

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A
VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA EM UMA UNIDADE CONSUMIDORA DE BAIXA TENSÃO

Beatriz Stefani Alcântara Silva

27 de Novembro de 2024
Itajubá

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA

Beatriz Stefani Alcântara Silva

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A
VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA EM UMA UNIDADE CONSUMIDORA DE BAIXA TENSÃO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas de Potência

Orientador: Dr. Eduardo Crestana Guardia

27 de Novembro de 2024
Itajubá

Dedico este trabalho aos meus pais, ao meu noivo e a
minha filha, pelo incentivo, contribuição e carinho.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste mestrado representa um marco significativo em minha vida, e isso não teria sido possível sem o apoio incondicional e a presença amorosa de pessoas muito especiais.

Primeiramente, agradeço aos meus avós, que sempre foram uma fonte inesgotável de sabedoria, carinho e incentivo. Seus exemplos de dedicação e perseverança inspiraram-me a seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis. Agradeço ao meu avô Puca (*in memoriam*), por me incentivar na conclusão do mesmo.

À minha mãe, que nunca mediu esforços para que eu pudesse alcançar meus sonhos. Sua dedicação e amor incondicional são a base de todas as minhas conquistas.

À minha filha, cuja alegria e energia me motivam diariamente a ser a melhor versão de mim mesma. Você é minha luz e minha maior inspiração para continuar aprendendo e crescendo.

Ao meu noivo, que esteve ao meu lado em cada passo desta jornada. Sua paciência, compreensão e apoio foram fundamentais para que eu pudesse manter o foco e a determinação.

Ao meu orientador, pela disposição, pelo conhecimento e pela paciência que me disponibilizou para a finalização deste trabalho.

Finalmente, agradeço a Deus, pela sabedoria, coragem e força que me concedeu ao longo deste percurso. Sua presença constante guiou-me e confortou-me nos momentos de incerteza e desafios.

A todos vocês, minha eterna gratidão. Este trabalho é tanto de vocês quanto meu.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim. ”

(Nikola Tesla)

RESUMO

O conceito de eficiência energética no Brasil já é antigo e vem sendo discutido e aplicado há um bom tempo. No entanto, foram nos últimos anos que esse tema ganhou notoriedade. A energia elétrica é necessária em todos os aspectos da vida, ela está mais presente à medida que a sociedade se desenvolve. O uso da eletricidade de forma eficiente é fundamental para o desenvolvimento da economia e a competição entre os países garantindo o desenvolvimento sustentável do setor elétrico. O objetivo desse estudo é avaliar como a eficiência energética impacta a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (On Grid), na modalidade autoconsumo remoto de auto compensação, para a redução do consumo de energia elétrica de uma unidade consumidora comercial de baixa tensão, localizada na cidade de Itajubá. Todas as análises são feitas baseando-se na média anual de consumo de energia, utilizando a conta de energia fornecida pela CEMIG. Também é feita a análise da área e local de instalação da microssina solar e a sua viabilidade econômica. As simulações são realizadas utilizando o Software PvSyst para dimensionamento do sistema fotovoltaico. O estudo demonstrou que a combinação de eficiência energética e geração de energia fotovoltaica é uma solução viável e vantajosa, tanto econômica quanto ambientalmente. A implementação de medidas de eficiência energética resultou em uma redução de cerca de 15% na conta de energia do comércio. Além disso, essa otimização permitiu a redução da área necessária para o sistema fotovoltaico e do número de placas solares, tornando o projeto ainda mais eficiente. Inicialmente, foi prevista a instalação de um sistema de 9,78 kWp, com 29 módulos e um inversor de 15 kW, capaz de gerar 17.643,64 kWh em 20 anos, com um custo inicial de R\$ 45.450,04 e prazo de payback de três anos. Após os ajustes nos valores do estabelecimento e a adoção de medidas de eficiência energética, foi possível dimensionar um sistema menor, de 8,14 kWp, com 24 módulos e um inversor de 10 kW, que gerará 14.718,29 kWh em 20 anos, com um custo inicial reduzido para R\$ 35.008,52 e retorno do investimento em dois anos.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Energia Fotovoltaica, Energia Solar, Máquinas.

ABSTRACT

The concept of energy efficiency in Brazil is not new and has been discussed and applied for a long time. However, in recent years, this topic has gained significant prominence. Electricity is essential in all aspects of life and becomes increasingly present as society develops. The efficient use of electricity is crucial for economic growth and international competitiveness, ensuring the sustainable development of the electrical sector. The objective of this study is to evaluate how energy efficiency impacts the implementation of a grid-connected photovoltaic system (On-Grid) under the remote self-consumption compensation modality to reduce electricity consumption in a low-voltage commercial consumer unit located in the city of Itajubá. All analyses are based on the annual average energy consumption using electricity bills provided by CEMIG. Additionally, an assessment of the area and location for the installation of the solar micro-plant and its economic feasibility is conducted. The simulations are carried out using the PvSyst software for photovoltaic system sizing. The study demonstrated that the combination of energy efficiency and photovoltaic energy generation is a viable and advantageous solution, both economically and environmentally. The implementation of energy efficiency measures resulted in an approximately 15% reduction in the commercial electricity bill. Furthermore, this optimization allowed for a reduction in the area required for the photovoltaic system and the number of solar panels, making the project even more efficient. Initially, the installation of a 9.78 kWp system with 29 modules and a 15 kW inverter was planned, capable of generating 17,643.64 kWh over 20 years, with an initial cost of R\$ 45,450.04 and a payback period of three years. After adjustments in the establishment's energy consumption and the adoption of energy efficiency measures, it was possible to design a smaller system of 8.14 kWp with 24 modules and a 10 kW inverter, capable of generating 14,718.29 kWh over 20 years, with a reduced initial cost of R\$ 35,008.52 and a return on investment in two years.

Keywords: Energy Efficiency, Energy, Photovoltaic, Solar Energy, Machinery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Potência instalada em operação no País	14
Figura 2 – Selo Procel	20
Figura 3 – Selo Conpet	20
Figura 4 – Etiqueta PBE	21
Figura 5 – Forma de incidência da radiação solar na superfície	23
Figura 6 – Comparação entre os silícios.....	25
Figura 7 – Painel Solar	26
Figura 8 – Sistema Off Grid	27
Figura 9 – Sistema On Grid.....	28
Figura 10 – Sistema Híbrido.....	28
Figura 11 – Controlador de Carga	29
Figura 12 – Bateria	30
Figura 13 – Inversor	31
Figura 14 - Classificação da Pesquisa	35
Figura 15 - Fluxograma do Processo	37
Figura 16 - Área escolhida.....	38
Figura 17 – Câmara Refrigerada	39
Figura 18 – Balcão Expositor Principal.....	39
Figura 19 – Balcão Expositor Secundário	40
Figura 20 – Amaciador de Carne.....	40
Figura 21 – Moedor de Carne.....	41
Figura 22 – Serra de Fita	41
Figura 23 – Máquina de Assar.....	42
Figura 24 – Balança Digital.....	42
Figura 25 – Telefone.....	42
Figura 26 – Televisão	43
Figura 27 – Exaustor	43
Figura 28 – Ventilador de Teto	44
Figura 29 – Ventilador de Parede	44
Figura 30 – Freezer.....	45
Figura 31 – Lâmpadas Fluorescentes	45
Figura 32 – Liquidificador Industrial	45
Figura 33 – Irradiação Solar Média Mensal de Itajubá	53
Figura 34 – Características Elétricas do Módulo Fotovoltaico	54
Figura 35 – Características Mecânicas do Módulo	55
Figura 36 – PVSyst.....	56
Figura 37 – Especificações do Inversor.....	56
Figura 38 - PVSyst 2	60
Figura 39 – Especificações do Novo Inversor.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potência dos Equipamentos	46
Tabela 2 – Tempo Médio de Consumo	47
Tabela 3 – Tempo Total de Consumo	47
Tabela 4 – Energia Consumida Mensal e Anual	48
Tabela 5 – Energia Atual	49
Tabela 6 – Comparativo de Potência das Cargas	50
Tabela 7 – Nova Energia Consumida Mensal e Anual.....	50
Tabela 8 – Potência e Energia	51
Tabela 9 – Comparativo de Valores	51
Tabela 10 – Potencial Solar	57
Tabela 11 – Estimativa de Geração em 20 Anos.....	58
Tabela 12 – Estimativa de Geração em 20 Anos com Eficiência.....	61
Tabela 13 – Custo Total da Implementação Antes da Eficiência.....	65
Tabela 14 – Payback Descontado Antes da Eficiência.....	66
Tabela 15 – Custo Total da Implementação com Eficiência	67
Tabela 16 – Payback Descontado Após a Eficiência	67
Tabela 17 - Cronograma de Pagamento TUSD Fio B	69
Tabela 18 - Projeção de Impacto - Antes	70
Tabela 19 - Projeção de Impacto - Após	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Histórico do Consumo.....	46
Gráfico 2 – Estimativa de Geração.....	58
Gráfico 3 – Estimativa de Geração com Eficiência.....	62
Gráfico 4 – Evolução da Tarifa da Energia Elétrica.....	63
Gráfico 5 - Fluxo de Caixa Acumulado 1.....	66
Gráfico 6 - Fluxo de Caixa Acumulado 2.....	68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.2 Objetivo Geral	16
1.3 Objetivos Específicos	16
1.4 Estrutura do Trabalho	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 Eficiência Energética.....	18
2.1.1 PROCEL.....	19
2.1.2 CONPET	20
2.1.3 PBE	21
2.1.4 Eficiência Energética em Motores	21
2.2 Energia Solar e Sistema Fotovoltaico.....	22
2.2.1 Tecnologias Fotovoltaicas.....	24
2.2.2 Painel Solar Fotovoltaico	26
2.2.3 Sistemas autônomos ou isolados (OFF GRID)	27
2.2.4 Sistemas ligados à rede (ON GRID):	27
2.2.5 Sistemas híbridos.....	28
2.2.6 Equipamentos Auxiliares	29
2.3 Regulamentação da Geração Distribuída	31
2.4 Marco Legal da Geração Distribuída.....	33
3 METODOLOGIA	35
3.1 Classificação da Pesquisa	35
3.2 Método de Pesquisa	36
3.3 Roteiro de Pesquisa	37
4 ESTUDO DE CASO.....	38
4.1 Descrição das Cargas.....	38
4.1.1 Câmera Refrigerada.....	38
4.1.2 Balcão Expositor Principal.....	39
4.1.3 Balcão Expositor Secundário	39
4.1.4 Amaciador de Carne.....	40
4.1.5 Moedor de Carne.....	40
4.1.6 Serra de Fita	41
4.1.7 Máquina de Assar.....	41

4.1.8	Balança Digital.....	42
4.1.9	Telefone.....	42
4.1.10	Televisão	43
4.1.11	Exaustor.....	43
4.1.12	Ventilador de Teto.....	43
4.1.13	Ventilador de Parede	44
4.1.14	Freezer.....	44
4.1.15	Lâmpadas Fluorescentes	45
4.1.16	Liquidificador Industrial	45
4.2	Análise de Consumo de Energia Elétrica	46
4.3	Aplicação da Eficiência Energética no Açougue	49
4.4	Implementação de um Sistema Fotovoltaico sem a Eficiência Energética	52
4.4.1	Análise de Consumo.....	52
4.4.2	Análise do Recurso Solar	53
4.4.3	Potência de Pico do Sistema.....	54
4.4.4	Especificação dos Módulos Fotovoltaicos	54
4.4.5	Quantidade de Módulos Fotovoltaicos para o Sistema	55
4.4.6	Área Necessária.....	55
4.4.7	Especificação do Inversor	56
4.4.8	Estimativa de Geração do SFCR.....	57
4.4.9	Estimativa de Geração ao Longo da Vida Útil.....	57
4.5	Implementação de um Sistema Fotovoltaico com a Eficiência Energética.....	59
4.5.1	Análise de Consumo.....	59
4.5.2	Análise do Recurso Solar	59
4.5.3	Potência de Pico do Sistema.....	59
4.5.4	Especificação dos Módulos Fotovoltaicos	59
4.5.5	Quantidade de Módulos Fotovoltaicos para o Sistema	60
4.5.6	Área Necessária.....	60
4.5.7	Especificação do Inversor	60
4.5.8	Estimativa de Geração do SFCR.....	61
4.5.9	Estimativa de Geração ao Longo da Vida Útil.....	61
5	ANÁLISE FINANCEIRA.....	63
5.1	Sistema Fotovoltaico sem a Eficiência Energética.....	64

5.1.1	Investimento Inicial.....	64
5.1.2	Custos de Manutenção	64
5.1.3	Viabilidade do Projeto.....	65
5.2	Sistema Fotovoltaico com a Eficiência Energética	66
5.2.1	Investimento Inicial.....	67
5.2.2	Custos de Manutenção	67
5.2.3	Viabilidade do Projeto.....	67
5.3	Lei 14.300 - Impacto da cobrança gradual da TUSD Fio na Conta	68
5.3.1	Impacto com Consumo Antes da Aplicação	69
5.3.2	Impacto com Consumo Após a Aplicação	70
6	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	74
	ANEXO 1 - Ficha Técnica Módulo Fotovoltaico	80
	ANEXO 2 – Ficha Técnica do Inversor	82

1. INTRODUÇÃO

A energia tem sido um elemento importante para o desenvolvimento humano e o crescimento econômico. O fornecimento de energia suficiente e acessível é necessário para aumentar o bem-estar humano e os padrões de vida.

A energia desempenha um papel crucial no progresso econômico, uma vez que serve como um componente essencial em praticamente todos os processos de produção. À medida que a economia cresce e se desenvolve a demanda por energia aumenta proporcionalmente. Portanto, é fundamental garantir que essa necessidade seja aprimorada e suprida de maneira eficiente e econômica.

A produção de eletricidade, como no caso da energia solar fotovoltaica, é descrita como a utilização da luz solar utilizando células fotovoltaicas. A sua capacidade de produção de energia varia desde sistemas distribuídos até instalações de grande porte para geração centralizada.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), conforme Figura 1, a matriz elétrica nos anos de 2022/2023 representa um valor de 205.668,5 MW de potência instalada em operação no país. A fonte solar fotovoltaica tornou-se a segunda maior da matriz elétrica brasileira no ano de 2023 alcançando 23,9 GW de potência instalada operacional. Assim a modalidade ultrapassou a fonte eólica, com 23,8 GW, ficando atrás apenas da fonte hídrica, que possui hoje 109,7 GW (ABSOLAR, 2023).



Figura 1 - Potência instalada em operação no País
Fonte: ABSOLAR, 2023

É de extrema importância fazer a utilização de todo o potencial de fontes renováveis disponíveis no país, visando às questões socioeconômicas, aspectos tecnológicos e sustentabilidade, além da geração de empregos e renda para a população. Baseando-se nestes dados o Governo Brasileiro, mirando reduzir o consumo da energia elétrica, vem tomando algumas iniciativas, como a criação, por exemplo, do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) que tem como objetivo orientar a população brasileira a utilizar de forma

inteligente a energia elétrica (GOVERNO DO BRASIL, 2022).

A eficiência energética é, hoje, uma questão crucial para a humanidade. As fontes atuais de energia e padrões de uso são insustentáveis, isso se deve ao consumo cada vez maior de combustíveis fósseis, ocasionando em um enorme dano ao meio ambiente, com riscos precedentes à mudança do clima e esgotamento das reservas de petróleo (IEA, 2022).

Não é uma mensagem pessimista, pois logo adiante acrescenta que uma “revolução energética” é possível e desejável. Enfatizando-se uma eficiência energética muito maior e ganhando-se confiança nas energias renováveis, todos os problemas relativos aos atuais padrões de uso de energia e suas tendências podem ser mitigados.

Os impactos do uso de energia afetam a todos e, conseqüentemente, deve-se haver a preocupação em como usar a energia de forma mais eficiente. No setor industrial, por exemplo, há grande quantidade de processos que podem ser melhorados para aumentar eficiências. Isso diminuiria os custos de produção das indústrias, aumentando a competitividade. Além disso, os benefícios ao meio ambiente seriam notáveis, como o equilíbrio do ciclo hidrológico brasileiro, já que parcela significativa da energia gerada no Brasil provém de usinas hidrelétricas (SANTOS; SILVA, 2020).

1.1 Justificativa

A energia solar fotovoltaica ganhou grande destaque tanto no Brasil quanto no cenário global de energias renováveis. Isso deve aumentar a capacidade de produção, avanços tecnológicos e sua integração com outras fontes de geração de eletricidade, além de diversos benefícios relacionados à utilização de recursos naturais. É correto afirmar que a utilização da energia solar fotovoltaica representa uma das principais ações em prol da sustentabilidade e da preservação do meio ambiente (OLIVEIRA; COSTA, 2021).

Este estudo de caso analisa a eficiência energética de um açougue, mostrando todas as melhorias possíveis de serem implantadas para que a empresa reduza o consumo de energia elétrica, aumentando o seu lucro. Após a melhoria da eficiência energética da unidade consumidora, é realizado um estudo de implantação de sistema fotovoltaico para suprir o consumo próprio, buscando um retorno financeiro mais imediato ao proprietário da empresa, ou seja, buscando aumentar a viabilidade econômica. A obtenção dos dados técnicos e financeiros foram desenvolvidos com o apoio do software PVsyst e uma planilha de cálculos desenvolvida em Microsoft Office Excel, cuja função é auxiliar os cálculos e obter os resultados necessários na elaboração do projeto.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é analisar a eficiência no uso da energia elétrica e implementar um sistema fotovoltaico conectado à rede, em regime de autoconsumo remoto com compensação, visando reduzir o consumo de eletricidade em uma unidade comercial de baixa tensão na cidade de Itajubá.

