

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA**

**VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA ENERGIA SOLAR EM
PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Antonio Carlos Franco

**MARINGÁ - PR
2021**

ANTONIO CARLOS FRANCO

**VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA ENERGIA SOLAR EM
PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Dissertação submetida à Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, para obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani

MARINGÁ - PR

2021

Dedico esta pesquisa aos professores, amigos e familiares que ajudaram e torceram por mim nessa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Neste primeiro momento agradeço a Deus por ter me encaminhar e me dado energias em finalizar mais esse propósito em minha vida. Somente ele sabe das situações árduas que passei e, agora, posso celebrar com felicidade e agradecer por essa vitória alcançada.

À Universidade Estadual de Maringá, a todo corpo docente do curso de Pós-Graduação em Bioenergia (PPB) que contribuíram de maneira indireta ou direta para a conclusão desta pesquisa.

Um agradecimento em particular ao meu orientador, Prof. Dr. Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnanni, que me orientou neste estudo dispendo sua dedicação, confiança, reflexão, interesse e dedicação. Suas orientações ao longo do estudo foram essencialmente conduzidas para a conclusão desta pesquisa.

À minha mãe Arlete, sou eternamente agradecido pelo carinho e compreensão. Mesmo durante o período de pandemia, me influenciou a permanecer estudando, ajudando a nunca esquecer dos meus propósitos, contribuindo com o conhecimento e sabedoria necessária de me tornar uma pessoa responsável. Agradeço grandemente pela atenção nos momentos difíceis desta fase fundamental para a minha de formação de mestre.

À indústria que abriu as portas para o conhecimento energético e propiciou todos os dados técnicos para a realização desta pesquisa em energias renováveis na redução dos impactos ambientais e econômicos.

À minha estimada e querida namorada Luciane, que me incentivou, compreendeu e me deu todas as energias para chegar até este momento especial. Sou muito agradecido pelas recomendações e conhecimentos neste período de estudo na minha formação.

“O que prevemos raramente ocorre, o que
menos esperamos geralmente acontece.”
(Benjamin Disraeli)

RESUMO

FRANCO, Antonio Carlos. **Viabilidade econômica e ambiental da energia solar em processos industriais**. 2021. 96 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia – Universidade Estadual de Maringá). Maringá, 2021.

Na atualidade, uma das inquietações mundiais, incluindo o Brasil, é obter respostas para diminuir a dependência energética por combustíveis de origem fóssil. Os danos ambientais e a possível carência por combustíveis fósseis no futuro evidenciam a geração de energia limpa para diminuir a degradação ambiental. Desta forma, a importância na inserção de fontes limpas de energia na matriz energética brasileira vem ocorrendo em diversos setores. Entre as principais preocupações relacionadas ao meio ambiente, está o uso de sistemas solares fotovoltaicos como oportunidade sustentável na produção de energia. Em processos industriais, os sistemas solares fotovoltaicos de energia podem viabilizar a produção descentralizada de energia e a integração aos meios conectados nos processos de produção. Neste trabalho realizou-se uma análise de viabilidade econômica e ambiental de sistemas solares fotovoltaicos na indústria. Nos cálculos de engenharia econômica, adotou-se o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *payback* descontado. Os dados internos quanto a produção de energia foram obtidos por meio de documentos organizacionais com a capacidade energética mensal e relatórios de sustentabilidade. Após o estudo de caso, o projeto para a instalação da energia solar fotovoltaica se apresenta viável para o processo industrial analisado. Conforme análise, a área industrial interna com características técnicas e econômicas selecionada para a instalação do projeto fotovoltaico é o estacionamento interno, com estimados 187.653 m². Em relação a viabilidade econômica, o Valor Presente Líquido (VPL) calculado foi R\$ 44.730.630,26, a taxa interna de retorno (TIR) foi 1,14% ao ano (a.a.) e o *payback* descontado foi 132 meses. No caso estudado, o processo possui índices de irradiação solar favoráveis para a instalação do projeto, sendo estes índices superiores a maior parte dos países da Europa. O sistema de geração de energia projetado demonstrou desempenho satisfatório na produção de eletricidade, tanto em termos de econômicos, quanto ambientais. Finalmente, foram analisados os impactos ambientais evitados pela indústria decorrentes ao uso da energia solar fotovoltaica. Nos cálculos de viabilidade ambiental, identificou-se que a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) evitado na atmosfera por kWh gerado com o uso desta fonte limpa de energia contribui para o desenvolvimento sustentável industrial, para a minimização de custos energéticos e o marketing verde. A viabilidade ambiental mostrou que seriam necessárias 25.381 árvores para realizar a fixação do CO₂ que seria emitido para a atmosfera. Ainda, quanto maior o projeto de sistema solar fotovoltaico na indústria, maior será a quantidade de CO₂ evitado.

Palavras-Chave: Sustentabilidade; Energia Solar Fotovoltaica; Viabilidade Econômica; Impacto Ambiental

ABSTRACT

FRANCO, ANTONIO CARLOS. **Economic and environmental feasibility of solar energy in industrial processes**. 2021. 96 p. Dissertation (Master in Bioenergy) - Postgraduate Program in Bioenergy – State University of Maringá- Paraná. Maringá, 2021.

Currently, one of the world's concerns, including Brazil, is to obtain answers to reduce energy dependence on fossil fuels. The environmental damage and the possible lack of fossil fuels in the future, highlight the generation of clean energy to reduce environmental degradation. Thus, the importance of inserting clean energy sources in the Brazilian energy matrix has been occurring among several sectors. Among the main concerns related to the environment are: the use of solar photovoltaic systems as a sustainable opportunity in energy production. In industries, solar photovoltaic energy systems enable decentralized energy production and integration with the media connected to industrial processes. Therefore, this research carried out an economic and environmental feasibility analysis of solar photovoltaic systems in the analyzed industry was carried out. In the economic engineering calculations, it were adopted the Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return (IRR) and the discounted payback. The internal data regarding the energy production of the industry were acquired through organizational documents with monthly energy capacity and sustainability reports. Among the results, the project for the installation of photovoltaic solar energy is feasible for the case studied. According to the analysis, the internal industrial area with technical and economic characteristics selected for the installation of the photovoltaic project is the internal parkingl, with an estimated 187,653 m². In relation to the economic viability, the calculated Net Present Value (NPV) was 44.730.630,26 Brazilian real (BRL), the internal rate of return (IRR) was 1.14% rate to monthly and the 132 months discounted payback. The studied industrial process has favorable solar irradiation rates for the installation of the project, rates higher than those of most European countries. The designed power generation system demonstrated satisfactory performance in the production of electricity, both in economic and environmental terms. Finally, the environmental impacts avoided by the industry resulting from the use of photovoltaic solar energy were analyzed. In environmental feasibility calculations, it was identified that the amount of carbon dioxide (CO₂) avoided in the atmosphere per kWh generated with the use of this clean source of energy contributes to sustainable industrial development and competitive advantage over its competitors, minimizing energy costs and green marketing. Environmental feasibility showed that 25,381 trees would be needed to fix the CO₂ that would be emitted into the atmosphere. Even the larger the photovoltaic solar system design in the industrial process, the greater the amount of CO₂ avoided.

Keywords: Sustainability; Photovoltaic Solar Energy; Economic Viability; Environmental Impact.

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACIONES E SIGLAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CO₂ – Gás dióxido de carbono
CIA – Curitiba Injeção de Alumínio
CMO – Complexo Motores
COMERC – Compra de Energia Livre
COP – Conferência das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas
COMPAGÁS - Companhia Paranaense de Gás
COPEL – Companhia Paranaense de Energia
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
FCDA – Fluxo de Caixa Descontado e Acumulado
FUNDEP – Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa
GEE – Gases de Efeito Estufa
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
GRI - *Global Reporting Initiative*
MME – Ministério de Minas e Energia
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU – Organização das Nações Unidas
PPB – Programa de Pós-Graduação em Bioenergia
TE – Tarifa Energética
TIR – Taxa Interna de Retorno
UEM – Universidade Estadual de Maringá
UFPR – Universidade Federal do Paraná
VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - Irradiação anual no Estado do Paraná..... | 13 |
| Figura 2 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)..... | 14 |
| Figura 3 - Estrutura do trabalho..... | 17 |
| Figura 4 - Projeção energética no Brasil | 21 |
| Figura 5 - Processo de irradiação solar..... | 23 |
| Figura 6 – Técnica do Processo de irradiação solar | 244 |
| Figura 7 - Potencial médio anual de geração solar no Estado do Paraná..... | 266 |
| Figura 8 - Emissões provenientes da geração elétrica no Brasil..... | 311 |
| Figura 9 - Países mais poluidores (kgCO ₂ /MWh)..... | 322 |
| Figura 10- Composição da matriz energética do Brasil (%) | 344 |
| Figura 11 - O consumo energético industrial (%) | 355 |
| Figura 12 - Participação dos setores industriais..... | 35 |
| Figura 13 - Etapas dos Procedimentos Metodológicos | 43 |
| Figura 14 - Comparação entre a matriz energética da Indústria e do Brasil | 55 |
| Figura 15 - Áreas internas disponíveis na indústria..... | 577 |
| Figura 16 - Exemplo de Modelo da instalação dos módulos solares..... | 58 |
| Figura 17 - Modelo da estrutura de estacionamento solar | 59 |
| Figura 18 - Fluxo de caixa da indústria visitada | 655 |
| Figura 19 – Análise de sensibilidade do projeto | 666 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Classificação da Pesquisa | 41 |
| Quadro 2 - Resumo da pesquisa..... | 43 |
| Quadro 3 - Resumo dos Procedimentos Metodológicos | 44 |
| Quadro 4 - Potencial de produção solar fotovoltaico..... | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Comparação dos índices anuais de irradiação | 27 |
| Tabela 2 – Fator de Emissão (FE) no Estado do Paraná..... | 51 |
| Tabela 3 – Dados técnicos para a implantação dos módulos | 60 |
| Tabela 4 – Produção estimada mensal de energia (MWh) Erro! Indicador não definido. | 1 |
| Tabela 5 – Taxas adotadas na viabilidade econômica..... | 62 |
| Tabela 6 – Resultados dos cálculos de rentabilidade | 63 |
| Tabela 7 - Potencial técnico de produção de energia | 633 |
| Tabela 8 - Valor dos componentes..... | 644 |
| Tabela 9 – Dióxido de carbono evitado pelo sistema de energia na indústria..... | 677 |
| Tabela 10 – Quantidade de árvores para a fixação de CO ₂ | 68 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 1.2 OBJETIVOS | 16 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 16 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA | 18 |
| 2.1 O SETOR INDUSTRIAL MUNDIAL | 20 |
| 2.2 ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS | 20 |
| 2.2.1 Energia Solar Fotovoltaica | 22 |
| 2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS EVITADOS COM A ENERGIA SOLAR..... | 28 |
| 2.4 SISTEMAS DE GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO..... | 32 |
| 2.5 MATRIZ ENERGÉTICA INDUSTRIAL | 33 |
| 2.6 VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA SOLAR PARA A INDÚSTRIA | 37 |
| 3. METODOLOGIA | 41 |
| 3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA..... | 41 |
| 3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 42 |
| 3.2.1 Etapa 1: Mapeamento da Matriz Energética Atual da Indústria..... | 54 |
| 3.2.2 Etapa 2: Mapeamento técnico interno industrial para a instalação dos módulos solares fotovoltaicos | 46 |
| 3.2.3 Etapa 3: Viabilidade Econômica da Energia Solar Fotovoltaica | 47 |
| 3.2.4 Etapa 4: Viabilidade Ambiental da Energia Solar Fotovoltaica | 50 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 54 |
| 4.1 MAPEAMENTO DA MATRIZ ENERGÉTICA DA INDÚSTRIA | 54 |
| 4.1.1 Matriz energética da indústria | 54 |
| 4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES E CUSTOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA | 56 |
| 4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA | 59 |
| 4.3.1 Cálculos de viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica | 60 |
| 4.3.2 Cálculos de viabilidade ambiental da energia solar fotovoltaica..... | 67 |
| 5. CONCLUSÕES | 70 |
| REFERÊNCIAS | 75 |

| | |
|--|-----------|
| ANEXO A – DATASHEET DOS MÓDULOS SOLARES..... | 80 |
| ANEXO B – DATASHEET DOS INVERSORES | 82 |
| ANEXO C – FORMULÁRIOS DE SOLICITAÇÃO DE ACESSO DE MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO..... | 84 |
| APÊNDICE A – FLUXO DE CAIXA DA INDÚSTRIA VISITADA | 86 |

1. INTRODUÇÃO

O setor energético do Brasil apresenta histórico de utilizações de fontes renováveis, tais como solar, eólica, hidráulica e biocombustíveis (etanol e biodiesel). Entretanto, 57% da energia brasileira consumida tem origem em fontes não renováveis, sendo o petróleo e seus derivados com 37%, o gás natural com 12%, o carvão mineral com 5,6%, o urânio com 1,6% e ainda outras fontes consideradas não renováveis com 0,8%, os outros 43% têm origem de energias renováveis (EPE, 2020). Em 2020, o setor de energia solar brasileiro possuía 344.608 micros e macros sistemas de geração de energia fotovoltaicos implantados e com as usinas solares, alcançam mais de 7 GW de capacidade energética operacional (BLUESOL, 2020).

A redução de gastos com os sistemas de distribuição de maneira sustentável, resulta na otimização de danos ao meio ambiente, um período econômico de retorno atrativo (*payback*) e uma qualidade significativa de energia (SCOCCIA *et al.*, 2018). O contínuo monitoramento do consumo de energia nas indústrias, constitui um tema fundamental nas energias renováveis, tanto em relação aos impactos ambientais, quanto em custos operacionais de produção (ANFAVEA, 2021).

No Brasil, a geração de energia solar fotovoltaica aumentou cerca de 1 GW no primeiro semestre de 2020, alcançando um volume total de 5,5 GW. Ainda em 2020, o mercado de energia solar fotovoltaica se desenvolveu e mostra ótimas perspectivas para os próximos anos (ABSOLAR, 2021).

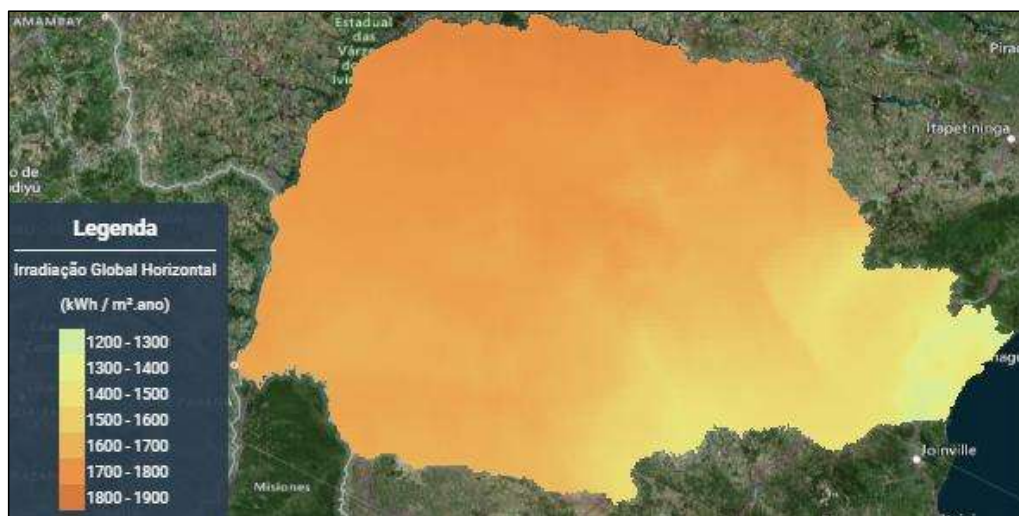
Entre as fontes limpas, a geração de energia elétrica por meio da energia solar fotovoltaica demonstra oportunidades técnicas e econômicas atrativas, sendo considerada como opção alternativa para o futuro. Além disso, pode ser considerada uma energia sustentável e pode contribuir para o desenvolvimento social (LARA FILHO, UNSIHUAY-VILA; SILVA, 2019). Países como Espanha, Alemanha e Estados Unidos, mostram um desenvolvimento satisfatório em tecnologias e pesquisas com as energias renováveis na matriz energética industrial (FERREIRA *et al.*, 2018).

A energia solar fotovoltaica também contribui como uma solução quanto aos problemas gerados com o uso de combustíveis tradicionais e na diminuição de dependências de fontes fósseis. O custo elevado das atuais fonte de energia incentivou pesquisas tecnológicas no mundo inteiro sobre o potencial de geração da energia solar na substituição das fontes de origem fóssil, pois estas retratam uma

parcela representativa do consumo total, contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa e em fatores sociais e econômicos (HUAXU *et al.*, 2020).

O Estado do Paraná mostra ótimos índices de irradiação anual, portanto, demonstra um grande potencial de energia solar existente quanto aos outros Estados brasileiros e aos países na Europa (ATLAS SOLAR PARANÁ, 2021). O índice de irradiação anual no Estado do Paraná é apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Irradiação anual no Estado do Paraná



Fonte: Atlas Solar Paraná (2021)

No Estado do Paraná, foi realizado um levantamento sobre o potencial de geração de energia elétrica de fontes solares. O levantamento contribui positivamente para os investidores, clientes e para o sistema de governo em relação ao uso e aumento por fontes limpas de energia. A energia solar complementa a atual matriz de energia elétrica, e assim, norteia o processo de planejamento de energia no Estado (ATLAS SOLAR PARANÁ, 2021).

O lançamento da Resolução 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em relação ao uso de micro e mini geradores de energia elétrica em redes de distribuição incentivou o desenvolvimento da energia solar em vários setores do Estado. O Paraná concentra aproximadamente 10% de micro e mini geradores em nível nacional, nos quais os dados sobre a estimativa da radiação solar são atualizados constantemente. Segundo dados dos últimos 5 anos, o Estado mostra elevados índices de radiação, principalmente na região noroeste. A média anual identificada no Paraná é superior a maioria dos países da Europa, mostrando o grande potencial solar no território paranaense. A geração da energia solar em

processos indústrias no Estado do Paraná envolve ODS 7 (Energia limpa e acessível) faz parte dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ATLAS SOLAR PARANÁ, 2021). A Figura 2 ilustra os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados com o objeto deste estudo.

Figura 2 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: Pacto Global (2021)

O estudo sobre a viabilidade econômica e ambiental na indústria implica nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), mais especificamente o ODS 7, ODS 8 e ODS 9. O uso de fontes limpas de energia abrangem o ODS 7, ressaltando as dificuldades nos modelos de negócios e os benefícios para o setor industrial. ODS 8 destaca a promoção e o desenvolvimento da economia de forma sustentável na geração de empregos. ODS 9 ressalta a construção de infraestruturas sustentáveis e o incentivo a inovação do setor industrial (BELEYA *et al.*, 2020; ONU, 2021). O estudo se justifica por meio de variáveis críticas e fundamentais que podem impactar na viabilidade de projetos similares futuros em diversas áreas. Baseado nessa introdução sobre o tema, pode-se definir o problema estudado na presente dissertação: **“Qual é a vantagem econômica e ambiental com a implementação de um sistema de geração de energia elétrica a partir de energia solar fotovoltaica em uma indústria?”**

1.1 JUSTIFICATIVA

Esse trabalho se justifica pois existe uma carência de trabalhos no meio acadêmico apresentando estudos de viabilidade econômica e ambiental da produção de energia elétrica a partir de energia solar fotovoltaica em indústrias. Além disso, dos desdobramentos da pesquisa realizada espera-se a atuação dos fatores políticos, sociais, econômicos e ambientais na sustentabilidade, na identificação das barreiras, oportunidades e diminuição de custos por meio da análise de energias alternativas e renováveis para o setor industrial.

A Lei 13.755 foi instituída pelo governo brasileiro e é chamada de “Rota 2030”. O Programa Rota 2030 constitui estratégias do sistema de governo nacional para desenvolvimento industrial e tem como principal objetivo, a ampliação da inserção global do setor industrial nacional. As diretrizes do programa buscam incentivar o processo de eficiência energética por meio de energias renováveis em indústrias e a disponibilidade de novas tecnologias (FUNDEP, 2021).

O desenvolvimento prático na gestão das indústrias pode viabilizar novas perspectivas, direcionando ao crescimento e uso de energia solar fotovoltaica na indústria. Também, pode trazer influências sociais estimuladas com o desenvolvimento e prospecção da matriz energética na indústria brasileira. Estas, por sua vez, impactam na geração de atividades remuneradas, no desenvolvimento social e na geração de renda, ressaltando as oportunidades para a viabilização de projetos solares fotovoltaicos.

Este trabalho também se justifica por seu caráter inovador, apresentando evidências inéditas sobre a prospecção tecnológica na matriz energética industrial no Brasil, especialmente no Estado do Paraná com a viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Novas alternativas serão colocadas em prol da fonte das energias renováveis no setor industrial, trazendo vantagens concretas, tanto econômicas quanto ambientais. O setor poderá obter vantagens nos aspectos ambiental, social e econômico, e assim, intensificar os avanços tecnológicos. Portanto, o crescimento da procura por energia e a diminuição da oferta dos combustíveis considerados convencionais, estimulam pesquisadores a estudar e desenvolver novas oportunidades para a produção de fontes limpas de energia.

A viabilização de projetos considerados rentáveis ambientalmente e

energeticamente, podem converter passivos ambientais em ativos econômicos, que é o caso da produção de energias limpas e sustentáveis. Estas oferecem uma relação custo-benefício interessante para o setor industrial no Estado, possibilitando ser usadas em atividades quanto ao sistema de produção industrial e para fins de comércio. Contudo, a falta de padrões e especificações detalhadas nas práticas de produção da energia solar fotovoltaica prejudicam a disseminação e popularidade destes projetos sustentáveis.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo sobre a viabilidade econômica e ambiental para a implementação de um sistema de conversão de energia solar fotovoltaica em energia elétrica para uma indústria. Os objetivos específicos são:

- Detectar a matriz energética atual da indústria;
- Identificar os custos da energia solar fotovoltaica para a indústria;
- Avaliar a viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica e;
- Analisar a viabilidade ambiental da energia solar fotovoltaica nas emissões evitadas para a atmosfera.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. Inicialmente se apresentam as considerações iniciais sobre a energia solar fotovoltaica para viabilização de estudos de implantação em uma indústria no Estado do Paraná. No primeiro capítulo, são apresentados a contextualização do problema, os objetivos geral e específicos, e as justificativas.

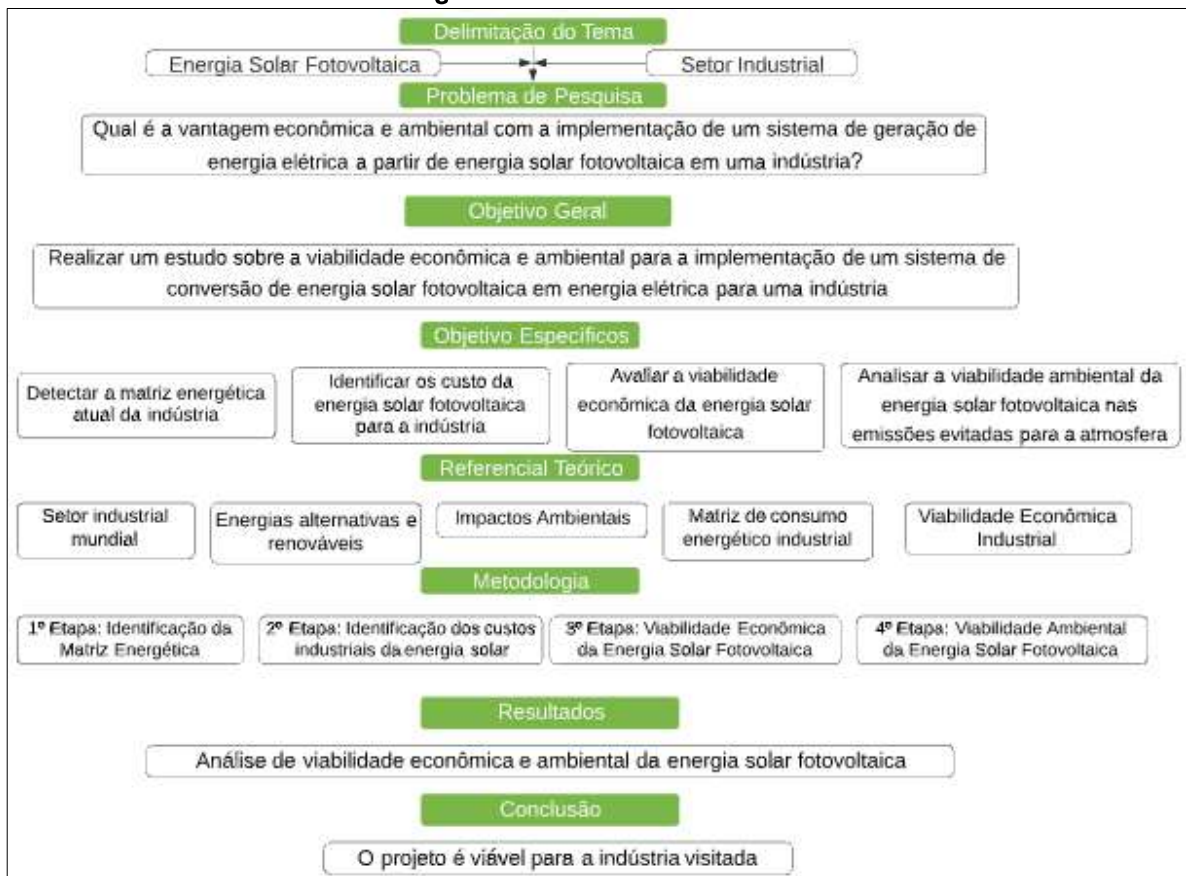
Na sequência, apresenta-se a fundamentação teórica sobre o setor industrial mundial, as energias alternativas e renováveis, a energia fotovoltaica, os impactos ambientais que podem ser evitados com o uso da energia solar, os sistemas de geração e distribuição, a matriz de consumo energético industrial e a viabilidade econômica industrial. Além disso, são apresentados e discutidos os principais conceitos sobre a viabilidade econômica e ambiental da energia solar fotovoltaica

(Capítulo 2). Na sequência, a metodologia adotada nesta pesquisa é apresentada no Capítulo 3, segregada pelas subseções de classificação de pesquisa e os procedimentos metodológicos.

Os resultados e discussões sobre as análises estão apresentados no Capítulo 4, com a viabilidade econômica e ambiental da energia solar fotovoltaica em uma indústria paranaense. Ao final, no Capítulo 5, apresenta-se as considerações finais e as conclusões sobre o estudo desenvolvido.

A Figura 3 apresenta um resumo detalhado contendo a estrutura do trabalho desenvolvido.

