A.N.; HAHMANN, S.; KHENNAS, I.M.L. AZEVEDO, A.; LÖSCHEL, A.K.; SINGH, L.; STEG, G.; STRBAC, K.; WADA. Energy Systems Supplementary Material. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**, 2022. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Chapter06\\_SM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter06_SM.pdf). Acesso em: 24 jul 2022.

CONGRESSO NACIONAL. **Lei nº 13.169, de 6 de outubro de 2015**. Altera a Lei nº 7.689, de 15 de dezembro de 1988, para elevar a alíquota da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido – CSLL, 2015. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/113169.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113169.htm). Acesso em: 10 mai 2023.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA (CONFAZ). Ministério da Fazenda. **Convênio ICMS** de 22 de abril de 2015. Disponível em < [https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016\\_15](https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15)> Acesso em: 10 mai 2023.

CORRÊA, L.; CÁRIO, S. A. F. As políticas públicas em energia eólica e solar fotovoltaica no Brasil: uma análise baseada na teoria de políticas mission-oriented. **VII ENEI – Encontro Nacional de Economia Industrial**, 2022. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/vienei/813.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2023.

COSTA, F. O. Barreiras para a implementação da Indústria 4.0: uma revisão bibliométrica e sistêmica. **Universidade Federal de Santa Catarina**, Engenheira de Controle e Automação (Trabalho de conclusão de curso de graduação), Blumenau, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/210227>. Acesso em Nov de 2022.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. **Econstor**, Rio de Janeiro, maio de 2018. Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/211339/1/1024301222.pdf>. Acesso em: 13 mai 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022. **Ministério de Minas e Energia**, Rio de Janeiro, agosto 2022. Disponível em: <http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/anuario-livro/>. Acesso em: 13 mai 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Leilão de energia nova A-4 de 2020**, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/leiloes-de-energia/Paginas/Leil%C3%A3o-de-Energia-Nova-A-4-de-2020.aspx>. Acesso em: 13 maio 2023.

ENERGÊS. Inversor Solar, 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/inversor-solar/>. Acesso em: 26 abr. 2023.

ENERGIAS MADEIRA. O que é um sistema solar fotovoltaico. Energias madeira, 2021. Disponível em: <https://energiasmadeira.pt/como-funciona/#Painéis>. Acesso em: 13 maio 2023.

FAIRCHILD, K. W.; MISRA, L.; SHI, Y. Using Triangular Distribution for Business and Finance Simulations in Excel. **Journal of Financial Education**, v. 42, n. 3–4, p. 313–317, 2016. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/90001156>. Acessado em 1 mai 2023.

FELIPE, L. M.; LEISMANN, E. L. Análise de viabilidade em projetos: comparação entre os métodos determinísticos e probabilísticos. **Rev. Cinênc. Empres. UNIPAR**, Umuarama, v. 20, n. 1, p. 83-106, jan/jun, 2019.

FREITAS, L. R.; SOUSA, T. Avaliação de um Sistema Híbrido de Comunicação para Aplicação em Redes Inteligentes de Energia Elétrica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-469>.

GERHARDT, T.E; SILVEIRA, D.T. Métodos de pesquisa, coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. - Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GITMAN, L. J. Princípios de administração financeira. São Paulo: **Pearson Prentice Hall**, 12. ed., 2010.

GOUVÊA, A.; FERNANDES, G.; TELES, J. Cobrança da bandeira tarifária. Fundação Getúlio Vargas – Energia, Coluna opinião, abril, 2022. Disponível em: [https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/31959/opinioao\\_cobranca\\_escassez\\_hidrica\\_abr\\_22\\_v2\\_0.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/31959/opinioao_cobranca_escassez_hidrica_abr_22_v2_0.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 13 mai 2023.

GREENER. COVID-19: Mercado Fotovoltaico. Impactos e expectativas segundo o mercado. 2020. Disponível em: [https://www.greener.com.br/greener\\_artigos/covid-19-mercado-solar/](https://www.greener.com.br/greener_artigos/covid-19-mercado-solar/). Acesso em: 13 maio 2023.