1.3 Objetivos Específicos

Para que este objetivo seja alcançado, considera-se a realização das seguintes atividades:

- Realizar o levantamento das cargas instaladas;
- Avaliar as cargas utilizadas e verificar o que pode ser melhorado em termos de eficiência energética;
- Identificar os motores que possuem baixa eficiência e realizar a troca dessas cargas visando uma melhor economia;
- Mostrar o novo consumo depois da troca dos equipamentos com baixa eficiência;
- Analisar quais as etapas a serem levadas em consideração para a realização do projeto de implantação do sistema fotovoltaico;
- Mostrar quais serão os equipamentos que serão utilizados no projeto;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico;
- Realizar uma análise financeira detalhada, valor do investimento, tempo de amortização, e gastos com manutenção;
- Realizar um estudo completo no nível de baixa tensão para mostrar a viabilidade;
- Comparar os valores de redução de gastos energéticos com o sistema fotovoltaico antes e após a eficiência energética.

1.4 Estrutura do Trabalho

O capítulo 1, já apresentado, traz uma breve abordagem sobre a busca de novos recursos energéticos no mundo, da situação da matriz elétrica brasileira, destacando os benefícios para a sociedade com um melhor aproveitamento de energia obtido pela eficiência.

O capítulo 2 aborda o conceito de eficiência energética, destacando alguns programas implementados no Brasil, faz uma contextualização dos sistemas fotovoltaicos e apresenta a regulação da geração distribuída.

O capítulo 3 destaca os tipos de ligação fotovoltaicas existentes e aborda os conceitos dos componentes básicos de um sistema de geração fotovoltaico, como: módulos fotovoltaicos, inversores, baterias, etc.

O capítulo 4 faz a descrição de todas as cargas e exhibe todos os cálculos utilizados para melhorar a eficiência do estabelecimento e implementar um sistema fotovoltaico.

O capítulo 5 mostra a análise financeira realizada para verificar a viabilidade do projeto e o tempo de retorno do investimento, também faz uma estimativa de geração para os próximos vinte anos.

Por fim, o capítulo 6 traz os valores obtidos no estudo de caso e as conclusões.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para contextualizar o tema em que se insere este estudo, este capítulo apresenta os programas de eficiência energética desenvolvidos no Brasil e traz conceitos importantes a respeito dos sistemas fotovoltaicos, como os equipamentos para sua instalação e a regulação vigente que aponta o sistema de compensação utilizado.

2.1 Eficiência Energética

Com o país em crescimento econômico, é natural que haja também um crescimento na demanda de energia elétrica. A expansão da oferta de energia elétrica é um processo lento e custoso, por isso investir em eficiência energética pode ser considerado uma alternativa para postergar investimentos em geração. Por isso o consumo otimizado e consciente da energia elétrica é essencial nos dias de hoje, além de contribuir com o meio ambiente, com redução na emissão de gases poluentes e o impacto ambiental.

O tema conservação de energia e eficiência energética começou a ser discutido seriamente na década 1970, com a primeira crise do petróleo, quando a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) tomou o controle do sistema de preços. Com o aumento do preço do petróleo e com a existência do cartel formado pela OPEP, em 1983, houve mudanças significativas na economia mundial. Os países importadores, principalmente os subdesenvolvidos foram afetados significativamente por esse novo cenário. Os países de todo o mundo se depararam com a necessidade de mudar a maneira de utilização da energia que produziam. Dentre muitas ações, grande parte dos países desenvolvidos energo-dependentes incentivaram as empresas a tomarem medidas de efficientização do uso de energia. As ações se deram principalmente na melhoria das instalações, equipamentos e auditorias energéticas (GOLDEMBERG, 2019).

Desde essa época, houve um aumento no consumo de petróleo e carvão, foram criados vários programas nucleares que resultassem em energia elétrica. Nesta época, foi criado o programa Prooálcool e também houve um grande incentivo para que as usinas hidrelétricas fossem expandidas. No Brasil, alguns órgãos operam no ramo de conservação e eficiência energética. A maioria e os mais atuantes destes programas estão diretamente ligados ao governo, em alguns casos raros, estão relacionados de forma direta aos consumidores, são alguns desses programas: PROCEL, CONPET e PBE (ELETROBRAS, 2005).

Após a crise de energia em 2001, começou a ser vigorada no Brasil a primeira lei referente ao assunto, designada Lei nº 10.295, regulamentada pelo Decreto nº 4059/01, estabelecendo a criação de níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, para máquinas, aparelhos e edificações, além de identificar a necessidade de indicadores técnicos e de uma regulamentação específica que estabeleçam a obrigatoriedade dos níveis de eficiência do país (SILVA, 2008).

Devido à percepção da importância do assunto para o Brasil, foi elaborado um Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) que tem por objetivo fazer com que os recursos sejam melhor aplicados para que os resultados venham com maior velocidade, abrangência e amplitude.

2.1.1 PROCEL

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica foi instituído em dezembro de 1985 por meio da Portaria nº 1.877 do Ministério de Minas e Energia (MME). Com o objetivo de promover a racionalização na produção e no consumo de energia elétrica, o programa visa a disseminação de práticas de eficiência energética. Coordenado pelo MME e gerido pela Eletrobras, foram criados diversos subprogramas para alcançar o objetivo principal, destacando-se ações nas áreas de iluminação pública, industrial, saneamento, educação, edificações, prédios públicos, gestão energética municipal, informações, desenvolvimento tecnológico e divulgação" (OLIVEIRA; COSTA, 2021).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) tem desempenhado um papel fundamental na promoção da eficiência energética no Brasil desde sua criação em 1985. Até 2016, o programa havia gerado uma economia de aproximadamente 11,68 bilhões de kWh, representando cerca de 2,5% do consumo total de energia elétrica do país naquele ano (AGÊNCIA BRASIL, 2016).

Em 2024, o Procel alcançou uma economia acumulada de cerca de 263 bilhões de kWh desde sua implementação, abrangendo recursos de diversas fontes, incluindo a Reserva Global de Reversão (RGR) (GOVERNO DO BRASIL, 2024).

Esses resultados destacam a importância contínua do Procel na redução do consumo de energia elétrica e na postergação de investimentos significativos no setor elétrico brasileiro.



Figura 2 – Selo Procel
Fonte: MME, 2011

2.1.2 CONPET

O Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural foi instituído em 18 de julho de 1991 por Decreto Federal. Este programa inicialmente tinha o objetivo de conscientização e capacitação de pessoas bem como realizar diagnósticos em veículos de carga de passageiros (OLIVEIRA; COSTA, 2017). Nos dias de hoje os objetivos principais são:

- Fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia;
- Promover pesquisa e o desenvolvimento tecnológico;
- Reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera;
- Conscientizar os consumidores sobre a importância do uso racional da energia para o desenvolvimento sustentável e melhor qualidade de vida;
- Racionalizar o consumo de derivados de petróleo e do gás natural.

Na Figura 3, têm-se a representação do selo Conpet.



Figura 3 – Selo Conpet
Fonte: MME, 2011

2.1.3 PBE

O Programa Brasileiro de Etiquetagem surgiu em 1984 devido a consolidação de um protocolo entre o Ministério da Indústria e Comércio e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE). O objetivo deste programa é municiar o consumidor de informações a respeito de consumo dos equipamentos eletrodomésticos, pois estas poderiam ter um peso na decisão de compra destes produtos.

Desta forma se prevê uma redução de consumo e assim evita-se um investimento por parte do governo em novas unidades geradoras (ABINEE, 1998). Conforme Figura 4, pode-se identificar a etiqueta constando todas as informações necessárias do produto.

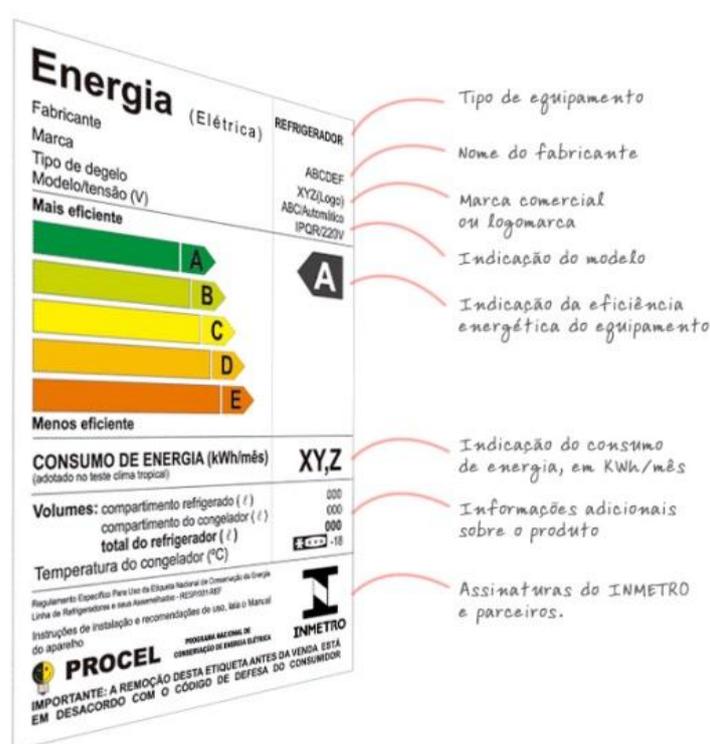


Figura 4 – Etiqueta PBE
Fonte: MME, 2011

2.1.4 Eficiência Energética em Motores

Segundo dados da Eletrobrás, a indústria corresponde a 42% da energia elétrica consumida no Brasil e os motores elétricos correspondem a 70% da energia consumida na indústria. As altas tarifas de energia fazem com que as empresas busquem alternativas para poupar eletricidade, aperfeiçoar processos e reduzir custos. O investimento em Eficiência

Energética é a opção que muitas delas encontraram para ter menos gastos e aumentar a competitividade no mercado (ELETROBRAS, 2022).

O rendimento de um motor elétrico está diretamente relacionado às suas perdas, tanto elétricas quanto mecânicas, e é a relação entre a potência de entrada e a potência fornecida no eixo do motor. Quanto maior o rendimento do motor, menor será o seu aquecimento e maior a eficiência no aproveitamento da potência da rede elétrica, o que resulta em economia nos gastos com energia elétrica.

Nesse contexto de eficiência energética, uma alternativa crescente e cada vez mais adotada por empresas é a energia solar fotovoltaica. Sistemas fotovoltaicos podem complementar ou até substituir o fornecimento convencional de energia elétrica, especialmente para empresas que buscam reduzir seus custos com eletricidade. A instalação de painéis solares não só proporciona uma fonte renovável e sustentável de energia, mas também contribui significativamente para a redução do consumo de energia elétrica proveniente da rede.

A eficiência dos motores elétricos e a adoção de tecnologias sustentáveis, como a energia solar, caminham lado a lado na busca por um uso mais inteligente e econômico da energia. Algumas empresas fabricantes de motores elétricos no Brasil, como a WEG, incentivam essa eficiência com programas que visam a troca de motores antigos e ineficientes por modelos de alto rendimento. A WEG, por exemplo, criou o "Plano de Troca", que oferece aos proprietários de motores sucateados ou com baixa eficiência créditos para a compra de novos motores, em vez de pagamentos em dinheiro, promovendo, assim, uma melhoria contínua na eficiência dos sistemas elétricos (WEG, 2018).

2.2 Energia Solar e Sistema Fotovoltaico

A energia solar representa a fonte de energia mais abundante no mundo. A energia solar interceptada pelo planeta anualmente é cerca de cinco mil vezes superior à soma de todas as outras energias (energia nuclear terrestre, geotermal, gravitacional, etc). Da energia solar extraterrestre – sob a forma de radiação – apenas um terço corresponde ao total da radiação solar terrestre, sendo que dessa porção 70% incidem nos oceanos. No entanto, os restantes 30% que incidem em solo terrestre correspondem a uma quantidade de energia significativa e corresponde a, aproximadamente, seis mil vezes o consumo energético total dos Estados Unidos da América (KALOGIROU, 2019).

armazenamento, além de outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. Por último, o bloco de armazenamento, que é composto por acumuladores elétricos (baterias) e/ou outras formas de armazenamento (FRAAS, 1993).

2.2.1 Tecnologias Fotovoltaicas

Em busca de novas tecnologias para o uso de energias renováveis, os sistemas fotovoltaicos encontram-se em crescente utilização. Com isso, tem-se explorado novos materiais e realizado pesquisas para o avanço da tecnologia fotovoltaica (SMITH, 2022).

O silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas (FV), e se constitui como o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo (ABERLE, 2000).

Existem três tecnologias aplicadas para a produção de células FV, classificadas em três gerações de acordo com seu material e suas características.

A primeira geração é composta por silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representando 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidação e confiança (CEMIG, 2012).

- **Módulo fotovoltaico silício monocristalino (m-Si):**

A maioria dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino é obtida a partir de fatias finas cortadas de um único cristal, produzido pelo processo Czochralski, no qual um cristal semente é puxado a partir de silício fundido. Durante a fabricação, o cristal é dopado com pequenas quantidades de boro, formando um semicondutor do tipo 'p'. Após o corte em wafers, o material é dopado com impurezas do tipo 'n', expostas a vapor de fósforo em fornos de altas temperaturas, criando a junção p-n e garantindo a confiabilidade e eficiência das células fotovoltaicas (CANAL SOLAR, 2021).

- **Módulo fotovoltaico silício policristalino (p-Si):**

A eficiência do módulo fotovoltaico p-Si é menor que a do silício monocristalino, mesmo sendo fabricados pelo mesmo material. Isto, pois, ao invés de ser formado por um único cristal, é fundido e solidificado, resultando em um bloco com grandes quantidades de grãos ou cristais, concentrando maior número de defeitos. Em função destes, o seu custo é mais baixo

quando comparados às células monocristalinas (RUTHER, 2004). Ambas são retratadas na Figura 6.

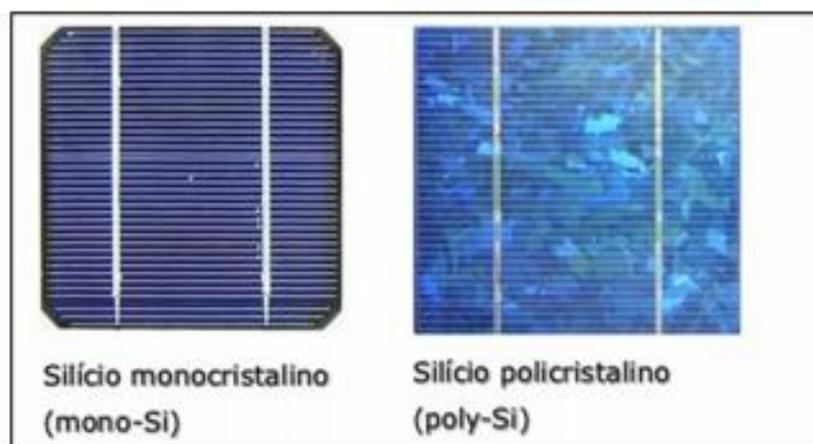


Figura 6 – Comparação entre os silícios
Fonte: Almeida *et al*, 2015.

A segunda geração, também chamada de filmes finos, é dividida em três cadeias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe).

A terceira geração de células solares, conforme definida pelo IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos é caracterizada por:

Dispositivos que oferecem uma utilização mais eficiente da luz solar em comparação com as células que operam com um único band-gap eletrônico. Em linhas gerais, essa geração é projetada para ser altamente eficiente, com um baixo custo por watt gerado, além de empregar materiais que são abundantes e de baixa toxicidade (IEEE, 2014).

Atualmente, os módulos fotovoltaicos de silício monocristalino são amplamente utilizados na geração de energia solar. Esses módulos são compostos por células solares que convertem a luz solar em eletricidade de forma eficiente. Uma inovação significativa nesse campo é o desenvolvimento de células solares bifaciais, que são capazes de captar a luz solar em ambas as faces do módulo, aumentando a produção de energia em até 30% em comparação com os painéis tradicionais monofaciais (IBERDROLA, 2023).

Além disso, as células solares orgânicas ou poliméricas utilizam polímeros semicondutores para converter a luz em eletricidade e oferecem vantagens como flexibilidade, leveza e potencial para aplicações em diversas superfícies. Embora ainda apresentem

eficiências menores e durabilidade limitada em comparação com as tecnologias convencionais, espera-se que, no futuro, se tornem mais baratas, duráveis e eficientes, tornando a energia solar mais acessível (REVISTA CREA, 2023).

2.2.2 Painel Solar Fotovoltaico

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011). Na Figura 7, há a representação de um painel solar.