Figura 3 - Estrutura do trabalho



Fonte: O autor da pesquisa (2021)

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão da literatura visando apresentar o estado da arte e as principais abordagens teóricas referente aos conceitos do estudo analisado neste trabalho. Os tópicos abordados foram o setor industrial mundial, energias alternativas e renováveis, a energia fotovoltaica, impactos ambientais evitados com a energia solar, sistemas de geração e distribuição, a matriz de consumo energético industrial e a viabilidade econômica industrial.

2.1 O SETOR INDUSTRIAL MUNDIAL

Em recente pesquisa, apurou-se que 80% das pessoas estimam um aumento nas vendas de automóveis no mundo, e ainda afirmam três medidas como essenciais na melhoria de desempenho do setor industrial. Estas três medidas são: a melhora na produtividade, a inovação de portfólio e a atualização constante de processos. Além do investimento em pesquisas e em novos métodos, estes devem ser baseados na produção de serviços sustentáveis (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2021).

O grupo Honda acredita que as mudanças climáticas, as questões energéticas e a utilização eficiente de recursos são fundamentais para os seus processos industriais. A montadora japonesa possui 9 aerogeradores e a potência de geração é estimada em 29 MW. A indústria produziu mais de 580.000 veículos usando fontes de energia limpa em seus processos industriais. Estas atitudes contribuem na redução de emissões em aproximadamente 24 mil toneladas de dióxido de carbono para o meio ambiente, reduzindo o impacto ambiental dos processos produtivos finais para montagem dos seus produtos. Este é o retrato dos investimentos em produtos sustentáveis e em sistemas industriais que proporcionam aos seus clientes alternativas favoráveis para um futuro ambientalmente correto (HONDA ENERGY, 2020).

Para o grupo Volvo, a expectativa é diminuir as emissões operacionais totais de carbono em 25% por carro em 2025. Este desafio deve incluir processos produtivos de pequena e grande escala industrial até as viagens executivas, comprometendo toda a rede de revendedores. A indústria Volvo lançou o veículo Volts, na Europa, depois de intenso processo de estudo envolvendo a

sustentabilidade e o consumo de energia limpa (VOLVOCARS, 2020).

Nesta mesma linha, a fábrica da Volkswagen do Brasil, implementou medidas para a diminuição em 10,4% do consumo de energia por veículo produzido. Também, a montadora alemã produz 21% da energia consumida, demonstrando o pioneirismo no setor industrial para a geração de energia limpa (VOLKSWAGEN DO BRASIL, 2020).

Outra indústria possui um complexo de produção instalado no Estado do Paraná, e desenvolve atividades voltadas à diminuição do consumo de eletricidade e às práticas ambientalmente corretas. Entre as atividades de destaque energético estão a redução no uso de energias de origem fóssil com a utilização de biomassa nos meios de produção do setor de soldagem, a implantação de inversores de frequência para a variação elétrica do motor e uso de alternativas renováveis nos sistemas de aquecimento de água para sanitários e limpeza veicular. Em 2019, foram realizadas inúmeras atividades relativas a eficiência energética que contribuíram na segurança energética e econômica da indústria. Estes números são importantes para a redução do consumo energético, em aspectos econômicos na indústria (*RELATÓRIO DA INDÚSTRIA).

A indústria estudada declarou a continuidade no apoio e compromisso com os 10 princípios, envolvendo os direitos humanos e o meio ambiente. Em anos anteriores, a economia atingida obteve uma redução no consumo em 8,8% de energia elétrica e 10,09% no gás natural. A unidade industrial tem realizado investimentos em pesquisas para desenvolver produtos ambientalmente corretos, buscando a satisfação dos seus clientes (*RELATÓRIO DA INDÚSTRIA).

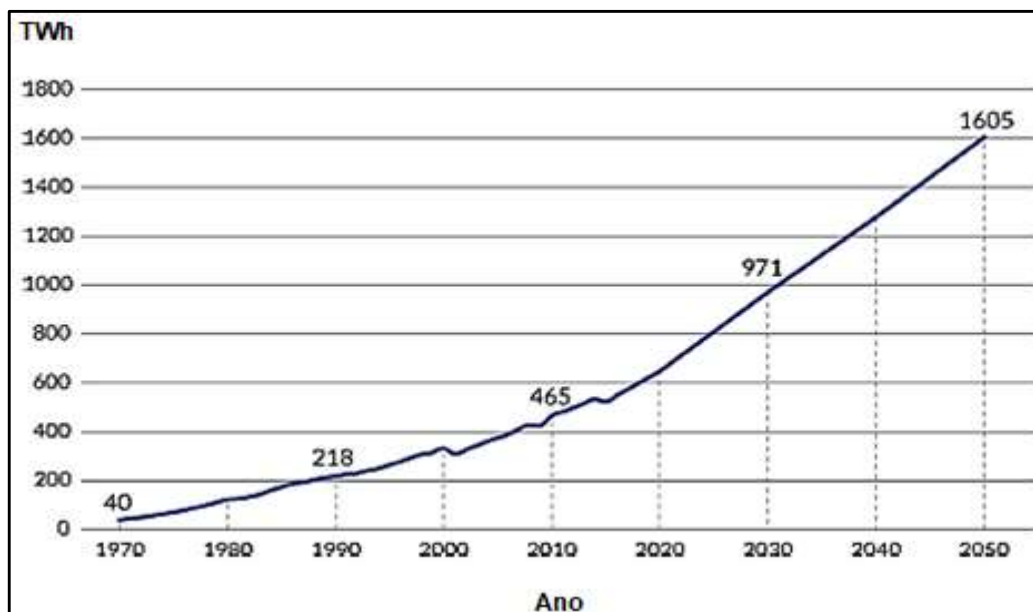
Com novas medidas do sistema de governo para incentivar a produção de veículos no Brasil, se estabeleceu que pelo menos 65% do conteúdo total do material usado na montagem do veículo seja proveniente do Mercosul. Caso contrário, o veículo é tributável como importado, adicionando 30% na taxa do Imposto sobre Produto Industrializado (IPI) (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2021). Em 2019, 10 das 12 etapas de produção de veículos são realizadas dentro do território brasileiro e todos os carros produzidos no Brasil também devem ser certificados pelo INMETRO, órgão responsável por controlar a eficiência energética dos carros e limitar as emissões de CO₂ (NISSAN, 2021).

2.2 ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS

A energia renovável é uma fonte com origem em recursos naturais que são continuamente reabastecidos, como a energia eólica e a energia solar. A energia alternativa é um tipo de energia sustentável alcançada por meio de fontes renováveis que não absorvem os recursos naturais e apresentam baixo impacto ao meio ambiente, como por exemplo, o uso de biomassa e a geração de biometano a partir de resíduos orgânicos. As energias renováveis são baseadas em fontes abundantes no ecossistema, não apresentando riscos de extinção de suas fontes, como a radiação solar, o vento e a água (GHIASI *et al.*, 2020).

As fontes de energia renováveis, como a eólica e a solar, podem ter natureza inconstante com mudanças e variações na geração de energia, conforme as condições climáticas. Os sistemas de energia necessitam ser abastecidos por cargas cada vez maiores em termos de energia, aptas ambientalmente para reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GUNO *et al.*, 2021). Atualmente os sistemas de energia estão cada vez mais modernos e integrados, sendo gerenciados de acordo com a demanda das redes de transmissão e distribuição de energia. Os sistemas integrados de energia incluem redes de calor, gás e eletricidade. Estes permitem vários arranjos quanto a produção e transformação de energia. Sendo assim, cada vez mais o consumidor pode converter-se em produtor de energia (MARTINEZ, 2020). A Figura 4 ilustra a perspectiva de projeção de demanda por eletricidade no Brasil com uma projeção de 29 anos.

Figura 4 – Projeção energética no Brasil (Terawatt -TWh)/ano



Fonte: Atlas Solar Paraná (2021)

A previsão para 2050 é um aumento acelerado do consumo de energia elétrica, devido aos processos cada vez mais automatizados. O aumento de energia crescerá quase três vezes quando comparado com o ano de 2020. Isto reflete no aumento de pesquisas sobre o consumo de energia de forma sustentável e na segurança energética de vários setores nacionais, especialmente o industrial (ATLAS SOLAR PARANÁ, 2021).

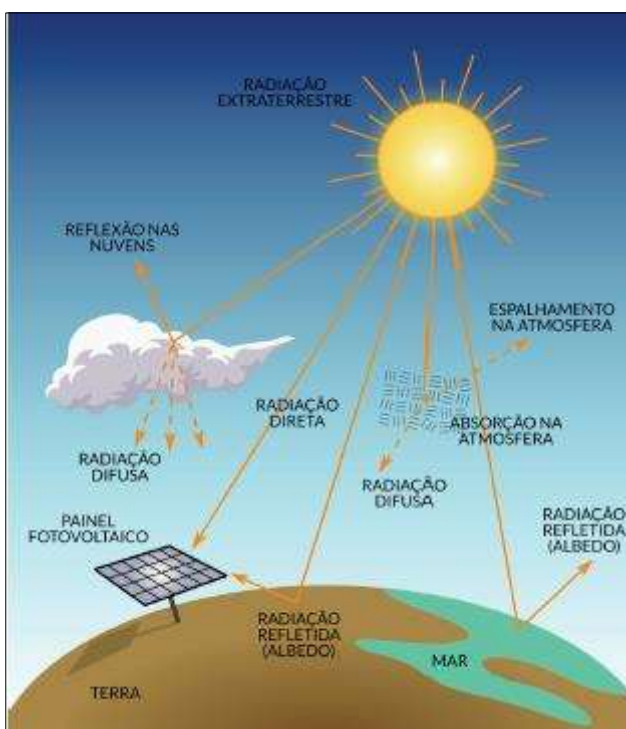
A utilização de fontes renováveis de energia não é um tema novo. O aproveitamento de recursos ocorre desde séculos passados, e recentemente esses processos de aproveitamento têm registrado melhorias tecnológicas, motivadas pelo aumento da demanda energética em vários setores. A população mundial usa em torno de 18% de energia total baseada em fontes renováveis, sendo que 10% correspondem a energia solar, eólica, geotérmica e hidroelétrica, e o restante de energia de biomassa (WORLD BANK, 2021). O aperfeiçoamento tecnológico e científico surge como possibilidade real na integração das fontes de energias renováveis, como a energia solar fotovoltaica na matriz energética mundial (NADALETI; SANTOS; LOURENÇO, 2019).

2.2.1 Energia Solar Fotovoltaica

As fontes limpas são possibilidades de energias atrativas para projetos a serem implantados em indústrias em todo o mundo, suas características técnicas e ambientais favorecem a utilização na otimização dos processos industriais (HANFANG *et al.*, 2020). Entre estas fontes limpas, a energia solar fotovoltaica é considerada uma oportunidade tecnológica sustentável interessante em meios industriais, para reduzir a dependência por combustíveis fósseis. Esta energia renovável é uma alternativa limpa e econômica a longo prazo com segurança energética e redução dos impactos ao meio ambiente (GARCIA; NOGUEIRA; BETINI, 2018).

Pesquisas no Brasil e internacionais quanto ao uso da energia fotovoltaica no setor industrial mostram que esta pode ser uma alternativa ambientalmente correta e interessante para os problemas técnicos, econômicos, logísticos, sociais, culturais, organizacionais e de gerenciamento de energia (LARA FILHO; UNSIHUAY-VILA; SILVA, 2019). A energia solar fotovoltaica impacta positivamente na proteção ambiental, sem restrições geográficas e demográficas, possibilitando o uso em regiões relativamente inacessíveis (TRAPANI; MILLAR, 2013). O processo para o aproveitamento da energia solar por meio da irradiação solar nos módulos fotovoltaicos é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Processo de irradiação solar



Fonte: Atlas Solar Paraná (2021)

Este procedimento é usado em diversas aplicações, como tecnologias para a transformação da energia térmica em eletricidade. Na representação, a energia produzida com a transformação direta da energia do sol em eletricidade é exemplificada por meio do efeito fotovoltaico com o uso das células fotovoltaicas (ATLAS SOLAR PARANÁ, 2021).

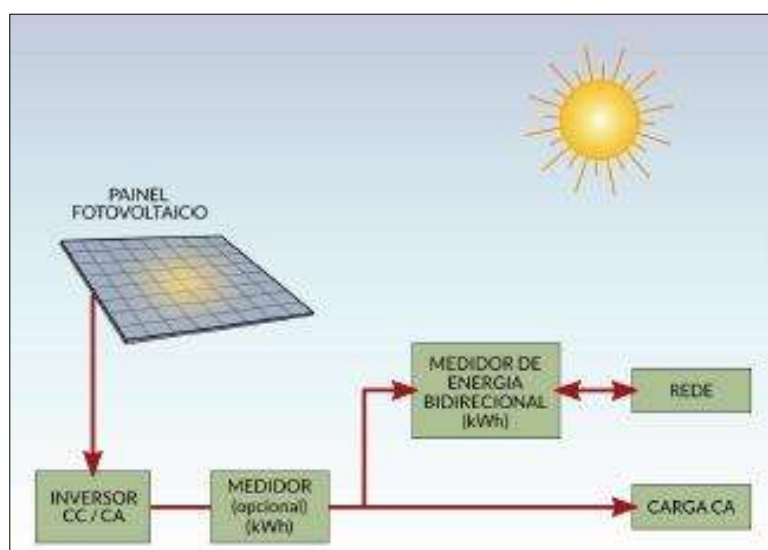
A energia solar é utilizada em diversos setores, como agricultura, aquecimento, aquicultura e resfriamento urbano e também em aplicações industriais (ASUMADU-SARKODIE; OWUSU, 2016). As estimativas sobre a potência relacionada com estas utilizações em todo o mundo estão crescendo, principalmente nos últimos 20 anos (HAMDI; REGAYA; ZAAFOURI, 2020). A energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos pode ser considerada ainda como limitada devido à falta de incentivos (YANG; ATHIENITIS, 2015). A geração da energia solar pode ser integrada à infraestrutura convencional para a geração de eletricidade em residências e indústrias (LARA FILHO; UNSIHUAY-VILA; SILVA, 2019; BELLO; SHANMUGAN, 2020).

Existem estratégias de organizações e indústrias em âmbito mundial na diminuição com o uso das fontes fósseis de energia, e a energia solar é uma

alternativa (WEINGART, 1979). Para a disseminação de tecnologias quanto as fontes limpas de energia, é importante realizar esforços para aumentar o número de pesquisas científicas e tecnológicas, visando o desenvolvimento dos dispositivos, redução de custos e eficiência dos materiais que constituem as células solares (ELHENAWY *et al.*, 2020).

O aumento em empresas e residências que adotaram a energia solar fotovoltaica é impulsionado pela demanda energética e redução de custos dos componentes. No Brasil são necessárias estratégias para promover o desenvolvimento do mercado fotovoltaico e aumento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), direcionados para a diminuição de custos (BELLO; SHANMUGAN, 2020). O custo atual de energia gerado nas instalações industriais pode ser reduzido por meio de incentivos do sistema de governo e tarifas atrativas (PINAMONTI; BAGGIO, 2020). A configuração de sistemas solares fotovoltaicos conectados com a rede é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Técnica do Processo de irradiação solar



Fonte: Atlas Solar Paraná (2021)

Entre os benefícios dos sistemas fotovoltaicos conectados com a rede estão a fácil instalação e manutenção; a minimização dos impactos ambientais, devido a maioria dos sistemas serem instalados nos tetos ou telhados das construções; sistemas sem ruídos; não há envio de poluentes para a atmosfera durante o processo de operação (Figura 6).

A estrutura para a fixação dos módulos fotovoltaicos necessita ser instalada

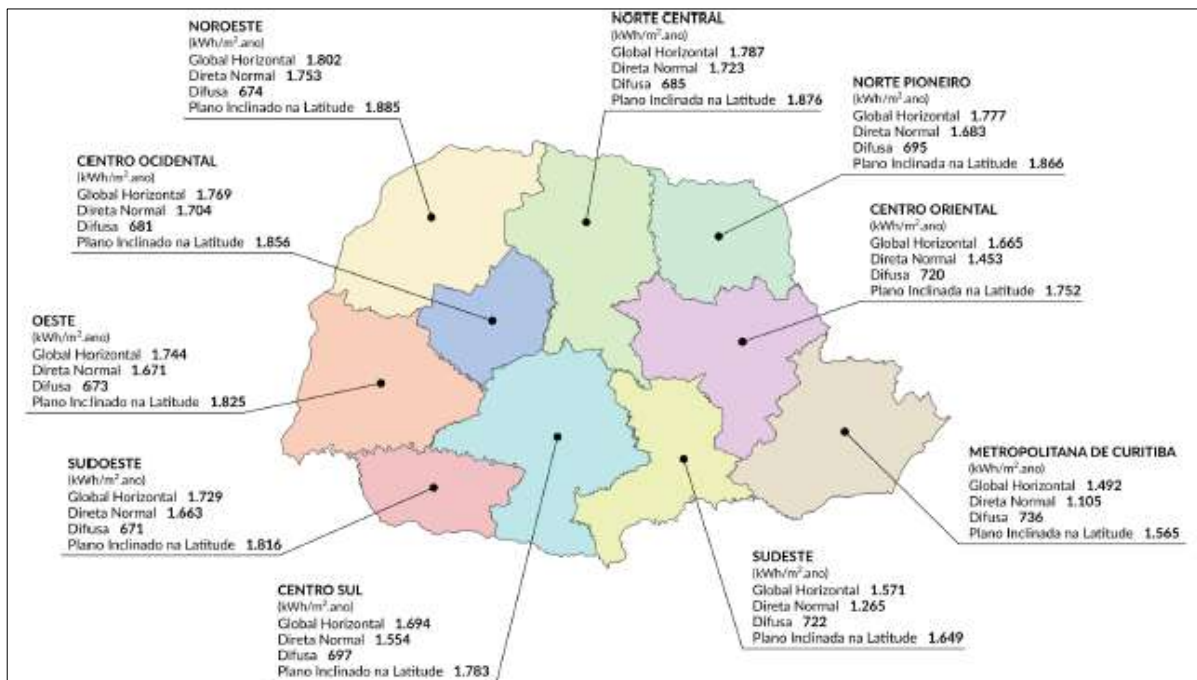
de maneira que facilite a manutenção. Estas estruturas devem suportar ventos de até 150 km/h e o material necessita ser resistente a corrosão (BELLO; SHANMUGAN, 2020). Para melhor eficácia no processo de geração de energia recomenda-se que os módulos solares fotovoltaicos sejam posicionados face norte para os países do hemisfério sul, respeitando as regras e normas de cada localidade e dos equipamentos de cada fabricante (MARTINEZ, 2020).

Os módulos solares orientados para a face norte apresentam melhor eficiência, pois o índice de radiação solar é maior quando comparado às outras orientações. As perdas de eficiência no sistema com orientação oeste e leste variam entre 11% até 21%, as orientações nordeste e noroeste entre 2,5% até 9% e na orientação sul, este sistema é inviável (ROGNA, 2020). A região nordeste do Brasil mostra índices de radiação média anual similar com regiões desérticas, consideradas mundialmente mais apropriadas (CRESESB, 2021).

Em aspecto ambiental, o uso da energia solar é vantajoso no Brasil, mesmo em lugares com baixa incidência de raios solares. Os projetos de eficiência energética industrial mostram soluções essenciais para a otimização nos investimentos econômicos e na preservação do meio ambiente (LARA FILHO; UNSIHUAY-VILA; SILVA, 2019). Outros benefícios do sistema de energia solar são a diminuição no consumo de energia elétrica com origem fóssil, a redução na demanda energética principalmente em horários de pico e a conscientização de clientes sobre a relevância no uso das fontes limpas de energia, evitando emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa na atmosfera (HANFANG *et al.*, 2020).

Por meio de cálculos ambientais nos sistemas de energia fotovoltaica é possível estimar a quantidade em quilos de CO₂ que deixará de ser emitida. O CO₂ é o gás que participa no aumento do efeito estufa, devido ao processo de combustão dos combustíveis fósseis (TILLEMANN; RUSSO; NELSON, 2020). O processo de conscientização tanto em nível organizacional, quanto individual envolvendo a inovação tecnológica na geração de energia solar fotovoltaica é um mecanismo de mudança sociocultural. Entre as várias vantagens, estão os aspectos positivos para o meio ambiente (SERPA; ZILLES, 2007). As regiões brasileiras apresentam índices de irradiação total diária variando entre 9 a 23 MJ/m² ao dia. A Figura 7 ilustra o potencial médio anual de geração solar no Estado do Paraná (kWh/m²).

Figura 7 - Potencial médio anual de geração solar no Estado do Paraná



Fonte: Atlas Solar Paraná (2021)

Recentemente, no Estado do Paraná, ocorreram discussões sobre o potencial de geração de eletricidade oriunda da fonte solar fotovoltaica. O estudo realizado mostra o potencial de geração como estímulo para a disseminação dessa fonte limpa de energia. O grande potencial do Estado se destaca quando comparado com outras regiões brasileiras e países da Europa (ATLAS SOLAR PARANÁ, 2021).

Uma oportunidade atrativa na implantação de projetos solares no Estado paranaense é a aliança entre o sistema elétrico do Paraná e as instituições de pesquisa sobre a irradiação solar. Entre as características positivas para o desenvolvimento da energia solar no Estado estão a infraestrutura física do sistema de energia elétrica e os elevados índices de irradiação em várias regiões do Paraná. O desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Estado favorece no aumento de novas alternativas de negócio, resultando em um crescimento de arrecadação para municípios e Estado (GARCIA; NOGUEIRA; BETINI, 2018). A Tabela 1 mostra a comparação dos índices anuais de irradiação entre o Paraná e países da Europa.

Tabela 1 - Comparação dos índices anuais de irradiação entre o Paraná e países da Europa

| Paraná / País Europeu | Média Anual no Plano inclinado na Latitude | | Diferença Percentual entre a Média Anual no Paraná e no País Europeu |
|-----------------------|--|-------------------------------|--|
| | Irradiação (KWh/m ² ano) | Produtividade (KWh/k=KWp.ano) | |
| Paraná | 1.789 | 1.342 | - |
| Chipre | 2.217 | 1.663 | -19,31% |
| Malta | 2.155 | 1.617 | -17% |
| Portugal | 1.996 | 1.497 | -10,38% |
| Espanha | 1.948 | 1.461 | -8,14% |
| Grécia | 1.897 | 1.423 | -5,68% |
| Turquia | 1.873 | 1.405 | -4,47% |
| Itália | 1.750 | 1.313 | 2,22% |
| Macedônia | 1.696 | 1.272 | 5,47% |
| Bulgária | 1.631 | 1.223 | 9,71% |
| Croácia | 1.570 | 1.178 | 13,93% |
| Montenegro | 1.563 | 1.172 | 14,45% |
| Sérvia | 1.531 | 1.148 | 16,83% |
| França | 1.513 | 1.135 | 18,25% |
| Romênia | 1.496 | 1.122 | 19,60% |
| Hungria | 1.490 | 1.117 | 20,10% |
| Eslovênia | 1.444 | 1.083 | 23,90% |
| Eslováquia | 1.333 | 1.000 | 34,17% |
| Áustria | 1.325 | 994 | 35% |
| República Tcheca | 1.256 | 942 | 42,44% |
| Polônia | 1.252 | 939 | 42,85% |
| Alemanha | 1.251 | 938 | 43% |
| Luxemburgo | 1.243 | 932 | 43,94% |
| Holanda | 1.242 | 931 | 44,06% |
| Bélgica | 1.238 | 928 | 44,54% |
| Dinamarca | 1.211 | 908 | 47,73% |
| Lituânia | 1.183 | 887 | 51,28% |
| Letônia | 1.175 | 881 | 52,23% |
| Irlanda | 1.174 | 880 | 52,42% |
| Reino Unido | 1.153 | 865 | 55,11% |

Fonte: Atlas Solar Paraná (2021)

Nos últimos 20 anos, o desenvolvimento de pesquisas para a geração de energia por meio desta tecnologia solar se intensificou no Estado, mediante o apoio dos sistemas de governo. A média anual nos índices de irradiação no Estado é inferior apenas com a Espanha, Chipre, Turquia, Portugal, Malta e Grécia. Os outros países europeus mostram médias anuais nos índices de irradiação inferiores quanto ao

Estado do Paraná, destacando-se o potencial solar fotovoltaico existente (ATLAS SOLAR PARANÁ, 2021).

Tecnicamente, a introdução da fonte solar como energia na matriz energética industrial favorece o crescimento técnico para atender ao crescimento pela demanda de energia elétrica nas indústrias (NAVON *et al.*, 2020). O sistema de energia solar contribui como uma alternativa técnica relevante na produção de eletricidade, pois esta fonte de energia oriunda do Sol é inesgotável. A energia solar pode ser produzida de maneira distribuída, perto do local de consumo e com a instalação em baixa ou alta potência (TILLEMANN; RUSSO; NELSON, 2020).

Os inversores usados nos sistemas de energia solar normalmente têm 5 a 10 anos de garantia do fabricante, com possibilidade de estender a garantia dependendo do fornecedor. A comercialização dos inversores varia entre 1 kW até 100 kW. Contudo, existem fabricantes específicos que produzem inversores com maiores potências (AMARAL, 2016).

O sistema não produz ruídos ao longo do processo de produção de energia e não devasta regiões no processo de instalação dos módulos solares, contribuindo na integração industrial por energia. O sistema de energia solar fotovoltaico pode ser dimensionado para determinada rede, orientação e posição. O desenvolvimento da aplicação de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica no setor industrial, influencia positivamente a redução pelo consumo de energia fóssil e diversificação da matriz energética. Ainda como vantagens no uso da energia solar estão os impactos ambientais evitados por meio da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa (GHIASI *et al.*, 2020).

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS EVITADOS COM A ENERGIA SOLAR

O crescimento no consumo de combustíveis fósseis em vários setores resultou em alguns fenômenos indesejáveis, como poluição do meio ambiente e a poluição atmosférica. Como resultado, o aquecimento global e o efeito estufa provocam mudanças climáticas no planeta. Outro fator negativo em nível global é a destruição da camada de ozônio e o aumento de incidências de chuva ácida (ELINWA *et al.*, 2021).

Para minimizar os impactos ambientais originado destes fenômenos é necessário diminuir o uso dos combustíveis fósseis, e conseqüentemente, reduzir as

emissões nocivas e significantes para a atmosfera. A emissão de gás carbônico (CO₂) é uma das principais preocupações ambientais quanto aos combustíveis convencionais (KIM *et al.*, 2021).

A demanda por energia irá aumentar nos próximos anos devido ao crescimento da população, e conseqüentemente, a geração de energia e seus impactos negativos ao meio ambiente será maior. Com o aumento na dependência por energia, cresceram as emissões responsáveis pelos gases de efeito estufa (GEE) e os custos de energia. Destaca-se que estes problemas se encontram entre os principais enfrentados atualmente no mundo. O uso de fontes limpas de energia ajuda a reduzir a dependência global pelas fontes de origem fóssil e a diversificar os recursos energéticos e minimizar o aquecimento global do planeta (ELINWA *et al.*, 2021).