GUERRA, F. F.; LIMA, W. C. de L. Aspectos jurídicos de fomento aos sistemas fotovoltaicos no Brasil. **Faculdade Evangélica de Goianésia** (FACEG), Engenharia civil (Trabalho de conclusão de curso de graduação). Goianésia, GO, 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy Statistics Data Browser**, 2022. Paris: IEA. Disponível em <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>. Acesso em: 11 mar 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Statistics and balances**, 2022. Paris: IEA. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-statistics-and-balances>. Acesso em: 10 mar de 2022.

LIMA, D. S.; MARTINS, J. P. C.; HERCULANI, R. Análise de tarifas e impostos na energia elétrica. *Interface Tecnológica*, v. 18, n. 2, p. 796-807, 2021. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1325/736>. Acesso em: 13 mai 2023.

MACEDO, C. A. A.; ALBUQUERQUE, A. A. de; MORALLES, H. F. Análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto eólico com simulação Monte Carlo e avaliação de risco. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 24, n. 4, p. 731-744, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X3439-16>. Acesso em: 10 mai 2023.

MAGARREIRO, C.; FREITAS, S.; BRITO, M. C. Radiação e energia solar. **Gaz. Física**, v. 39, n. 1/2, p. 57-59, 2016. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/article/993/pdf>. Acesso em: 13 mai 2023.

MAHADEVAN, S. Monte Carlo Simulation. In: CRUZE, T. A. (Ed.) **Reliability Based Mechanical Design**. New York: Marcel Dekker, p. 123-146, 1997.

MARKOWITZ, H. Portfolio Selection. **The Journal of Finance**, v. 7, n. 1, p. 77-91, 1952. Disponível em <https://doi.org/10.2307/2975974>. Acesso em: 07 abr 2023.

MARTINS, J. C.; VANIN, L. B. Mapeamento do ecossistema brasileiro de startups com soluções para o setor de energias renováveis. **Universidade do Sul de Santa Catarina**, Curso de Engenharia de Produção (Trabalho de Conclusão de Curso), Balneário Camboriú, 2021.

MICHELETTI, I. T. da S.; HUNGARO MICHELETTI, D.; FRIEDRICH, N. C.; HUNGARO MICHELETTI, D.; SOUZA, S. M. T. de.; GUBERT, F. P. P.; WORDELL GUBERT, M.; HOFFMANN, G. A. Extrafiscalidade e energia solar fotovoltaica: o uso da tributação ambiental na promoção da sustentabilidade. **R. gest. Sust. Ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. esp., p. 677-891, mai 2020.

MICROINVERSOR. Mudanças nas regras de compensação de energia solar fotovoltaica. *Microinversor*, 03 jan 2020. Disponível em: <https://microinversor.com.br/mudancas-nas-regras-de-compensacao-de-energia-solar-fotovoltaica/?v=19d3326f3137>. Acesso em: 13 mai 2023.

MIGUEL, P. A. C. Metodologia de pesquisa para engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier: **ABEPRO**, 2012.

MOURA, J. H. B. Geração distribuída no Brasil: aspectos jurídicos e regulatórios. **Universidade do Minho**, Dissertação (Mestrado em Direito), Braga, 2021. Disponível em:

<http://repositorium.uminho.pt/bitstream/1822/80959/1/Juseny%20Helena%20Borges%20Moura.pdf>. Acesso em: 13 mai 2023.

NASCIMENTO, R. L. **Energia Solar no Brasil: Situação e perspectivas**. Consultoria legislativa. Estudo técnico, março de 2017.

NEGREIROS, I.; MAIA, L.; GARBI, G. Análise da viabilidade econômica da implantação de um sistema Fotovoltaico Ongrid. **Repositório Universitário da Ânima** (TCC de graduação e Especialização), 2022. Disponível em:

<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/21312>. Acesso em: 17 mai 2023.

NETTO, J. O. C.; PIRES, D. L.; NOVAIS, M. C.; SORIANO, F. R.; GOMES, A. C. Geração fotovoltaica: histórico das políticas de incentivo e barreiras regulatórias. **Editora Científica Digital**, Open Science Research III, v. 3, 2022. ISBN 978-65-5360-102-4.