Figura 7 – Painel Solar
Fonte: PEREIRA e OLIVEIRA, 2011

Atualmente, diversos tipos de módulos solares estão disponíveis no mercado, podendo ser rígidos ou flexíveis, dependendo das células utilizadas. A produção desses módulos tem sido significativamente influenciada por incentivos governamentais, que visam promover a energia solar por meio de benefícios fiscais e ambientais. Esses incentivos incluem isenções de impostos, como ICMS e IPI, além de linhas de crédito com juros reduzidos, facilitando o acesso a sistemas fotovoltaicos. Conseqüentemente, o aumento na produção desses componentes tem contribuído para a redução dos custos de implementação dos sistemas solares (PORTAL SOLAR, 2023).

2.2.3 Sistemas autônomos ou isolados (OFF GRID)

Sistemas autônomos, conforme Figura 8 são sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em locais que não há uma rede de distribuição elétrica. Há dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O sistema com armazenamento pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e em pequenos aparelhos portáteis (ALMEIDA *et al.*, 2015). Enquanto o sistema sem armazenamento apresenta maior viabilidade econômica, pois não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia.

A composição e funcionamento do sistema autônomo para a iluminação pública, por exemplo, poderia ser feita, por: “Um painel fotovoltaico (PV), responsável por carregar as baterias durante o período diurno através de um conversor CC-CC. (...) Durante a noite, as baterias fornecem energia para (...)” os equipamentos que fornecem intensidade luminosa (OLIVEIRA; PEREIRA, 2018).



Figura 8 – Sistema Off Grid
Fonte: COOPE SOLAR

2.2.4 Sistemas ligados à rede (ON GRID):

São aqueles que trabalham conectados à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após a conversão em corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica, conforme Figura 9. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica (LORENZO; BORLONGAN, 2017).

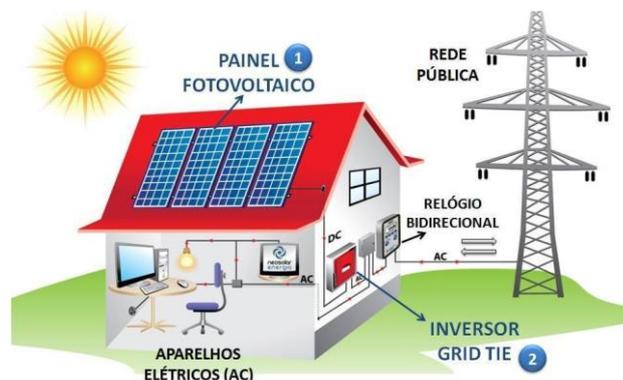


Figura 9 – Sistema On Grid
Fonte: COOPE SOLAR

2.2.5 Sistemas híbridos

Fazendo-se a associação de sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid constitui-se no sistema híbrido. O seu maior benefício é proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa, ou nenhuma, geração. Porém, é apontado como um sistema complexo, pois necessita integrar a produção de energia solar, a energia armazenada nas baterias e a rede externa, atendendo requisitos de segurança, como não energizar a rede externa quando ocorrer uma falha no suprimento (MASTERS, 2004). O sistema fotovoltaico híbrido é ideal para locais com acesso à rede elétrica, mas que necessitam de autonomia energética em caso de falhas. Ele garante eletricidade para residências, comércios, indústrias e regiões remotas, combinando geração solar, armazenamento em baterias e conexão à rede, proporcionando maior confiabilidade e eficiência no suprimento de energia. Na Figura 10, há a representação de um sistema híbrido.



Figura 10 – Sistema Híbrido
Fonte: PEREIRA e OLIVEIRA, 2011

2.2.6 Equipamentos Auxiliares

Para o funcionamento de um sistema fotovoltaico é necessário a instalação de equipamentos auxiliares em conjunto com os módulos. Esses componentes atuam, principalmente, no processo de armazenamento e distribuição da energia elétrica gerada, sendo diferenciados de acordo com o tipo de sistema implantado, on grid ou off grid.

O controlador de carga, também chamado de regulador de carga, é utilizado em sistemas off grid, ou seja, que empregam o uso de baterias para o armazenamento de energia.

Os controladores de carga têm como principal função proteger os acumuladores, isto é, as baterias de sobrecargas do sistema. Além disso, se bem regulados, asseguram que o sistema opere em sua máxima eficiência (ANGELO; NETO, 2022).

Para Monteiro e Zilles (2021), o princípio de funcionamento, da proteção da bateria através dos controladores de carga, consiste em impedir que ela sofra sobrecarga de tensão e prevenir que ela seja completamente descarregada. Ambas as situações acarretam desgaste e, conseqüentemente, diminuição da vida útil da bateria, por isso devem ser controladas. A sobrecarga de tensão pode causar superaquecimento, degradação dos componentes internos e até risco de explosão em casos extremos. Por outro lado, a descarga completa pode levar à sulfatação (no caso de baterias de chumbo-ácido) ou a danos irreversíveis na química da bateria, reduzindo sua capacidade de armazenar energia. Os controladores de carga evitam esses problemas, regulando o fluxo de energia para garantir um funcionamento seguro e duradouro do sistema. O controlador de carga é ilustrado conforme a Figura 11.



Figura 11 – Controlador de Carga

Fonte: Solar Pro Engenharia

As baterias, ou acumuladores, entre os diversos sistemas, são mais utilizadas naqueles isolados da rede elétrica, ou seja, off grid. São dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos, com o intuito de suprir a demanda da mesma na ausência da radiação solar, como visualizado na Figura 12.

Com isso, podem ser consideradas de extrema importância, já que a radiação solar não ocorre nos períodos noturnos, e é reduzida em dias nublados. Existem outros equipamentos capazes de realizar a função de armazenamento da energia, porém, a bateria ainda é utilizada em maior escala, devido à sua eficiência de funcionamento. A bateria é definida como:

(...) um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução que ocorre em seu interior (ANGELO; NETO, 2022).

Segundo Messenger e Ventre (2010) são vários os tipos de baterias existentes, distinguindo-se devido às células empregadas, as quais influenciam diretamente na eficiência de armazenamento. Considerando o fato de que nem todos os modelos são economicamente viáveis, as baterias de chumbo-ácido são as mais utilizadas para os sistemas fotovoltaicos.



Figura 12 – Bateria
Fonte: Solar Pro Engenharia

Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (MESSENGER; VENTRE, 2010).

A energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos é em corrente contínua (CC), o que inviabiliza seu uso direto na maioria dos equipamentos, que operam em corrente alternada (CA). Para resolver essa limitação, utilizam-se inversores, responsáveis por converter a tensão contínua em alternada. Além da conversão, esses dispositivos ajustam a frequência e nível da tensão para garantir a compatibilidade com a rede elétrica pública, seguindo as normas da Aneel, que padronizam a tensão alternada em 60 Hz. Ademais, inversores modernos incorporam a tecnologia MPPT, permitindo que o sistema opere sempre no ponto ótimo de geração, maximizando a eficiência energética (FIGUEIREDO; BET, 2021).

Para selecionar o inversor adequado a ser utilizado em um sistema fotovoltaico, os requisitos a serem analisados são: a forma de onda da carga e a eficiência do próprio inversor (PEREIRA, 2022). Na Figura 13, tem-se a representação de um inversor.



Figura 13 – Inversor

Fonte: Fronius

2.3 Regulamentação da Geração Distribuída

A partir do dia 17 de abril de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que determina que os consumidores brasileiros têm a possibilidade de produzir sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Além disso, podem fornecer o excesso de energia gerado de volta à rede de distribuição local. Isso configura o cenário da Micro e Minigeração Distribuída de Energia Elétrica (ANEEL, 2012).

As razões para promover essa modalidade de geração de energia são respaldadas pelos possíveis ganhos que ela pode proporcionar ao sistema elétrico. Esses benefícios incluem a postergação de investimentos na expansão das infraestruturas de geração, transmissão e distribuição, impacto ambiental reduzido, diminuição da carga nas redes, minimização de perdas e a introdução de variedade na matriz energética (SANTOS; ROSA, 2022).

A Resolução Normativa nº 482 traz a definição da geração distribuída como qualquer central geradora conectada à rede de distribuição de energia elétrica (on-grid) cuja fonte é renovável. Essa geração é categorizada em dois grupos: a microgeração, que abrange centrais com até 75 kW de potência instalada, seja para cogeração qualificada ou proveniente de fonte renovável instalada no local de consumo; e a minigeração, compreendendo centrais geradoras com potência instalada entre 75 kW e 5 MW, utilizando cogeração qualificada ou fontes

renováveis de energia elétrica. Essas centrais estão conectadas à rede de distribuição por meio de instalações em unidades consumidoras, conforme regulamentação da ANEEL.

O cálculo da potência a ser implementada em um sistema de geração distribuída requer a consideração de diversos elementos. Entre eles estão a porcentagem desejada para abatimento na fatura de energia elétrica, a quantidade de crédito a ser gerado mensalmente, as restrições relacionadas à capacidade de entrada de energia do estabelecimento, a disponibilidade de espaço e, por fim, o montante disponível para investimento por parte do consumidor.

Quando a quantidade de energia gerada em um determinado mês supera o consumo, o excedente é convertido em créditos energéticos, que podem ser utilizados para reduzir a fatura nos meses seguintes. Inicialmente, a Resolução Normativa nº 482 (REN 482/2012) da ANEEL estabelecia que esses créditos tinham validade de 36 meses, porém, com a atualização pela REN 687/2015, esse prazo foi ampliado para 60 meses. Além disso, os créditos podem ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades consumidoras do mesmo titular, desde que estejam dentro da área de concessão da mesma distribuidora. Essa possibilidade é conhecida como "autoconsumo remoto" (ANEEL, 2021).

Nos sistemas de micro e minigeração distribuída, o procedimento junto à empresa concessionária de energia começa com a solicitação de acesso à rede de distribuição. Isso é seguido pela aprovação dos projetos e demais documentos necessários. Por fim, as instalações passam por uma inspeção para que o sistema seja oficialmente autorizado a participar do sistema de compensação. O anexo A da Resolução Normativa nº 687/2015 estabelece orientações e prazos regulamentares que devem ser seguidos tanto pela concessionária quanto pelo consumidor. Da mesma maneira, ele define as condições que devem ser consideradas de acordo com o PRODIST, que estabelece requisitos mínimos para cada faixa de potência instalada, visando garantir a segurança e a integração adequada à rede de distribuição.

Por último, é fundamental destacar que, no caso de unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), mesmo que a quantidade de energia injetada na rede seja superior ao consumo, será necessário efetuar o pagamento do custo de disponibilidade. Esse custo é expresso em reais e equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Por outro lado, para consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parte da fatura correspondente à energia pode ser anulada se a quantidade de energia injetada ao longo do mês for igual ou superior à quantidade de energia consumida. No entanto, a parte da fatura associada à demanda contratada será cobrada normalmente.

2.4 Marco Legal da Geração Distribuída

Em janeiro de 2022 foi aprovada a Lei 14.300/2022, estabelecendo o Marco Legal da Geração Distribuída e trouxe alterações significativas ao setor de energia solar no Brasil. Apesar de ter entrado em vigor nessa data, a legislação prevê um período de transição para projetos apresentados até 12 meses após a publicação da Lei. Isso significa que todos os projetos de Geração Distribuída, seja já instalado ou com solicitação de acesso feita até dia 07 de janeiro de 2023, permanecerão sujeitos às regras de compensação vigentes na Resolução 482 (Resolução Normativa nº 482/2012) até 31 de dezembro de 2045. Esse período é conhecido como "período de vacância" (PLANALTO, 2022).

Uma das alterações significativas introduzidas pelo novo marco da geração distribuída no Brasil diz respeito à potência instalada na categoria de minigeração distribuída. No caso de fontes não despacháveis, o limite foi reduzido de 5 MW, conforme estabelecido anteriormente pela REN 482, para 3 MW.

Outra modificação relevante está relacionada à implementação de um sistema de compensação parcial, no qual será necessário efetuar o pagamento do Fio B, que representa a taxa referente à distribuidora de energia, Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Em média, o Fio B corresponde a 30% da redução do crédito injetado. Antes da promulgação da Lei 14.300, existia um sistema de compensação total, operando em uma relação de 1 para 1. Isso significava que toda a energia injetada na rede poderia ser consumida sem incorrer em taxas adicionais, embora as taxas tributárias de PIS e COFINS ainda fossem aplicáveis, independentemente das componentes tarifárias (HC ENERGIA, 2023).

No caso de unidades de minigeração distribuída com capacidade superior a 500 kW, utilizando fontes não despacháveis no formato de autoconsumo remoto ou geração compartilhada, em que um único titular detenha 25% ou mais da participação no excedente de energia elétrica, a cobrança de energia das unidades envolvidas no Sistema de Compensação deve levar em conta, até o ano de 2028, a aplicação:

1. Da totalidade (100%) dos elementos tarifários relacionados à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, à parcela de reintegração regulatória (depreciação) dos ativos de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição — conhecido como FIO B;
2. De 40% dos elementos tarifários relativos ao uso dos sistemas de transmissão da Rede Básica, ao uso dos transformadores de potência da Rede Básica com tensão

inferior a 230 kV, às Demais Instalações de Transmissão (DIT) compartilhadas, ao uso dos sistemas de distribuição de outras distribuidoras e à conexão às instalações de transmissão ou de distribuição — identificado como FIO A;

3. Da totalidade (100%) dos encargos referentes a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética (EE), assim como a Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE).

Os projetos só pagarão essas taxas a partir de 2023, o que ocorrerá escalonadamente, ou seja, ao longo do tempo:

- 15 % (quinze por cento) a partir de 2023;
- 30 % (trinta por cento) a partir de 2024;
- 45 % (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025;
- 60 % (sessenta por cento) a partir de 2026;
- 75 % (setenta e cinco por cento) a partir de 2027;
- 90 % (noventa por cento) a partir de 2028;
- A regra disposta desta Lei a partir de 2029.

Quanto ao custo de disponibilidade, a principal alteração da Lei 14.300 em relação à REN 482 diz respeito à eliminação da duplicidade de créditos. Por exemplo, se um consumidor trifásico consumiu e injetou na rede da distribuidora um total de 500 kWh, anteriormente, deveria pagar a taxa mínima de 100 kWh. A distribuidora zeraria os créditos de energia (Consumida - Injetada) e ainda aplicaria uma cobrança adicional de 100 kWh. Em resumo, haveria a percepção de um consumo de apenas 400 kWh. Com a Lei 14.300, essa duplicidade deixa de existir. O sistema compensa 400 kWh, 100 kWh permanecerão como crédito e o consumidor continua pagando a taxa mínima de 100 kWh (ENERGES, 2023).

A nova legislação permite que o consumidor-gerador escolha livremente quais unidades consumidoras receberão o excedente de energia, sem necessidade de definir percentuais. Além disso, possibilita o faturamento como "B optante" para unidades com geração local de até 112,5 kVA, permitindo um modelo similar ao das unidades em baixa tensão (Grupo B), trazendo mais flexibilidade e possíveis reduções de custos.

3 METODOLOGIA

Inicialmente, este capítulo abordará a classificação da pesquisa, quanto à sua natureza, aos seus objetivos, à sua abordagem e ao seu método. Em seguida, será apresentado um detalhamento do método de pesquisa escolhido, bem como a proposição de um roteiro de pesquisa, o qual conduzirá a aplicação no capítulo seguinte.

3.1 Classificação da Pesquisa

A presente pesquisa pode ser classificada, segundo Silva e Menezes (2005), como aplicada em relação à sua natureza, exploratória em relação aos seus objetivos e quantitativos em relação à sua abordagem, como mostra a Figura 14. Quanto ao método, a escolha foi pelo Estudo de Caso, em coerência ao objetivo geral deste trabalho, agora recordado: analisar a eficiência no uso da energia elétrica e, em seguida, implementar um sistema fotovoltaico conectado à rede, operando em regime de autoconsumo remoto com compensação com foco em reduzir o consumo de eletricidade.

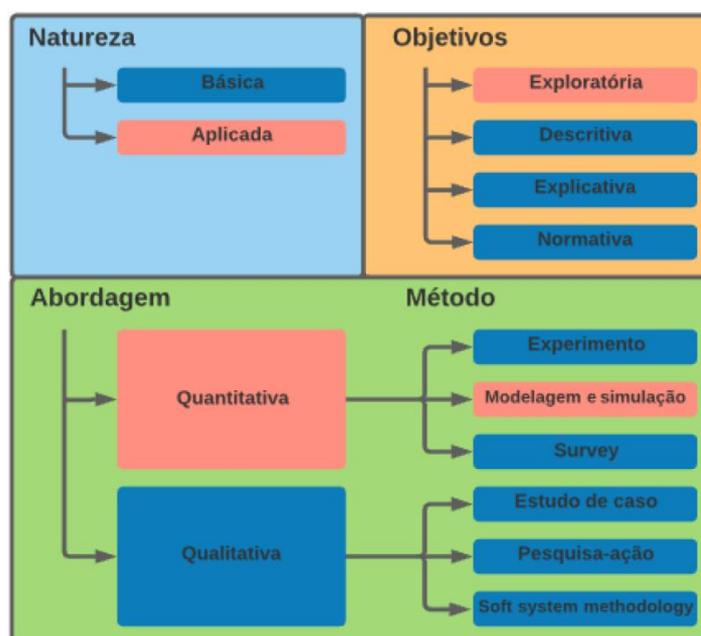


Figura 14 - Classificação da Pesquisa
Fonte: Adaptado de Turrioni e Mello (2012)

De acordo com Silva e Menezes (2005), a pesquisa básica gera conhecimentos novos para o avanço da ciência sem aplicação prática, enquanto a pesquisa aplicada tem como foco gerar conhecimentos para aplicação prática e voltados à solução de problemas específicos.