Atualmente, os desafios tecnológicos e sociopolíticos no mundo quanto ao uso de energia são a segurança energética e as emissões de poluentes para a atmosfera, causados pela produção e consumo de energia de origem fóssil. A utilização de tecnologias solares na geração de energia é uma solução promissora na minimização dos impactos ambientais. Além disso, o aumento de instalações com energias renováveis resulta na segurança energética, no potencial de desenvolvimento econômico industrial e nos benefícios ambientais (GEBRESLASSIE, 2021).

Entre os impactos ambientais negativos no uso de fontes fósseis destacam-se a poluição ambiental, que é uma ameaça mundial. Portanto, a importância no aumento pelo uso das fontes de energia não poluidoras e, especificamente a energia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica é uma opção atrativa, principalmente em residências e na indústria, devido aos seus diversos benefícios. O aumento de tecnologia nos sistemas renováveis fomenta o desenvolvimento sustentável (NOOROLLAHI *et al.*, 2021).

A energia solar ganhou força como fonte de energia nas últimas décadas. Emite menos poluentes em relação aos outros combustíveis fósseis, além da praticidade na aplicação. Devido a maior eficiência nas instalações, o impacto ambiental no processo de geração de energia elétrica é baixo. A energia solar explora a energia da radiação solar, e assim, produz energia limpa utilizável com menor impacto para a saúde dos seres humanos, baixos danos ao ecossistema e os recursos são ilimitados (BASHIR *et al.*, 2021).

A substituição dos combustíveis fósseis por fontes limpas de energia é uma alternativa sustentável, e a energia solar fotovoltaica é um exemplo de energia verde para a diminuição dos impactos ambientais. A energia solar se destaca entre as fontes limpas de energia, quanto a sua abundância na natureza, e também em comparação com outras energias existentes (NEEDELL *et al.*, 2021).

As tecnologias que usam a energia solar apresentam eficiência energética e são importantes no processo de transição para o uso energético sustentável. A geração de energia solar fotovoltaica proporciona uma fonte de energia limpa, renovável e doméstica. Muitos pesquisadores a consideram a energia do futuro para o desenvolvimento sustentável. Os sistemas de geração de energia solar propiciam vários benefícios ambientais, em relação às fontes de energia convencionais. O sistema de energia solar mostra impactos menores no meio ambiente, principalmente durante o processo de produção e operação (KIM *et al.*, 2021).

Em 2020, o processo de planejamento estratégico do plano brasileiro de energia foi aprimorado com foco no desenvolvimento sustentável, e também baseado na abordagem participativa em distintos setores de produção. O sistema de energia solar gera economias substanciais, como a eliminação no uso de geradores, assegurando estabilidade na rede elétrica, e assim, atingindo os objetivos ambientais e econômicos para população e indústria (KUMAR *et al.*, 2021).

O consumo de energia na indústria é um fator chave para o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável. Portanto, é essencial que ocorram políticas de incentivos dos sistemas de governo para uma transformação de conceitos, não somente em relação ao meio ambiente, mas também na política de segurança energética, desenvolvimento e inovação. Nesse contexto, a minimização no uso de combustíveis fósseis e a utilização de sistemas elétricos otimizados permitem analisar cenários para a produção futura de energia elétrica através de sistemas renováveis (GEBRESLASSIE, 2021).

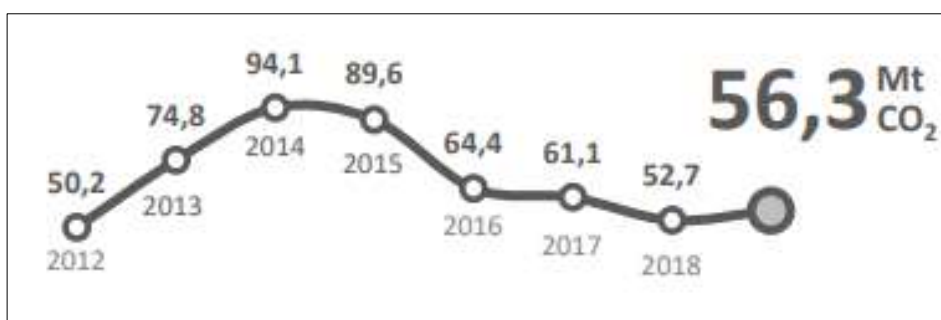
Os impactos ambientais com o uso da energia solar fotovoltaica levam ao Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 “Energia Limpa e Acessível”, assegurando o acesso global e confiável à fonte limpa de energia. Esta fonte renovável contribui na participação de energias limpas na diversificação da matriz energética mundial e eficiência energética. O desenvolvimento de infraestruturas para o fornecimento de serviços de energia sustentáveis é essencial para todos os setores, especialmente em localidades mais isoladas (ONU, 2021).

Para o funcionamento eficiente na geração da energia solar fotovoltaica, os sistemas de geração e distribuição são fundamentais para o fornecimento adequado e limpo da energia solar. Diversos setores são impactados positivamente no âmbito ambiental, técnico e econômico (BERNARDES; CAMACHO, 2019).

2.3.1 Vantagens Ambientais

No Brasil, a utilização da energia solar fotovoltaica apresenta inúmeros benefícios, mesmo em localidades consideradas com baixos índices de irradiação solar (BARACU *et al.*, 2021). Portanto, o estudo de viabilidade econômica em projetos solares industriais necessita encontrar alternativas para minimizar os custos energéticos e impactos ao ambiente, abastecendo com novas oportunidades sustentáveis os sistemas industriais de produção, com o aquecimento de água e a redução no uso do gás natural (GUNO *et al.*, 2021). A realização de cálculos matemáticos para a identificação da quantidade em quilos de CO₂ emitidos que podem ser evitados por meio do uso do sistema solar fotovoltaico é fundamental para mensurar os benefícios ambientais (SANQUETTA *et al.*, 2017). Os cálculos matemáticos com a utilização da energia solar baseiam-se em identificar o número de árvores que necessitariam ser plantadas para a fixação destes gases de efeito estufa (CARVALHO, 2007). A Figura 8 mostra as emissões de CO₂ provenientes da geração de energia elétrica no Brasil.

Figura 8 - Emissões provenientes da geração de energia elétrica no Brasil



Fonte: EPE (2020)

Os gases poluentes responsáveis pelo efeito estufa (GEE) oriundos da produção de energia elétrica no Brasil em 2015 totalizam 89,6 milhões de toneladas (Mt) de dióxido de carbono (CO₂). O aumento nas emissões representa 7% quanto

ao ano anterior (FIGURA 8). Em âmbito mundial, alguns países se destacam como poluidores quanto as emissões no sistema elétrico (FIGURA 9).

Figura 9 - Países mais poluidores (China, USA, União Europeia e Brasil) (kgCO₂/MWh)



Fonte: Adaptado de EPE (2020) baseado nas emissões de China, USA, União Europeia e Brasil

As emissões relativas ao CO₂ no sistema elétrico são analisadas pela quantidade de CO₂ enviado por (MWh) produzido. Segundo a Figura 9, o Brasil poluiu em média 82,9% menos em relação a China, 71,8% menos em relação aos Estados Unidos e 64,9% menos em relação a União Europeia na geração de cada (MWh) (EPE, 2020).

O Estado do Paraná se destaca na geração de eletricidade em nível nacional, produzindo cerca de 17% de toda a energia elétrica produzida no país. O potencial de consumo de eletricidade em relação ao restante do país é da ordem de 6,22%. O dimensionamento adequado nos sistemas de geração e distribuição no setor industrial contribui para o avanço tecnológico e o desenvolvimento sustentável do país (BERNARDES; CAMACHO, 2019).

2.4 SISTEMAS DE GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

Com as atuais demandas econômicas, tecnológicas e ambientais, o setor industrial no Brasil mudou sua visão com relação a geração de energia, direcionando novas estratégias por meio de investimentos com objetivo de melhoria nos sistemas de distribuição e geração de energias renováveis (HAMDI; REGAYA; ZAAFOURI, 2020).

O desenvolvimento do serviço elétrico mundial ocorre por meio da extensão entre as linhas de transmissão com os sistemas conectados ou pela produção

térmica em pequena, média ou grande escala. Em sistemas de geração e distribuição, o uso de geradores baseados em combustível de origem fóssil é muito comum (FLORES; FURUBAYASHI; NAKATA, 2016).

Os sistemas de geração e transmissão de energia solar são soluções viáveis tanto do ponto de vista ambiental como econômico. Este processo de transmissão de energia mostra como vantagem a possibilidade de não estar longe do centro de consumo. Além disso, é seguro energeticamente e representa uma atratividade econômica para as companhias de energia. Outro facilitador é que este sistema de energia apresenta maiores opções de compra, utilização e instalação (BERNARDES; CAMACHO, 2019).

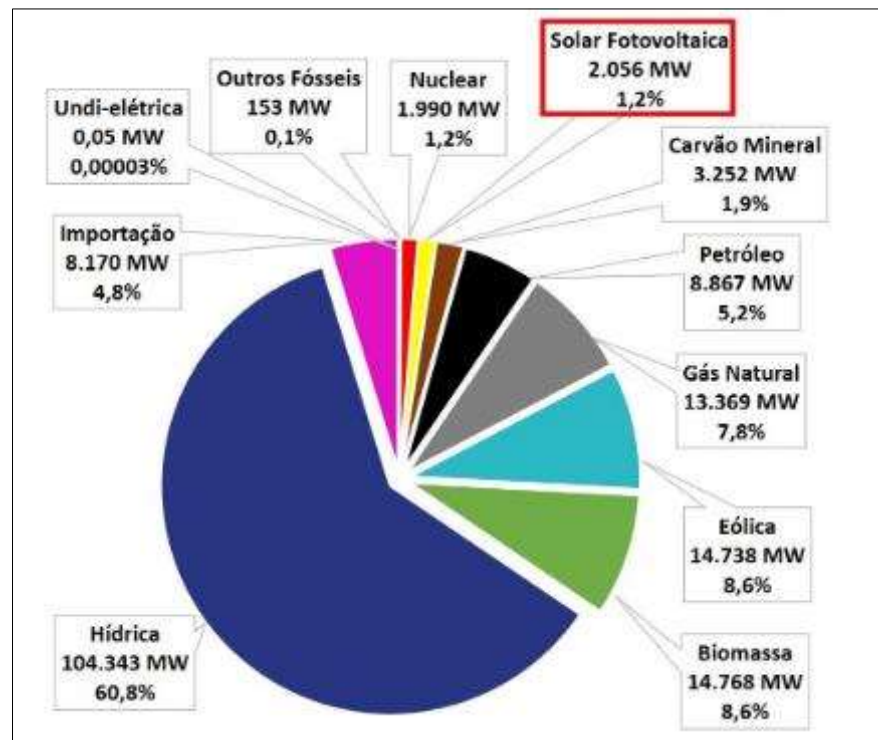
No sistema de geração de energia, o conjunto de módulos solares fotovoltaicos é chamado de arranjo fotovoltaico (BELLO; SHANMUGAN, 2020). O controle de sistemas de geração e distribuição demonstra constante atualização tecnológica para a redução no consumo de energia (ALFARIS; BHATTACHARYA, 2019).

O aumento no uso de fontes limpas de energia, como por exemplo, a energia solar na indústria, mostra os benefícios e a diversificação da matriz energética. Portanto, a importância no aumento de pesquisas sobre a geração de energia solar fotovoltaica no setor industrial (HOU *et al.*, 2018). O aumento no uso de fontes limpas de energia, como por exemplo, a energia solar na indústria mostra como benefícios, a diversificação da matriz energética (EPE, 2020).

2.5 MATRIZ ENERGÉTICA INDUSTRIAL

Em 2020, o Brasil superou os 2.000 MW de potência operacional em sistemas de produção de energia solar fotovoltaica (ABSOLAR, 2021). O percentual da composição da matriz energética do Brasil é representado na Figura 10.

Figura 10 - Composição da matriz energética do Brasil (%)

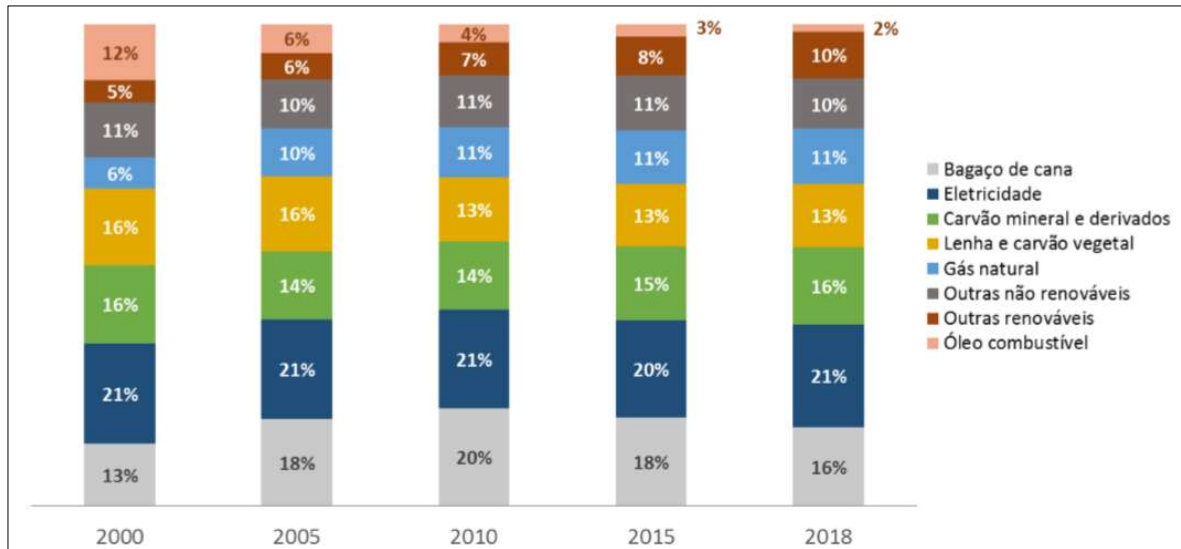


Fonte: ABSOLAR (2021)

A energia solar fotovoltaica se torna cada vez mais competitiva no mercado para geração de energia e utiliza como base o processo de conversão direta de irradiação solar em eletricidade de maneira sustentável. A potência operacional instalada ultrapassou os 2.056 MW ou 1,2% da matriz energética brasileira em 2020, sendo a 7ª maior fonte de energia nacional (Figura 10).

No começo dos anos 2000, as fontes utilizadas pelo setor industrial brasileiro eram a eletricidade, o bagaço de cana, o carvão mineral e seus derivados, o carvão vegetal e a lenha e o óleo combustível. O bagaço de cana acabou sendo a segunda fonte industrial mais consumida em 2019, junto com o carvão mineral e seus derivados, perdendo somente para a eletricidade (EPE, 2020). O consumo energético industrial brasileiro está ilustrado na Figura 11.

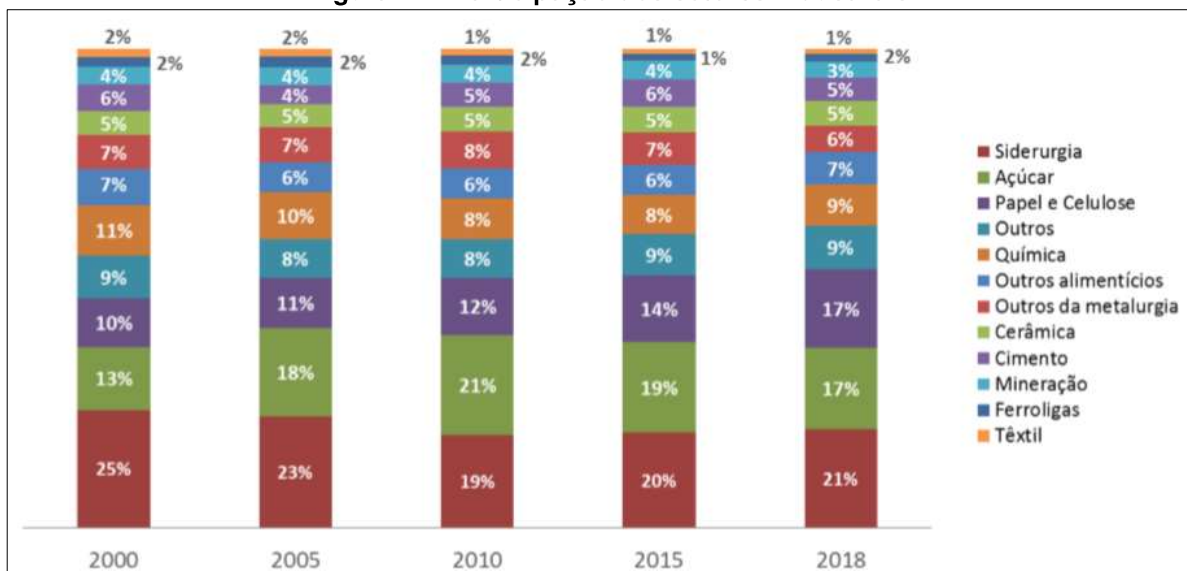
Figura 11 - O consumo energético industrial (%)



Fonte: EPE (2021)

O crescimento com o uso de bagaço de cana e de outras fontes renováveis na matriz energética industrial mostra relação com o aumento na geração de celulose e açúcar. A diminuição no uso do óleo combustível ocorreu gradativamente, devido ao uso do coque de petróleo, gás natural e algumas fontes renováveis. Atualmente, os maiores clientes destas fontes de energia são os setores da siderurgia, papel e celulose, representando 48% em 2000 e 56% em 2019 (EPE, 2020). A Figura 12 ilustra a participação dos setores industriais na matriz energética do Brasil.

Figura 12 - Participação dos setores industriais



Fonte: EPE (2021)

Entre os anos 2000 até 2008, os principais consumidores de energia na indústria mostraram pouca diversificação na matriz energética, sendo a crise econômica nacional responsável pela pouca variação (EPE, 2020). A diversificação energética ocorreu também em países industrializados e em estabelecimentos com vários sistemas energéticos descentralizados, proporcionando uma autonomia energética para comunidades localizadas em regiões isoladas (PILLAI; BANERJEE, 2009).

O serviço de telecomunicações australiano é um exemplo antigo de sucesso no mundo com o uso da energia solar desde 1975, sendo considerado como uma companhia pioneira em sistemas fotovoltaicos. O serviço da companhia presta atendimento aos clientes mesmo estando fora da rede ou em localidades afastadas. Quanto a matriz energética, a companhia de serviços de telefonia apresenta baixo percentual na dependência por fontes de combustíveis tradicionais. A companhia australiana é a maior usuária de energia fotovoltaica do país, com mais de 8000 locais desenvolvidos quanto ao uso da energia solar (BAI, 2020).

As energias renováveis mais utilizadas em escala industrial são as híbridas, envolvendo biogás, biodigestores e fotovoltaicas, e estas fontes de energia são fundamentais, impactando positivamente a composição final da matriz energética. O sistema baseado em fontes híbridas para a indústria, possibilita a combinação de duas ou mais fontes tecnológicas de energia renovável, como as turbinas eólicas, os módulos fotovoltaicos ou as pequenas centrais hidroelétricas (BERNARDES; CAMACHO, 2019).

O desenvolvimento do setor energético por meio da aliança entre sistemas de governo, instituições de pesquisa e empresas privadas favorece o surgimento de novas oportunidades tecnológicas no setor industrial. Portanto, como resultado, o amadurecimento tecnológico no mundo vem contribuindo na diversificação energética (LARA FILHO; UNSIHUAY-VILA; DA SILVA, 2019).

As indústrias situadas em lugares remotos consideram a energia limpa gerada por meio da tecnologia fotovoltaica, como alternativas acessíveis tecnicamente e economicamente. Portanto, a avaliação de viabilidade econômica e ambiental da energia solar fotovoltaica para o setor industrial apresenta um grande potencial energético em longo prazo na geração de energia de forma sustentável (PORTAL SOLAR, 2021).

2.6 VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA SOLAR PARA A INDUSTRIAL

A tarifa de energia gerada pelo sistema solar apresenta benefícios para atender às necessidades de consumo industrial. Para o cálculo no retorno do investimento da energia solar, considera-se o investimento total na implementação do sistema fotovoltaico e as economias obtidas com a geração fotovoltaica. O cálculo de viabilidade econômica permite estimar o retorno do investimento em meses ou anos, e, conseqüentemente, demonstrar a viabilidade tanto técnica quanto econômica (MERATIZAMAN; GODARZI, 2020).

O custo de máquinas e equipamentos industriais para a geração e distribuição de energia, por meio de fontes renováveis vem reduzindo devido ao desenvolvimento de novas tecnologias. A expectativa brasileira quanto a energia solar é atingir 8 GW de potência instalada até 2027. As fontes renováveis de energia, como é o caso da eólica e a solar, estão crescendo devido as melhorias tecnológicas, e assim, resultando na diminuição de custos com mão de obra e materiais. O uso da tecnologia solar por meio de células fotovoltaicas resultou na diminuição dos preços dos equipamentos necessários na geração de energia. Os resultados mostram uma diminuição nos custos nos componentes em 78%, comparados aos últimos 10 anos (MME, 2021).

O Brasil atingiu em dezembro de 2017 seu primeiro 1 GW de potência instalada, sendo suficiente para alimentar até 490.000 casas e atender uma demanda de consumo de aproximadamente 1,9 milhões de habitantes. Este resultado posicionou o Brasil em 30º lugar, entre 195 países no mundo, quanto a potência instalada acima de 1 GW de fonte solar (ABSOLAR, 2021). O território nacional se destaca na produção de eletricidade, apresentando até 76% da energia consumida no Brasil proveniente de fontes limpas renováveis (MME, 2021).

Em 2012 entrou em vigor na ANEEL a normativa nº 482/2012, possibilitando o consumidor produzir a sua eletricidade com base em energias renováveis, e ainda introduzir a geração excedente de energia em redes de distribuição local. Este processo é chamado de minigeração ou microgeração distribuída de eletricidade e é sustentável e econômico (ANEXO A) (ANEEL, 2015). Conforme as resoluções da normativa 482/2012, a energia solar contribui para o desenvolvimento econômico em sistemas de geração e distribuição. Este tipo de alternativa de energia renovável é considerado como solução econômica atrativa para diversos setores, como

agricultura e construção civil (EPE, 2020).

No Brasil, o projeto de lei 2.474/2020 na geração distribuída com base na energia solar fotovoltaica destaca que os novos consumidores, sejam responsáveis pelos gastos e encargos no sistema. Ainda, os consumidores com sistemas vigentes antes de 2020, só terão gastos com encargos em 2030 (PORTAL SOLAR, 2021).

A viabilidade econômica em instalações industriais nos sistemas de produção de energia solar mostra ótimos resultados de rentabilidade. Em um estudo realizado no Brasil sobre a viabilidade econômica, quanto a produção anual de 248 MWh de energia com financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) apresentou um tempo de retorno (*payback*) de 8 anos (LARA FILHO; UNSIHUAY-VILA; DA SILVA, 2019).

Os custos na instalação de módulos solares e inversores de frequência em indústrias diminuem conforme a quantidade adquirida de componentes fotovoltaicos, e, assim, resultam em melhoria da viabilidade em sistemas de micro redes. A micro rede é a geração distribuída do excedente de eletricidade em redes de distribuição local (NADALETI; SANTOS; LOURENÇO, 2019).

O tempo de retorno (*payback*) em projetos de energia solar depende diretamente das taxas de financiamento adotadas e o tamanho da estrutura a ser implantada (BERNARDES; CAMACHO, 2019). O estudo de rentabilidade para a implantação de fontes renováveis em sistemas produtivos industriais baseados na energia fotovoltaica, apresenta um *payback* de até 25 anos (DE SILVA *et al.*, 2009). Ainda nesta lógica, o estudo de viabilidade econômica no uso do sistema solar fotovoltaico mostra-se atrativo (D'ADAMO, 2020).

A implantação de módulos solares com até 5 MW de energia em indústrias, mostra um Valor Presente Líquido (VPL) estimado US\$ 74 milhões e *payback* de retorno simples aproximado de 7 anos e 6 meses (PAUDEL; SARPER, 2013).

O tempo para retorno (*payback*) em sistemas de energia solar pode variar até 20 anos e os materiais usados têm uma vida útil de 25 anos (GARUZZI; ROMERO, 2017). O uso da radiação solar como fonte de energia, na viabilidade técnica e econômica no desempenho do sistema fotovoltaico, possibilita a comercialização do excesso de energia por empresas responsáveis (HUAXU *et al.*, 2020).

Pesquisas de mercado sobre os equipamentos usados na geração de energia solar mostram que pode-se otimizar a demanda de energia do setor industrial. Assim, representam fatores importantes na redução pelo consumo energético. A

segurança energética com a utilização de fontes limpas de energia propicia maior durabilidade nos equipamentos usados em meios industriais, devido à redução nas interrupções do fornecimento de energia, e assim, favorece a eficiência de máquinas e ferramentas (MERATIZAMAN; GODARZI, 2020).

Os módulos solares após a sua vida útil, mostram continuidade na geração de energia, mas com perda de eficiência na geração de energia (KUMAR *et al.*, 2017). A energia solar é viável tecnicamente, ambientalmente e economicamente, devido ao desenvolvimento energético mundial e as vantagens ambientais do sistema. Os avanços tecnológicos por energia elétrica e o aumento nos sistemas de produção industrial retratam fatores favoráveis para o investimento em fontes de energia renováveis, como a energia solar (GULALIYEV; MUSTAFAYEV; MEHDIYEVA, 2020).

A geração fotovoltaica no Brasil ainda é considerada uma fonte de energia cara. Contudo, o retorno no investimento em médio e longo prazo é satisfatório. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Banco Santander e a Caixa Econômica Federal possuem programas de empréstimos e financiamentos destinados a projetos fotovoltaicos (GAIO; DE CAMPOS; TIEPOLO, 2018).

O incentivo em programas na introdução da energia solar em residências, empresas e indústrias favorece ambiental e energeticamente o Brasil. O desenvolvimento de programas fotovoltaicos em maior escala aumenta as isenções fiscais na produção nacional. O aumento na competitividade entre os fornecedores destes produtos os torna mais baratos economicamente, devido a grande parte da tecnologia ser importada de países como a China e a Alemanha (PINHEIRO *et al.*, 2020). Com a geração de energia na indústria ocorre a redução na importação de energia de outros países, como o Paraguai, contribuindo para a redução no custo da energia e melhora na cadeia de energia industrial (DE SOUZA *et al.*, 2019).

Para a disseminação técnica com a viabilidade econômica na utilização da energia solar, a criação de programas de iniciativa privados e governamentais na conscientização mostra várias vantagens. O uso de energias renováveis na descentralização da geração de energia colabora na diversificação da matriz energética industrial (PFEIFER *et al.*, 2019).