NEWNAN, D.; LAVELLE, J. Fundamentos de Engenharia Econômica. 1 ed. Rio de Janeiro: **JC**, 2000.

PALISADE. Lumivero. @RISK – Probabilistic Risk Analysis in Excel. Disponível em <https://www.palisade.com/risk/>. Acesso em: 10 mar 2023.

PANZENHAGEN, I. R. L. Análise da viabilidade econômica de produção de calçados por meio da simulação de monte carlo. **Universidade Federal De Santa Maria**, bacharel em Engenharia de Produção (Trabalho de conclusão de curso de graduação), Santa Maria, RS, 2017. Disponível em:

[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12424/PANZENHAGEN\\_Ilana\\_Lizi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12424/PANZENHAGEN_Ilana_Lizi.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 13 mai 2023.

PLANAS, O. Partes de um painel solar, componentes e estrutura. Energia solar. 2019. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/energia-solarfotovoltaica/elementos/painel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/celula-solar-de-pelicula-fina>. Acesso em: 13 mai 2023.

REIS, P. Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares. Portal energia. 2017. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>. Acesso em: 13 mai 2023.

RITTER, F.; PANDOLFO, A.; BARCELLOS, L. J. G.; SANTOS RITTER, V. R. dos; MARCONDES PANDOLFO, L.; TAGLIARI, L. D.; BARBACOV, N. E. Utilização do método Monte Carlo para avaliação econômica de policultivos de jundiás, carpas e tilápias-do-nilo como uma alternativa de modelo de cultivo de peixes para pequenas propriedades. **Revista Produção Online**, v.14, n. 4, p. 1292-1315, out./dez. 2014.

ROSA, A. V. da. Fundamentals of Renewable Energy Processes. **Elsevier Academic Press**, Elsevier's Science & Technology Rights Department in Oxford, 2005. ISBN 13: 978-0-12-088510-7.

RUSCHEL, C. S.; OLIVEIRA, A. S. B.; PONTE, G. P. da. Evolução das características técnicas dos projetos fotovoltaicos nos leilões de energia do mercado regulado. **VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Fortaleza, 2020. Disponível em: < <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/981/981>>. Acesso em: 10 fev 2023

SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. O potencial brasileiro da geração solar fotovoltaica conectada à rede elétrica: análise de paridade de rede. **IX encontro nacional e V encontro latino-americano de conforto no ambiente construído**, Ouro Preto, p. 1658-1667, 2007.

SANTANA, J. C. S.; RIBEIRO, M. E. O.; SOUZA, P. R. A.; SILVA DE SOUZA; J. P.; PERES, S. M. O uso e produção da energia limpa como método de preservação ambiental sustentável. Revista portos: por um mundo mais sustentável. **Faculdade Vértix Trirriense UNIVÉRTIX –Três Rios**, 2020. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/53>. Acesso em: Nov, 2022.

SILBER, S. D. A fragilidade econômica e financeira na pandemia do Sars-Covid-19. **Estudos avançados**, v. 34, n. 100, set 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.008>.

SOARES, J. A. R. A análise de risco segundo o método de Monte Carlo aplicada à modelagem financeira das empresas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, **Faculdade de Ciências Econômicas (Dissertação)**. Porto Alegre, 2006.

TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: **Atlas**, 1987.

VARGAS, J. M. P. Análise da regulação da geração distribuída no Brasil para o setor de energia elétrica. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Engenharia de gestão e energia (Trabalho de conclusão de curso de graduação), Tramandaí, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/222497/001122774.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 mai 2023.

VELOSO, C. K. P. R.; TEIXEIRA, W. C.; JÚNIOR, D. C. S. Energia fotovoltaica: legislação e incentivos pelo mundo e como impactam o Brasil. **Centro Universitário Academia – UniAcademia**, Engenharia Elétrica (Linha de pesquisa: Eficiência energética), 2021. Disponível em: <http://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/2960/2000>. Acesso em: Nov de 2022

YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2.ed., 2001.