Nesse sentido, este trabalho se classifica como uma pesquisa aplicada, utilizando-se de conhecimentos já existentes.

Em relação aos seus objetivos, esta pesquisa se caracteriza como exploratória, uma vez que visa proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito ou visando construir hipóteses (GIL, 1999).

Quanto à forma de abordar o problema, a pesquisa se classifica como quantitativa, pois considera que tudo pode ser quantificável, com coleta de dados fundamentada em medição (TURRIONI; MELLO, 2012).

Quanto ao método, trata-se de um Estudo de Caso, tal como reforçado anteriormente, sendo esse melhor apresentado na próxima seção.

3.2 Método de Pesquisa

Segundo Gil (1995), o estudo de caso é caracterizado por sua flexibilidade, não seguindo um roteiro fixo, mas pode ser estruturado em quatro fases principais: a definição da unidade-caso, a coleta de dados, a seleção, análise e interpretação dos dados, e a elaboração do relatório. A definição da unidade-caso refere-se à habilidade do pesquisador em identificar quais dados são necessários para compreender o objeto de estudo em sua totalidade. A coleta de dados pode envolver métodos quantitativos e qualitativos, como análise de documentos, levantamentos de dados, aplicação de questionários com perguntas fechadas, entrevistas formais ou informais, e observação. Na fase de seleção, análise e interpretação dos dados, é essencial considerar a qualidade, a delimitação da amostra e a relevância dos dados em relação aos objetivos estabelecidos. Isso deve ser feito com base em um plano de análise definido previamente, utilizando categorias derivadas das teorias, o que ajuda a manter a imparcialidade do pesquisador. A fase final é a elaboração do relatório, que deve descrever os métodos de coleta de dados, as referências teóricas utilizadas, a categorização dos dados e aspectos relacionados à validade e confiabilidade. O pesquisador precisa integrar os eventos do mundo real às necessidades estabelecidas para a coleta de dados, uma vez que, ao contrário de outras estratégias, ele não controla o ambiente de pesquisa com a mesma precisão (YIN, 2015).

Compreendidas as etapas que compõem o método de pesquisa de um Estudo de Caso, o passo seguinte é descrever como tais etapas serão integradas com os conceitos enxutos, dando origem ao roteiro de pesquisa a ser utilizado na condução deste estudo.

3.3 Roteiro de Pesquisa

Considerando a estrutura das etapas do método de pesquisa do estudo de caso, o estudo proposto será ilustrado na Figura 15.

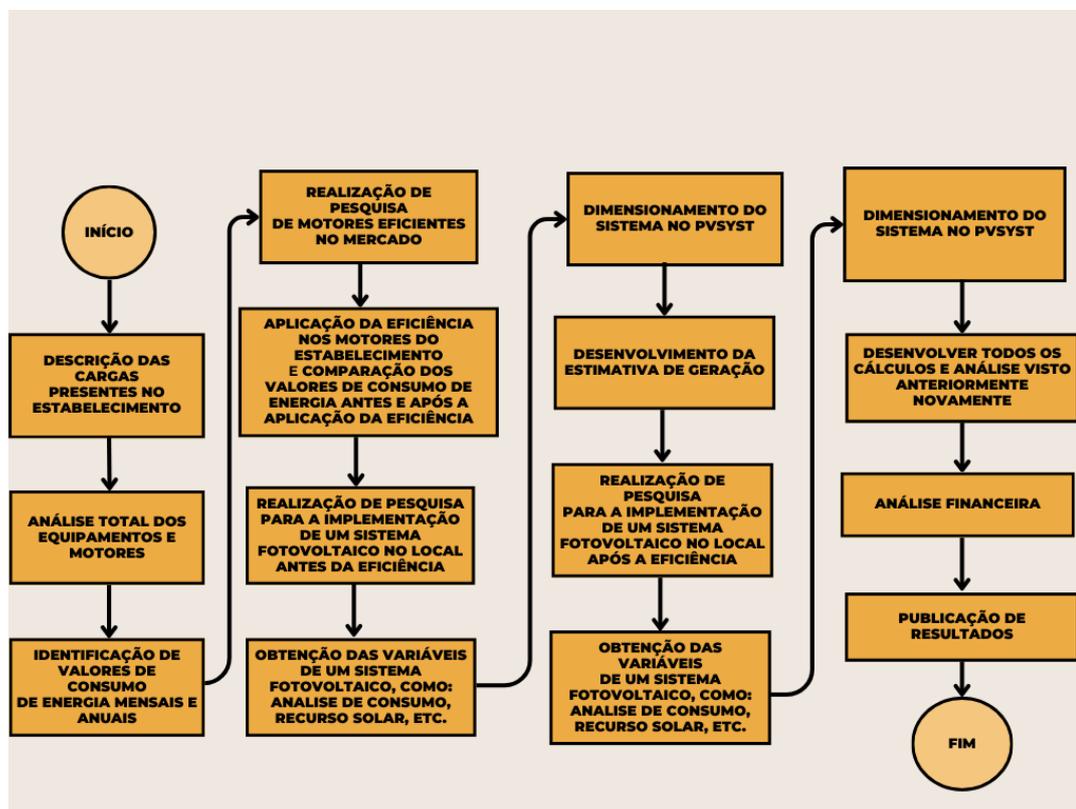


Figura 15 - Fluxograma do Processo
Fonte: Autora

O fluxograma apresenta um processo estruturado para a análise e implementação de eficiência energética e sistemas fotovoltaicos em um estabelecimento.

Levantamento inicial: Descrição das cargas e análise do consumo energético.

Eficiência energética: Pesquisa e aplicação de motores eficientes. Comparação do consumo antes e depois da aplicação.

Análise fotovoltaica: Pesquisa e coleta de dados do sistema fotovoltaico antes e após a eficiência energética.

Dimensionamento do sistema fotovoltaico: Cálculo da geração de energia. Ajustes baseados nos dados obtidos.

Análise financeira e publicação de resultados.

O processo visa otimizar o consumo energético antes da implementação do sistema fotovoltaico, garantindo maior eficiência e viabilidade econômica.

4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a aplicação do roteiro de pesquisa apresentado na Figura 15, ao objeto de estudo.

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso realizado para este trabalho, referente a um açougue. Foi elaborado um estudo em cima das cargas a fim de priorizar a eficiência do estabelecimento. Também foi desempenhada uma análise em relação à instalação de um sistema de geração de energia fotovoltaica.

O comércio atualmente está situado na cidade de Itajubá, Minas Gerais. Este açougue usa energia elétrica em diversos equipamentos, sendo composto por 16 cargas de todos os tipos. O estudo prevê a instalação do sistema fotovoltaico on-grid em uma zona rural no bairro Pessegueiro, na cidade de Delfim Moreira. A instalação das placas será do tipo solo e a área escolhida para o sistema está mostrada na Figura 16.



Figura 16 - Área escolhida
Fonte: Autora

4.1 Descrição das Cargas

4.1.1 Câmara Refrigerada

A câmara refrigerada (ou câmara frigorífica), vista na Figura 17, é uma instalação que serve para armazenar os produtos em uma temperatura controlada, própria para o armazenamento de carnes, sua temperatura pode variar de $-20 [C^{\circ}]$ até os $20 [C^{\circ}]$. No estabelecimento encontra-se uma única câmara refrigerada com potência de $1,3 [kW]$.



Figura 17 – Câmara Refrigerada
Fonte: Autora

4.1.2 Balcão Expositor Principal

O balcão expositor visto na Figura 18, é um dos equipamentos mais importantes em um açougue, ele mantém as carnes refrigeradas adequadamente enquanto estão sendo expostas para os clientes. Os balcões possuem um sistema de refrigeração ideal que não permite que as carnes congelem. Sua temperatura pode variar de 1 [°C] até 7 [°C]. Este equipamento possui uma potência de 0,3 [kW].



Figura 18 – Balcão Expositor Principal
Fonte: Autora

4.1.3 Balcão Expositor Secundário

O balcão expositor secundário, Figura 19, tem a mesma função do balcão principal, ele também mantém os produtos refrigerados em uma temperatura ideal para que não haja o congelamento dos produtos, ele também é utilizado para refrigerar bebidas como refrigerantes, sucos, água, etc. Sua temperatura pode chegar até os 2 [°C]. O equipamento possui uma potência de 0,27 [kW].



Figura 19 – Balcão Expositor Secundário
Fonte: Autora

4.1.4 Amaciador de Carne

O amaciador de carne, como visualizado na Figura 20, tem dois tipos de funcionalidades: deixar a carne mais macia, isso porque ocorre a quebra das fibras pela lâmina, e também faz com que o tempero seja introduzido mais facilmente em toda a extensão da carne. Possui uma potência de 0,4 [kW].



Figura 20 – Amaciador de Carne
Fonte: Autora

4.1.5 Moedor de Carne

A função do moedor de carne é triturar e moer os mais variados tipos de carne, isso faz com que o alimento passe a ter uma nova categoria, pois o cliente tem diversas opções para preparar e consumir esse tipo de carne. Na Figura 21 é possível visualizar sua estrutura física. Possui uma potência de 2 [kW].



Figura 21 – Moedor de Carne

Fonte: Autora

4.1.6 Serra de Fita

A serra de fita, vista na Figura 22, é um equipamento que possui uma fita que se movimenta acionada por um motor elétrico. Ela é utilizada para o corte de grandes pedaços de carne que contém ossos, ou também que não possuem ossos. Sua potência é de 1,4 [kW].



Figura 22 – Serra de Fita

Fonte: Autora

4.1.7 Máquina de Assar

A máquina de assar, como visualizada na Figura 23, serve para assar carnes e frangos, ela possui 8 grelhas removíveis ligadas a um eixo giratório que permite assar os produtos por igual, A máquina de assar frangos utiliza botijão de gás, um botijão consegue trabalhar por até 16 horas. Sua potência é de 0,28 [kW].



Figura 23 – Máquina de Assar
Fonte: Autora

4.1.8 Balança Digital

A balança digital é um equipamento que tem por finalidade medir a quantidade de carne que está sendo vendida, ela também tem a função "memória" que consegue guardar os valores e fazer o somatório da compra de cada cliente. Este equipamento possui uma potência de 0,20 [kW] e está representada pela Figura 24.



Figura 24 – Balança Digital
Fonte: Autora

4.1.9 Telefone

Conforme Figura 25, o telefone é utilizado para estabelecer comunicação entre o comerciante e o cliente, é utilizado para anotar pedidos para entrega e fazer contato com fornecedores. Sua potência é de 0,005 [kW].



Figura 25 – Telefone
Fonte: Autora

4.1.10 Televisão

A televisão, vista na Figura 26, serve para fornecer informações e entretenimento para os colaboradores do açougue enquanto estão trabalhando, é um dos equipamentos menos utilizados no local. Tem uma potência de 0,08 [kW].



Figura 26 – Televisão
Fonte: Autora

4.1.11 Exaustor

O exaustor, visualizado na Figura 27, tem o objetivo de fazer com que o ar circule dentro do açougue quando está fechado. A sua principal função é retirar o ar com excesso de temperatura no qual é gerado pela câmara fria. Possui uma potência de 0,21 [kW].



Figura 27 – Exaustor
Fonte: Autora

4.1.12 Ventilador de Teto

Conforme a Figura 28, o ventilador de teto fica localizado em cima da mesa de manipulação de carnes para que possa ventilar o ambiente e trazer um alívio para os funcionários nos dias de calor. Possui uma potência de 0,13 [kW].



Figura 28 – Ventilador de Teto
Fonte: Autora

4.1.13 Ventilador de Parede

O ventilador de parede, como visualizado na Figura 29, tem a função de ventilar o ambiente. Possui uma potência de 0,2 [kW].



Figura 29 – Ventilador de Parede
Fonte: Autora

4.1.14 Freezer

Possui a função de congelar os alimentos, o que impede a proliferação de micro-organismos e, conseqüentemente, garante que eles não estraguem e possam ser armazenados por um longo tempo. Na Figura 30 é possível visualizá-lo. Possui uma potência de 0,3 [kW].



Figura 30 – Freezer

Fonte: Autora

4.1.15 Lâmpadas Fluorescentes

Conforme Figura 31, são usadas para a iluminação do estabelecimento, cada lâmpada possui uma potência de 0,02 [kW], no total, o estabelecimento possui 6 lâmpadas.



Figura 31 – Lâmpadas Fluorescentes

Fonte: Autora

4.1.16 Liquidificador Industrial

Na Figura 32 é representado o liquidificador, que tem a função de realizar preparos que são utilizados no estabelecimento. Possui uma potência de 1,1 [kW].



Figura 32 – Liquidificador Industrial

Fonte: Autora

4.2 Análise de Consumo de Energia Elétrica

Inicialmente, é necessário estimar qual é a média de consumo do açougue. A melhor forma de obter estes dados é através da análise da fatura de energia emitida pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), concessionária local, que por determinação da ANEEL, apresenta o histórico de consumo de meses anteriores.

O período analisado foi de agosto de 2021 a julho de 2022, totalizando 12 meses, como mostra o Gráfico 1 com um consumo médio mensal de 1.584,67 [kWh/mês].

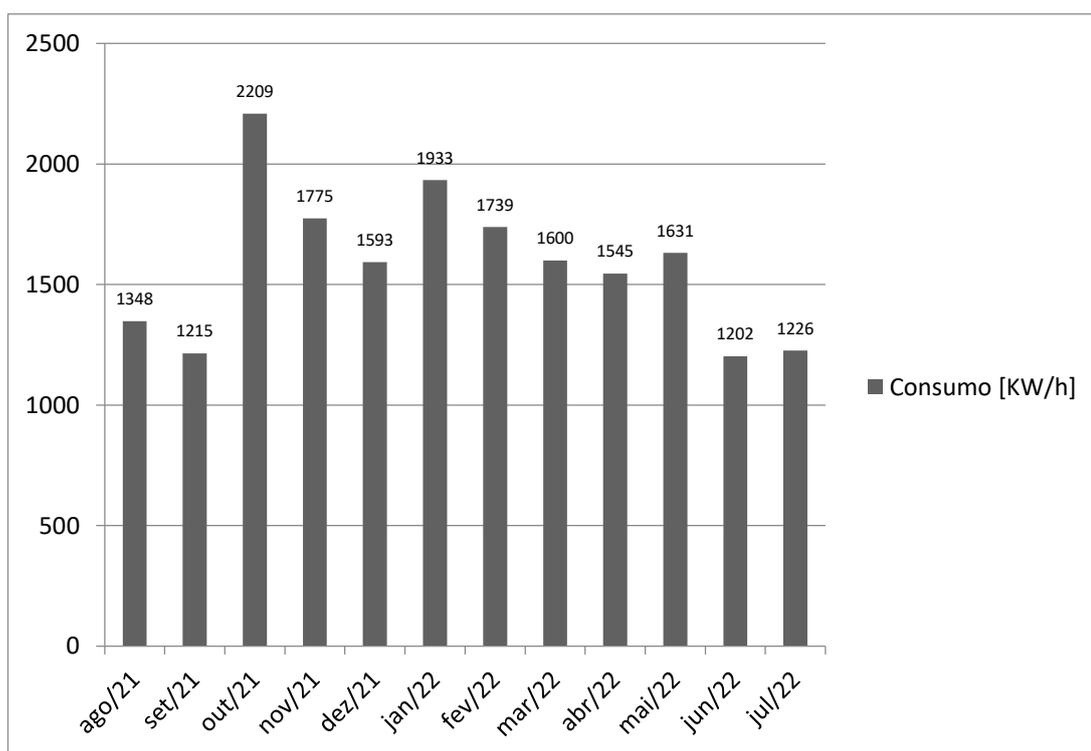


Gráfico 1 – Histórico do Consumo

Fonte: Fatura de Consumo de Energia Emitida pela Cemig

Após a análise do consumo de energia gasto no açougue, foi realizado um estudo sobre as cargas atuais do local, conforme Tabela 1, informando a quantidade de cada equipamento, sua potência unitária e potência total.

Tabela 1 – Potência dos Equipamentos

Equipamento	Quantidade	Potência total [kW]
Amaciador de carne	1	0,44
Serra de fita	1	1,4
Moedor de carne	1	2
Câmara refrigerada	1	1,3
Balcão expositor 1	1	0,3
Balcão expositor 2	1	0,27

Freezer	1	0,3
Televisão	1	0,08
Telefone	1	0,005
Máquina de assar	1	0,28
Balança digital	1	0,2
Ventilador de teto	1	0,13
Ventilador de parede	1	0,1
Lâmpadas fluorescentes	6	0,12
Exaustor	1	0,21
Liquidificador industrial	1	1,1
Potência Total Instalada		8,235

Fonte: Autora

Com os dados da potência, foi realizada uma verificação do tempo médio de uso de cada equipamento, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Tempo Médio de Consumo

Equipamento	Tempo Médio de Uso Diário [horas / dia]
Amaciador de carne	1,5
Serra de fita	1,5
Moedor de carne	2
Câmara refrigerada	20
Balcão expositor 1	12
Balcão expositor 2	12
Freezer	24
Televisão	2
Telefone	2
Máquina de assar	5 (uma vez na semana)
Balança digital	10
Ventilador de teto	2
Ventilador de parede	2
Lâmpadas fluorescentes	6
Exaustor	12
Liquidificador industrial	0,03

Fonte: Autora

Logo após este processo, realizou-se a contagem do tempo médio total de consumo de cada equipamento no mês, representado em horas, indicado na tabela 3.