Os componentes usados na instalação da energia solar térmica são mais potentes comparados com os utilizados na geração de hidroeletricidade. O potencial de geração de energia favorece o uso da energia solar térmica (RIVAROLO *et al.*,

2014). Outro fator técnico é a possibilidade de alcance de distribuição de energia em lugares remotos, devido a instalação não necessitar de investimentos nas linhas de transmissão de energia (GARCIA LATORRE; QUINTANA; DE LA NUEZ, 2019).

Ainda, energia solar térmica possui mais viabilidade técnica em relação a hidroeletricidade, pois o potencial de geração existem em praticamente todas as regiões do país, reduzindo a busca energética e possíveis perdas de energia (RODRÍGUEZ-PÉREZ; PULIDO-CALVO, 2019). As centrais com fontes de origem de energia solar térmicas demandam pouca manutenção em seus equipamentos de geração, resultando em baixos custos (GARCIA LATORRE; QUINTANA; DE LA NUEZ, 2019).

Na indústria, a viabilidade técnica e econômica da energia solar quanto ao gás veicular natural, contribui com processos de produção industriais, principalmente em setores que demandam alta carga de energia, como os setores de pintura e soldagem (MARKIDES, 2015). Ainda no setor industrial, o uso de energia solar mostra inúmeras vantagens quanto a energia térmica, especialmente como alternativa no abastecimento, aquecimento de água para banheiros e refeitórios. As inúmeras aplicações da energia solar e energia térmica resultam na redução de consumo por fontes fósseis (LOPES *et al.*, 2019).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, serão demonstradas a classificação da pesquisa e os procedimentos metodológicos usados para analisar as relações demonstradas procurando atingir os objetivos de pesquisa propostos. Todas as etapas descritas foram realizadas com o objetivo de preservar o rigor metodológico. Os procedimentos metodológicos estão distribuídos em quatro etapas que serão descritas neste capítulo. Portanto, estas etapas foram adotadas para atingir todos os objetivos específicos descritos e o objetivo geral.

O presente estudo avalia a viabilidade econômica e ambiental na implantação da energia solar em uma indústria localizada no Estado do Paraná. Os dados usados foram obtidos mediante pesquisa bibliográfica, pesquisa documental sobre a capacidade energética, relatório da indústria, *websites* da indústria e fabricantes especializados.

O setor industrial selecionado mostra diversas alternativas de energia a serem pesquisadas e características ambientais, técnicas e econômicas adequadas. Conforme a revisão de literatura e a vivência da prática na indústria, constituem-se fatores interessantes na realização do estudo. Na próxima seção, são apresentados a classificação de pesquisa e os procedimentos metodológicos.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Na subseção do capítulo, apresenta-se a classificação da pesquisa, as unidades metodológicas e a justificativa do método adotado. A estrutura metodológica desta dissertação, está estruturada com as unidades metodológicas e classificações, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação da Pesquisa

| Unidades Metodológicas | Classificação |
|-------------------------------|--|
| Natureza | Descritiva e Exploratória |
| Abordagem | Quantitativa e Qualitativa |
| Dimensão temporal | Corte Seccional |
| Método Científico | Indutivo |
| Coleta de Dados | Relatórios de sustentabilidade, documentos organizacionais da indústria, cálculo de viabilidade econômica e ambiental, <i>websites</i> de fabricantes especializados e da indústria. |

| | |
|----------|-------------------|
| Ambiente | Pesquisa de Campo |
| Nível | Industrial |

Fonte: O autor baseado em Creswell (2010)

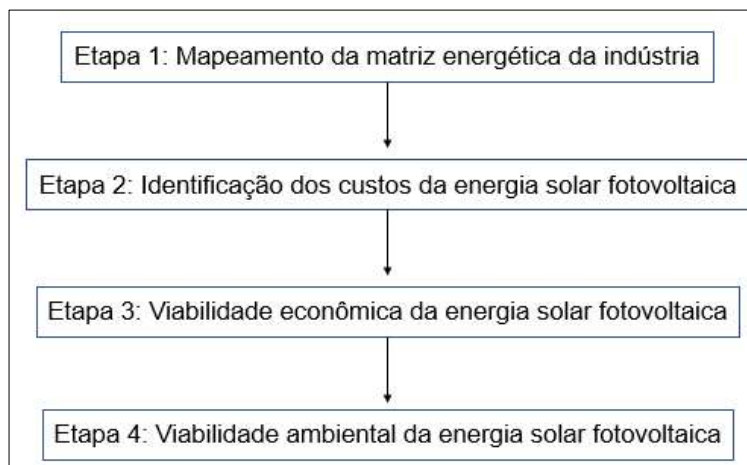
A pesquisa direciona para um estudo com postura para a metodologia quantitativa e qualitativa, com o propósito de mostrar a viabilidade econômica e ambiental na implantação da energia solar em uma indústria no Estado do Paraná.

A metodologia qualitativa envolve a pesquisa bibliográfica de literatura, análise documental da capacidade energética, análise de *websites* especializados de fabricantes, e indústria, além do contato com os fabricantes. Nesta etapa, o pesquisador dedicou-se a sustentar o objetivo na prática e o conhecimento da significância. O investigador mostra em seu estudo por meio da experimentação e também com informações por meio de contribuições de pesquisadores para compreensão das teorias mencionadas.

A metodologia quantitativa envolve os cálculos de viabilidade econômica e ambiental para a implantação do projeto solar fotovoltaico. A viabilidade técnica e econômica no uso da energia solar fotovoltaica como alternativa na geração de energia em sistemas de produção industrial, oferece uma oportunidade segura e o retorno de investimentos em curto e longo prazo. Para a realização dos cálculos de rentabilidade na implantação de projetos sustentáveis, é importante conhecer a demanda energética e a área disponível para a implementação do estudo (CHOUHARY; SRIVASTAVA, 2020).

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nos procedimentos metodológicos foi realizada a análise do projeto solar fotovoltaico para implantação em uma indústria. O objetivo desta pesquisa está relacionado com a linha de pesquisa 4 do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia (PPB): Impactos Ambientais e Sócio-Econômicos, pois pretende descobrir de forma fundamentada as características técnicas, econômicas e ambientais em uma indústria. Assim, para alcançar os objetivos específicos mencionados foram consultados documentos oficiais da indústria abordando sobre a capacidade energética, sites da indústria e de fornecedores especializados. Os procedimentos metodológicos estão divididos em quatro etapas (Figura 13).

Figura 4 - Etapas dos Procedimentos Metodológicos

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Estas quatro etapas são fundamentais para responder aos objetivos específicos e ao objetivo geral na instalação do projeto solar fotovoltaico em uma indústria, etapas que serão discutidas com detalhes a seguir. No Quadro 2 mostra-se o resumo da pesquisa e como foram distribuídos os objetivos específicos e a respectiva fonte de dados.

Quadro 2 - Resumo da pesquisa

| Objetivo Geral | Objetivos Específicos | Fontes de dados |
|--|--|---|
| Analisar a viabilidade econômica e ambiental para a implementação da energia solar em uma indústria brasileira | Detectar a matriz energética atual da indústria. | *Relatório da indústria, relatórios internos energéticos e site da indústria. |
| | Identificar os custos da energia solar fotovoltaica para a indústria. | Pesquisa bibliográfica, planta da indústria e contato com fabricantes especializados. |
| | Avaliar a viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica. | Cálculo de viabilidade econômica. |
| | Analisar a viabilidade ambiental da energia solar fotovoltaica nas emissões evitadas para a atmosfera. | Cálculo de viabilidade ambiental. |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

* Os dados são confidenciais e a divulgação da indústria não foi autorizada.

Para alcançar os objetivos geral e específicos a pesquisa foi estruturada em quatro etapas. O Quadro 3 demonstra o resumo dos procedimentos metodológicos com todas as etapas de pesquisa.

Quadro 3 - Resumo dos Procedimentos Metodológicos

| Etapas | Objetivos Específicos | Como? | Resultados |
|---------------|--|--|---|
| Etapa 1 | Mapear a matriz energética atual da indústria | 1- *Verificar relatório da indústria; | Identificação da composição da matriz energética da indústria (%). |
| | | 2- Avaliar relatórios internos energéticos e websites. | |
| Etapa 2 | Mapear tecnicamente as disponibilidades de áreas para a instalação da energia solar fotovoltaica | 1- Realizar pesquisa bibliográfica; | Obtenção dos custos da energia solar fotovoltaica. |
| | | 2- Analisar a planta da fábrica; | |
| | | 3- Manter contato com fabricantes especializados. | |
| Etapa 3 | Analisar a viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica | 1- Calcular a viabilidade econômica da energia solar; | Demonstração dos cálculos econômicos da energia solar fotovoltaica. |
| | | 2- Calcular a viabilidade ambiental da energia solar. | |
| Etapa 4 | Analisar a viabilidade ambiental da energia solar fotovoltaica | 1- Calcular a viabilidade ambiental da energia solar; | Demonstração dos cálculos ambientais da energia solar fotovoltaica. |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

* Os dados são confidenciais e a divulgação da indústria não foi autorizada.

Para alcançar o objetivo geral desta pesquisa foi necessário lançar mão de todas as quatro etapas mencionadas para demonstrar a análise de viabilidade econômica e ambiental para implementação da energia solar fotovoltaica na indústria. Nos cálculos econômicos foram usados o Valor Presente Líquido (VPL), *Payback* descontado e Taxa Interna de Retorno (TIR). Nos cálculos ambientais foram identificados a massa do CO₂ não emitido, ou evitado, e o número de árvores que seriam necessárias para o processo de fixação do CO₂ com a implementação do projeto solar. As seções seguintes apresentam, com detalhes, como foram distribuídas as etapas da pesquisa.

3.2.1 Etapa 1 - Mapeamento da Matriz Energética Atual da Indústria

A indústria situada no Estado do Paraná foi escolhida para a análise de viabilidade econômica e ambiental por apresentar características técnicas, econômicas e ambientais atrativas para a realização desta pesquisa.

Uma revisão bibliográfica foi realizada focando nos seguintes aspectos: o setor industrial no mundo, a energia solar fotovoltaica, os impactos ambientais, o sistema de geração e distribuição e a viabilidade econômica e ambiental.

Após várias pesquisas no site da indústria e no relatório, foi realizado o mapeamento e a identificação do percentual na composição atual da matriz energética da indústria (Energias renováveis e não renováveis). Para o mapeamento da matriz energética nesta indústria brasileira, foi realizada uma consulta estruturada em relatórios internos com dados sobre a capacidade energética, site da indústria e relatório.

A investigação se baseou em dados técnicos e científicos identificados na revisão da literatura sobre a energia solar fotovoltaica, na avaliação dos fatores econômicos e ambientais, que se mostraram viáveis tecnologicamente na instalação em curto prazo na indústria.

As etapas para o mapeamento da energia solar fotovoltaica foram:

- Avaliação de artigos para contribuir em fatores técnicos fundamentais a serem investigados na instalação da energia solar fotovoltaica;
- Análise de documentos com a capacidade energética da indústria;
- Averiguação das informações energéticas e ambientais no relatório da indústria e;
- Avaliação da posição geográfica da indústria.

O relatório da indústria é formado por normas claras, seguindo as recomendações da *Global Reporting Initiative* (GRI), com dados relevantes da indústria no mercado e apresentação de práticas adequadas quanto ao meio ambiente (GRI, 2006). Conforme o relatório da indústria foram analisados as ações estratégicas energéticas implementadas nos últimos anos, as informações sobre a constituição atual da matriz energética, a estimativa sobre o consumo de energia no sistema de produção.

As avaliações de relatórios internos energéticos e do *site* da indústria, foram fundamentais para se obter o consumo diário, semanal, mensal e anual em energia elétrica usado nos processos industriais, banheiros, restaurantes e na frota interna. Com estas características técnicas foi possível também realizar o projeto do sistema energético a ser implementado pela indústria.

Portanto, com estes procedimentos de pesquisa foi identificado o percentual atual na composição da matriz energética da indústria, cujos detalhes são apresentados no Capítulo 4.

3.2.2 Etapa 2 – Mapeamento técnico interno industrial para a instalação dos módulos solares fotovoltaicos

Nesta etapa foi elaborado um levantamento técnico e econômico de todos os custos de equipamentos, com o objetivo de identificar tecnicamente as áreas internas disponíveis para a instalação do projeto e o custo dos módulos solares fotovoltaicos na indústria.

As características energéticas da indústria, como o valor da fatura mensal de energia dos últimos 6 meses, incluem todas as atividades do sistema produtivo, e a área administrativa. As informações técnicas sobre o número de módulos solares fotovoltaicos e o número de inversores necessários no projeto foram obtidas de cotações efetuadas com empresas dos Estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. Dentre as principais variáveis avaliadas para a escolha do fornecedor dos módulos solares e inversores, destaca-se o modelo, o tamanho, a quantidade, o custo e a potência de módulos e inversores, e o custo de operação e manutenção.

Esta etapa tem como propósito mostrar os valores estimados para a implantação do investimento, respeitando os órgãos regulamentadores do sistema de governo. Os dados foram inseridos em uma planilha usando o *software Microsoft Excel* com todos os aspectos técnicos da indústria, módulos solares e inversores. Entre os dados, o tamanho da estrutura desejada para atender ao consumo médio atual de energia (kWh/mês), respeitando o limite econômico da indústria para o uso da energia solar fotovoltaica. Com o levantamento de todos os componentes do projeto, foi possível obter uma visão global da indústria sobre os investimentos necessários para a implantação deste estudo.

Por fim, foram avaliadas todas as áreas internas disponíveis da indústria e assim, foi identificado o local economicamente viável para a implantação do sistema de energia solar fotovoltaica. Na análise, foi considerada a potência de consumo desejado de energia mensal da indústria. Após isso, foram realizados contatos com empresas especializadas que comercializam produtos fotovoltaicos para o mapeamento técnico do projeto.

Para a análise técnica foram consideradas as seguintes características:

- Consumo médio atual de energia da indústria (kWh/mês);
- Áreas internas disponíveis para a instalação;

- Área necessária para a instalação;
- Potência dos módulos solares;
- Dimensões dos módulos solares;
- Tamanho dos módulos solares;
- Orientação dos módulos solares;
- Inclinação dos módulos solares;
- Irradiação média mensal na cidade paranaense (kWh/m²)
- Potência do inversor de frequência;
- Quantidade de módulos e inversores necessários para o projeto;
- Custo do sistema de monitoramento;
- Custo de mão de obra;
- Custo por módulo e inversor;
- Custo pago mensal pela indústria por MWh;
- Custo médio da fatura mensal e;
- Custo de manutenção de equipamento.

Com esta análise técnica sobre o potencial do sistema de energia solar fotovoltaica, foram obtidos todos os custos do projeto, e conseqüentemente, a etapa 2 foi concluída.

3.2.3 Etapa 3 – Viabilidade Econômica da Energia Solar Fotovoltaica

Esta etapa teve como objetivo mostrar os valores estimados para a implantação e o *payback* do investimento respeitando os órgãos regulamentadores do governo. Os dados foram inseridos em uma planilha usando o *software Microsoft Excel* com todos os aspectos técnicos da indústria, módulos solares e inversores. Com a Etapa 2 é possível obter o valor total do investimento do projeto e o tempo de retorno (*payback*).

Para os cálculos de engenharia econômica, foram considerados os índices de rentabilidade por meio da Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) e o *payback* descontado do investimento.

O Valor Presente Líquido (VPL) é a concentração de todos os valores desejados de um fluxo de caixa considerando a data zero (SOUZA; CLEMENTE,

2009). A Taxa Interna de Retorno (TIR) é o melhor indicador para realizar a comparação de investimentos dentro do mesmo setor de atuação da empresa (BRITO, 2003). O *payback* é usado como parâmetro econômico, pois ele mede baseado na geração de caixa, como por exemplo, em quanto tempo o investimento retorna como rendimento (SCHUBERT, 1989). Os cálculos econômicos do projeto para a viabilidade da energia solar foram divididos em 3 etapas, respectivamente:

1º Etapa: Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), dado pela Equação (1):

$$VPL = -\text{Investimento do projeto} + \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+i)^t} \quad (1)$$

- FC_t = Fluxos de Caixa Líquidos no tempo t .
- t = período do investimento.
- i = taxa mínima de atratividade
- n = número de fluxos de caixa ou duração do projeto.

2º Etapa: Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR), dada pela Equação (2):

$$VPL = 0 = \text{Investimento Inicial do projeto} + \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+TIR)^t} \quad (2)$$

- VPL = Valor Presente Líquido;
- VPL = Zero = As despesas e as receitas são iguais, portanto, a tomada de decisão de investimento no projeto é neutra;
- TIR = Taxa Interna de Retorno;

3º Etapa: Cálculo de retorno (*payback*) do investimento, dado pela Equação (3):

$$VPL = -FC0 + \sum_{j=1}^n \frac{FCj}{(1+i)^j} \quad (3)$$

- i = taxa mínima de atratividade;

- j = Índice genérico que representa os períodos $j = 1$ até n ;
- VPL = Valor Presente Líquido;
- F_{cj} = Fluxo de econômico de entrada ou saída de caixa até o instante n ;
- F_{c0} = Fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial);

Na análise de viabilidade econômica para a implantação do sistema solar fotovoltaico na indústria visitada brasileira, os custos mensais de manutenção e operação dos módulos solares e inversores de frequência foram considerados nos cálculos de rentabilidade. Entre os custos de manutenção e operação dos módulos solares fotovoltaicos estão incluídos a limpeza semanal e as verificações visuais para detecção de possíveis problemas técnicos ou indícios de ruptura nos módulos. Entre os custos de manutenção e operação dos inversores, estão incluídos a inspeção da proteção de energia elétrica, a eficiência do inversor, a limpeza periódica na ventilação do inversor e a verificação de todas as ligações.

A análise sobre a viabilidade técnica do projeto considerou a estimativa de produção de energia elétrica no sistema fotovoltaico. A redução da eficiência na geração de energia solar fotovoltaica quanto a irradiação média mensal (kWh/m^2) também foi considerada. Os critérios técnicos analisados para obter o potencial de geração no projeto mensal foram:

- Tamanho dos módulos solares;
- Rendimento dos módulos solares;
- Taxa de desempenho;
- Número total de dos módulos solares necessários;
- Quantidade de dias no mês para o cálculo na estimativa de geração de energia.

Para o cálculo da produção mensal de energia do sistema solar fotovoltaico foi utilizada a Equação (4), proposta por Pinho e Galdino (2014). Estes autores ressaltam que a taxa de desempenho (TD) varia entre 75 a 80% com as condições de irradiação solar no território nacional.

$$E = Pfv(wp) * HSPma * TD \quad (4)$$

- E = Energia gerada (KWh/dia);
- $P_{fv} (wp)$ = Potência de pico do módulo (KW);
- HSP = irradiação média diária, intensidade total diária incidente sobre a superfície gerado em kWh/m²;
- HSP_{ma} = Média diária anual das HSP incidente no plano do módulo solar fotovoltaico;
- TD = Taxa de desempenho.

Para Pinho e Galdino (2014), os fatores de desempenho do sistema de produção solar fotovoltaico são influenciados pelo modelo dos equipamentos solares fotovoltaicos utilizados e pela temperatura ambiente. Desta forma, reduz-se possíveis incertezas no cálculo de geração de energia no projeto do sistema solar fotovoltaico. Por fim, após completadas as três etapas mencionadas, foram realizados os cálculos de viabilidade ambiental.

3.2.4 Etapa 4 – Cálculo da Viabilidade Ambiental do sistema de Energia Solar Fotovoltaica

O cálculo total anual quanto as emissões de CO₂ no setor de energia foi baseado na Equação (5), proposta por Sanquetta *et al.*, (2017).

$$ECO_2 = C * FE \quad (5)$$

- ECO_2 = Emissão anual em toneladas de CO₂;
- C = Consumo de energia elétrica (MWhano⁻¹);
- FE = Fator de emissão médio, dado em tCO₂ (MWh/ano)⁻¹.

O fator de emissão médio na eletricidade tem como função realizar a estimativa na quantidade de CO₂ em relação a produção de eletricidade. Este fator realiza o cálculo médio das emissões na sua produção e adota como fundamento base todas as usinas que estão em processo de produção de eletricidade. Nos cálculos de viabilidade ambiental foram adotados os dados do Ministério da Ciência,

Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC, 2021). Os fatores de emissão (FE) relativo a todos os meses de 2020 estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Fator de Emissão (FE) no Estado do Paraná

| Mês (2020) | FE (tCO ₂ /MWh) |
|--------------------|----------------------------|
| Janeiro | 0,0916 |
| Fevereiro | 0,0558 |
| Março | 0,0384 |
| Abril | 0,0296 |
| Maio | 0,0358 |
| Junho | 0,0491 |
| Julho | 0,0400 |
| Agosto | 0,0414 |
| Setembro | 0,0329 |
| Outubro | 0,0961 |
| Novembro | 0,1191 |
| Dezembro | 0,1101 |
| Média Anual | 0,0616 |

Fonte: MCTIC (2021)

De acordo com a Tabela 2, o fator de emissão no Estado do Paraná foi maior nos meses de junho, julho e agosto de 2020. Os menores fatores de emissão (tCO₂/MWh) foram identificados nos meses de abril, novembro e dezembro de 2020.

O número de árvores que necessitam ser plantadas para a fixação do CO₂ liberado pelo consumo de eletricidade no Estado do Paraná foi baseado na Equação (6), proposta por Flizikowski *et al.*, (2013):

$$N = \frac{Et}{Ff} \cdot 1,2 \quad (6)$$

- N = Número de árvores que necessitam ser plantadas;
- Et = Emissão total de CO₂ equivalente (tCO₂e);
- Ff = Fator de fixação do carbono em biomassas no local de implantação do projeto (tCO₂e/ árvore);

O Fator de Compensação para possíveis perdas de mudas na equação é igual a 1,2.

O fator de fixação de carbono por árvore foi calculado pela Equação (7), proposta por Azevedo e Quintino (2010):

$$Ff = \frac{IMA \frac{Tc}{t\text{ seca}} \frac{44}{12}}{N} \quad (7)$$

- IMA = Incremento médio anual da biomassa viva acima do solo mais o incremento da biomassa viva abaixo do solo, em toneladas de matéria (seca/ha/ano);
- $\frac{Tc}{t\text{ seca}}$ = Teor de carbono na matéria seca.

Na árvore adulta, estima-se que 50% de sua massa corresponde a água e os outros 50% a biomassa. Quanto a densidade da madeira, a fração de carbono na matéria seca por omissão é igual a 0,5 ou 50% (IPCC, 2003).

- A fração $\frac{44}{12}$ relata a conversão de C para CO₂. A massa molar do carbono é 12, e a massa molar do CO₂ é 44;
- O número de árvores/ha é usado para florestas com idade inferior a 20 anos.

O IMA de biomassa em florestas subtropicais e tropicais em processo de regeneração natural situadas na América do Sul é de 7 toneladas de matéria seca/ha/ano. As florestas subtropicais e tropicais com idade menor que 20 anos possuem 2 toneladas de matéria seca/ha/ano (IPCC, 2003). Conforme o estudo realizado de Bechara. 2006, o cálculo do Fator de fixação é 1667 árvores/ha (BECHARA, 2006). Conforme a Equação (7) o fator de fixação foi calculado:

$$Ff = \frac{7 (0,5)^{\frac{44}{12}}}{1667} \cdot 20$$

O fator de fixação adotado para os cálculos de viabilidade ambiental neste estudo, conforme o Ff calculado foi 0,15399. O processo de neutralizar a emissão anualmente de gases poluentes na atmosfera é efetuado em um período estimado de 20 anos, devido as árvores captarem o carbono ao longo do ciclo de crescimento (AZEVEDO; QUINTINO, 2010). No Capítulo 4 são apresentados os dados econômicos e ambientais calculados sobre a energia solar fotovoltaica e a área interna selecionada para a instalação do projeto solar fotovoltaico desta indústria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MAPEAMENTO DA MATRIZ ENERGÉTICA DA INDÚSTRIA

A indústria analisada preza constantemente pela inovação e sustentabilidade em seus produtos. Segundo os conceitos mencionados na revisão da literatura, a atualização de produtos por meio de inovações com projetos renováveis proporciona vantagem competitiva. A indústria demonstra preocupação com o meio ambiente e com os recursos considerados escassos, usados atualmente para a geração de energia. A seguir apresenta-se o resultado do mapeamento da matriz energética da indústria estudada.

4.1.1 Matriz energética da indústria estudada

A indústria estudada realiza, em conjunto com a comunidade, iniciativas ambientais, mostrando governança corporativa, da defesa dos direitos humanos e da conduta ética. A indústria visitada adota padrões e normas internacionais para a regularização de atividades sociais, sustentáveis e nas condutas internas.

O complexo industrial analisado apresenta um elevado consumo de energia elétrica, com destaque para as atividades nos sistemas de produção para a melhoria de eficiência. Entre as unidades do grupo, ocupa a primeira posição na América Latina e o segundo lugar em nível mundial, com 51 atividades implantadas de eficiência energética. A composição da matriz energética no ano de 2019 apresenta 59% de fontes renováveis e 41% de fontes não renováveis, conforme a Figura 13 (*RELATÓRIO DA INDÚSTRIA).

A unidade estudada utiliza o gás natural em seus sistemas de produção. Entre as utilizações do gás natural estão o aquecimento de peças de alumínio, aquecimento de água, aquecimento de ar destinado ao setor de pintura das peças e calefação nos sistemas de produção dos setores administrativos e de produção.

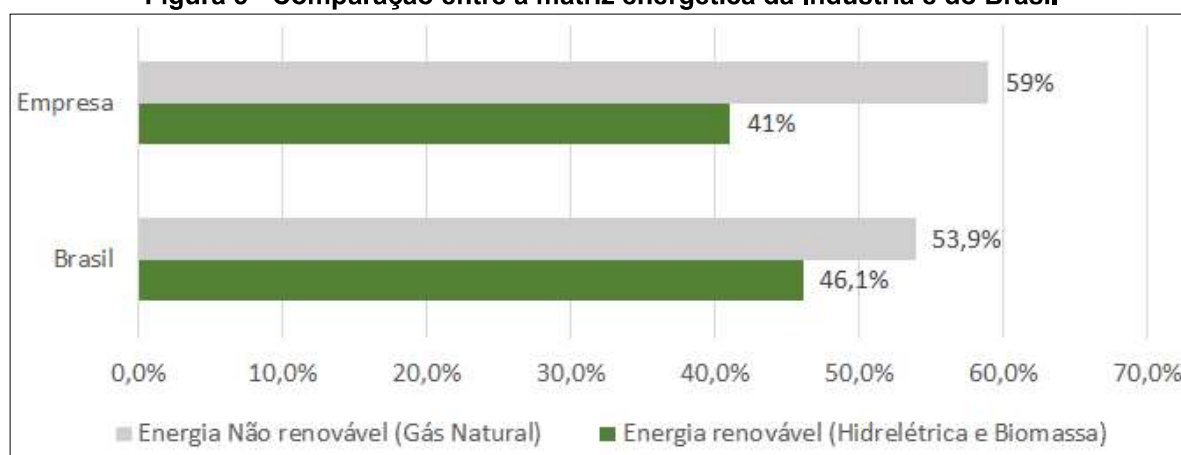
Entre a principal atividade realizada na indústria que contribuiu no aumento da participação e composição por fontes renováveis na matriz energética, destaca-se a utilização de resíduos de madeira (biomassa) para o aquecimento da água. Esta atividade reduziu consideravelmente o percentual de energia não renovável na matriz energética. Também, a indústria preza por fornecedores que realizam

atividades sustentáveis, como a concessionária de energia elétrica é a COPEL (Companhia paranaense de energia) e a concessionária de gás natural é a COMPAGÁS (*RELATÓRIO DA INDÚSTRIA).

O percentual da composição da matriz energética da indústria é predominantemente de energia elétrica baseada em fonte hidráulica. Entre as diversas iniciativas na redução da dependência de fontes não renováveis de energia na indústria destaca-se o uso de biomassa para a substituição do gás natural nos sistemas industriais de produção (*RELATÓRIO DA INDÚSTRIA).

Dentre os benefícios encontrados em relação ao uso da energia solar fotovoltaica, pode-se citar a segurança energética e a redução dos impactos ambientais e econômicos no Brasil. Estes resultados foram semelhantes ao estudo realizado no Estado do Paraná realizado por Garcia, Nogueira e Betini (2018), que destacou a relevância na inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética do Brasil, promovendo máxima eficiência e a produção de energia em diversos setores. Conforme Dantas e Pompermayer (2018), o aumento de políticas energéticas é importante para atingir o desenvolvimento sustentável, por meio da integração de inovações renováveis. A análise comparativa entre as matrizes energéticas envolvendo a indústria investigada e o Brasil é apresentado na Figura 14.

Figura 5 - Comparação entre a matriz energética da Indústria e do Brasil



Fonte: *Relatório da Indústria; EPE (2020)

* Os dados são confidenciais e a divulgação da indústria não foi autorizada pela organização.

A matriz energética na indústria é baseada, principalmente, em gás natural, como os tipos predominantes de energia na indústria e no Brasil. A introdução das energias renováveis traz uma contribuição significativa na matriz energética

industrial, tornando-a menos vulnerável em relação a problemas de racionamento energético.

Na indústria visitada, o percentual atual de geração de energia por fontes renováveis tem como base a queima de biomassa para substituir o uso do gás natural no aquecimento da água. Ainda, com o uso da biomassa é possível realizar o reaproveitamento de restos de madeira oriundos de atividades relacionadas aos sistemas de produção industrial, diminuindo os gastos com transporte destes restos de madeira.

Quanto aos impactos ambientais, a minimização no consumo de gás natural foi de 0,8%. Portanto, cresce a participação de fontes renováveis na matriz energética industrial. A indústria usa o gás natural em sistemas de produção para a calefação de água e ar, especificamente no setor de pintura. O gás natural também é usado áreas administrativas e para o aquecimento do alumínio no setor de injeção de alumínio.

No ano de 2020 a indústria registrou um crescimento de 1,1% no consumo de energia. Contudo, registrou também uma diminuição de 14% quanto ao uso do gás natural. Os resultados energéticos gerais ressaltam que as iniciativas implementadas pela indústria levaram a uma economia de 8.300 GJ.

O histórico do consumo total da energia teve um aumento ao longo do período analisado. Quanto ao uso de energias renováveis, ocorreu um aumento de 0,9%. Com relação ao consumo de energia de fontes não renováveis, houve um aumento em 7,3%. Os resultados gerais sobre o consumo energético em 2019, mostram um crescimento em 3,8% no consumo.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES E CUSTOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Nesta etapa apresenta-se o modelo técnico usado, a fim de identificar as áreas internas da indústria disponíveis para a instalação do projeto solar fotovoltaico em médio e longo prazo.

Na avaliação sobre o potencial de produção de energia solar fotovoltaica foram considerados o consumo de energia elétrica (MW/h) e as áreas disponíveis para a instalação dos módulos solares fotovoltaicos na indústria estudada. Os dados

do fornecedor selecionados para a cotação do projeto solar fotovoltaico mostram o potencial de produção de energia (Quadro 4).

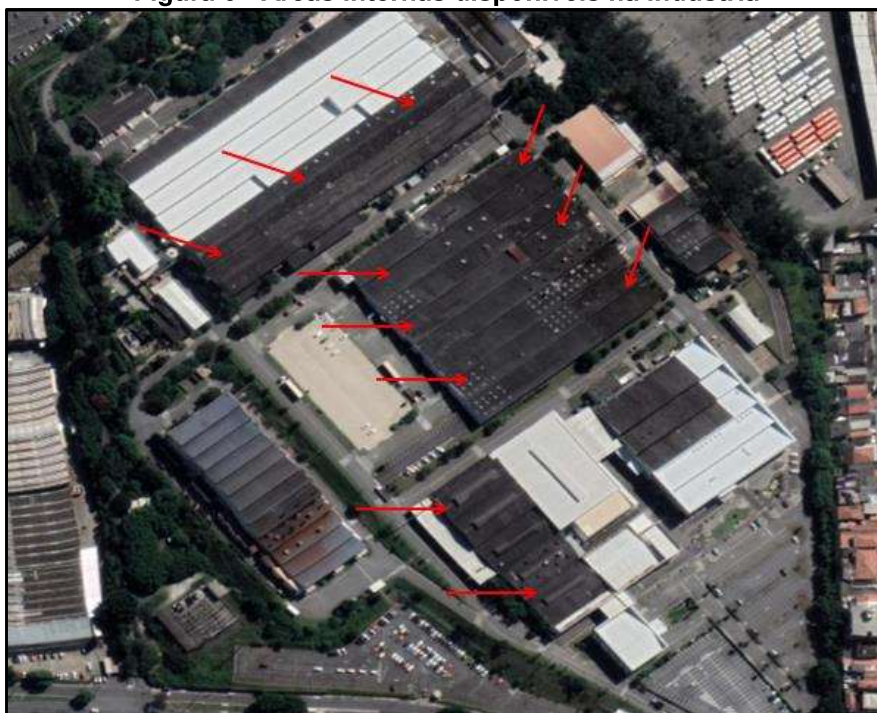
Quadro 4 - Potencial de produção solar fotovoltaico

| Localização | Consumo de energia elétrica (MWh/mês) | Área necessária para os módulos fotovoltaicos | Área disponível para módulos fotovoltaicos | Potencial de Geração |
|-------------|---------------------------------------|---|--|----------------------------|
| | | | | Energia Fotovoltaica |
| Paraná - PR | 4.000 | 187.653 | 190.000 m ² | Potencial de 4.000 MWh/mês |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Para os critérios técnicos usados para a elaboração da planilha com as informações sobre os potenciais de produção de energia solar fotovoltaica na indústria, foram consultados diversos fornecedores especializados. Em seguida, visitas técnicas foram realizadas para a identificação do potencial de produção de energia (MWh) mensal da indústria. Estes critérios adotados foram baseados em informações técnicas e econômicas da indústria, respeitando a legislação brasileira e política energética. A Figura 15 ilustra as áreas internas disponíveis na indústria para a instalação do projeto solar fotovoltaico.

Figura 6 - Áreas internas disponíveis na indústria



Fonte: *Relatório da Indústria

* Os dados são confidenciais e a divulgação da indústria não foi autorizada.

Nesta etapa do estudo foi a detecção das áreas industriais disponíveis para a instalação dos módulos solares fotovoltaicos. Em seguida, identificou-se o número de módulos necessários e foram realizados os cálculos de viabilidade econômica do projeto. Na indústria visitada, as áreas internas disponíveis na análise de viabilidade técnica e econômica para a instalação do sistema de energia solar fotovoltaica foram os estacionamentos do setor de logística, totalizando 190.000 m² (Figura 15). Exemplo da estrutura no estacionamento e os módulos solares são apresentados na Figura 16.

Figura 7 - Exemplo de Modelo da instalação dos módulos solares



Fonte: PLP Brasil (2021)

Conforme dados técnicos do fornecedor selecionado para a cotação, a estrutura do estacionamento para montagem dos módulos solares tem a capacidade para 50 veículos a cada 1.000 m². O modelo da estrutura proposta pelo fornecedor selecionado mostra como o espaço pode ser aproveitado no estacionamento dos veículos internos (Figura 17).

Figura 8 - Modelo da estrutura de estacionamento solar



Fonte: PLP Brasil (2021)

O suporte do modelo da estrutura de estacionamento na implantação dos módulos solares não é um equipamento diretamente relacionado com a geração de energia. Contudo, é um componente fundamental para assegurar o funcionamento adequado dos módulos solares.

4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Nesta seção são apresentados os cálculos do estudo de viabilidade econômica e ambiental para a implantação do sistema de energia solar fotovoltaica na indústria visitada. O sistema para a geração de energia solar fotovoltaico foi dimensionado de forma a se alcançar o máximo aproveitamento de energia renovável, levando em consideração os fatores tecnológicos dos equipamentos e atendendo as regras governamentais na indústria. Entre as diversas vantagens para a implantação do sistema de energia solar fotovoltaica, o aspecto econômico é essencial para a rentabilidade deste projeto renovável. As informações identificadas quanto a utilização da energia solar fotovoltaica em sistema industriais de produção foram semelhantes aos apresentados no trabalho de Dantas e Pompermayer (2018). Neste trabalho, os autores ressaltaram a importância da energia fotovoltaica como alternativa sustentável para a geração de energia elétrica, estimulada com a diminuição nos custos de equipamentos. Desta forma, como mencionado no Capítulo 3, foram utilizados três cálculos para identificar a rentabilidade do projeto: o

Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), e o *Payback* descontado.

4.3.1 – Cálculos de viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica

A indústria estudada tem um consumo de energia médio de 4.000.000 (kWh/mês), que são essenciais para atingir a demanda de pico em todos os sistemas produtivos e atividades do setor administrativo. O custo médio da fatura mensal em 2020 foi de R\$ 720.000,00 (conversão considerando a premissa do dia de câmbio de 1 U\$ = 5,46 R\$/Dólar). Conforme dados do relatório da indústria, o valor médio da tarifa energética (TE) mensal pago pela indústria em megawatt hora é R\$ 180,00.

Conforme consulta no *site* da Atlas Solar Paraná (2021), foi identificada a radiação média utilizada no cálculo estimado de geração mensal em kWh/mês, segundo a latitude e a longitude da localização da unidade industrial. Para a instalação dos módulos solares fotovoltaicos, a indústria estudada possui uma área interna disponível de 190.000 m². Esta área é destinada ao estacionamento logístico industrial da linha de produção.

Na avaliação foram efetuados cálculos para estimar a área mínima (m²) necessária para a implantação dos módulos solares fotovoltaicos. Conforme os cálculos, baseado na potência por módulo solar e o tamanho do módulo (m²), a área interna mínima necessária para implementação do projeto solar fotovoltaico foi 187.653 m².

Para o levantamento de todos os valores dos equipamentos necessários no estudo de rentabilidade econômica na indústria, foi efetuada uma consulta com fornecedores dos Estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo, para, assim, estimar o custo total. A apresentação dos dados técnicos usados para a avaliação dos cálculos de engenharia econômica no sistema solar fotovoltaico, se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados técnicos para a implantação dos módulos

| Indústria Visitada | Dados |
|---------------------------|------------------------|
| Área necessária | 187.653 m ² |
| Número de módulos | 86.317 |

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Potência dos módulos | 435 w |
| Dimensões dos módulos (m) | 2,09 m x 1,04 m |
| Tamanho do módulo (m ²) | 2,174 m ² |
| Orientação do módulo | Face Norte |
| Inclinação do módulo | 21° |
| Número de inversores | 160 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

O projeto industrial solar fotovoltaico foi desenvolvido conforme especificações técnicas, envolvendo a radiação média, o número de módulos solares, a potência dos módulos, a área interna necessária, as dimensões, tamanho, orientação e inclinação dos módulos solares e o número necessário de inversores. Os módulos solares usados na pesquisa são de silício policristalinos e têm uma vida útil de 25 anos.

Referente ao processo de degradação dos módulos solares fotovoltaicos, o produto mostra um envelhecimento de 0,5% ao ano. A área interna industrial necessária calculada foi de 187.653 m² para a implantação de 86.317 módulos solares. Outro fator predominante é a potência dos módulos solares (W) recomendados para o sistema de geração de energia solar. A potência dos módulos adotados no estudo foi 435 W e a marca selecionada é *Longi*, com o modelo LR4-72HBD (ANEXO A).

Para o projeto na indústria foram considerados todos os módulos com orientação para a face norte e inclinação de 21°. Conforme o número de módulos calculados no projeto estimou-se o número mínimo de inversores, correspondente a 160 unidades. Outro fator fundamental é a potência dos inversores (valor da energia incidente W). Foi adotada para o sistema de geração de energia solar, a potência de 25 kW. A marca selecionada é *Sungrow* e o modelo SG25CX-AS (ANEXO B). Os dados sobre a estimativa de produção de energia elétrica mensal em MWh, conforme dimensionado pelo fornecedor especializado selecionado pela indústria visitada são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Produção estimada mensal de energia (MWh)

| Mês | Potência Pico dos módulos (KW) | Taxa de desempenho | Quantidade de módulos | Nº de dias no mês | Estimativa de geração mensal (MWh) |
|---------|--------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|
| Janeiro | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 5.133,17 |

| | | | | | |
|--------------|-------|------|--------|----|----------|
| Fevereiro | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 28 | 4.415,63 |
| Março | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 4.426,05 |
| Abril | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 3.615,86 |
| Mai | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 2.950,70 |
| Junho | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 2.534,48 |
| Julho | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 2.811,02 |
| Agosto | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 3.657,85 |
| Setembro | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 3.675,00 |
| Outubro | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 4.426,05 |
| Novembro | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 4.959,13 |
| Dezembro | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 5.395,06 |
| Média | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 4.000,00 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021); Atlas Solar Paraná (2021)

Depois do dimensionamento dos equipamentos necessários para o projeto do sistema fotovoltaico na indústria, foram realizados os cálculos mensais sobre a estimativa de produção (MWh) de eletricidade. Para a estimativa de produção mensal foram adotadas as recomendações do fabricante: módulos solares fotovoltaicos com orientação face norte e inclinação de 21°. Conforme os dados identificados sobre a localização da indústria, existem diferenças ao longo do ano quanto aos níveis de radiação média mensal, devido as variações das estações do ano. Os dados para os cálculos usados no projeto de viabilidade econômica são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Taxas adotadas na viabilidade econômica no Brasil

| Dados usados na engenharia econômica | | | |
|---|-------------|-------------|--------------------------------|
| Taxa | a.a. | a.m. | Fonte |
| TMA (% Selic) | 8,00% | 0,643% | Banco Central do Brasil (2021) |
| Inflação | 4,52% | 0,37% | Banco Central do Brasil (2021) |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Segundo consulta em 12 de janeiro de 2021, a taxa mínima de atratividade adotada foi 8% ao ano (taxa Selic + taxa da indústria adotada em investimentos) e 0,643% ao mês (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021). O cálculo levou em consideração a taxa Selic + taxa da indústria (8%) e a taxa de inflação no projeto, de 4,52% ao ano e 0,37% ao mês. A área interna total da indústria disponível é suficiente para a implantação do projeto solar. Na análise, a área interna total necessária estimada foi 187.653,16 m², sendo que a indústria visitada tem área total disponível de 190.000 m², com capacidade disponível para 9.500 veículos.

A análise da viabilidade do projeto na indústria, cujas memórias de cálculos se encontram no Apêndice A, é apresentada na Tabela 6:

Tabela 6 - Resultados dos cálculos de rentabilidade

| Local | VPL (R\$) | TIR (% a.m.) | TIR (% a.a.) | Payback Descontado (Meses) |
|--------------------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Indústria Visitada | 44.730.630,26 | 1,14% | 14,52% | 132 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Na indústria brasileira, os cálculos de rentabilidade do projeto mostraram as seguintes taxas internas de retorno (TIR): 1,14% ao mês e 14,52% ao ano, considerando o custo total do investimento na data 0. O *payback* descontado considerou o fluxo de caixa descontado e acumulado (FCDA), adotando uma TMA de 8% ao ano para o desconto do valor futuro e o resultado gerou um *payback* de 132 meses (APÊNDICE A). Os resultados foram semelhantes aos apresentados no trabalho de Dantas e Pompermayer (2018), sobre a viabilidade econômica para a produção de energia solar no setor industrial. Os autores apresentaram em seu estudo que a energia fotovoltaica mostra um *payback* descontado acima de 7 anos com TIR de 15% ao ano. As informações técnicas sobre o potencial de produção de energia solar fotovoltaica na indústria visitada são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Potencial técnico de produção de energia

| Localização | Área interna | Área interna disponível (m ²) | Área necessária (m ²) | Consumo médio de energia (MWh/mês) | Valor da tarifa (R\$/MWh) |
|-------------|--------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Paraná - PR | Estacionamentos internos | 190.000 | 187.653 | 4.000 | 180,00 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021); *Relatório da Indústria.

* Os dados são confidenciais e a divulgação da indústria não foi autorizada.

Conforme o consumo de eletricidade na indústria foi realizado um dimensionamento sobre a área industrial necessária por meio de cotações entre distintos fornecedores especializados. O propósito desta etapa foi obter a estimativa da área mínima necessária (m²) para a instalação do projeto. Os dados encontrados quanto ao valor da tarifa energética fornecida pela empresa prestadora de energia elétrica são essenciais no cálculo de rentabilidade econômica. De Lara Filho,

Unsihuay-Vila e Silva (2019) ressaltam a importância dos cálculos de viabilidade econômica, a adesão do número de consumidores com práticas sustentáveis ao meio ambiente e a estabilidade com a segurança energética.

O estudo realizado neste trabalho mostrou que a indústria estudada possui área interna industrial disponível suficiente na implantação do projeto sustentável, envolvendo critérios técnicos com os módulos e inversores. O trabalho corrobora com o estudo prático de Garcia, Nogueira e Betini (2018) realizado no Estado do Paraná, que destaca a relevância no dimensionamento de áreas internas ou externas na implantação de projetos sustentáveis com energias renováveis para a produção e alta eficiência energética nos sistemas de geração e distribuição. Outro fator importante, é a possibilidade de implantação da usina solar fotovoltaica em área externa em relação a indústria. A Tabela 8 apresenta os custos dos componentes.

Tabela 8 - Valor dos componentes

| Localização | Item | Descrição | Custo Unitário (R\$) | Quantidade | Custo Total (R\$) |
|-------------------------|-------------|--|-----------------------------|-------------------|--------------------------|
| | 1 | Módulos | R\$ 690,00 | 86.317 | R\$ 59.558.730,00 |
| | 2 | Inversores | R\$ 17.000,00 | 160 | R\$ 2.720.000,00 |
| Estado do Paraná | 3 | Custo de Operação e Manutenção (R\$/mês) | R\$ 25.959,47 | - | R\$ 25.959,47 |
| | 4 | Valor total de Investimento (Data 0) | - | - | R\$ 74.365.110,00 |

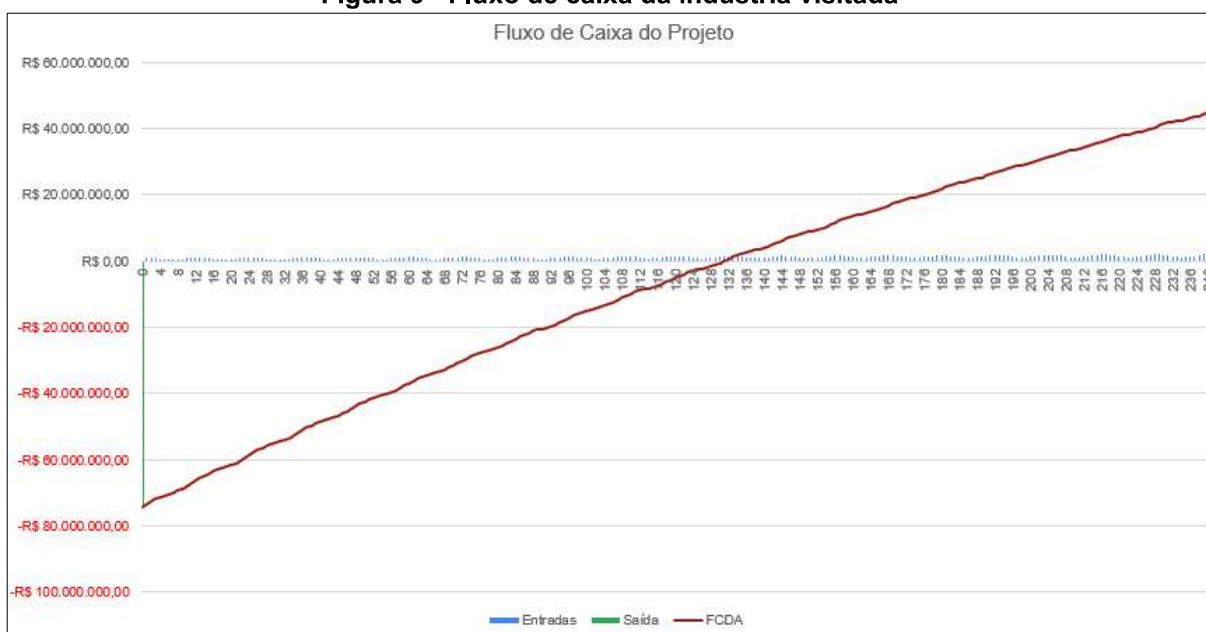
Fonte: O autor da pesquisa (2021)

A indústria visitada possui área interna disponível de 190.000 m², um quadro de funcionários estimado em 12.000 pessoas e o valor mensal da fatura de energia elétrica é estimada em 810.000,00 reais, incluindo o consumo do sistema de produção e setores administrativos. Conforme dados dos fornecedores, quanto aos módulos solares fotovoltaicos, a vida útil dos projetos para este tipo de sistema solar fotovoltaico é de até 25 anos. As informações técnicas identificadas no estudo quanto a vida útil dos módulos solares fotovoltaicos foram semelhantes às apresentadas por Torres (2012), que apresentou um estudo realizado no Brasil sobre energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais da universidade de São Paulo, que demonstrou que os sistemas fotovoltaicos são pagos na sua totalidade antes do final da vida útil dos módulos. Dantas e Pompermayer (2018) explicam que os sistemas de geração de

energia solar fotovoltaica podem atingir 25 anos de pleno funcionamento no local instalado, se rigorosamente respeitadas as regras de operação e manutenção.

Os cálculos de engenharia econômica de todos os componentes, mostram que o projeto seria pago na sua totalidade antes do final da vida útil dos módulos solares. A Figura 18 apresenta o fluxo de caixa calculado para o projeto do sistema solar fotovoltaico, incluindo os módulos, os inversores, os custos de operação e manutenção e o sistema de monitoramento, para a indústria estudada.

Figura 9 - Fluxo de caixa da indústria visitada



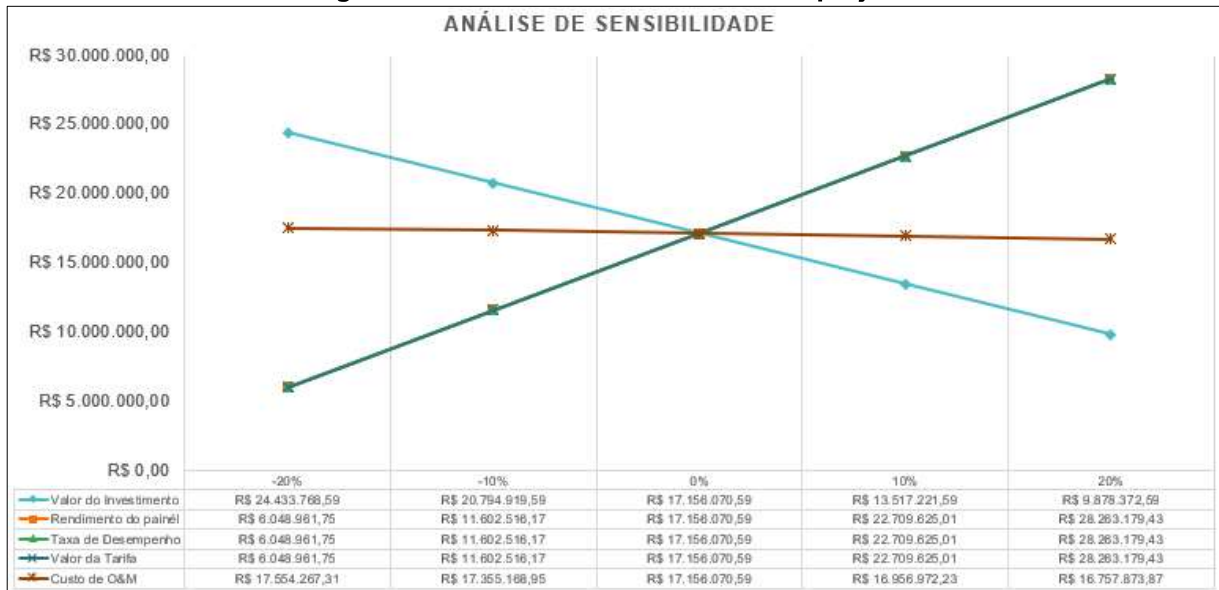
Fonte: O autor da pesquisa (2021)

A avaliação geral econômica realizada para estimar o fluxo de caixa calculado, a partir do ano zero para a indústria visitada é apresentada na Figura 18. No gráfico é possível identificar o fluxo de caixa acumulado e descontado (FCDA) (*payback* descontado) com o ponto exato para alcançar o retorno total do investimento no projeto solar fotovoltaico ($VPL = 0$) (APÊNDICE A).

Quanto ao investimento necessário a ser realizado pela empresa estudada, é possível verificar as entradas, saídas e o fluxo de caixa descontado e acumulado (FCDA). A indústria estudada mostra viabilidade técnica quanto a área interna industrial disponível. O local selecionado para a implantação do projeto são os estacionamentos internos da indústria. O valor máximo possível para o investimento sustentável na indústria é R\$ 44.730.630,26 (para $VPL = 0$), com a taxa mínima de atratividade de 0,165% (a.m.). A Figura 19 apresenta a análise de sensibilidade das

variáveis (valor do investimento, rendimento do painel, taxa de desempenho, valor da tarifa e o custo de operação e manutenção) da indústria visitada considerando o rendimento do painel (linha laranja), o valor da tarifa (linha azul), o valor do investimento (linha azul claro), a taxa de desempenho dos módulos (linha verde) e os custos de operação e manutenção (linha marrom).