Tabela 3 – Tempo Total de Consumo

Equipamento	Tempo Total de Uso Mensal [horas / mês]
Amaciador de carne	45
Serra de fita	45
Moedor de carne	60
Câmara refrigerada	600
Balcão expositor 1	360
Balcão expositor 2	360
Freezer	720

Televisão	60
Telefone	60
Máquina de assar	20
Balança digital	300
Ventilador de teto	60
Ventilador de parede	60
Lâmpadas fluorescentes	180
Exaustor	360
Liquidificador industrial	0,9

Fonte: Autora

Com todos os dados em mãos, realizou-se o cálculo da energia consumida mensalmente, através da equação 1:

$$E = P \times T \quad (1)$$

sendo:

E - Energia Consumida [kWh]

P - Potência [kW]

T - Tempo de uso [h]

Conforme tabela 4, é possível notar os valores encontrados para cada equipamento mensalmente e anualmente.

Tabela 4 – Energia Consumida Mensal e Anual

Equipamento	Energia Consumida Mensal [kWh / mês]	Energia Consumida Anual [kWh / ano]
Amaciador de carne	18	216
Serra de fita	63	756
Moedor de carne	120	1440
Câmara refrigerada	780	9360
Balcão expositor 1	108	1296
Balcão expositor 2	97,2	1166,4
Freezer	216	2592
Televisão	4,8	57,6
Telefone	0,3	3,6
Máquina de assar	5,6	67,2
Balança digital	60	720
Ventilador de teto	7,8	93,6
Ventilador de parede	12	144
Lâmpadas fluorescentes	21,6	259,2
Exaustor	75,6	907,2
Liquidificador industrial	0,99	11,88

Fonte: Autora

De acordo com os dados, têm-se as seguintes informações disponíveis na tabela 5:

Tabela 5 – Energia Atual

Energia Total do Mês:	1590,89[kWh]
Energia Média Diária:	53,02[kWh]
Energia Total Anual:	19090,68 [kWh]

Fonte: Autora

Utilizando uma tarifa no valor de R\$0,89 pode-se obter o valor da fatura para o consumo mensal e anual do açougue, conforme equação 2:

$$\text{Consumo Mensal} = \text{Energia Total do Mês} * 0,89 \quad (2)$$

$$\text{Consumo Mensal} = 1590,89 * 0,89 = R\$1415,89$$

Diante disso, obtêm-se todos os dados necessários sobre o consumo do açougue para que fosse iniciado o estudo, voltado para a eficiência e diminuição do consumo utilizado.

4.3 Aplicação da Eficiência Energética no Açougue

Para este passo, foi realizado um estudo para saber quais cargas do local poderiam estar sendo substituídas por novas, que foram as seguintes:

- Amaciador de carne;
- Serra de fita;
- Moedor de carne;
- Câmara refrigerada;
- Balança digital;
- Lâmpadas fluorescentes por lâmpadas led;
- Exaustor;
- Liquidificador Industrial.

Com esta troca, o estabelecimento estaria reduzindo os custos e garantindo uma melhor eficiência.

Os novos valores de potência dos equipamentos citados acima, são demonstrados na tabela 6.

Tabela 6 – Comparativo de Potência das Cargas

Equipamento	Quantidade	Potência Antiga [kW]	Potência Nova [kW]
Amaciador de carne	1	0,44	0,37
Serra de fita	1	1,4	0,8
Moedor de carne	1	2,0	0,92
Câmara refrigerada	1	1,5	1,3
Balcão expositor 1	1	0,3	0,3
Balcão expositor 2	1	0,27	0,27
Freezer	1	0,3	0,3
Televisão	1	0,08	0,08
Telefone	1	0,005	0,005
Máquina de assar	1	0,28	0,28
Balança digital	1	0,2	0,05
Ventilador de teto	1	0,13	0,13
Ventilador de parede	1	0,1	0,1
Lâmpadas LED	6	0,12	0,036
Exaustor	1	0,21	0,17
Liquidificador industrial	1	1,1	0,8

Fonte: Autora

Utilizando os mesmos valores de tempo de utilização de cada equipamento, informados na Tabela 3, fazem-se os cálculos da energia mensal e anual, dispondo da equação (1) utilizada. Os valores estão representados na tabela 7.

Tabela 7 – Nova Energia Consumida Mensal e Anual

Equipamento	Energia Consumida Mensal [kWh / mês]	Energia Consumida Anual [kWh / ano]
Amaciador de carne	16,65	199,8
Serra de fita	36	432
Moedor de carne	55,2	662,4
Câmara refrigerada	720	8640
Balcão expositor 1	108	1296
Balcão expositor 2	97,2	1166,4
Freezer	216	2592
Televisão	4,8	57,6
Telefone	0,3	3,6
Máquina de assar	6,72	80,64
Balança digital	15	180
Ventilador de teto	7,8	93,6
Ventilador de parede	6	72
Lâmpadas LED	6,48	77,76
Exaustor	61,2	734,4
Liquidificador industrial	0,72	8,64

Fonte: Autora

De acordo com os dados, têm-se as seguintes informações disponíveis:

Tabela 8 – Potência e Energia

Energia Total do Mês:	1341,42 [kWh]
Energia Média Diária:	44,71 [kWh]
Energia Total Anual:	16097,04 [kWh]

Fonte: Autora

Utilizando uma tarifa no valor de R\$0,89 pode-se obter o valor do consumo mensal e anual do açougue, conforme equações abaixo.

$$\text{Consumo Mensal} = \text{Energia Total do Mês} * 0,89 \quad (3)$$

$$\text{Consumo Mensal} = 1341,42 * 0,89$$

$$\text{Consumo Mensal} = R\$1193,86$$

Com estes dados, é possível confirmar que com a implantação do estudo no local, realizando a troca de equipamentos, houve uma redução de custos na conta de energia.

Antes da adoção de medidas de eficiência energética, o valor da fatura para o consumo mensal era de R\$1415,89. Após a otimização do consumo, o novo valor passou a ser R\$1193,86, representando uma redução de aproximadamente 15% no custo total da energia consumida em relação ao valor inicial. Ressalta-se que essa economia foi calculada sem considerar os custos de aquisição dos novos equipamentos permanentes do estabelecimento. Na Tabela 9, é possível visualizar a comparação entre os dois valores.

Tabela 9 – Comparativo de Valores

Valor da fatura para o Consumo Mensal Antigo:	R\$1415,89
Valor da fatura para o Consumo Mensal Atual:	RS1193,86
Diferença:	R\$222,03
Redução:	15%

Fonte: Autora

Uma rotina de manutenção preventiva é outro ponto a ser lembrado. Estudos indicam que uma empresa pode reduzir o consumo em até 10% apenas com o esforço de manutenção preventiva. Quando feita de forma adequada, ela garante maior durabilidade e melhor desempenho aos equipamentos. Também traz economia com reparos e evita sobrecargas.

Manter atenção sobre os equipamentos é, portanto, essencial. Contudo, existem muitas possibilidades de redução de custos com energia, como com a implantação de um sistema fotovoltaico.

4.4 Implementação de um Sistema Fotovoltaico sem a Eficiência Energética

Como uma segunda alternativa, visando à economia do estabelecimento, realizou-se um estudo para que fosse implantado um sistema fotovoltaico no local com os valores atuais do estabelecimento.

Será feita uma aplicação de um sistema on grid, no qual a energia é injetada diretamente na rede de transmissão. Um fato importante para ser destacado é que, mesmo que a energia injetada na rede seja maior do que o consumo, o consumidor haverá de pagar sempre o referente ao CD (Custo de Disponibilidade), neste caso, como se trata de uma instalação trifásica, o pagamento será de 100kWh.

4.4.1 Análise de Consumo

Ao iniciar o projeto, é necessário possuir os dados da média de consumo de energia elétrica da unidade consumidora.

$$Energia\ Média\ Mensal = 1590,89 [kWh]$$

Para encontrar o valor de energia elétrica que realmente trará economia, será dado pela equação 4:

$$E_c = E_{médio} - CD \quad (4)$$

sendo:

E_c – Energia de Compensação v(kWh)

$E_{médio}$ – Consumo de Energia Média Mensal (kWh/mês)

CD - Custo de Disponibilidade (kWh/mês)

Para dimensionar o SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede), deve-se trabalhar com o valor de geração diária. Logo, o valor encontrado de “Ec” será dividido por 30 para determinar o valor de Energia de Compensação Diária (Ecd), conforme equação 5:

$$Ecd = \frac{Ec}{30} \quad (5)$$

Desse modo, têm-se que:

$$Ec = 1590,89 - 100 = 1490,89 \text{ kWh}$$

$$Ecd = \frac{1490,89}{30} = 49,69 \text{ kWh}$$

Então, obtêm-se o valor de 49,69kWh/dia, que é a potência ideal que o sistema deverá gerar por dia.

4.4.2 Análise do Recurso Solar

Quando se têm um sistema com a mesma potência instalada pode haver geração diferente, dependendo da região situada. Entretanto, devem-se obter os valores de irradiação solar média do local onde haverá a implantação do sistema fotovoltaico

Para este caso, foi escolhida a fonte de dados do CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito), que fornecem valores de irradiação solar com média mensal em kWh/m²/dia ou HSP (horas de sol-pico).

Para a cidade de Itajubá, onde o SFCR será instalado, o valor da média de irradiação solar mensal é de 5,08kWh/m²/dia ou HSP, conforme Figura 33.

Estação: Itajuba
Município: Itajuba , MG - BRASIL
Latitude: 22,401° S
Longitude: 45,449° O
Distância do ponto de ref. (22,4269° S: 45.453° O) :2.9 km

Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
0° N	5,38	5,66	4,92	4,56	3,85	3,61	3,83	4,70	4,97	5,42	5,40	5,77	4,84
22° N	4,90	5,41	5,05	5,15	4,73	4,67	4,86	5,57	5,29	5,30	4,98	5,16	5,09
21° N	4,93	5,44	5,06	5,13	4,70	4,63	4,82	5,54	5,29	5,32	5,01	5,20	5,09
25° N	4,80	5,34	5,03	5,18	4,81	4,77	4,96	5,64	5,29	5,24	4,88	5,05	5,08

Figura 33 – Irradiação Solar Média Mensal de Itajubá
 Fonte: CRESESB

4.4.3 Potência de Pico do Sistema

A potência de pico (P_p) pode ser definida como a máxima potência que um determinado arranjo de painéis fotovoltaicos pode gerar.

Com a radiação solar incidente, calcula-se a potência pico ideal, por:

$$P_{pico} = \frac{E_{cd}}{HSP} \quad (6)$$

sendo:

P_{pico} – potência pico sistema fotovoltaico (kWp)

H_{sp} – valor médio radiação solar (kWh/m².dia).

Valor para Itajubá = 5,08 kWh/m².dia

Desse modo, têm-se que:

$$P_{pico} = \frac{49,69}{5,08} = 9,78 \text{ kWp}$$

Então, a potência pico do sistema será de 9,78kWp, ou seja, essa é a potência ideal que o sistema deverá ser projetado para atender diariamente 100% das necessidades de energia elétrica do estabelecimento.

4.4.4 Especificação dos Módulos Fotovoltaicos

Com o valor ideal do sistema, já é possível especificar os módulos fotovoltaicos que são geralmente identificados por sua potência elétrica de pico, conhecida por Wp. Para este caso foi escolhido o Módulo Fotovoltaico Canadian Solar CS6U-340, que oferece 340 Wp de potência, monocristalino.

Na Figura 34, as características elétricas do módulo fornecido pelo fabricante.

Tolerância:	0 ~ + 5 Watts
Voltagem de Máxima Potência (Vm) :	37,2 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im):	8,88 Amps
Voltagem de Circuito Aberto (Voc):	45,6 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	9,45 Amps
Voltagem Máxima do Sistema:	1000 Volts
Eficiência do Painel:	16,97%
Coefficiente de Temperatura da Potência(Pm):	-0,41 %/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente(Isc):	0,053 %/°C
Coefficiente de Temperatura da Voltagem(Voc):	-0,31 %/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	43±2°C

* Condição padrão de teste STC/CPT: Irradiação de 1.000 W/m², Espectro de Massa de Ar 1.5 e Temperatura de Célula de 25°C

Figura 34 – Características Elétricas do Módulo Fotovoltaico

Fonte: Datasheet do Módulo Fotovoltaico

4.4.5 Quantidade de Módulos Fotovoltaicos para o Sistema

Com a potência de pico do sistema, é possível determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários.

$$N = \frac{P_{pico}}{W_p} \quad (7)$$

sendo:

N – Número de módulos fotovoltaicos

W_p – Potência de pico do módulo fotovoltaico

Desse modo, tem-se que:

$$N = \frac{9,78k}{340} = 28,76$$

Portanto, a quantidade de módulos fotovoltaicos fica especificada para 29 unidades para atender a demanda do local em 100%.

4.4.6 Área Necessária

Com a quantidade de módulos necessários, é possível determinar a área necessária para a instalação. A Figura 35 mostra as características mecânicas do módulo, onde se encontra suas dimensões.

MECHANICAL DATA	
Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6×12)
Dimensions	1960×992×40 mm (77.2×39.1×1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per Container (40' HQ)	624 pieces

Figura 35 – Características Mecânicas do Módulo
Fonte: Datasheet do Módulo Fotovoltaico

De acordo com as dimensões, chega-se ao valor de área que cada módulo irá ocupar que é de 1,94 m², ou seja, seria necessária uma área de aproximadamente 56,2m² para a instalação de todos os módulos. Porém, pede-se que acrescente a esta área um valor de 15% para os espaços entre os módulos.

Para dimensionar a área necessária para instalar uma potência de 1.590,89 kW foi utilizado o software PVSyst, Figura 36, que constatou a necessidade de 68 m² de área.



Figura 36 – PVSyst
Fonte: Autora

4.4.7 Especificação do Inversor

Para este projeto, foi especificado um inversor trifásico Solar da fabricante Deye Sun, com potência de 15kW, suficiente para atender os 9,78kWp do sistema.

Na Figura 37, as especificações do inversor no datasheet.

Dados de entrada CC

Potência Máxima de Entrada: 19,5 KWp

Tensão máx. de entrada: 800 VCC

Faixa de Operação MPPT: 200~700 VCC

Corrente DC máxima por MPPT: 32A

Corrente de curto DC máxima por MPPT: 48A

Dados de saída CA

Potência nominal de saída: 15KW

Operação: Trifásico

Tensão nominal: 127/220V

Frequência nominal: 50Hz/60Hz

Corrente máx. de saída: 43,3A

Figura 37 – Especificações do Inversor
Fonte: Datasheet do Inversor

4.4.8 Estimativa de Geração do SFCR

Para a estimativa de geração, serão utilizados os dados de radiação obtidos no site CRESESB, disponíveis na Figura 33, tais valores são de radiação incidente a 90° na superfície. Multiplicando os valores de irradiação diária pelos dias de cada mês têm-se os valores de irradiação solar mensal. Em seguida, somando-os valores tem-se o acumulado no período de 1 ano, que é de 1854,55 kWh/m²/ano.

Tais informações podem ser observadas na tabela 10.

Tabela 10 – Potencial Solar

Mês	Irradiação Média Diária (kWh/m ² /dia)	Dias do mês	Mensal (kWh/m ² /mês)
Janeiro	4,8	31	148,8
Fevereiro	5,34	28	149,52
Março	5,03	31	155,93
Abril	5,18	30	155,4
Mai	4,81	31	149,11
Junho	4,77	30	143,1
Julho	4,96	31	153,76
Agosto	5,64	31	174,84
Setembro	5,29	30	158,7
Outubro	5,24	31	162,44
Novembro	4,88	30	146,4
Dezembro	5,05	31	156,55
Média	5,08	-	154,55
Total	-	-	1854,55

Fonte: Autora

Multiplicando-se a potência pico do sistema pelo potencial solar mensal, chega-se ao valor de energia ideal mensal e ao acumulado no período de 1 ano, que é de 18.137,49kWh.

4.4.9 Estimativa de Geração ao Longo da Vida Útil

De acordo com os dados dos próprios fabricantes, os módulos perdem eficiência ao longo de sua vida útil. Os valores adotados para perdas de eficiência em SFCR são de 1% a 2% para o primeiro ano e de 0,5% a 1% nos demais anos.

Para este caso, foi utilizado 1,2% de perda de eficiência para o primeiro ano e 0,7% para os demais em uma estimativa de 20 anos.

Na tabela 11 é possível identificar a geração correspondente de cada período analisado.

Tabela 11 – Estimativa de Geração em 20 Anos

Período	Geração
2022	18137,49
2023	17919,84
2024	17794,40
2025	17669,84
2026	17546,15
2027	17423,33
2028	17301,37
2029	17180,26
2030	17059,99
2031	16940,57
2032	16821,99
2033	16704,24
2034	16587,31
2035	16471,20
2036	16355,90
2037	16241,41
2038	16127,72
2039	16014,82
2040	15902,72
2041	15791,40
2042	15680,86

Fonte: Autora

O sistema será capaz de gerar em média 17,68kWh por ano, durante os primeiros vinte anos de operação, conforme gráfico 2.

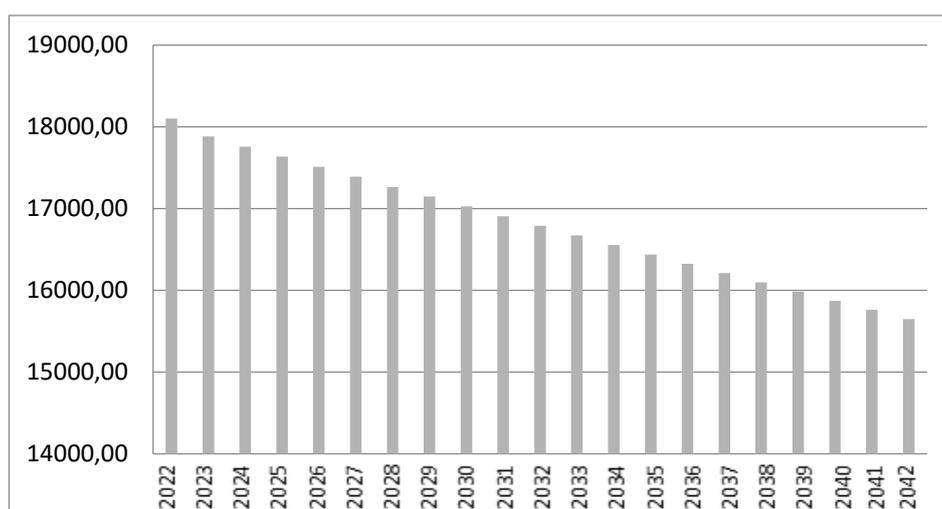


Gráfico 2 – Estimativa de Geração

Fonte: Autora

4.5 Implementação de um Sistema Fotovoltaico com a Eficiência Energética

Realizou-se um estudo para que fosse implementado um sistema fotovoltaico no local com os novos valores do estabelecimento, após a aplicação da eficiência energética.

Conforme informado anteriormente, o Custo de Disponibilidade, neste caso, como se trata de uma instalação trifásica, será de 100kWh.

4.5.1 Análise de Consumo

Analisando os novos dados do estabelecimento, têm-se que:

$$Energia\ Média\ Mensal = 1341,42 \text{ [kWh]}$$

Utilizando as equações (4) e (5), têm-se que:

$$E_c = 1432,32 - 100 = 1241,42 \text{ kWh}$$

$$E_{cd} = \frac{1332,32}{30} = 41,38 \text{ kWh}$$

Então, chega-se ao valor de 41,38kWh/dia, que é a potência ideal que o sistema deverá gerar por dia.

4.5.2 Análise do Recurso Solar

Conforme visto na Figura 33, para a cidade de Itajubá, onde o SFCR será instalado, o valor da média de irradiação solar mensal é de 5,08kWh/m²/dia ou HSP.

4.5.3 Potência de Pico do Sistema

Segundo a equação (6), conclui-se que:

$$P_{pico} = \frac{41,38}{5,08} = 8,14 \text{ kWp}$$

Então, a potência pico do sistema será de 8,14kWp, ou seja, essa é a potência ideal que o sistema deverá ser projetado para atender diariamente 100% das necessidades de energia elétrica do estabelecimento.

4.5.4 Especificação dos Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico para este caso é o mesmo que foi especificado anteriormente, visto na Figura 32, o Módulo Fotovoltaico Canadian Solar CS6U-340M5, que oferece 340 Wp de potência, monocristalino.

4.5.5 Quantidade de Módulos Fotovoltaicos para o Sistema

Utilizando-se a equação (7), chega-se aos seguintes valores:

$$N = \frac{8,14k}{340} = 23,95$$

Portanto, a quantidade de módulos fotovoltaicos fica especificada para 24 unidades para atender a demanda do local em 100%.

4.5.6 Área Necessária

De acordo com as dimensões do módulo, que foram especificadas na Figura 33 é possível calcular o valor da área necessária. Sendo assim, seria necessária uma área de aproximadamente 46,5m² para a instalação de todos os módulos. Porém, pede-se que acrescente a esta área um valor de 15% para os espaços entre os módulos.

Para dimensionar a área necessária para instalar uma potência de 1.341,42 kW foi utilizado o software PVSyst, Figura 38, que constatou a necessidade de 57m² de área.



Figura 38 - PVSyst 2
Fonte: Autora

4.5.7 Especificação do Inversor

Para este projeto, foi especificado um inversor trifásico Solar do fabricante Deye Sun, com potência de 10kW, suficiente para atender os 8,14kWp do sistema.

Dados de entrada CC	Dados de saída CA
Potência Máxima de Entrada: 13 KWp	Potência nominal de saída: 10KW
Tensão máx. de entrada: 550 VCC	Operação: Monofásico
Faixa de Operação MPPT: 70–500 VCC	Tensão nominal: 220V
Corrente DC máxima por MPPT: 26A	Frequência nominal: 50Hz/60Hz
Corrente de curto DC máxima por MPPT: 39A	Corrente máx. de saída: 47,9A

Figura 39 – Especificações do Novo Inversor
Fonte: Datasheet do Inversor

4.5.8 Estimativa de Geração do SFCR

Para a estimativa de geração, serão utilizados os dados de radiação obtidos no site CRESESB, disponíveis na Figura 33. Multiplicando os valores de irradiação diária pelos dias de cada mês têm-se os valores de irradiação solar mensal, conforme tabela 10. Em seguida, somando-os valores tem-se o acumulado no período de 1 ano, que é de 1854,55 kWh/m²/ano.

Multiplicando-se a potência pico do sistema pelo potencial solar mensal, chega-se ao valor de energia ideal mensal e ao acumulado no período de 1 ano, que é de 15.096,03kWh.

4.5.9 Estimativa de Geração ao Longo da Vida Útil

Conforme visto anteriormente em relação a perda de eficiência no tópico 4.4.9, foi utilizado 1,2% de perda de eficiência para o primeiro ano e 0,7% para os demais em uma estimativa de 20 anos, como mostra a tabela 12.

Tabela 12 – Estimativa de Geração em 20 Anos com Eficiência

Período	Geração
2022	15.096,03
2023	14914,88
2024	14810,47
2025	14706,80
2026	14603,85
2027	14501,63
2028	14400,11
2029	14299,31
2030	14199,22
2031	14099,82
2032	14001,12
2033	13903,12
2034	13805,80

2035	13709,15
2036	13613,19
2037	13517,90
2038	13423,27
2039	13329,31
2040	13236,00
2041	13143,35
2042	13051,35

Fonte: Autora

O sistema será capaz de gerar em média 14,71kWh por ano, durante os primeiros vinte anos de operação, conforme gráfico 3.

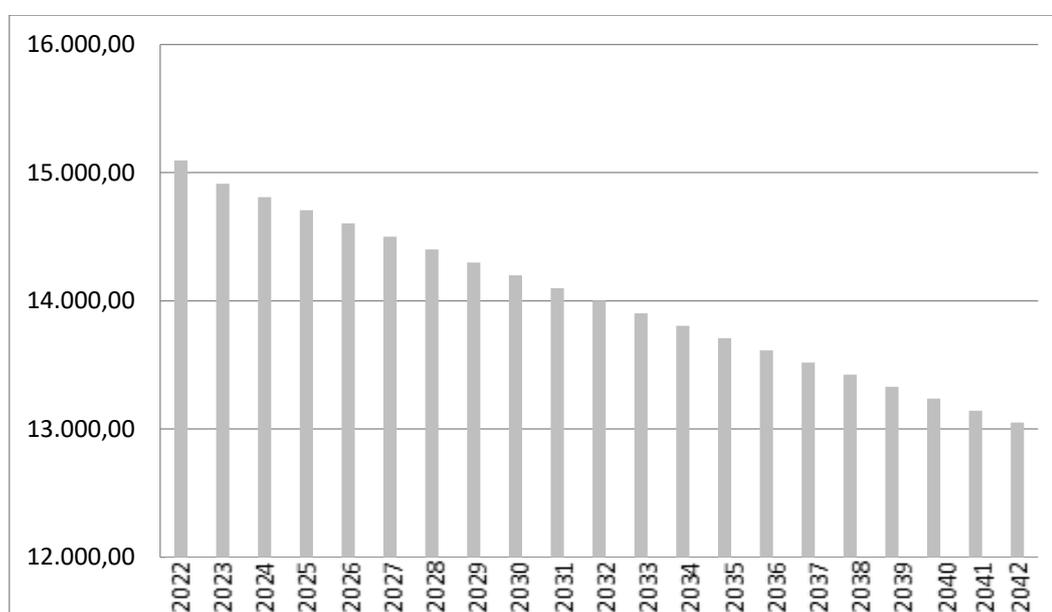


Gráfico 3 – Estimativa de Geração com Eficiência
Fonte: Autora

5 ANÁLISE FINANCEIRA

O valor atribuído a energia elétrica para consumidores do Grupo B que optam pela geração própria é o valor da tarifa aplicada para a modalidade tarifária residencial, sendo a tarifa da modalidade convencional um dos fatores mais importantes para avaliar a viabilidade econômica de um projeto. O cenário atual do setor elétrico brasileiro colabora para expressivos ajustes nas tarifas de energia elétrica, o que faz com que se torne mais viável o investimento em projetos fotovoltaicos (GOVERNO DO BRASIL, 2022).

Sendo assim, pode-se afirmar que a microgeração fotovoltaica é uma boa alternativa para o consumidor brasileiro, pois os reajustes não seguem uma trajetória bem definida.

O gráfico 4 mostra a evolução da tarifa de energia elétrica acumulado no ano e seus respectivos motivos, no período de janeiro de 2013 a junho de 2015, como exemplificação.

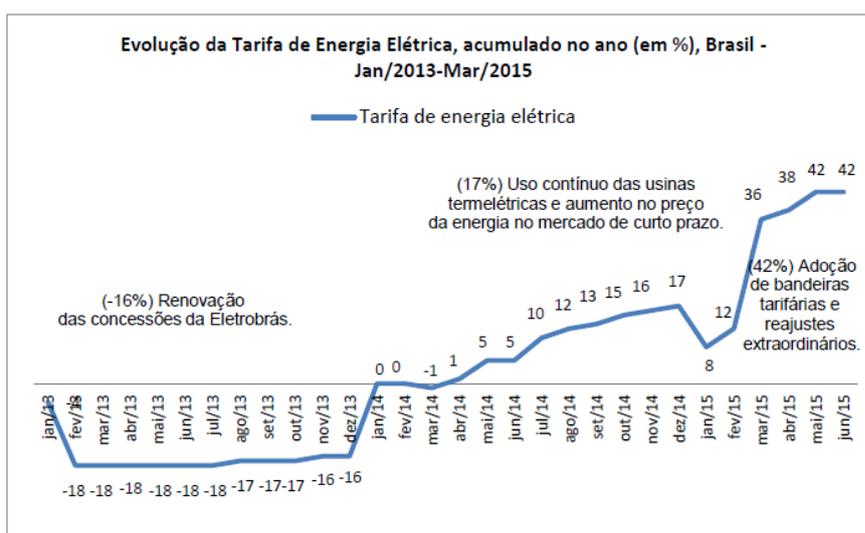


Gráfico 4 – Evolução da Tarifa da Energia Elétrica
Fonte: ROSA, 2017

Segundo o gráfico, é possível afirmar que os investimentos no setor de mini e microgeração estão se tornando cada vez mais atrativos no Brasil.

A microgeração fotovoltaica tem se consolidado como uma alternativa cada vez mais atrativa para os consumidores brasileiros. Entre 2015 e 2022, as tarifas residenciais de energia elétrica aumentaram cerca de 70%, superando a inflação acumulada de 58% no mesmo período. Esse cenário de elevação tarifária torna o investimento em sistemas fotovoltaicos mais vantajoso, permitindo aos consumidores mitigar os impactos dos reajustes (NOVA ENERGIA, 2022).

O crescimento da micro e minigeração distribuída no Brasil é notável. Em 2023, foram conectados mais de 625 mil sistemas, adicionando 7,4 gigawatts (GW) à rede elétrica (GOVERNO DO BRASIL, 2023). Em 2024, esse avanço continuou com a instalação de aproximadamente 783 mil sistemas, correspondendo a um acréscimo de 8,85 GW (GOVERNO DO BRASIL, 2024). Atualmente, o país possui cerca de 3,1 milhões de sistemas conectados, totalizando uma potência instalada próxima de 35,6 GW.

Diante desses dados, é evidente que a microgeração fotovoltaica representa uma solução eficaz para os consumidores enfrentarem as oscilações tarifárias e contribuírem para a sustentabilidade energética no Brasil.

5.1 Sistema Fotovoltaico sem a Eficiência Energética

Será feita a análise financeira do sistema fotovoltaico com os valores atuais do estabelecimento, antes da aplicação da eficiência energética.

5.1.1 Investimento Inicial

De acordo com Nakabayashi (2015), o custo do watt-pico (Wp) instalado para sistemas fotovoltaicos era de R\$5,56. Considerando esse valor, o investimento inicial para um sistema com potência de aproximadamente 9.780 Wp seria de R\$54.376,80.

Atualmente, os custos de instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil diminuíram significativamente. No segundo trimestre de 2024, o preço médio para instalações residenciais foi de R\$3,16/Wp no estado de Minas Gerais, representando uma grande redução em relação aos valores de 2015 (MAGAZINE BRASIL, 2024).

Com base nesse valor atualizado, o investimento inicial para um sistema de 9.780 Wp seria de aproximadamente R\$30.904,80, evidenciando a maior acessibilidade dos sistemas fotovoltaicos nos dias atuais.

5.1.2 Custos de Manutenção

Segundo Rosa (2017), o custo de manutenção, de maneira aproximada, pode situar entre 0,5% a 1% ao ano do valor do sistema. Neste estudo foi considerado um valor de 0,5%.

Outro ponto importante é a questão da vida útil. Os sistemas fotovoltaicos possuem uma duração média de 20 anos. No entanto, os inversores possuem um tempo de 10 anos. Portanto,

durante o tempo de operação da planta haverá necessidade de troca de inversor pelo menos uma vez (BASTOS, 2018).

Conforme visto no site Infomix (2023), o custo de inversores com potência de 15 kW, que é o que está sendo usado para este sistema, está em um valor de R\$6.500. Desta forma, realizando a troca do mesmo de dez em dez anos, ao fim dos vinte anos de análise o sistema terá um custo de R\$ 13.000 com as trocas dos inversores.

5.1.3 Viabilidade do Projeto

Considerando os custos de investimento inicial, manutenção durante a vida útil de 0,5% ao ano e troca dos inversores, chega-se ao custo total do sistema, conforme mostra a tabela 13.

Tabela 13 – Custo Total da Implementação Antes da Eficiência

Investimento Inicial:	R\$ 30.904,80
Custo de Manutenção:	R\$ 1.545,24
Troca de Inversores:	R\$ 13.000,00
Custo Total:	R\$ 45.450,04

Fonte: Autora

Para estimar o tempo de retorno do investimento foi utilizado o método do Payback Descontado.

O cálculo do Payback Descontado é descrito pela seguinte função:

$$PBD = -FC0 + \sum_{j=1}^n \frac{FCj}{(1+i)^j} \quad (8)$$

sendo:

FC0 - Fluxo de caixa verificado no momento zero, podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento;

FCj - Representa o valor de entrada, (ou saída) de caixa até o instante *n*;

i - Taxa de juros;

n - Período de tempo;

j - Índice genérico que representa os períodos *j=1* a *n*;

VPL – Payback Descontado;

Para esta análise, foi considerada a geração anual prevista do sistema, levando em conta a perda de eficiência dos módulos e os custos de tarifas de energia elétrica com reajustes anuais de 7%.

Dessa forma, chega-se ao valor aproximado de cinco anos para se ter o retorno do investimento conforme mostrado na tabela 14.