Figura 10 – Análise de sensibilidade do projeto



Fonte: O autor da pesquisa (2021)

A análise de sensibilidade da indústria visitada apresenta variação de -20% a +20% do Valor Presente Líquido (VPL) nas seguintes variáveis: custo de operação e manutenção (linha vermelha), valor da tarifa (linha azul escuro), rendimento do painel (linha laranja), valor do investimento (linha azul) e a taxa de desempenho (linha verde). Na análise de sensibilidade é possível verificar quais as variáveis com maior sensibilidade nos cálculos de rentabilidade no projeto para o sistema solar fotovoltaico na indústria estudada. No estudo de análise de sensibilidade, as variáveis analisadas foram: custo de operação e manutenção, valor da tarifa, rendimento do painel, valor do investimento e a taxa de desempenho. Nesta simulação foi realizada a variação de -20% a +20% do Valor Presente Líquido (VPL) nas variáveis. Possíveis diferentes mudanças ao longo do tempo não foram consideradas na análise de sensibilidade.

Conforme a Figura 19, as variáveis mais sensíveis, são as variáveis com maior inclinação, que representam economicamente quais são os maiores riscos no

sistema solar fotovoltaico dimensionado. Entre os resultados, a maior sensibilidade das variáveis está no valor da tarifa (linha azul escuro). A variável do valor total de investimento (Data 0), mostra elevada sensibilidade, com custo de investimento em R\$ 74.365.110,00 (APÊNDICE A). A implantação do projeto solar fotovoltaico nos processos produtivos é viável com custo de investimento em R\$ 74.365.110,00 para até 132 meses.

4.3.2 – Cálculos de viabilidade ambiental da energia solar fotovoltaica

A última etapa do estudo foi a realização dos cálculos sobre a viabilidade ambiental da energia solar fotovoltaica, que são fundamentais na identificação do impacto evitado ao meio ambiente com o uso desta tecnologia renovável. Os resultados dos cálculos ambientais sobre a emissão de CO₂ são baseados nos dados do consumo de eletricidade no Estado do Paraná. As etapas dos cálculos foram descritas na metodologia (APÊNDICE A). A quantidade de CO₂ evitado na implementação do sistema solar fotovoltaico necessárias para a fixação dos gases poluentes responsáveis pelo efeito estufa é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 – Dióxido de carbono evitado pelo sistema de energia na indústria

| Mês base | C (Mwhano ⁻¹) | FE (tCO ₂ /MWh) | C (Mwhano ⁻¹)x FE (tCO ₂ /MWh) |
|-------------|------------------------------|----------------------------|--|
| Janeiro | 4.000 | 0,0916 | 366,4 |
| Fevereiro | 4.000 | 0,0558 | 223,2 |
| Março | 4.000 | 0,0384 | 153,6 |
| Abril | 4.000 | 0,0296 | 118,4 |
| Maio | 4.000 | 0,0358 | 143,2 |
| Junho | 4.000 | 0,0491 | 196,4 |
| Julho | 4.000 | 0,04 | 160 |
| Agosto | 4.000 | 0,0414 | 165,6 |
| Setembro | 4.000 | 0,0329 | 131,6 |
| Outubro | 4.000 | 0,0961 | 384,4 |
| Novembro | 4.000 | 0,1191 | 476,4 |
| Dezembro | 4.000 | 0,1101 | 440,4 |
| Média anual | 4.000 | 0,0616 | 297,6333 |
| Total | - | - | 3257,2333 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Os resultados obtidos para os cálculos de viabilidade ambiental, adotando o sistema energético na indústria visitada gerado por meio do sistema não poluente, apresentam uma economia substancial em relação a quantia de CO₂ emitido para a

atmosfera. Os dados confirmam que quanto maior o número de módulos solares fotovoltaicos no processo de geração de energia dos sistemas produtivos, menor é a quantidade de energia gerada pelo sistema integrado de eletricidade do Estado do Paraná (COPEL), sendo este formado por fontes de energia de origem hidroelétrica.

Os resultados relativos a viabilidade ambiental da energia solar quanto as emissões evitadas para a atmosfera, foram semelhantes ao estudo realizado no Iraque de Aziz *et al.*, (2020), que ressaltou que o aumento de projetos no sistema de geração de energia favorece soluções econômicas, limpas e produção contínua de eletricidade em vários setores como alternativa para o racionamento de energia e problemas de apagões diários.

Ainda, quanto ao impacto ambiental evitado com o uso do sistema solar fotovoltaico pela indústria brasileira, os cálculos mostram que quanto maior a estrutura instalada da usina solar fotovoltaica pela indústria, maior será a quantidade de dióxido de carbono evitado. A Tabela 10 apresenta a quantidade de árvores calculada no processo de fixação do dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera.

Tabela 3 – Quantidade de árvores para a fixação de CO₂

| Local | Número de árvores |
|--------------------|--------------------------|
| Indústria Visitada | 25381,0387 |
| Total | 25381 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Com relação a quantidade de árvores para a fixação do dióxido de carbono, a emissão total de carbono CO₂ (tCO₂e) calculada foi 25381,0387. O fator de fixação do carbono em biomassas no local de implantação do projeto (tCO₂e/ árvore) adotado foi 0,154 e o fator de compensação foi 1,2. O número total de árvores que deveriam ser plantadas foi de 25.381. Ou seja, essa quantidade de árvores seria necessária para o processo de fixação do CO₂ que precisaria ser emitido para a atmosfera, caso o consumo médio atual de Energia (kWh/mês) durante o ano continuasse sendo suprido pela companhia paranaense de energia elétrica (COPEL).

Os resultados encontrados foram semelhantes aos de Cui *et al.*, (2020). Estes autores explicam que a análise econômica e ambiental sobre as alternativas de energias renováveis implica em mudanças no processo de geração de eletricidade e no aumento no uso por fontes limpas de energia, contribuindo de maneira positiva

com vários fatores verdes, como a redução significativa de dióxido de carbono (CO₂) e gases poluentes atmosféricos emitidos pelos setores de eletricidade.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, os conceitos teóricos existentes sobre a energia solar fotovoltaica foram avaliados e debatidos conforme a revisão de literatura. A matriz energética atual da indústria foi estudada, em relação à sua capacidade energética, ao relatório da indústria, e consultas com fornecedores especializados e *sites* de fabricantes e da indústria analisada.

Após realizado o estudo, entre os impactos ambientais evitados com a implantação do projeto, a minimização no consumo de gás natural pode ser alcançada e pode-se atingir as vantagens no crescimento da participação por fontes renováveis na matriz energética industrial.

Os custos da energia solar fotovoltaica foram obtidos mediante cotações com empresas especializadas, análise da planta da indústria com o *layout* das estruturas, *sites* da indústria e fabricantes. A indústria visitada possui área interna industrial disponível e suficiente para a implantação do projeto.

De acordo com o dimensionamento, são necessários 86.317 módulos solares e 160 inversores. A área interna selecionada no estudo é onde se encontram os estacionamentos internos do setor da logística, que é destinada à produção industrial, num total de 190.000 (m²).

A instalação dos módulos solares e inversores na indústria visitada se mostra viável economicamente. Conforme avaliação técnica realizada, a área interna necessária permite a implantação do projeto, atendendo as exigências técnicas obrigatórias. Avaliou-se a necessidade de produção de eletricidade mensal em 4.000 MWh/mês, e, portanto, para atender a esta demanda energética a área interna necessária corresponde a 187.653 m².

O custo total de investimento do projeto equivale a R\$ 74.365.110,00. Quanto aos outros critérios econômicos adotados, o projeto apresentou um VPL de R\$ 44.730.630,26, uma TIR de 1,14% a.m. e um *payback* descontado de 132 meses.

O projeto fotovoltaico mostra-se como uma oportunidade para a otimização dos impactos ambientais, como a redução na emissão do CO₂ na atmosfera. Com o desenvolvimento do sistema solar fotovoltaico em diversos setores e especialmente na indústria visitada, menor será o consumo por energia com origem de fontes fósseis e de concessionárias. Portanto, a minimização de energia produzida para o fornecimento dos meios industriais de produção contribui para a segurança

energética e para a redução dos danos ao meio ambiente provocado pelo uso de fontes não renováveis.

O uso de fontes limpas de energia resulta em atividades positivas quanto ao meio ambiente. A indústria mostra uma preocupação com as mudanças climáticas e a produção de energia elétrica e combustível proveniente de fontes limpas de energia.

O uso da energia solar é a maneira viável na realização das atividades produtivas respeitando o meio ambiente. O aumento do percentual na composição da matriz energética industrial para fontes renováveis mostra as inquietações da indústria devido ao aumento crescente por energia nos sistemas de produção industrial e a diminuição nos impactos no meio ambiente. Nesse contexto, a produção de energia solar fotovoltaica é importante para o meio ambiente, pois é uma fonte inesgotável. O setor industrial com suas práticas ambientalmente corretas mostra alternativas na redução do CO₂ e do aquecimento global do planeta.

Entre as vantagens técnicas, o projeto solar fotovoltaico mostra incentivos dos sistemas governamentais no valor da tarifa energética, vantagem competitiva no setor e baixa manutenção. O processo de implantação dos módulos solares fotovoltaicos é acessível, com a colaboração e a sensibilização da indústria em práticas sustentáveis, que impacta os colaboradores e clientes.

As contribuições no âmbito econômico podem ser direcionadas na diminuição dos valores da energia elétrica, minimização no desperdício inapropriado de insumos e possibilidades de investimentos a curto e longo prazo, que se mostram economicamente atrativas. Por meio da conscientização sustentável da indústria perante os seus clientes e fornecedores, benefícios econômicos e competitivos podem aparecer como um diferencial na vantagem competitiva da montadora. Na esfera social, o aporte é destinado ao aumento de renda e atividades remuneradas, propiciando uma alternativa para o desenvolvimento social da indústria e para a expansão regional, nacional e internacional.

O período de pandemia foi outro aspecto limitante, impossibilitando maior número de visitas técnicas de fornecedores especializados na indústria para cotações. Pode-se concluir, por fim, com base nos resultados desenvolvidos neste trabalho, que foi alcançada a viabilidade econômica e ambiental para a implementação do sistema de energia solar em uma indústria brasileira.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Plano de desenvolvimento de energia solar e capacidade de instalação no Brasil**. 2021. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/mercado-solar-brasileiro-ja-cresceu-1-gw-em-2020-diz-absolar.html#:~:text=A%20pot%C3%AAncia%20instalada%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o,marca%20de%205%2C5%20GW>>. Acesso em 07 de janeiro de 2021

ALFARIS, F. E., BHATTACHARYA, S. Control and Real-Time Validation for Convertible Static Transmission Controller Enabled Dual Active Power Filters and PV Integration.

IEEE Transactions on Industry Applications, v.55. n.4. pp. 4309-4320. 2019.

ANFAVEA. **Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores**. 2021. Disponível em: <https://www.anfavea.com.br/estatisticas>. Acesso em 20 de janeiro de 2021.

AMARAL, R. C. **Impactos técnicos e econômicos da energia solar fotovoltaica em prédios públicos através da geração distribuída**. 2016. 179f. Dissertação – Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. 2015. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=39113&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp. Acesso em 18 de janeiro de 2021.

ASUMADU-SARKODIE, S.; OWUSU, P.; A. A review of Ghana's solar energy potential. **Aims Energy**, v. 4, n. 5, p. 675–696, 2016.

ATLAS SOLAR PARANÁ. **Atlas Solar Paraná**. 2021. Disponível em: <http://atlassolarparana.com/map;jsessionid=8AD9BC90386F5188DE6AF54992E3881D>. Acesso em 16 de janeiro de 2021.

AUTOMOTIVE BUSINESS. **Produção de veículos**. 2021. Disponível em: <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/30397/producao-de-veiculos-deve-crescer-73-em-2020-projeta-anfavea>. Acesso em 12 de janeiro de 2021.

AZEVEDO, M. F. C.; QUINTINO, I. **Manual técnico: um programa de compensação ambiental que neutraliza emissões de carbono através de projetos socioambientais de plantio de mudas nativas**. Rio de Janeiro: Ambiental Company, 2010.

AZIZ, A. S.; TAJUDDIN, M. F. N.; ADZMAN, M. R. MOHAMED, M. F.; RAMLI, M. A. M. Feasibility analysis of grid-connected and islanded operation of a solar PV

microgrid system: A case study of Iraq. **Energy**, v.191, n.16, p.30 - 47, 2020.

BAI, C., DALLASEGA, P., ORZES, G., SARKIS, J. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 229. pp. 776. 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Boletim Focus**. 2020. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus> Acesso em 12 de janeiro de 2021.

BARACU, T.; PATRASCU, M.; TEODOSIU, C.; BIRSAN, M. V.; GHEORGHIAN, A.; STRECHE, C.; BOSNEAGU, R.; BABIS, C.; IONITA, C.; RADOIU, V. B.; COSTINAS, S.; STAN, L.; MESTERU, C.; VLADULESCU, F.; GALEANO, G. C. Deterministic matrix-based radiative design using a new general formulation of exergy and exergy efficiency for hybrid solar collectors. **Applied Thermal Engineering**, v.182, pp. 54 - 71. 2021.

BASHIR, N., IRWIN, D., SHENOY, P. A Probabilistic Approach to Committing Solar Energy in Day-ahead Electricity Markets. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, v.29, p.68-85, 2021.

BECHARA, F. C. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga**. Tese (doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2006.

BELEYA, P.; VEERAPAN, G.; DING, W. J.; TAN, J. Challenges in attaining sustainable development goals in port Klang: Port management perspective. **International Journal of Supply Chain Management**, v. 9, n. 1, p. 349–355, 2020

BELLO, M., SHANMUGAN, S. Achievements in mid and high-temperature selective absorber coatings by physical vapor deposition (PVD) for solar thermal Application-A review. **Journal of Alloys and Compounds**, v.8, pp. 839. 2020

BERNARDES, E.; R.; CAMACHO, J.; R. Viability of distributed generation with biogas and photovoltaic in an isolated system. **Renewable Energy and Power Quality Journal**, v. 17, p. 343–348, 2019.

BRITO, P. **Análise e viabilidade de projetos de investimentos**. São Paulo: Atlas. 2003.

BLUESOL. (2020). Disponível: <https://bluesol.com.br/energia-solar-residencial-e-comercial/> Acesso em 19 de março de 2021.

CHOUDHARY, P., SRIVASTAVA, R. K. Techno-economic case study: Bio-fixation of industrial emissions at an Indian oil and gas plant. **Journal of Cleaner Production**, v.35. pp. 266. 2020.

CRESESB. **Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio Brito**. 2021. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=2>.

Acesso em 17 de janeiro de 2021.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CUI, Q.; LIU, Y.; ALI, T.; GAO, J.; CHEN, H. Economic and climate impacts of reducing China's renewable electricity curtailment: A comparison between CGE models with alternative nesting structures of electricity. **Energy Economics**, v.91, n.3, p.1-16, 2020.

D'ADAMO, I., FALCONE, P. M., GASTALDI, M., MORONE, P. The economic viability of photovoltaic systems in public buildings: Evidence from Italy. **Energy**, 2020.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Rio de Janeiro, 2018, 42p.

DE SILVA, C.; L., DE OLIVEIRA RABELO, J.; M.; RAMAZZOTTE, V.; C.; B.; ROSSI, L.; F.; S.; BOLLAMANN, H.; A. The chain of biogas and local sustainability: An analysis of the socioeconomic environment of energy from municipal solid waste landfill of pipe in curitiba . **Innovar**, v. 19, n. 34, p. 83–98, 2009.

DE SOUZA, M.B., TONOLO, E.A., YANG, R.L., TIEPOLO, G.M., URBANETZ, J. Determination of diffused irradiation from horizontal global irradiation-Study for the City of Curitiba. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.62. pp. 1-9. 2019.

ELHENAWY, Y., HAFEZ, G., ABDEL-HAMID, S., ELBANY, M. Prediction and assessment of automated lifting system performance for multi-storey parking lots powered by solar energy. **Journal of Cleaner Production**, v. 266. pp.121859. 2020.

ELINWA, U. K., OGBEBA, J.E., AGBOOLA, O. P. Cleaner energy in Nigeria residential housing. *Composites Science and Technology*. **Results in Engineering**, v.9, p.78-93, 2021.

EPE. **Empresa de pesquisa energética**. 2021. Informe técnico n° EPE-DEE-IT-096/2017 resultado do leilão de energia a-4/2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-110/EPE-DEE-IT-096-A4-2017-Versão-Final.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2021.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario.pdf>. Acesso em: 21 de dezembro de 2020.

FERREIRA, L.; R.; A.; OTTO, R.; B.; SILVA, F.; P.; DE SOUZA, S.; N.; M.; S., DE SOUZA, S.; N.; M.; S.; ANDO JUNIOR, O.; H. Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 440–455, 2018.

FLIZIKOWSKI, L. C.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA M. N. I.; MACEDO, J. H. P. Proposta de modelo de compensação de emissões de GEEs utilizando plantios florestais. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17; p. 2189, 2013.

FLORES, H.; F.; V.; FURUBAYASHI, T.; NAKATA, T. Decentralised electricity generation system based on local renewable energy sources in the Honduran rural residential sector. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, n. 3, p. 883–900, 2016.

FUNDEP. **Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa**. 2021. Disponível em: http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITARIO/sdci/Rota_2030/PPP/Selecionados/Fact_Sheet_BioCombustives.pdf. Acesso em 25 de janeiro de 2021.

GAIO, J. N., DE CAMPOS, K. M. A., TIEPOLO, G. M. Determination of the ideal time for cleaning of photovoltaic panels aiming at better productivity - Case study of the implanted grid-connected photovoltaic system at the Federal University of Technology of Paraná. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.61. 2018.

GARCIA, G.; NOGUEIRA, E.; F.; BETINI, R.; C. Solar energy for residential use and its contribution to the energy matrix of the State of Paraná. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61. Specialissue, 2018.

GARCIA LATORRE, F. J., QUINTANA, J. J., DE LA NUEZ, I. Technical and economic evaluation of the integration of a wind-hydro system in El Hierro island. **Renewable Energy**, 134, pp. 186-193. 2019.

GARUZZI, R. P., ROMERO, O. J. Economic feasibility of implementation of photovoltaic cells in residences of Espírito Santo, Brazil. **Espacios**, 2017.

GEBRESLASSIE, M. G. Development and manufacturing of solar and wind energy technologies in Ethiopia: Challenges and policy implications. **Renewable Energy**, v.168, p.107-118, 2021.

GHIASI, M., ESMAEILNAMAZI, S., GHIASI, R., FATHI, M. Role of Renewable Energy Sources in Evaluating Technical and Economic Efficiency of Power Quality. **Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy**, 2020

GRI. **Global Reporting Initiative**. 2006. Manual de Implementação. Disponível em: <https://www.globalreporting.org/STANDARDS/G4/Pages/default.aspx>. Acesso em 01/01/2020.

GULALIYEV, M. G., MUSTAFAYEV, E. R., MEHDIYEVA, G. Y. Assessment of solar energy potential and its ecological-economic efficiency: Azerbaijan case. **Sustainability**, v.12. 2020.

GUNO, C. S.; AGATON, C. B.; VILLANUEVA, R. O. Optimal Investment Strategy for Solar PV Integration in Residential Buildings: A Case Study in The Philippines. **International journal of renewable energy development**, v.10, n.1, p.79-89, 2021.

HAMDI, H., REGAYA, C. B., ZAAFOURI, A. A sliding-neural network control of induction-motor-pump supplied by photovoltaic generator. **Protection and Control of Modern Power Systems**, v.5. pp.11. 2020.

HANFANG, L.; HONGYU L.; QINGKUN T; PENG W.; CHENGJIE W. GEJIRIFU D.; LILING H. Research on the policy route of China's distributed photovoltaic power generation. **Energy Reports**, v.6, pp. 254-263. 2020.

HONDA ENERGY. **HONDA ENERGY**. 2020. Disponível em: <https://www.honda.com.br/noticias/honda-energy-comemora-quatro-anos-de-operacoes>. Acesso em 16 de dezembro de 2020.

HOU, X., WANG, L., LI, Q., WANG, J., LIU, J. Review of Key Technologies for High-Voltage and High-Power Transmission in Space Solar Power Station. Diangong Jishu Xuebao. **Transactions of China Electrotechnical Society**, v.33. n.14. pp. 3385-3395. 2018.

HUAXU, L.; FUQIANG, W.; ZIMING, C.; YONG, S.; BO, L.; YUZHAI, P.; Performance study on optical splitting film-based spectral splitting concentrated photovoltaic/thermal applications under concentrated solar irradiation. **Solar Energy**, pp. 84-91. 2020.

IPCC. **Good Practice Guidance for land use, Land-use Change and Forestry**. 2003. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/preparingreports/>. Acesso em 20 de janeiro de 2021.

KIM, S., QUY, H.V., BARK, C.W. Photovoltaic technologies for flexible solar cells: beyond silicon. *Materials Today*. **Energy**, v.19, p.105-119, 2021.

KUMAR, A., BIERI, M., REINDL, T., ABERLE, A.G. Economic Viability Analysis of Silicon Solar Cell Manufacturing: Al-BSF versus PERC. **Energy Procedia**, 130, pp. 43-49. 2017.

KUMAR, J., PARHYAR, N. R., PANJWANI, M. K., KHAN, D. Design and performance analysis of PV grid-tied system with energy storage system. **International Journal of Electrical and Computer Engineering**, v.11, n.2, p.110-129, 2021.

LARA FILHO, M.; O.; UNSIHUAY-VILA, C.; DA SILVA, V.; R.; Technical and economic viability of the installation of a hybrid solar-wind generation system in a Brazilian industry. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 62, 2019.

LONGI. **Módulos solares LR4-72HPH**. 2021. Disponível em: <https://en.longi-solar.com/uploads/attach/20190829/5d6776668aa8c.pdf>. Acesso em 15 de janeiro de 2021.

LOPES, M. M., COBAS, V. R. M., BARROS, R. M., LORA, E. E. S., DOS SANTOS, I. F. S. Energy potential using landfill biogas and solar photovoltaic system: a case study in Brazil. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v.1. n.6. pp. 1587-1601. 2019.

MARKIDES, C. N. Low-concentration solar-power systems based on organic rankine

cycles for distributed-scale applications: Overview and further developments. **Frontiers in Energy Research**, v.3. n.47. 2015.

MARTINEZ, N. Resisting renewables: The energy epistemics of social opposition in Mexico. **Energy Research and Social Science**, 2020.

MCTIC. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações**. 2021. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html. Acesso em 20 de janeiro de 2021.

MERATIZAMAN, M., GODARZI, A. A. Techno-economic feasibility of a solar-powered reverse osmosis desalination system integrated with lithium battery energy storage. **Desalination and Water Treatment**, v.167, pp. 57-74. 2020.

MME. **Ministério de Minas e Energia**. 2021. Disponível em: https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hibrido.pdf. Acesso em 15 de janeiro de 2021.

NADALETI, W.; C.; SANTOS, G.; B.; LOURENÇO, V.; A. The potential and economic viability of hydrogen production from the use of hydroelectric and wind farms surplus energy in Brazil: A national and pioneering analysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2019.

NAVON, A., KULBEKOV, P., DOLEV, S., YEHUDA, G., LEVRON, Y. Integration of distributed renewable energy sources in Israel: Transmission congestion challenges and policy recommendations. **Energy Policy**, v.140. n.2. 2020.

NEEDELL, D. R., PHELAN, M. E., HARTLOVE, J. T., ATWATER, H. A. Solar power windows: Connecting scientific advances to market signals. **Energy**, v.219, p.44-69, 2021.

NISSAN. **Sustentabilidade - Pilares de Atuação**. 2021. Disponível em: <https://www.nissan.com.br/sustentabilidade/pilares-de-atuacao.html> Acesso em 12 de janeiro de 2021.

NJOKU, H. O., OMEKE, O. M. Potentials and financial viability of solar photovoltaic power generation in Nigeria for greenhouse gas emissions mitigation. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.22. n.2. pp.481-492. 2020.

NOOROLLAHI, Y., GOLSHANFARD, A., ANSARIPOUR, S., KHALEDI, A., SHADI, M. Solar energy for sustainable heating and cooling energy system planning in arid climates. **Energy**, v.218, p.37-53, 2021.

ONU. **Organização das Nações Unidas**. Relatório dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. 2016. Disponível em: http://www.agenda2030.org.br/saiba_mais/publicacoes. Acesso em 7 de janeiro de 2021.

PACTO GLOBAL. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. 2021. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/ods>. Acesso em 15 de janeiro de 2021.

PAUDEL, A. M, SARPER H. Economic analysis of a grid-connected commercial photovoltaic system at Colorado State University Pueblo. **Energy**, v.52, p.289–296, 2013.

PFEIFER, A., KRAJAČIĆ, G., LJUBAS, D., DUIĆ, N. Increasing the integration of solar photovoltaics in energy mix on the road to low emissions energy system – Economic and environmental implications. **Renewable Energy**, v.143, pp.1310-1317. 2019.

PILLAI, I.; R.; BANERJEE, R. Renewable energy in India: Status and potential. **Energy**, v. 34, n. 8, p. 970–980, 2009.

PINAMONTI, M., BAGGIO, P. Energy and economic optimization of solar-assisted heat pump systems with storage technologies for heating and cooling in residential buildings. **Renewable Energy**, 157, pp. 90-99. 2020.

PINHEIRO, H. H. C., DA SILVA, N. F., BRANCO, D. A. C., PEREIRA, M. G. Photovoltaic solar systems in multi-headquarter institutions: A technical implementation in northeastern Brazil. **Energies**, v.13. n.10. pp.2659. 2020.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CEPEL - CRESESB. Rio de Janeiro, 2014.

PLP Brasil. **Estrutura para estacionamento solar**. 2021. Brasil. Disponível em: <https://plp.com.br/energia/solar/estrutura-para-estacionamento-solar-carport/#>. Acesso em 15 de janeiro de 2021.

PORTAL SOLAR. **Portal Solar**. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/fontes-de-energia-renovaveis.html>. Acesso em 18 de janeiro de 2021.

RIVAROLO, M., BELLOTTI, D., MENDIETA, A., MASSARDO, A.F. Hydro-methane and methanol combined production from hydroelectricity and biomass: Thermo-economic analysis in Paraguay. **Energy Conversion and Management**, v.79. pp. 74-84. 2014.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, Á. M., PULIDO-CALVO, I. Analysis and viability of microturbines in hydraulic networks: A case study. **Journal of Water Supply: Research and Technology**, v.68. n.6. p.474-482. 2019.

ROGNA, M. A first-phase screening method for site selection of large-scale solar plants with an application to Italy. **Land Use Policy**, 2020.

SANQUETTA, C. R.; MAAS, G. C. B.; SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, F. T. I.; CORTE, A. P. D. Emissões de Dióxido de Carbono Associadas ao Consumo de Energia Elétrica no Paraná no Período 2010-2014. **Scientific Journal Biofix**, v.2 n.1,p.1-7, 2017.

SCHUBERT, P. **Análise de investimentos e taxa de retorno**. São Paulo: Ática, 1989.

SCOCCIA, R.; TOPPI, T.; APRILE, M.; MOTTA, M. Absorption and compression heat pump systems for space heating and DHW in European buildings: Energy, environmental and economic analysis. **Journal of Building Engineering**, v. 16, p. 94–105, 2018.

SERPA, P.; ZILLES, R. The diffusion of photovoltaic technology in traditional communities: the contribution of applied anthropology. **Energy for Sustainable Development**, v. 11, n. 1, p. 78–87, 2007.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: Fundamentos, técnicas e aplicações**. São Paulo: Atlas. 2009.

SUNGROW. **SG25CX-SA STRING INVERTER**. 2021. Disponível em: <https://www.sungrowpower.com/pt-br/node/593>. Acesso em 15 de janeiro de 2021.

TILLEMANN, S. G., RUSSO, M. V., NELSON, A. J. Institutional logics and technology development: Evidence from the wind and solar energy industries. **Organization Science**, v.31, n.3, pp. 649-670. 2020.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

TRAPANI, K.; MILLAR, D.; L. Proposing offshore photovoltaic (PV) technology to the energy mix of the Maltese islands. **Energy Conversion and Management**, v. 67, p. 18–26, mar. 2013.

VOLVOCARS. **Inovação humana**. 2020. Disponível em <https://www.volvocars.com/br/porque-volvo/inovacao-humana/volvo-recharged>. Acesso em 16 de dezembro de 2020.

VOLKSWAGEN DO BRASIL. **Anuário de responsabilidade corporativa**. 2020. Disponível em: https://www.vw.com.br/content/dam/vw-ngw/vw_pkw/importers/br/volkswagen/sustentabilidade/ra-vw-2015-v5-bx.pdf/_jcr_content/renditions/original./ra-vw-2015-v5-bx.pdf Acesso em 10 de janeiro de 2021.

WEINGART, J. M. **Global aspects of sunlight as a major energy source**. *Energy*, v. 4, n. 5, p. 775–798, 1979.

WORLD BANK. **GLOBAL ECONOMIC PROSPECTS**. <https://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects> Acesso em 11 de janeiro de 2021.

YANG, T.; ATHIENITIS, A.; K. Performance Evaluation of Air-based Building Integrated Photovoltaic/Thermal (BIPV/T) System with Multiple Inlets in a Cold Climate. **Procedia Engineering**, v. 121, p. 2060–2067, 2015.

YIN, R. K.; **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 3ª Edição. Editora Porto Alegre. Bookman, 2005.

ANEXO A - Datasheet dos módulos solares

ANEXO B - Datasheet dos inversores

ANEXO B – Datasheet dos inversores

SG25CX-SA New





HIGH-YIELD

- Multi-PV with high efficiency
- Compatible with bifacial module
- Built-in PID recovery function

SMART-OBV

- Switch free commissioning and remote firmware upgrade
- Drive IV curve scan and diagnosis*
- Low loss design with smart string current monitoring

LOW COST

- Compatible with Al and Cu AC cables
- Full inverter safety features
- Cable free connection with optional W-IF

RECOVER SAFETY

- IP66 and CE anti-corrosion grade
- Full inverter safety features
- Self and global safety land grid code

CIRCUIT DIAGRAM



EFFICIENCY CURVE



© 2020 Sungrow Power Supply Co., Ltd. All rights reserved. Subject to change without notice. Version 1.1

| | |
|---|---|
| Type designation | SG25CX-SA |
| Input (DC) | |
| Max. PV input voltage | 1100 V |
| Min. PV input voltage / Start up input voltage | 200 V / 250 V |
| Nominal PV input voltage | 400 V |
| MPPT voltage range | 200 V ~ 1000 V |
| MPPT voltage range for nominal power | 400 V ~ 850 V |
| No. of independent MPPT inputs | 3 |
| Max. number of PV strings per MPPT | 2 |
| Max. PV input current | 78 A |
| Max. DC short-circuit current | 120 A |
| Output (AC) | |
| AC output power | 27.5 kVA @ 35 °C / 25 kVA @ 45 °C |
| Max. AC output current | 71.2 A |
| Nominal AC voltage | 3 / N / PE, U _T / 220 V |
| AC voltage range | 165 ~ 290 V |
| Nominal grid frequency / Grid frequency range | 50 Hz / 45 ~ 55 Hz, 60 Hz / 55 ~ 65 Hz |
| THD | ≤ 3 % (at nominal power) |
| DC current injection | < 0.5 % In |
| Power factor at nominal power / Adjustable power factor | > 0.99 / 0.8 (leading ~ 0.8 lagging) |
| Feed-in phases / connection phases | 3 / 3 |
| Efficiency | |
| Max. efficiency / Euro Efficiency | 97.5% / 97.2% |
| Protection | |
| DC reverse connection protection | Yes |
| Leakage current protection | Yes |
| Grid monitoring | Yes |
| Ground fault monitoring | Yes |
| DC switch | Yes |
| PV string current monitoring | Yes |
| PID recovery function | Yes |
| Overvoltage protection | Yes |
| General Data | DC Type II / AC Type II |
| Dimensions (W*H*D) | 740*545*310 mm |
| Weight | 54 kg |
| Isolation method | Transformerless |
| Ingress protection rating | IP66 |
| Commodity class | C5 |
| Night power consumption | ≤ 2 W |
| Operating ambient temperature range | -30 to 60 °C (-45 °C derating) |
| Allowable relative humidity range (non-condensing) | 0 ~ 100 % |
| Cooling method | Smart forced air cooling |
| Max. operating altitude | 4000 m (≥ 3000 m derating) |
| Display | LED, Bluetooth+APP |
| Communication | RS485 / Wi-Fi, optional: Ethernet |
| DC connection type | MC4 (Max. 6 mm ²) |
| AC connection type | GT or DT terminal (35 ~ 70 mm ²) |
| AC Cable specification | Outside diameter 25 ~ 50 mm |
| Compliance | IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116 |
| Grid Support | Q at night function, LVFT, HVFI active & reactive power control and power ramp rate control |

Fonte: Sungrow (2021)

ANEXO C – Formulários de solicitação de acesso de Microgeração e Minigeração

ANEXO C - Formulários de solicitação de acesso de Microgeração e Minigeração

| 1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC | |
|---|----------------------------|
| Código da UC: | Classe: |
| Título da UC: | |
| Rua/Av.: | Nº: CEP: |
| Bairro: | Cidade: |
| E-mail: | Cellular: () |
| CNPJ/CPF: | |
| 2 - Dados da Unidade Consumidora | |
| Potência instalada (kW): | Tensão de atendimento (V): |
| Tipo de conexão: monofásica <input type="checkbox"/> bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/> | |
| Tipo de ramal: aéreo <input type="checkbox"/> subterrâneo <input type="checkbox"/> | |
| 3 - Dados da Geração | |
| Potência instalada de geração (kW): | |
| Tipo da Fonte de Geração: | |
| Hidráulica <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/> | |
| Outra (especificar): | |
| 4 - Documentação a Ser Anexada | |
| 1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração | <input type="checkbox"/> |
| 2. Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção/Inversor, se for o caso/Medição e memorial decorrente da instalação. | <input type="checkbox"/> |
| 3. Certificado de conformidade de(s) Inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro de(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede. | <input type="checkbox"/> |
| 4. Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL www.aneel.gov.br/rtcg | <input type="checkbox"/> |
| 5. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rabo dos créditos e o enquadramento conforme artigos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012 | <input type="checkbox"/> |
| 6. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver) | <input type="checkbox"/> |
| 7. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver) | <input type="checkbox"/> |
| 5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora) | |
| Responsável/Área: | |
| Endereço: | |
| Telefone: | |
| E-mail: | |
| 6 - Solicitante | |
| Nome/Procurador Legal: | |
| Telefone: | |
| E-mail: | |
| Local | Data |
| / / | Assinatura do Responsável |

| 1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC | |
|---|----------------------------|
| Código da UC: | Classe: |
| Título da UC: | |
| Rua/Av.: | Nº: CEP: |
| Bairro: | Cidade: |
| E-mail: | Cellular: () |
| CNPJ/CPF: | |
| 2 - Dados da Unidade Consumidora | |
| Potência instalada (kW): | Tensão de atendimento (V): |
| Tipo de conexão: monofásica <input type="checkbox"/> bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/> | |
| Tipo de ramal: aéreo <input type="checkbox"/> subterrâneo <input type="checkbox"/> | |
| 3 - Dados da Geração | |
| Potência instalada de geração (kW): | |
| Tipo da Fonte de Geração: | |
| Hidráulica <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/> | |
| Outra (especificar): | |
| 4 - Documentação a Ser Anexada | |
| 1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração | <input type="checkbox"/> |
| 2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo | <input type="checkbox"/> |
| 3. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção | <input type="checkbox"/> |
| 4. Certificado de conformidade de(s) Inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro de(s) Inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede. | <input type="checkbox"/> |
| 5. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL www.aneel.gov.br/rtcg | <input type="checkbox"/> |
| 6. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rabo dos créditos e o enquadramento conforme artigos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012 | <input type="checkbox"/> |
| 7. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver) | <input type="checkbox"/> |
| 8. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver) | <input type="checkbox"/> |
| 5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora) | |
| Responsável/Área: | |
| Endereço: | |
| Telefone: | |
| E-mail: | |
| Solicitante | |
| Nome/Procurador Legal: | |
| Telefone: | |
| E-mail: | |
| Local | Data |
| / / | Assinatura do Responsável |

Fonte: ANEEL (2015)

APÊNDICE A – Fluxo Econômico da Indústria Visitada

Apêndice A – Fluxo de Caixa da Indústria Visitada

| Mês | Proficiência de pico do painel (W) | Taxa de desempenho | Quantidade de módulos | Nº de dias no mês | Estimativa de geração mensal (KWh/mês) | Custo evitado com tarifa | Entradas | Custo operação e manutenção | Investimento | Saldo | Fluxo Econômico | FCA | FCD | FCDA |
|-----|------------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|--|--------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0 | | | | | | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | | -R\$ 74.365.110,00 | -R\$ 74.365.110,00 | -R\$ 74.365.110,00 | -R\$ 74.365.110,00 | -R\$ 74.365.110,00 | -R\$ 74.365.110,00 |
| 1 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 923.971,03 | R\$ 923.971,03 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 698.021,62 | -R\$ 73.467.068,38 | R\$ 852.280,66 | -R\$ 73.472.629,34 |
| 2 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 28 | 4.415.632,45 | R\$ 794.813,84 | R\$ 794.813,84 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 758.864,37 | -R\$ 72.688.224,01 | R\$ 759.065,25 | -R\$ 72.710.764,09 |
| 3 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 796.689,36 | R\$ 796.689,36 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 770.739,89 | -R\$ 71.927.484,12 | R\$ 770.940,77 | -R\$ 71.948.633,20 |
| 4 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 3.615.862,29 | R\$ 650.855,21 | R\$ 650.855,21 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 624.905,74 | -R\$ 71.302.578,38 | R\$ 625.106,62 | -R\$ 71.328.584,90 |
| 5 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 531.126,24 | R\$ 531.126,24 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 505.176,77 | -R\$ 70.787.401,61 | R\$ 505.377,24 | -R\$ 70.812.778,85 |
| 6 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 2.534.482,91 | R\$ 456.206,32 | R\$ 456.206,32 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 430.257,45 | -R\$ 70.367.144,15 | R\$ 430.457,92 | -R\$ 70.392.602,07 |
| 7 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 505.994,17 | R\$ 505.994,17 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 480.034,70 | -R\$ 69.887.109,46 | R\$ 480.234,17 | -R\$ 69.912.343,63 |
| 8 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 658.407,97 | R\$ 658.407,97 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 632.458,50 | -R\$ 69.254.650,96 | R\$ 632.658,97 | -R\$ 69.280.309,93 |
| 9 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 661.500,04 | R\$ 661.500,04 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 635.550,57 | -R\$ 68.615.700,38 | R\$ 635.750,04 | -R\$ 68.641.650,42 |
| 10 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 796.689,36 | R\$ 796.689,36 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 770.739,89 | -R\$ 67.848.300,50 | R\$ 770.940,77 | -R\$ 67.874.241,27 |
| 11 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 4.959.138,23 | R\$ 892.644,88 | R\$ 892.644,88 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 866.695,41 | -R\$ 66.961.665,08 | R\$ 866.895,88 | -R\$ 66.987.560,96 |
| 12 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 971.112,47 | R\$ 971.112,47 | -R\$ 25.949,47 | | -R\$ 25.949,47 | R\$ 945.163,00 | -R\$ 66.036.502,08 | R\$ 945.363,47 | -R\$ 66.062.445,55 |
| 13 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 965.734,59 | R\$ 965.734,59 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 938.612,20 | -R\$ 65.097.889,88 | R\$ 938.812,67 | -R\$ 65.124.002,27 |
| 14 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 28 | 4.415.632,45 | R\$ 830.739,43 | R\$ 830.739,43 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 803.617,04 | -R\$ 64.294.272,84 | R\$ 803.817,51 | -R\$ 64.320.390,23 |
| 15 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 832.699,72 | R\$ 832.699,72 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 805.577,33 | -R\$ 63.488.695,51 | R\$ 805.777,80 | -R\$ 63.514.810,90 |
| 16 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 3.615.862,29 | R\$ 660.273,87 | R\$ 660.273,87 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 633.151,46 | -R\$ 62.835.544,03 | R\$ 633.351,93 | -R\$ 62.861.895,96 |
| 17 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 555.133,15 | R\$ 555.133,15 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 528.010,76 | -R\$ 62.307.533,27 | R\$ 528.211,23 | -R\$ 62.333.654,66 |
| 18 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 2.534.482,91 | R\$ 476.827,48 | R\$ 476.827,48 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 449.705,09 | -R\$ 61.857.828,18 | R\$ 449.905,56 | -R\$ 61.883.950,12 |
| 19 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 528.854,85 | R\$ 528.854,85 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 501.732,27 | -R\$ 61.356.095,91 | R\$ 501.932,74 | -R\$ 61.382.217,80 |
| 20 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 688.168,01 | R\$ 688.168,01 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 661.045,63 | -R\$ 60.695.050,29 | R\$ 661.246,10 | -R\$ 60.721.295,38 |
| 21 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 691.399,84 | R\$ 691.399,84 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 664.277,46 | -R\$ 60.030.772,63 | R\$ 664.477,93 | -R\$ 60.056.895,02 |
| 22 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 832.699,72 | R\$ 832.699,72 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 805.577,33 | -R\$ 59.225.195,50 | R\$ 805.777,80 | -R\$ 59.251.317,89 |
| 23 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 4.959.138,23 | R\$ 932.992,43 | R\$ 932.992,43 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 905.870,04 | -R\$ 58.319.325,45 | R\$ 906.070,51 | -R\$ 58.345.447,84 |
| 24 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.015.006,76 | R\$ 1.015.006,76 | -R\$ 27.122,39 | | -R\$ 27.122,39 | R\$ 977.884,37 | -R\$ 57.331.441,09 | R\$ 978.084,84 | -R\$ 57.357.563,48 |
| 25 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.009.385,79 | R\$ 1.009.385,79 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 981.037,47 | -R\$ 56.350.403,61 | R\$ 981.237,94 | -R\$ 56.376.525,28 |
| 26 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 28 | 4.415.632,45 | R\$ 868.288,85 | R\$ 868.288,85 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 833.940,53 | -R\$ 55.570.463,08 | R\$ 834.141,00 | -R\$ 55.596.605,42 |
| 27 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 870.337,74 | R\$ 870.337,74 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 841.989,43 | -R\$ 54.668.473,66 | R\$ 842.189,90 | -R\$ 54.694.616,05 |
| 28 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 3.615.862,29 | R\$ 711.022,25 | R\$ 711.022,25 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 682.873,93 | -R\$ 53.905.799,73 | R\$ 683.074,40 | -R\$ 53.931.942,12 |
| 29 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 580.225,16 | R\$ 580.225,16 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 551.876,85 | -R\$ 53.433.922,88 | R\$ 552.077,32 | -R\$ 53.460.065,27 |
| 30 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 2.534.482,91 | R\$ 498.980,08 | R\$ 498.980,08 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 470.031,76 | -R\$ 52.963.891,12 | R\$ 470.232,23 | -R\$ 52.990.033,51 |
| 31 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 452.758,88 | R\$ 452.758,88 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 429.804,69 | -R\$ 52.433.480,56 | R\$ 430.005,16 | -R\$ 52.460.622,80 |
| 32 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 719.273,21 | R\$ 719.273,21 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 690.924,89 | -R\$ 51.748.995,67 | R\$ 691.125,36 | -R\$ 51.775.140,91 |
| 33 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 722.651,11 | R\$ 722.651,11 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 694.302,80 | -R\$ 50.954.252,87 | R\$ 694.503,27 | -R\$ 50.980.395,11 |
| 34 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 870.337,74 | R\$ 870.337,74 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 841.989,43 | -R\$ 50.212.263,44 | R\$ 842.189,90 | -R\$ 50.238.405,78 |
| 35 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 30 | 4.959.138,23 | R\$ 975.163,69 | R\$ 975.163,69 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 948.875,37 | -R\$ 49.285.448,07 | R\$ 949.075,84 | -R\$ 49.311.590,41 |
| 36 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.060.885,06 | R\$ 1.060.885,06 | -R\$ 28.348,32 | | -R\$ 28.348,32 | R\$ 1.032.536,74 | -R\$ 48.232.911,33 | R\$ 1.032.737,21 | -R\$ 48.259.053,67 |
| 37 | 0,435 | 0,75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.055.010,02 | R\$ 1.055.010,02 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 1.025.380,36 | -R\$ 47.207.530,97 | R\$ 1.025.580,83 | -R\$ 47.233.660,61 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Apêndice A – Fluxo de Caixa da Indústria Visitada

| Mês | Potência de pico do painel (W) | Taxa de desempenho | Quantidade de módulos | Nº de dias no mês | Estimativa de geração mensal (kWh/mês) | Custo evitado com tarifa | Entradas | Custo operação e manutenção | Investimento | Saída | Fluxo Econômico | FCA | FCD | FCDA |
|-----|--------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|--|--------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| 38 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 29 | 4.573.333,61 | R\$ 907.535,51 | R\$ 907.535,51 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 877.905,84 | -R\$ 46.329.625,32 | R\$ 688.027,90 | -R\$ 49.676.637,87 |
| 39 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 909.677,01 | R\$ 909.677,01 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 880.047,35 | -R\$ 45.449.577,77 | R\$ 685.297,00 | -R\$ 48.991.340,68 |
| 40 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.675.862,29 | R\$ 743.160,45 | R\$ 743.160,45 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 713.530,79 | -R\$ 44.736.046,58 | R\$ 552.077,69 | -R\$ 48.439.263,17 |
| 41 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 606.451,34 | R\$ 606.451,34 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 576.821,68 | -R\$ 44.753.225,31 | R\$ 443.449,06 | -R\$ 47.965.814,11 |
| 42 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 2.534.482,91 | R\$ 520.906,86 | R\$ 520.906,86 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 491.277,20 | -R\$ 43.667.948,11 | R\$ 375.269,67 | -R\$ 47.620.544,44 |
| 43 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 577.743,58 | R\$ 577.743,58 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 548.113,92 | -R\$ 43.119.634,19 | R\$ 416.008,67 | -R\$ 47.204.535,77 |
| 44 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 751.784,35 | R\$ 751.784,35 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 722.154,69 | -R\$ 42.397.679,49 | R\$ 544.538,53 | -R\$ 46.653.337,24 |
| 45 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 755.314,95 | R\$ 755.314,95 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 725.685,28 | -R\$ 41.671.994,21 | R\$ 543.762,47 | -R\$ 46.116.174,77 |
| 46 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 909.677,01 | R\$ 909.677,01 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 880.047,35 | -R\$ 40.791.946,86 | R\$ 655.211,70 | -R\$ 45.460.963,07 |
| 47 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 4.959.198,29 | R\$ 1.019.241,09 | R\$ 1.019.241,09 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 989.611,43 | -R\$ 39.602.335,44 | R\$ 732.074,01 | -R\$ 44.728.889,05 |
| 48 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.088.837,07 | R\$ 1.088.837,07 | -R\$ 29.629,66 | | -R\$ 29.629,66 | R\$ 1.079.207,40 | -R\$ 38.723.128,03 | R\$ 733.249,68 | -R\$ 43.935.639,39 |
| 49 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.102.696,48 | R\$ 1.102.696,48 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 1.071.727,56 | -R\$ 37.651.400,48 | R\$ 782.716,73 | -R\$ 43.152.923,66 |
| 50 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 28 | 4.475.632,45 | R\$ 948.558,11 | R\$ 948.558,11 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 917.587,19 | -R\$ 36.733.610,29 | R\$ 685.858,11 | -R\$ 42.467.065,55 |
| 51 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 950.794,41 | R\$ 950.794,41 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 919.825,49 | -R\$ 35.813.987,80 | R\$ 663.215,21 | -R\$ 41.823.650,34 |
| 52 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.675.862,29 | R\$ 776.751,30 | R\$ 776.751,30 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 745.782,38 | -R\$ 35.068.205,42 | R\$ 534.288,52 | -R\$ 41.289.561,82 |
| 53 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 633.862,94 | R\$ 633.862,94 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 602.894,02 | -R\$ 34.465.311,40 | R\$ 423.180,15 | -R\$ 40.860.401,67 |
| 54 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 2.534.482,91 | R\$ 544.451,85 | R\$ 544.451,85 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 513.482,33 | -R\$ 33.951.628,47 | R\$ 363.177,64 | -R\$ 40.497.224,02 |
| 55 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 603.657,59 | R\$ 603.657,59 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 572.888,67 | -R\$ 33.378.939,60 | R\$ 402.603,94 | -R\$ 40.094.620,08 |
| 56 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 765.765,01 | R\$ 765.765,01 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 754.796,08 | -R\$ 32.624.143,72 | R\$ 527.050,36 | -R\$ 39.567.593,72 |
| 57 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 769.455,18 | R\$ 769.455,18 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 758.486,26 | -R\$ 31.865.657,46 | R\$ 526.241,24 | -R\$ 39.041.328,48 |
| 58 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 950.794,41 | R\$ 950.794,41 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 919.825,49 | -R\$ 30.945.631,97 | R\$ 634.099,32 | -R\$ 38.407.229,16 |
| 59 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 4.959.198,29 | R\$ 1.065.310,78 | R\$ 1.065.310,78 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 1.034.341,86 | -R\$ 29.911.490,11 | R\$ 708.484,96 | -R\$ 37.698.744,20 |
| 60 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.158.956,50 | R\$ 1.158.956,50 | -R\$ 30.968,92 | | -R\$ 30.968,92 | R\$ 1.127.987,58 | -R\$ 28.763.502,53 | R\$ 767.689,39 | -R\$ 36.931.054,61 |
| 61 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.162.538,36 | R\$ 1.162.538,36 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 1.120.169,64 | -R\$ 27.663.332,89 | R\$ 757.494,69 | -R\$ 36.173.559,92 |
| 62 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 28 | 4.475.632,45 | R\$ 991.430,85 | R\$ 991.430,85 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 959.062,19 | -R\$ 26.704.270,76 | R\$ 644.402,68 | -R\$ 35.529.157,23 |
| 63 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 993.770,32 | R\$ 993.770,32 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 961.401,60 | -R\$ 25.742.669,16 | R\$ 641.844,94 | -R\$ 34.887.312,29 |
| 64 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.675.862,29 | R\$ 811.680,46 | R\$ 811.680,46 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 779.491,75 | -R\$ 24.963.377,41 | R\$ 517.072,56 | -R\$ 34.370.239,73 |
| 65 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 662.513,55 | R\$ 662.513,55 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 630.144,83 | -R\$ 24.333.232,58 | R\$ 415.331,66 | -R\$ 33.954.908,07 |
| 66 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 2.534.482,91 | R\$ 589.061,07 | R\$ 589.061,07 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 536.692,35 | -R\$ 23.796.940,23 | R\$ 351.475,25 | -R\$ 33.603.432,82 |
| 67 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 631.151,96 | R\$ 631.151,96 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 598.783,24 | -R\$ 23.197.759,99 | R\$ 389.631,15 | -R\$ 33.213.801,67 |
| 68 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 821.281,59 | R\$ 821.281,59 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 788.912,87 | -R\$ 22.408.844,12 | R\$ 510.067,62 | -R\$ 32.703.734,05 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Apêndice A – Fluxo de Caixa da Indústria Visitada