Tabela 14 – Payback Descontado Antes da Eficiência

Ano	Geração kWh/ano	Tarifa R\$/kWh	Gasto Anual (Manutenção)	Remuneração	Valor (Investimento) R\$45.450,04
1	18137,49	0,89	5437,68	21580,05	-23869,99
2	16867,87	0,95	5464,87	21528,14	-2341,86
3	15687,12	1,02	5492,19	21476,75	19134,89
4	14589,02	1,09	5519,65	21425,89	40560,78
5	13567,79	1,17	5547,25	21375,55	61936,33
6	12618,04	1,25	5574,99	21325,72	83262,05
7	11734,78	1,34	5602,86	21276,42	104538,47
8	10913,34	1,43	5630,88	21227,63	125766,10
9	10149,41	1,53	5659,03	21179,36	146945,47
10	9438,95	1,64	5687,33	21131,61	168077,08
11	8778,22	1,75	5715,76	21084,37	189161,45
12	8163,75	1,87	5744,34	21037,64	210199,09
13	7592,29	2,00	5773,06	20991,43	231190,51
14	7060,83	2,14	5801,93	20945,72	252136,23
15	6566,57	2,29	5830,94	20900,53	273036,76
16	6106,91	2,46	5860,09	20855,84	293892,60
17	5679,42	2,63	5889,39	20811,66	314704,26
18	5281,87	2,81	5918,84	20767,99	335472,25
19	4912,13	3,01	5948,44	20724,82	356197,08
20	4568,29	3,22	5978,18	20682,16	376879,24

Fonte: Autora

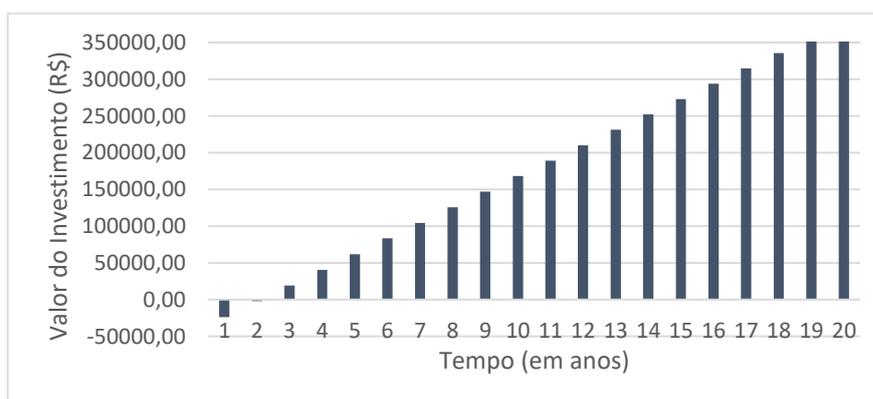


Gráfico 5 - Fluxo de Caixa Acumulado 1

Fonte: Autora

Analisando o gráfico de fluxo de caixa acumulado, pode-se observar que a curva cruza o eixo temporal, entre os anos 2 e 3. Dessa forma, é evidente que o investimento é pago durante o 3º ano de operação do sistema gerador fotovoltaico.

5.2 Sistema Fotovoltaico com a Eficiência Energética

Será feita a análise financeira do sistema fotovoltaico com os novos valores do estabelecimento, após a aplicação da eficiência energética.

5.2.1 Investimento Inicial

Como visto anteriormente, o custo do Wp instalado para sistemas atualmente no estado de Minas Gerais é de R\$3,16. Então, multiplicando o valor do Wp instalado pela potência do sistema, chega-se ao valor de investimento inicial de R\$ 25.722,40. Ressalta-se que nesse estudo não foram considerados os custos de aquisição de novos equipamentos.

5.2.2 Custos de Manutenção

Segundo Rosa (2017), o custo de manutenção, de maneira aproximada, pode situar entre 0,5% a 1% ao ano do valor do sistema. Neste estudo foi considerado um valor de 0,5%.

Conforme visto no site do fabricante Buyers Solar, o custo de inversores com potência de 10 kW, que é o que está sendo usado para este sistema, está em um valor de R\$ 4.000. Desta forma, realizando a troca do mesmo de dez em dez anos, ao fim dos vinte anos de análise o sistema terá um custo de R\$ 8.000,00 com as trocas dos inversores.

5.2.3 Viabilidade do Projeto

Considerando os custos de investimento inicial, manutenção durante a vida útil de 0,5% ao ano e troca dos inversores, chega-se ao custo total do sistema, conforme mostra a tabela 15.

Tabela 15 – Custo Total da Implementação com Eficiência

Investimento Inicial:	R\$ 25.722,40
Custo de Manutenção:	R\$1.286,12
Troca de Inversores:	R\$ 8.000,00
Custo Total:	R\$ 35.008,52

Fonte: Autora

Para estimar o tempo de retorno do investimento foi utilizado o método do Payback Descontado como visto na equação (8).

Para esta análise, foi considerada a geração anual prevista do sistema, levando em conta a perda de eficiência dos módulos e os custos de tarifas de energia elétrica com reajustes anuais de 7%.

Dessa forma, chega-se ao valor aproximado de cinco anos para se ter o retorno do investimento conforme mostrado na tabela 16.

Tabela 16 – Payback Descontado Após a Eficiência

Ano	Geração kWh/ano	Tarifa R\$/kWh	Gasto Anual (Manutenção)	Remuneração	Valor (Investimento) R\$35.008,52
1	18137,49	0,89	2.718,84	18861,21	-16147,31

2	16867,87	0,95	2732,43	18795,70	2648,39
3	15687,12	1,02	2746,10	18730,65	21379,04
4	14589,02	1,09	2759,83	18666,06	40045,10
5	13567,79	1,17	2773,63	18601,92	58647,02
6	12618,04	1,25	2787,49	18538,23	77185,25
7	11734,78	1,34	2801,43	18474,99	95660,24
8	10913,34	1,43	2815,44	18412,19	114072,44
9	10149,41	1,53	2829,52	18349,85	132422,28
10	9438,95	1,64	2843,66	18287,95	150710,23
11	8778,22	1,75	2857,88	18226,49	168936,72
12	8163,75	1,87	2872,17	18165,47	187102,19
13	7592,29	2,00	2886,53	18104,89	205207,08
14	7060,83	2,14	2900,96	18044,76	223251,84
15	6566,57	2,29	2915,47	17985,06	241236,89
16	6106,91	2,46	2930,05	17925,79	259162,69
17	5679,42	2,63	2944,70	17866,96	277029,65
18	5281,87	2,81	2959,42	17808,57	294838,22
19	4912,13	3,01	2974,22	17750,61	312588,83
20	4568,29	3,22	2989,09	17693,07	330281,90

Fonte: Autora

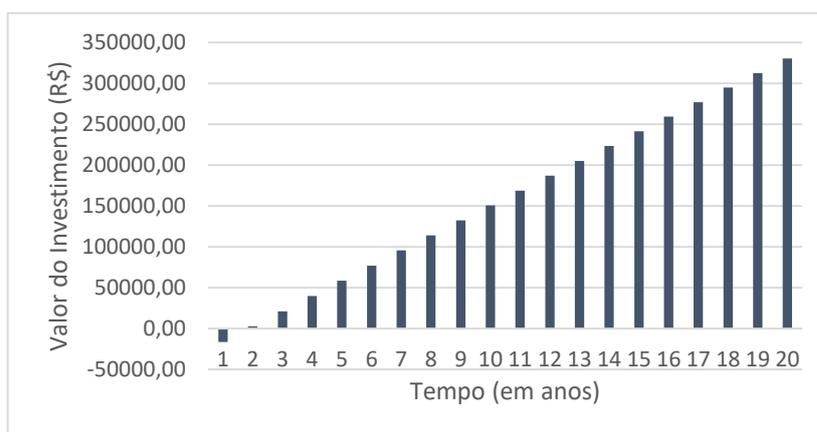


Gráfico 6 - Fluxo de Caixa Acumulado 2

Fonte: Autora

Analisando o gráfico de fluxo de caixa acumulado, pode-se observar que a curva cruza o eixo temporal, entre os anos 1 e 2. Dessa forma, é evidente que o investimento é pago durante o 2º ano de operação do sistema gerador fotovoltaico.

5.3 Lei 14.300 - Impacto da cobrança gradual da TUSD Fio na Conta

A cobrança gradual da TUSD Fio B (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) impacta diretamente a economia gerada pelo sistema fotovoltaico. Com a Lei 14.300/2022, a compensação da energia injetada passou a considerar um percentual da TUSD Fio B, reduzindo gradualmente os créditos disponíveis para abater o consumo da unidade (GOVERNO DO BRASIL, 2022).

A partir de 2023, os consumidores começaram a pagar parte da TUSD Fio B conforme tabela 17.

Tabela 17 - Cronograma de Pagamento TUSD Fio B

Ano da Conexão	Percentual de Pagamento da TUSD Fio B sobre a energia injetada
2023	15%
2024	30%
2025	45%
2026	60%
2027	75%
2028	90%
2029	100%

Fonte: Autora

5.3.1 Impacto com Consumo Antes da Aplicação

Utilizando uma tarifa de energia em R\$ 1,41/kWh e consumo mensal do estabelecimento antes da aplicação de eficiência em 1.590,89 kWh, podemos estimar o impacto da cobrança gradual:

a) Energia gerada mensalmente pelo sistema fotovoltaico:

$$(17.68 \text{ kWh} / 20 \text{ anos}) \approx 73,67 \text{ Wh/mês} \quad (9)$$

b) Energia injetada na rede e compensada (supondo que toda energia excedente seja injetada):

Valor da TUSD Fio B estimado: R\$ 0,50/kWh

Energia injetada: 73,67 Wh/mês

c) Cálculo do Impacto (2024 - Pagamento de 30% da TUSD Fio B)

$$\text{Cobrança Fio B: } 73,67 \text{ Wh} \times 30\% \times \text{R\$ } 0,50 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{Cobrança Fio B: } & \text{R\$ } 11,05/\text{mês} \\ \text{Redução mensal: } & \text{R\$ } 11,05 \times 12 \text{ meses} \end{aligned} \quad (11)$$

Redução mensal: R\$ 132,60/ano

d) Projeção do Impacto da TUSD Fio B ao longo do tempo

Tabela 18 - Projeção de Impacto - Antes

Ano	Percentual TUSD Fio B	Cobrança Mensal (R\$)	Cobrança Anual (R\$)
2024	30%	R\$ 11,05	R\$ 132,60
2025	45%	R\$ 16,58	R\$ 198,96
2026	60%	R\$ 22,10	R\$ 265,20
2027	75%	R\$ 27,62	R\$ 331,44
2028	90%	R\$ 33,15	R\$ 397,80
2029	100%	R\$ 36,83	R\$ 441,96

Fonte: Autora

Conforme a taxa de cobrança cresce, a economia gerada pelo sistema fotovoltaico se reduz, resultando em um tempo maior para o retorno do investimento.

5.3.2 Impacto com Consumo Após a Aplicação

Utilizando a tarifa de energia em R\$ 1,41/kWh e consumo mensal do estabelecimento após a aplicação de eficiência em 1.341,42 kWh, podemos estimar o impacto da cobrança gradual:

a) Energia gerada mensalmente pelo sistema fotovoltaico

$$(14,71 \text{ kWh} / 20 \text{ anos}) \approx 61,29 \text{ Wh/mês} \quad (12)$$

b) Energia injetada na rede e compensada (supondo que toda energia excedente seja injetada):

Energia injetada mensalmente: 61,29 Wh

Valor estimado da TUSD Fio B: R\$ 0,50/kWh

c) Cálculo do Impacto (2024 - Pagamento de 30% da TUSD Fio B)

$$\text{Cobrança Fio B: } 61,29 \text{ Wh} \times 30\% \times \text{R\$ } 0,50 \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{Cobrança Fio B: } & \text{R\$ } 9,19/\text{mês} \\ \text{Redução mensal: } & \text{R\$ } 9,19 \times 12 \text{ meses} \end{aligned} \quad (14)$$

Redução mensal: R\$ 110,28/ano

d) Projeção do Impacto da TUSD Fio B ao longo do tempo

Tabela 19 - Projeção de Impacto - Após

Ano	Percentual TUSD Fio B	Cobrança Mensal (R\$)	Cobrança Anual (R\$)
2024	30%	R\$ 9,19	R\$ 110,28
2025	45%	R\$ 13,78	R\$ 165,36
2026	60%	R\$ 18,38	R\$ 220,56
2027	75%	R\$ 22,97	R\$ 275,64
2028	90%	R\$ 27,56	R\$ 330,72
2029	100%	R\$ 30,96	R\$ 371,52

Fonte: Autora

À medida que o percentual aumenta, a economia do sistema fotovoltaico diminui. Isso faz com que o retorno financeiro do investimento seja mais longo.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado um projeto de eficiência energética e implementação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, para atender a demanda de energia de um açougue em Itajubá, Minas Gerais. Para isto, foi realizado um estudo de cargas visando possíveis trocas a serem realizadas, melhorando o desempenho e a economia do estabelecimento. Foi considerado o consumo médio no período de 12 meses, conforme informação apresentada na fatura de energia da CEMIG, concessionária local.

Realizando o estudo de eficiência energética no local, chegou-se ao resultado de uma redução de aproximadamente 15% na conta final do açougue, comprovando a eficácia da aplicação.

Como uma segunda alternativa, foi realizada a implementação de um sistema fotovoltaico no local, com os valores atuais do estabelecimento, dimensionando um sistema de 9,78 kWp, com 29 módulos fotovoltaicos, ocupando uma área de 68 m² e um inversor de 15 kW.

O sistema será capaz de gerar durante o período de vinte anos de funcionamento 17.643,64 kWh. O sistema terá um custo inicial de R\$ 45.450,04, já prevendo gastos com manutenção e a troca do inversor e irá se pagar em aproximadamente três anos, o que mostra a viabilidade do projeto.

Logo após a implantação das medidas de eficiência energética, foi realizada a implementação de um sistema fotovoltaico com os novos valores do estabelecimento, dimensionando um sistema de 8,14 kWp, com 24 módulos fotovoltaicos, ocupando uma área de 57 m² e um inversor de 10 kW.

O sistema será capaz de gerar durante o período de vinte anos de funcionamento 14.718,29 kWh. O sistema terá um custo inicial de R\$ 35.008,52 já prevendo gastos com manutenção e a troca do inversor e irá se pagar em aproximadamente dois anos.

O dimensionamento dos dois casos nos mostra que a redução de custos que ocorrem com as medidas de eficiência energética quanto a implementação do sistema fotovoltaico é um fator relevante a ser discutido, pois o tempo de retorno é menor, além da diferença de custos gastos quanto a implementação, manutenção e troca de inversores, representando um peso significativo no orçamento.

Sendo assim, a substituição de equipamentos com baixa eficiência energética é uma das estratégias para reduzir os custos com energia. De fato, a troca de equipamentos obsoletos e ineficientes pode representar economias expressivas, já que equipamentos mais modernos tendem a ser mais eficientes e a consumirem menos, permitindo que os investimentos feitos sejam recuperados nas faturas mensais posteriores à troca.

Além disso, a partir da vigência da Lei 14.300, a cobrança da TUSD Fio B impacta diretamente a economia gerada pelo sistema fotovoltaico. O custo adicional anual começa pequeno, mas cresce progressivamente até 2029, quando 100% da TUSD Fio B será cobrada. Esse custo extra reduz a economia esperada e prolonga o tempo de retorno do investimento.

Portanto, a manutenção adequada dos equipamentos e a aplicação de medidas de eficiência energética garantem não apenas o bom desempenho dos sistemas, mas também uma maior previsibilidade financeira, ajudando a mitigar os impactos das mudanças regulatórias na redução de custos.

REFERÊNCIAS

ABERLE, A. G. "Surface Passivation of Crystalline Silicon Solar Cells: A Review." Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 8(5), 473-487.

AGÊNCIA BRASIL. (2016). "Energia: Procel economiza 11,68 bilhões de kWh, 2,5% do gasto do país em um ano." Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-06/procel-gera-economia-para-o-pais-de-1168-bilhoes-de-kwh-no-ano-passado>>. Acesso em: 12 jan. 2025

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). "Microgeração e Minigeração Distribuída: Guia de Orientação para Conexão à Rede Elétrica." Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 14 fev. 2023

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2012). **Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 - Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/legislacao/resolucoes-normativas/2012/>>. Acesso em: 08 jun. 2023

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2015). **Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 - Altera a RN 482 e permitem o aperfeiçoamento da regulamentação da micro e mini geração distribuída de energia elétrica em nosso país.** Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf/>>. Acesso em: 08 jun. 2023

ALMEIDA, E.; ROSA, A. C.; DIAS, F. C. L. S.; BRAZ, K. T. M.; LANA, L. T. C.; SAN, O. C. do E.; SACRAMENTO, C. B. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.** FUMEC, 2015.

ANGELO, J. A. de A.; NETO, A. M. de S. **APLICAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID SUBSTITUINDO FONTE DE ENERGIA GERADOR A DIESEL EM UMA CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.** Disponível em: <<https://l1nq.com/e0Kbd>>. Acesso em: 24 nov. 2022

Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE). **Protocolo de criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem entre o Ministério da Indústria e Comércio e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE).** Brasília: ABINEE.

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). **Relatório Anual: Panorama da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 04 mai. 2023

BASTOS, W. da S. - **Estudo de Caso de um Projeto Fotovoltaico Integrado à Edificação.** Paraíba - PB, 2018.

BUYERS SOLAR. **Inversores de 15k.** Disponível em: <<https://www.buyersenergy.com.br/produtos/inversor-solar-15-kw-deye-sun-15k-g02->

lv/?srsltid=AfmBOooJgX9wdqx4D7Lxfe878RWDCzN4BMAuU438k_vu5NeUDpytOps4>.
Acesso em: 02 fev. 2025

BUYERS SOLAR. Inversores de 10k. Disponível em:
<https://www.buyersenergy.com.br/produtos/inversor-solar-10-kw-deye-sun-10k-g/?variant=709977283&pf=mc&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA5Ka9BhB5EiwA1ZVtvA9Dda2ZqrXukbDbBSO9aQm3yJNcldgA8_iAvkTIRkxBQIMHylo_WBoC8OEQAvD_BwE>.
Acesso em: 02 fev. 2025

CANAL SOLAR. (2021). O efeito LID das células fotovoltaicas. Disponível em:
<<https://www.canalsolar.com.br/o-efeito-lid-das-celulas-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 03 jan. 2025

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Alternativas Energéticas: uma visão Cemig. Belo Horizonte: CEMIG, 2012. CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. As energias solar e eólica no Brasil.

CEPEL - CRESESB. (2004). "Manual de Sistemas Fotovoltaicos". Rio de Janeiro: CEPEL.