| Mês | Potência de pico do painel (W) | Taxa de desemprego | Quantidade de módulos | Nº de dias no mês | Estimativa de geração mensal (kWh/mês) | Custo evitado com tarifa | Entradas | Custo operação e manutenção | Investimento | Salida | Fluxo Econômico | FCA | FCD | FCDA |
|-----|--------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|--|--------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| 69 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 825.138,55 | R\$ 825.138,55 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 792.769,84 | -R\$ 21.616.074,28 | R\$ 509.294,58 | -R\$ 32.394.449,47 |
| 70 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 993.770,32 | R\$ 993.770,32 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 961.401,60 | -R\$ 20.654.672,69 | R\$ 613.667,23 | -R\$ 31.590.762,24 |
| 71 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 4.953.038,23 | R\$ 1.113.462,83 | R\$ 1.113.462,83 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 1.081.034,11 | -R\$ 19.573.578,57 | R\$ 685.656,00 | -R\$ 30.895.126,24 |
| 72 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.211.341,34 | R\$ 1.211.341,34 | -R\$ 32.368,72 | | -R\$ 32.368,72 | R\$ 1.178.972,62 | -R\$ 18.394.695,95 | R\$ 742.952,73 | -R\$ 30.152.173,50 |
| 73 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.204.633,09 | R\$ 1.204.633,09 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 1.170.801,31 | -R\$ 17.223.894,64 | R\$ 733.066,72 | -R\$ 29.419.066,78 |
| 74 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 28 | 4.415.632,45 | R\$ 1.036.243,52 | R\$ 1.036.243,52 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 1.002.411,74 | -R\$ 16.221.332,91 | R\$ 623.638,59 | -R\$ 28.795.448,18 |
| 75 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.038.688,74 | R\$ 1.038.688,74 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 1.004.856,95 | -R\$ 15.236.535,95 | R\$ 621.163,27 | -R\$ 28.174.294,91 |
| 76 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.615.862,23 | R\$ 848.556,56 | R\$ 848.556,56 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 814.724,77 | -R\$ 14.401.911,18 | R\$ 500.411,33 | -R\$ 27.673.673,59 |
| 77 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 692.459,16 | R\$ 692.459,16 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 658.627,37 | -R\$ 13.743.183,80 | R\$ 401.948,75 | -R\$ 27.271.924,83 |
| 78 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 2.534.462,91 | R\$ 594.782,63 | R\$ 594.782,63 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 580.950,85 | -R\$ 13.182.232,98 | R\$ 340.149,94 | -R\$ 26.931.774,83 |
| 79 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 659.680,03 | R\$ 659.680,03 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 625.848,24 | -R\$ 12.566.384,71 | R\$ 377.076,37 | -R\$ 26.554.698,52 |
| 80 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 858.403,51 | R\$ 858.403,51 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 824.571,73 | -R\$ 11.731.812,98 | R\$ 433.632,11 | -R\$ 26.061.066,41 |
| 81 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 862.434,82 | R\$ 862.434,82 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 828.603,03 | -R\$ 10.900.209,95 | R\$ 492.874,30 | -R\$ 25.508.182,11 |
| 82 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.038.688,74 | R\$ 1.038.688,74 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 1.004.856,95 | -R\$ 9.698.353,00 | R\$ 593.893,51 | -R\$ 24.974.296,60 |
| 83 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 4.953.038,23 | R\$ 1.163.791,95 | R\$ 1.163.791,95 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 1.129.959,57 | -R\$ 8.768.393,45 | R\$ 663.562,64 | -R\$ 24.310.735,96 |
| 84 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.268.093,96 | R\$ 1.268.093,96 | -R\$ 33.831,78 | | -R\$ 33.831,78 | R\$ 1.232.262,18 | -R\$ 7.538.131,25 | R\$ 719.013,15 | -R\$ 23.591.722,81 |
| 85 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.259.082,51 | R\$ 1.259.082,51 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 1.223.721,53 | -R\$ 6.312.409,72 | R\$ 709.465,04 | -R\$ 22.882.257,78 |
| 86 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 28 | 4.415.632,45 | R\$ 1.083.081,73 | R\$ 1.083.081,73 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 1.047.720,75 | -R\$ 5.264.698,97 | R\$ 603.543,57 | -R\$ 22.278.714,20 |
| 87 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.085.637,47 | R\$ 1.085.637,47 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 1.050.278,49 | -R\$ 4.214.412,49 | R\$ 601.148,01 | -R\$ 21.677.568,19 |
| 88 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.615.862,23 | R\$ 886.911,31 | R\$ 886.911,31 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 851.550,33 | -R\$ 3.962.862,15 | R\$ 494.286,97 | -R\$ 21.193.279,22 |
| 89 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 723.758,31 | R\$ 723.758,31 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 688.397,33 | -R\$ 2.674.464,82 | R\$ 388.997,07 | -R\$ 20.804.282,16 |
| 90 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 2.534.462,91 | R\$ 621.666,81 | R\$ 621.666,81 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 596.305,83 | -R\$ 2.088.768,99 | R\$ 329.899,55 | -R\$ 20.475.092,60 |
| 91 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 689.497,96 | R\$ 689.497,96 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 654.198,98 | -R\$ 1.434.022,41 | R\$ 364.926,13 | -R\$ 20.110.195,48 |
| 92 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 897.203,35 | R\$ 897.203,35 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 861.842,37 | -R\$ 572.180,04 | R\$ 477.726,19 | -R\$ 19.632.440,29 |
| 93 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 901.416,87 | R\$ 901.416,87 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 868.095,69 | -R\$ 293.875,85 | R\$ 478.992,79 | -R\$ 19.195.447,50 |
| 94 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.085.637,47 | R\$ 1.085.637,47 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 1.050.276,49 | -R\$ 1.344.162,34 | R\$ 574.756,94 | -R\$ 18.590.690,95 |
| 95 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 4.953.038,23 | R\$ 1.216.394,72 | R\$ 1.216.394,72 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 1.181.033,74 | -R\$ 2.525.198,09 | R\$ 642.191,18 | -R\$ 17.248.503,37 |
| 96 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.323.321,41 | R\$ 1.323.321,41 | -R\$ 35.360,98 | | -R\$ 35.360,98 | R\$ 1.287.960,43 | -R\$ 3.913.146,51 | R\$ 695.844,95 | -R\$ 16.566.053,93 |
| 97 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.315.993,04 | R\$ 1.315.993,04 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.279.033,74 | -R\$ 5.092.190,25 | R\$ 686.604,50 | -R\$ 15.956.059,33 |
| 98 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 29 | 4.573.333,61 | R\$ 1.132.037,02 | R\$ 1.132.037,02 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.095.077,72 | -R\$ 6.187.257,98 | R\$ 594.096,06 | -R\$ 15.971.963,87 |
| 99 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.194.708,28 | R\$ 1.194.708,28 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.097.748,99 | -R\$ 7.285.006,96 | R\$ 591.777,69 | -R\$ 15.390.196,18 |
| 100 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.615.862,23 | R\$ 926.999,70 | R\$ 926.999,70 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 890.040,41 | -R\$ 8.175.047,37 | R\$ 468.682,17 | -R\$ 14.921.594,04 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Apêndice A – Fluxo de Caixa da Indústria Visitada

| Mês | Potência de pico do painel (W) | Taxa de desempenho | Quantidade de módulos | Nº de dias no mês | Estimativa de geração mensal (kWh/mês) | Custo evitado com tarifa | Entradas | Custo operação e manutenção | Investimento | Saída | Fluxo Econômico | FCA | FCD | FCDA |
|-----|--------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|--|--------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|----------------|------------------|-------------------|----------------|--------------------|
| 101 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.950,701,33 | R\$ 756.472,19 | R\$ 756.472,19 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 719.512,89 | R\$ 8.694.560,26 | R\$ 376.462,72 | -R\$ 14.545.041,30 |
| 102 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 2.934,482,91 | R\$ 649.766,15 | R\$ 649.766,15 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 612.806,85 | R\$ 9.507.367,11 | R\$ 318.582,33 | -R\$ 14.226.458,97 |
| 103 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.811,023,16 | R\$ 720.662,85 | R\$ 720.662,85 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 683.703,56 | R\$ 10.191.070,67 | R\$ 353.167,40 | -R\$ 13.873.291,97 |
| 104 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 3.657,822,06 | R\$ 937.756,94 | R\$ 937.756,94 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 900.797,65 | R\$ 11.091.868,31 | R\$ 462.332,79 | -R\$ 13.410.958,78 |
| 105 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.675,000,22 | R\$ 942.160,91 | R\$ 942.160,91 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 905.201,62 | R\$ 11.997.069,93 | R\$ 461.623,02 | -R\$ 12.943.335,76 |
| 106 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.428,051,99 | R\$ 1.134.708,28 | R\$ 1.134.708,28 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.097.748,99 | R\$ 13.094.816,92 | R\$ 596.237,00 | -R\$ 12.393.098,76 |
| 107 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 4.993,108,23 | R\$ 1.271.375,76 | R\$ 1.271.375,76 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.234.416,47 | R\$ 14.329.235,38 | R\$ 621.488,68 | -R\$ 11.771.670,09 |
| 108 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5.395,069,29 | R\$ 1.383.135,54 | R\$ 1.383.135,54 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.346.176,24 | R\$ 15.675.411,62 | R\$ 673.423,27 | -R\$ 11.098.186,81 |
| 109 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5.133,172,73 | R\$ 1.375.475,92 | R\$ 1.375.475,92 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.336.846,07 | R\$ 17.012.257,69 | R\$ 664.480,58 | -R\$ 10.433.706,24 |
| 110 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 28 | 4.415,632,45 | R\$ 1.183.205,09 | R\$ 1.183.205,09 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.144.575,24 | R\$ 18.156.832,93 | R\$ 565.275,18 | -R\$ 9.868.431,05 |
| 111 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.428,051,99 | R\$ 1.185.997,10 | R\$ 1.185.997,10 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.147.967,24 | R\$ 19.304.200,17 | R\$ 563.031,52 | -R\$ 9.305.399,53 |
| 112 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.615,862,29 | R\$ 968.900,09 | R\$ 968.900,09 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 930.270,23 | R\$ 20.234.470,40 | R\$ 453.590,18 | -R\$ 8.851.819,35 |
| 113 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.950,701,33 | R\$ 790.664,73 | R\$ 790.664,73 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 752.034,87 | R\$ 20.968.505,27 | R\$ 364.332,25 | -R\$ 8.467.467,30 |
| 114 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 2.534,482,91 | R\$ 679.135,58 | R\$ 679.135,58 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 640.505,72 | R\$ 21.627.010,99 | R\$ 308.376,90 | -R\$ 8.179.170,20 |
| 115 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.811,023,16 | R\$ 753.236,81 | R\$ 753.236,81 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 714.606,96 | R\$ 22.341.617,95 | R\$ 341.787,56 | -R\$ 7.837.382,64 |
| 116 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 3.657,822,06 | R\$ 980.143,56 | R\$ 980.143,56 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 941.513,70 | R\$ 23.283.131,65 | R\$ 447.435,40 | -R\$ 7.389.947,24 |
| 117 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.675,000,22 | R\$ 994.746,59 | R\$ 994.746,59 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.290.212,09 | R\$ 24.229.248,38 | R\$ 446.748,50 | -R\$ 6.943.198,73 |
| 118 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.428,051,99 | R\$ 1.185.997,10 | R\$ 1.185.997,10 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.147.367,24 | R\$ 25.376.615,62 | R\$ 538.313,80 | -R\$ 6.404.884,93 |
| 119 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 4.993,108,23 | R\$ 1.328.841,95 | R\$ 1.328.841,95 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.290.212,09 | R\$ 26.666.827,71 | R\$ 601.462,93 | -R\$ 5.803.422,00 |
| 120 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5.395,069,29 | R\$ 1.445.653,27 | R\$ 1.445.653,27 | -R\$ 36.959,30 | | -R\$ 36.959,30 | R\$ 1.407.023,41 | R\$ 28.073.851,12 | R\$ 651.724,08 | -R\$ 5.151.697,92 |
| 121 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5.133,172,73 | R\$ 1.437.647,43 | R\$ 1.437.647,43 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 1.397.271,51 | R\$ 29.471.122,63 | R\$ 643.069,53 | -R\$ 4.508.628,39 |
| 122 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 28 | 4.415,632,45 | R\$ 1.236.685,97 | R\$ 1.236.685,97 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 1.196.310,04 | R\$ 30.667.432,67 | R\$ 547.060,76 | -R\$ 3.961.667,62 |
| 123 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.428,051,99 | R\$ 1.239.604,17 | R\$ 1.239.604,17 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 1.193.228,24 | R\$ 31.866.660,91 | R\$ 544.889,39 | -R\$ 3.416.678,23 |
| 124 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.615,862,29 | R\$ 1.012.694,37 | R\$ 1.012.694,37 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 972.318,45 | R\$ 32.836.979,95 | R\$ 436.964,82 | -R\$ 2.977.713,41 |
| 125 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.950,701,33 | R\$ 828.402,78 | R\$ 828.402,78 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 786.026,85 | R\$ 33.625.006,20 | R\$ 352.592,66 | -R\$ 2.625.120,75 |
| 126 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 2.534,482,91 | R\$ 709.832,51 | R\$ 709.832,51 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 683.456,58 | R\$ 34.294.462,78 | R\$ 298.382,25 | -R\$ 2.326.738,51 |
| 127 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2.811,023,16 | R\$ 787.283,12 | R\$ 787.283,12 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 746.907,19 | R\$ 35.041.369,98 | R\$ 330.774,40 | -R\$ 1.935.964,93 |
| 128 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 3.657,822,06 | R\$ 1.024.446,05 | R\$ 1.024.446,05 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 984.070,12 | R\$ 36.025.440,09 | R\$ 433.018,04 | -R\$ 1.562.946,08 |
| 129 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3.675,000,22 | R\$ 1.029.257,13 | R\$ 1.029.257,13 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 988.681,21 | R\$ 37.014.321,30 | R\$ 432.353,27 | -R\$ 1.190.592,79 |
| 130 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4.428,051,99 | R\$ 1.239.604,17 | R\$ 1.239.604,17 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 1.193.228,24 | R\$ 38.213.549,54 | R\$ 520.968,14 | -R\$ 603.624,85 |
| 131 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 4.993,108,23 | R\$ 1.388.905,60 | R\$ 1.388.905,60 | -R\$ 40.375,93 | | -R\$ 40.375,93 | R\$ 1.348.529,68 | R\$ 39.582.079,22 | R\$ 582.082,46 | -R\$ 27.542,20 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Apêndice A – Fluxo de Caixa da Indústria Visitada

| Mês | Potência de pico do painel (W) | Taxa de desemprego | Quantidade de módulos | Nº de dias no mês | Estimativa de geração mensal (kWh/mês) | Custo evitado com tarifa | Entradas | Custo operação e manutenção | Investimento | Salida | Fluxo Econômico | FCA | FCD | FCDA |
|-----|--------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|--|--------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|----------------|------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 132 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5,395,069,29 | R\$ 1.510,936,73 | R\$ 1.510,936,73 | -R\$ 40,375,93 | | -R\$ 40,375,93 | R\$ 1.470,620,87 | R\$ 41.032,700,08 | R\$ 630,724,08 | R\$ 603,818,9 |
| 133 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5,133,172,73 | R\$ 1.502,629,10 | R\$ 1.502,629,10 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 1.460,428,18 | R\$ 42,493,128,26 | R\$ 622,948,41 | R\$ 1.225,930,29 |
| 134 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 28 | 4,415,632,45 | R\$ 1.292,584,17 | R\$ 1.292,584,17 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 1.250,383,25 | R\$ 43,743,511,51 | R\$ 529,433,25 | R\$ 1.754,963,54 |
| 135 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4,428,051,99 | R\$ 1.295,634,27 | R\$ 1.295,634,27 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 1.253,433,36 | R\$ 44,996,944,87 | R\$ 527,331,84 | R\$ 2.282,295,98 |
| 136 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3,615,862,29 | R\$ 1.059,468,16 | R\$ 1.059,468,16 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 1.016,267,24 | R\$ 46,013,212,11 | R\$ 424,020,40 | R\$ 2.707,18,78 |
| 137 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2,950,701,33 | R\$ 863,796,18 | R\$ 863,796,18 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 821,555,26 | R\$ 46,834,767,38 | R\$ 341,231,34 | R\$ 3.048,347,12 |
| 138 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 2,534,462,91 | R\$ 741,916,33 | R\$ 741,916,33 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 699,716,02 | R\$ 47,534,463,39 | R\$ 288,767,71 | R\$ 3.337,14,83 |
| 139 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 3,657,822,06 | R\$ 1.070,751,01 | R\$ 1.070,751,01 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 1.028,550,09 | R\$ 48,343,700,88 | R\$ 419,065,23 | R\$ 4.076,296,18 |
| 140 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3,675,000,22 | R\$ 1.075,779,56 | R\$ 1.075,779,56 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 1.033,578,64 | R\$ 50,377,279,51 | R\$ 418,421,89 | R\$ 4.494,718,07 |
| 142 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4,428,051,99 | R\$ 1.295,634,27 | R\$ 1.295,634,27 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 1.253,433,36 | R\$ 51,630,712,87 | R\$ 504,81,39 | R\$ 4.998,899,46 |
| 143 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3,395,069,29 | R\$ 1.579,233,85 | R\$ 1.579,233,85 | -R\$ 42,200,92 | | -R\$ 42,200,92 | R\$ 1.403,483,22 | R\$ 53,040,196,09 | R\$ 593,326,47 | R\$ 5.962,225,92 |
| 144 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5,133,172,73 | R\$ 1.570,547,93 | R\$ 1.570,547,93 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 1.526,439,53 | R\$ 54,577,269,02 | R\$ 610,400,75 | R\$ 6.172,626,68 |
| 145 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 29 | 4,573,333,61 | R\$ 1.351,008,96 | R\$ 1.351,008,96 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 1.306,900,59 | R\$ 57,410,629,13 | R\$ 602,294,96 | R\$ 6.774,921,63 |
| 146 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4,428,051,99 | R\$ 1.354,196,94 | R\$ 1.354,196,94 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 1.310,088,54 | R\$ 58,720,777,67 | R\$ 510,940,04 | R\$ 7.797,635,41 |
| 147 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3,615,862,29 | R\$ 1.106,310,92 | R\$ 1.106,310,92 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 1.062,202,52 | R\$ 59,782,900,19 | R\$ 411,131,74 | R\$ 8.208,767,16 |
| 149 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2,950,701,33 | R\$ 902,797,96 | R\$ 902,797,96 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 871,343,18 | R\$ 61,372,952,93 | R\$ 279,462,97 | R\$ 8.818,468,23 |
| 150 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 2,534,462,91 | R\$ 775,451,59 | R\$ 775,451,59 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 735,953,56 | R\$ 62,188,906,50 | R\$ 309,801,27 | R\$ 9.128,267,49 |
| 152 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 3,657,822,06 | R\$ 1.119,148,95 | R\$ 1.119,148,95 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 1.075,040,55 | R\$ 63,263,947,05 | R\$ 405,962,02 | R\$ 9.533,623,51 |
| 154 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3,675,000,22 | R\$ 1.124,404,79 | R\$ 1.124,404,79 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 1.080,296,39 | R\$ 64,344,243,44 | R\$ 404,939,41 | R\$ 9.938,768,92 |
| 155 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4,428,051,99 | R\$ 1.354,196,94 | R\$ 1.354,196,94 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 1.310,088,54 | R\$ 65,654,331,98 | R\$ 487,335,54 | R\$ 10.426,704,46 |
| 156 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3,395,069,29 | R\$ 1.650,677,93 | R\$ 1.650,677,93 | -R\$ 44,108,40 | | -R\$ 44,108,40 | R\$ 1.473,191,86 | R\$ 67,127,523,84 | R\$ 545,174,84 | R\$ 11.962,611,58 |
| 157 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 5,133,172,73 | R\$ 1.641,536,70 | R\$ 1.641,536,70 | -R\$ 46,102,10 | | -R\$ 46,102,10 | R\$ 1.595,434,60 | R\$ 70,329,527,97 | R\$ 592,887,67 | R\$ 12.145,499,25 |
| 158 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 28 | 4,415,632,45 | R\$ 1.412,074,58 | R\$ 1.412,074,58 | -R\$ 46,102,10 | | -R\$ 46,102,10 | R\$ 1.365,972,48 | R\$ 71,695,500,45 | R\$ 495,863,91 | R\$ 12.641,963,16 |
| 159 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 4,428,051,99 | R\$ 1.415,406,84 | R\$ 1.415,406,84 | -R\$ 46,102,10 | | -R\$ 46,102,10 | R\$ 1.369,304,55 | R\$ 73,064,805,00 | R\$ 493,895,75 | R\$ 13.135,258,92 |
| 160 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 3,615,862,29 | R\$ 1.156,316,17 | R\$ 1.156,316,17 | -R\$ 46,102,10 | | -R\$ 46,102,10 | R\$ 1.110,214,08 | R\$ 74,175,019,07 | R\$ 397,884,17 | R\$ 13.533,143,08 |
| 161 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2,950,701,33 | R\$ 943,604,43 | R\$ 943,604,43 | -R\$ 46,102,10 | | -R\$ 46,102,10 | R\$ 897,502,33 | R\$ 75,072,521,40 | R\$ 319,595,16 | R\$ 13.852,738,24 |
| 162 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 30 | 2,534,462,91 | R\$ 810,501,99 | R\$ 810,501,99 | -R\$ 46,102,10 | | -R\$ 46,102,10 | R\$ 764,399,89 | R\$ 75,836,921,90 | R\$ 270,458,05 | R\$ 14.123,196,90 |
| 163 | 0,435 | 0,75 | 86,317 | 31 | 2,811,023,16 | R\$ 896,936,76 | R\$ 896,936,76 | -R\$ 46,102,10 | | -R\$ 46,102,10 | R\$ 852,834,66 | R\$ 76,689,795,96 | R\$ 299,816,78 | R\$ 14.423,015,08 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

Apêndice A – Fluxo de Caixa da Indústria Visitada

| Mês | Potência de pico do painel (W) | Taxa de desempenho | Quantidade de módulos | Nº de dias no mês | Estimativa de geração mensal (kWh/mês) | Custo evitado com tarifa | Entradas | Custo operação e manutenção | Investimento | Salda | Fluxo Econômico | FCA | FCD | FCDA |
|-----|--------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|--|--------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|----------------|-------------------|
| 164 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 1.163.734,49 | R\$ 1.163.734,49 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.123.632,39 | R\$ 77.813.388,35 | R\$ 392.493,91 | R\$ 14.815.508,99 |
| 165 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 1.175.227,89 | R\$ 1.175.227,89 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.123.525,79 | R\$ 78.342.514,13 | R\$ 391.891,36 | R\$ 15.207.400,35 |
| 166 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,93 | R\$ 1.475.406,64 | R\$ 1.475.406,64 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.369.304,55 | R\$ 80.311.818,68 | R\$ 472.213,17 | R\$ 15.679.613,52 |
| 167 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 4.363.138,23 | R\$ 1.595.862,23 | R\$ 1.595.862,23 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.533.780,13 | R\$ 81.851.598,81 | R\$ 527.808,09 | R\$ 16.207.221,61 |
| 168 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.725.288,57 | R\$ 1.725.288,57 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.679.186,47 | R\$ 83.530.765,28 | R\$ 571.697,58 | R\$ 16.778.919,19 |
| 169 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.715.734,16 | R\$ 1.715.734,16 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.687.548,24 | R\$ 85.198.333,53 | R\$ 564.105,74 | R\$ 17.343.024,93 |
| 170 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 28 | 4.415.632,45 | R\$ 1.475.900,35 | R\$ 1.475.900,35 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.427.714,44 | R\$ 86.628.047,97 | R\$ 479.686,08 | R\$ 17.822.910,00 |
| 171 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.479.383,03 | R\$ 1.479.383,03 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.431.157,11 | R\$ 88.057.245,08 | R\$ 477.981,33 | R\$ 18.300.892,33 |
| 172 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.615.862,29 | R\$ 1.208.581,67 | R\$ 1.208.581,67 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.160.395,75 | R\$ 89.217.640,83 | R\$ 385.083,45 | R\$ 18.688.955,79 |
| 173 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 986.255,35 | R\$ 986.255,35 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 938.069,44 | R\$ 90.155.770,26 | R\$ 309.291,70 | R\$ 18.995.252,88 |
| 174 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 2.534.482,91 | R\$ 847.136,68 | R\$ 847.136,68 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 798.950,77 | R\$ 90.954.651,03 | R\$ 261.743,29 | R\$ 19.258.996,38 |
| 175 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 939.568,71 | R\$ 939.568,71 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 891.382,79 | R\$ 91.846.043,82 | R\$ 290.167,95 | R\$ 19.547.854,13 |
| 176 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 1.222.606,46 | R\$ 1.222.606,46 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.174.420,57 | R\$ 93.020.464,39 | R\$ 379.846,88 | R\$ 19.927.001,02 |
| 177 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 1.228.348,19 | R\$ 1.228.348,19 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.180.182,27 | R\$ 94.200.626,68 | R\$ 379.283,75 | R\$ 20.306.264,77 |
| 178 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.479.383,03 | R\$ 1.479.383,03 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.431.157,11 | R\$ 95.631.823,77 | R\$ 458.997,42 | R\$ 20.783.282,38 |
| 179 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 4.363.138,23 | R\$ 1.657.564,11 | R\$ 1.657.564,11 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.609.378,19 | R\$ 97.241.201,97 | R\$ 570.607,39 | R\$ 21.273.069,57 |
| 180 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.803.271,62 | R\$ 1.803.271,62 | -R\$ 46.102,30 | | -R\$ 46.102,30 | R\$ 1.755.085,70 | R\$ 98.996.287,67 | R\$ 553.276,21 | R\$ 21.827.145,76 |
| 181 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.793.285,34 | R\$ 1.793.285,34 | -R\$ 50.363,92 | R\$ 0,00 | -R\$ 50.363,92 | R\$ 1.742.921,43 | R\$ 100.739.209,09 | R\$ 545.929,00 | R\$ 22.373.074,77 |
| 182 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 28 | 4.415.632,45 | R\$ 1.542.611,05 | R\$ 1.542.611,05 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 1.492.247,13 | R\$ 102.231.456,22 | R\$ 464.423,08 | R\$ 22.837.497,85 |
| 183 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.546.251,14 | R\$ 1.546.251,14 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 1.495.887,22 | R\$ 103.727.343,44 | R\$ 462.579,71 | R\$ 23.300.077,57 |
| 184 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.615.862,29 | R\$ 1.263.209,56 | R\$ 1.263.209,56 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 1.272.845,64 | R\$ 104.940.189,08 | R\$ 372.655,85 | R\$ 23.672.733,42 |
| 185 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 2.950.701,33 | R\$ 1.030.834,09 | R\$ 1.030.834,09 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 980.470,17 | R\$ 105.920.659,28 | R\$ 298.330,86 | R\$ 23.972.064,28 |
| 186 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 2.534.482,91 | R\$ 885.427,26 | R\$ 885.427,26 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 835.083,34 | R\$ 106.755.722,60 | R\$ 253.309,34 | R\$ 24.225.373,62 |
| 187 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 2.811.023,16 | R\$ 982.037,21 | R\$ 982.037,21 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 931.673,29 | R\$ 107.687.395,89 | R\$ 280.808,42 | R\$ 24.506.182,04 |
| 188 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 3.657.822,06 | R\$ 1.277.868,30 | R\$ 1.277.868,30 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 1.227.504,38 | R\$ 108.914.900,27 | R\$ 367.607,37 | R\$ 24.873.788,41 |
| 189 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 3.675.000,22 | R\$ 1.283.869,53 | R\$ 1.283.869,53 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 1.233.505,61 | R\$ 110.140.405,88 | R\$ 367.043,03 | R\$ 25.240.832,44 |
| 190 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.546.251,14 | R\$ 1.546.251,14 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 1.495.887,22 | R\$ 111.644.293,70 | R\$ 442.271,94 | R\$ 25.663.104,36 |
| 191 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 30 | 4.363.138,23 | R\$ 1.732.486,00 | R\$ 1.732.486,00 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 1.694.415,58 | R\$ 115.160.830,76 | R\$ 494.154,48 | R\$ 26.177.258,87 |
| 192 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.395.069,29 | R\$ 1.884.779,49 | R\$ 1.884.779,49 | -R\$ 50.363,92 | | -R\$ 50.363,92 | R\$ 1.834.415,58 | R\$ 116.160.830,76 | R\$ 535.446,42 | R\$ 26.712.707,29 |
| 193 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 5.133.172,73 | R\$ 1.874.341,84 | R\$ 1.874.341,84 | -R\$ 52.640,37 | | -R\$ 52.640,37 | R\$ 1.821.701,47 | R\$ 116.962.532,24 | R\$ 528.337,95 | R\$ 27.241.045,24 |
| 194 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 28 | 4.415.632,45 | R\$ 1.612.337,07 | R\$ 1.612.337,07 | -R\$ 52.640,37 | | -R\$ 52.640,37 | R\$ 1.559.696,70 | R\$ 118.542.228,94 | R\$ 449.458,34 | R\$ 27.691.503,57 |
| 195 | 0.435 | 0.75 | 86.317 | 31 | 4.426.051,99 | R\$ 1.616.116,69 | R\$ 1.616.116,69 | -R\$ 52.640,37 | | -R\$ 52.640,37 | R\$ 1.563.501,32 | R\$ 120.105.730,26 | R\$ 447.674,36 | R\$ 28.198.177,94 |

Fonte: O autor da pesquisa (2021)