CHAPIN, D. M.; FULLER, C. S.; PEARSON, G. L. (1954). "A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power." Journal of Applied Physics, 25(5), 676-677.

COOPE SOLAR. Diferença entre on grid e off grid. Disponível em:
<<https://coopesolar.wordpress.com/on-grid/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

CRESESB. Irradiação Média Mensal de Itajubá. Disponível em:
<<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 22 out. 2020.

ELETROBRAS. (2008). Relatório Anual do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Brasília: Eletrobras.

ELETROBRAS. (2022). Panorama do Setor Elétrico Brasileiro: Relatório Anual. Brasília: Eletrobras.

ELETROBRAS. (2023). Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica Relatório PROCEL. Brasília: Eletrobras.

ENERGES. Custo de Disponibilidade. Disponível em: <<https://energes.com.br/custo-de-disponibilidade/>>. Acesso em: 18 abr. 2023

FIGUEIREDO, R. S.; BET, I. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PARA OPERAÇÃO ISOLADA E CONECTADA À REDE. Disponível em: <<https://encr.pw/U31v3>>. Acesso em: 14 dez. 2022.

FRAAS, L. M.; PARTAIN, L. D. (1993). "Photovoltaic Power Systems Handbook." CRC Press.

FRONIUS. **O inversor.** Disponível em: <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/competencias/snapinverters>>. Acesso em: 15 out. 2020.

GIL, A. C. (1995). **Métodos e técnicas de pesquisa social (4ª ed.)**. São Paulo: Atlas.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5 ed. São Paulo, Atlas, 1999.

GOLDEMBERG, J. **Energy and development in Brazil: Achievements and challenges.** Ambiente & Sociedade, 22, e02128.

GOVERNO DO BRASIL (2022). "**Lei nº 14.300, de 19 de janeiro de 2022.**" Diário Oficial da União. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm>. Acesso em: 23 fev. 2023

GOVERNO DO BRASIL. (2022). **Modalidades Tarifárias.** Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>>. Acesso em: 07 jan. 2025

GOVERNO DO BRASIL. (2023). **Micro e minigeração distribuída apresenta acréscimo de 7,4 GW em 2023.** Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/micro-e-minigeracao-distribuida-apresenta-acrescimo-de-7-4-gw-em-2023>>. Acesso em: 26 jan. 2025

GOVERNO DO BRASIL. (2024). **Micro e minigeração distribuída de energia elétrica cresceu 8,85 GW em 2024.** Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2025/micro-e-minigeracao-distribuida-de-energia-eletrica-cresceu-8-84-gw-em-2024>>. Acesso em: 21 jan. 2025

GOVERNO DO BRASIL. (2024). **Resultados Procel 2024.** Ministério de Minas e Energia, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/procel-gerou-economia-de-energia-eletrica-para-abastecer-mais-de-12-milhoes-de-residencias/copy_of_20241211_Procel2024.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2025

Governo Federal do Brasil. Ministério de Minas e Energia. **PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.** Disponível em: <<https://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/acoes-e-programas/programas/procel-programa-nacional-de-conservacao-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 21 set. 2022

GREEN, M. A.; EMERY, K.; HISHIKAYA, Y.; WARTA, W. (2019). "**Solar cell efficiency tables (version 54).**" Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 27(1), 3-12.

HC ENERGIA. **Entenda a tarifação do Fio B Previsto na Lei 14.300.** Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/entenda-a-tarifacao-do-fio-b-previsto-na-lei-14-300/>>. Acesso em: 03 mar. 2023

IBERDROLA. (2023). "**Paneles bifaciales: ¿Qué los hace diferentes?**" *Iberdrola Inovação.* Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/innovacion/paneles-solares-bifaciales>>. Acesso em: 18 jan. 2025

Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEE). **Power Quality in Grid-Connected PV Systems: Impacts, Sources, and Mitigation Strategies**, 2014.

International Energy Agency (IEA). **World Energy Outlook**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>>. Acesso em: 24 set. 2022

KALOGIROU, S. A. (2019). **Solar Energy Engineering: Processes and Systems**. Academic Press.

LORENZO, E.; BORLONGAN, N. J. (2017). **"Solar Power Generation: Technology, New Concepts & Policy."** Singapore: Springer.

MASTERS, G. M. **"Renewable and Efficient Electric Power Systems."** New Jersey: Wiley-IEEE Press.

MESSENGER, R.; VENTRE, J. **Photovoltaic Systems Engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2010.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Selo Procel leva mais economia e sustentabilidade aos brasileiros**. 2011. Disponível em: <[https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/selo-procel-leva-mais-economia-e-sustentabilidade-aos-brasileiros#:~:contentReference\[oaicite=0\]{index=0}](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/selo-procel-leva-mais-economia-e-sustentabilidade-aos-brasileiros#:~:contentReference[oaicite=0]{index=0})>. Acesso em: 12 nov. 2022

Ministério de Minas e Energia. (2021). Atlas Solarimétrico do Brasil. Brasília: Ministério de Minas e Energia.

MIRANDA, R. A. (2015). **"Introdução à Energia Solar Fotovoltaica."** Rio de Janeiro: LTC Editora.

MONTEIRO, L. G., ZILLES, R. **Estratégias de controle de carga em pequenos sistemas fotovoltaicos**. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100055&script=sci_arttext>. Acesso em: 13 dez. 2022

NAKABAYSHI, R.. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: viabilidade econômica**. 2015. 58 f.. Universidade de São Paulo, São Paulo 2015.

OLIVEIRA, F. M.; COSTA, F. A. **Análise do Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural: Impactos e Perspectivas**. Revista de Energia Sustentável, 12(2), 45-60.

OLIVEIRA, F. M.; COSTA, F. A. **Avaliação dos subprogramas do PROCEL na promoção da eficiência energética no Brasil**. Revista Brasileira de Eficiência Energética, 10(1), 78-92.

OLIVEIRA, J. M.; COSTA, F. A. **Integração de sistemas de energia solar fotovoltaica com outras fontes de geração: uma revisão da literatura**. Revista de Energias Renováveis, 20(1), 33-48.

OLIVEIRA, J. R.; PEREIRA, E. M. (2018). **"Energia Solar Fotovoltaica: Teoria e Prática."** São Paulo: Érica.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica.** Porto: Publindústria, 2011.

PEREIRA, J. de S. **ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR EM UM MERCADO PÚBLICO NO INTERIOR DO RIO GRANDE DO NORTE.** Disponível em: <<https://acesse.dev/IUQEa>>. Acesso em: 15 dez. 2022

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PORTAL SOLAR. (2023). **Conheça os incentivos fiscais para energia solar no Brasil.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/geracao-distribuida/conheca-os-incentivos-fiscais-para-energia-solar-no-brasil>>. Acesso em: 15 jan. 2025

PV MAGAZINE BRASIL. (2024). **Preço médio da energia solar residencial cai 4% no segundo trimestre do ano, aponta Solfácil.** Disponível em: <<https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/08/22/preco-medio-da-energia-solar-residencial-cai-4-no-segundo-trimestre-do-ano-aponta-solfacil/>>. Acesso em: 01 fev. 2025

REVISTA CREA. (2023). **Inovação em células solares orgânicas.** Disponível em: <<https://revista.crea-pr.org.br/inovacao-em-celulas-solares-organicas/>>. Acesso em: 18 jan. 2025

ROSA, J. R. **PROJETO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA A ESCOLA ESTADUAL TÉCNICO-INDUSTRIAL TANCREDO NEVES LOCALIZADA NA CIDADE DE BRAZÓPOLIS SUL DE MINAS GERAIS.** Itajubá, Minas Gerais, 2017.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** UFSC, 2004.

SANTOS, G. F.; SILVA, M. A. **A relação entre eficiência energética e competitividade na indústria brasileira.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 8(2), 354-369.

SANTOS, R. C.; ROSA, R. F. **"A Microgeração de Energia Fotovoltaica e os Seus Reflexos na Tarifa Residencial de Energia Elétrica no Brasil."** Revista Brasileira de Energia, 22(2), 131-150.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**, 4 ed. rev. atual., Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, V. C. G. da; **PROPOSTA DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UM SUPERMERCADO.** Pato Branco, 2018.

SMITH, J. **"Avanços na Tecnologia Fotovoltaica: Explorando Novos Materiais e Realizando Pesquisas."** Revista de Energias Renováveis, vol. 10, no. 3, 2022, pp. 75-89.

SOLAR PRO ENGENHARIA. **Controlador de Carga e Bateria.** Disponível em: <<https://loja.solarproengenharia.com>>. Acesso em: 15 out. 2020.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção: Estratégia, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2012.

WEG. **Plano de Troca: Incentivo à Substituição de Motores.** WEG: Jaraguá do Sul, Brasil.

YIN, R. K. (2015). **Estudo de caso: planejamento e métodos (5ª ed.).** Porto Alegre: Bookman.

ANEXO 1 - Ficha Técnica Módulo Fotovoltaico



MAXPOWER CS6U-325 | 330 | 335 | 340P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency of up to: 17.49 %
-  Outstanding low irradiance performance of up to: 96.0 %
-  High PTC rating of up to: 92.21 %
-  IP68 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

25
years
linear power output warranty

10
years
product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CQC / MCS / INMETRO / CEC AU
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1
IEC 60068-2-68: SGS
Take-e-way



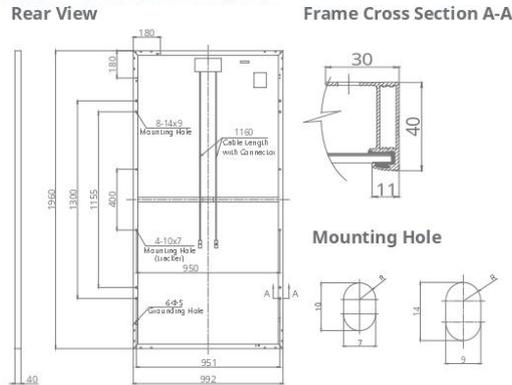
* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 21 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

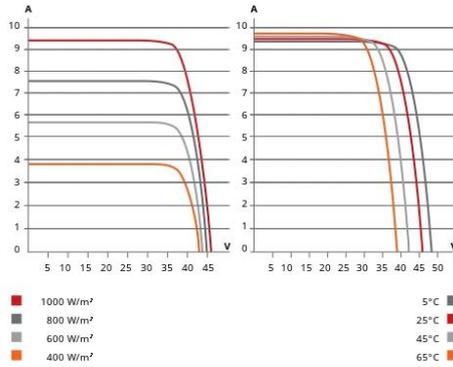
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6U-330P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	325P	330P	335P	340P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W	340 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V	37.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A	9.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V	45.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A	9.62 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%	17.49%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6x12)
Dimensions	1960x992x40 mm (77.2x39.1x1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm² (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per Container (40' HQ)	624 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6U	325P	330P	335P	340P
Nominal Max. Power (Pmax)	239 W	242 W	246 W	250 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.0 V	34.2 V	34.4 V	34.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.01 A	7.08 A	7.15 A	7.22 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.4 V	42.5 V	42.6 V	42.7 V
Short Circuit Current (Isc)	7.54 A	7.63 A	7.70 A	7.77 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

PARTNER SECTION



ANEXO 2 – Ficha Técnica do Inversor

Dados técnicos

Modelo	SUN-10K-G03-LV	SUN-12K-G02-LV	SUN-15K-G02-LV
Dados de entrada CC			
Potência máxima de entrada CC (kW)	13	15.6	19.5
Tensão máxima de entrada CC (V)		800	
Tensão de partida CC (V)		250	
Faixa de operação da MPPT (V)		200~700	
Corrente máxima de entrada CC (A)		32+32	
Corrente de curto circuito CC (A)		48+48	
Número de MPPT		2	
Número de strings por MPPT		3	
Dados de saída CA			
Potência nominal de saída CA (kW)	10	12	15
Potência máxima de saída CA (kW)	11	13.2	16.5
Tensão nominal de saída CA (V)		220V CA	
Frequência nominal de saída CA (Hz)		50 / 60 (opcional)	
Tipo de rede		Trifásico	
Corrente nominal de saída CA (A)	26.2	31.5	39.4
Corrente máxima de saída CA (A)	28.9	34.6	43.3
Fator de potência		0.8 adiantado a 0.8 atrasado	
Distorção harmônica		<3%	
Injeção de corrente CC (mA)		<0.5%	
Faixa de frequência de saída CA (Hz)		47~52 ou 57~62 (opcional)	
Eficiência			
Eficiência máxima		98.6%	
Eficiência euro		98%	
Eficiência da MPPT		>99%	
Proteção			
Proteção contra polaridade reversa CC		Sim	
Proteção contra curto circuito CA		Sim	
Proteção contra sobrecorrente CA		Sim	
Proteção contra sobretensão CA		Sim	
Proteção contra resistência de isolamento		Sim	
Detector de falha no aterramento		Sim	
Proteção de anti-ilhamento		Sim	
Proteção de temperatura		Sim	
Chave seccionadora CC integrada		Sim	
Atualização remota de software		Sim	
Alteração remota de parâmetro		Sim	
Proteção contra surto		CC tipo II / CA tipo II	
Dados gerais			
Dimensões (mm)		330Lx508Ax206P	
Peso (kg)		20.8	
Topologia		Sem transformador	
Consumo interno		<1W (noite)	
Temperatura de operação		-25~65°C, >45°C reduzindo potência	
Grau de proteção		IP65	
Ruído		<40 dB	
Refrigeração		Arrefecimento inteligente	
Máxima altitude sem perder potência		2000m	
Garantia		10 anos	
Padrão de conexão à rede		CEI 0-21, VDE-AR-N 4105, NRS 097, IEC 62116, IEC 61727, G99, G98, VDE 0126-1-1, RD 1699, C10-11	
Umidade		0-100%	
Segurança EMC e normas		IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2	
Características			
Conexão CC		MC-4	
Conexão CA		Conector padrão IP65	
Display		LCD1602	
Interface		RS485/RS232/Wifi/LAN	



Deye Support Center



End: Av. José Meloni, 351, box 13 - Vila Mogilar, Mogi das Cruzes-SP



(11) 2500-0681



suporte@deyeinversores.com.br



www.deyeinversores.com.br

Technical Data

www.deyeinverter.com

Model	SUN-9K-G02P1-EU-AM2	SUN-10K-G02P1-EU-AM2	SUN-10.5K-G02P1-EU-AM2
PV String Input Data			
Max. PV Input Power (kW)	11.7	13	13.7
Max. PV Input Voltage (V)		550	
Start-up Voltage (V)		80	
MPPT Voltage Range (V)		70-500	
Rated PV Input Voltage (V)		360	
Max. Operating PV Input Current (A)		26+26	
Max. Input Short Circuit Current (A)		39+39	
No. of MPPT Trackers/ No. of Strings per MPPT Tracker		2/2+2	
AC Output Side			
Rated AC Output Active Power (kW)	9	10	11
Max. AC Output Apparent Power (kVA)	9.9	11	11.55
Rated AC Output Current (A)	41/39.2	45.5/43.5	47.8/45.7
Max. AC Output Current (A)	45/43.1	50/47.9	52.5/50.3
Rated Output Voltage/Range (V)		220/230	0.85Un-1.1Un
Grid Connection Form		L/N/PE	
Rated Output Grid Frequency/Range(Hz)		50/45-55, 60/55-65	
Power Factor Adjustment Range		0.8 leading to 0.8 lagging	
Total Current Harmonic Distortion THDi		<3%	
DC Injection Current		<0.5%In	
Efficiency			
Max. Efficiency		97.7%	
Euro Efficiency		97.2%	
MPPT Efficiency		>99%	
Equipment Protection			
DC Polarity Reverse Connection Protection		Yes	
AC Output Overcurrent Protection		Yes	
AC Output Overvoltage Protection		Yes	
AC Output Short Circuit Protection		Yes	
Thermal Protection		Yes	
DC Terminal Insulation Impedance Monitoring		Yes	
DC Component Monitoring		Yes	
Ground Fault Current Monitoring		Yes	
Power Network Monitoring		Yes	
Island Protection Monitoring		Yes	
Earth Fault Detection		Yes	
Overvoltage Load Drop Protection		Yes	
Residual Current (RCD) Detection		Yes	
Surge Protection Level		TYPE II(DC), TYPE II(AC)	
Interface			
Communication Interface		RS485/RS232 /WIFI/LAN	
General Data			
Operating Temperature Range (°C)		-25 to +60°C, >45°C Derating	
Permissible Ambient Humidity		0-100%	
Permissible Altitude (m)		3000m	
Noise (dB)		≤35	
Ingress Protection(IP) Rating		IP 65	
Inverter Topology		Non-Isolated	
Over Voltage Category		OVC II(DC), OVC III(AC)	
Cabinet Size (WxHxD mm)		330×410×213.5 (Excluding Connectors and Brackets)	
Weight (kg)		14.8	
Warranty		5 Years	
Type of Cooling		Natural Cooling	
Grid Regulation		IEC 61727, IEC 62116, EN 50549, NRS 097, RD 140, UNE 217002, G99	
Safety EMC/Standard		IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2	

Ningbo Deye Inverter Technology Co., Ltd.

Add: No. 26 South YongJiang Road, Daqi, Beilun, NingBo, Zhejiang, China. | Tel: 0086-0574-86120560 | E-mail: market@deye.com.cn