



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

Bruno Félix Alcântara Souza

**Análise dos Impactos da Geração Distribuída com Energia Solar
Fotovoltaica na Operação de uma Panificadora de Pequeno Porte:
Estudo de Caso e Perspectivas**

ITAJUBÁ - MG

2025

Bruno Félix Alcântara Souza

**Análise dos Impactos da Geração Distribuída com Energia Solar
Fotovoltaica na Operação de uma Panificadora de Pequeno Porte:
Estudo de Caso e Perspectivas**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.
Área de Concentração: Energia, Meio Ambiente e Sociedade

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho

ITAJUBÁ - MG

2025

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

Bruno Félix Alcântara Souza

**Análise dos Impactos da Geração Distribuída com Energia Solar
Fotovoltaica na Operação de uma Panificadora de Pequeno Porte:
Estudo de Caso e Perspectivas**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.
Área de Concentração: Energia, Meio Ambiente e Sociedade

Aprovado em: 11 de março de 2025.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho, UNIFEI.

Prof. Dr. Ivan Felipe Silva dos Santos, UNIFEI.

Prof(a). Dr.(a). Maria Claudia Costa de Oliveira Botan, UNESP.

Ao Dinho, Benedito Milton de Souza
(in memorian).

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e sabedoria para perseverar em meio a tantas adversidades.

Ao Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho, pela compreensão e excelente orientação.

Aos colegas da turma de todas as disciplinas que compõem a área de Engenharia de Energia.

A Wanya Mendonça Carlos, pela dedicação incondicional e por fazer parte de todo meu progresso e amadurecimento.

A minha mãe Maria de Lourdes Alcântara Souza pela fé que deposita em mim.

Aos colegas de trabalho pelo suporte e dedicação para vencermos as batalhas do dia – a – dia.

A Dra. Pietra Rezende Grillo, advogada, pela paciência, dedicação e amizade com a família.

Aos profissionais da área de panificação, que possam ser cada vez mais reconhecidos e valorizados.

A Universidade Federal de Itajubá e todos que fazem parte desta renomada instituição, onde me tornei Engenheiro Eletricista e, com a aprovação deste trabalho, Mestre em Engenharia de Energia.

A todos os amigos, que me dão alegria e forças para caminhar.

"os dados geram informações. As informações geram conhecimento, e este por sua vez, traz soluções e respostas a tudo que está em nossa volta e nos ajudam nas tomadas de decisões".

RESUMO

A busca por soluções para redução com o gasto de energia elétrica tem ganhado cada vez mais relevância entre estabelecimentos comerciais de pequeno porte. Entre as alternativas disponíveis, a geração distribuída com energia solar fotovoltaica desponta como uma opção cada vez mais procurada, capaz de reduzir os custos operacionais e agregar para atingir metas e planos futuros. Neste contexto, este trabalho propõe uma análise dos impactos da implementação de um sistema fotovoltaico nos custos operacionais de uma panificadora de pequeno porte conectada à rede da concessionária do estado de Minas Gerais (CEMIG), com foco na análise do custo evitado por medidores e bloco de cargas. Para isso foi utilizado um estudo de caso como metodologia. Os dados de geração da usina foram simulados pelo programa PVsyst, e por meio do diagrama elétrico unifilar, procedeu-se os estudos de geração da GD e consumo de cada medidor e grupos de cargas, cujos resultados foram aplicados para o despacho da porcentagem de energia proveniente da usina solar instalada de forma remota. O preço em [kW.h] da geração distribuída em reais, para um valor presente líquido de 25 anos, calculado de acordo com a fórmula LCOE, ficou em torno de R\$ 0,182. O gasto energético e os custos financeiros evitados da concessionária em torno de 88,0 % e 71,63 % respectivamente para o primeiro semestre, 90,79 % e 74,34 % para o segundo, 90,28 % e 75,34 % para o terceiro. A integração da tecnologia de geração distribuída solar fotovoltaica com a indústria de panificação oferece um diferencial competitivo significativo, permitindo não só a redução de custos com energia, mas também posicionando o negócio como mais sustentável e inovador, destacando-se da concorrência.

Palavras-chave: Custos Operacionais, Energia Solar Fotovoltaica, Panificadora de Pequeno Porte, Geração Distribuída, Custos Evitados.

ABSTRACT

The search for solutions to reduce electricity consumption has gained more and more relevance among small commercial establishments. Among the available alternatives, distributed generation with photovoltaic solar energy emerges as an increasingly sought-after option, capable of reducing operating costs and adding to achieve future goals and plans. In this context, this work proposes an analysis of the impacts of the implementation of a photovoltaic system on the operating costs of a small bakery connected to the network of the concessionaire the state of Minas Gerais (CEMIG), focusing on the analysis of the cost avoided by meters and load blocks. For this, a case study was used as a methodology. The plant's generation data were simulated by the PVsyst program, and by means of the single-line electrical diagram, the DG generation and consumption studies of each meter and load groups were carried out, whose results were applied to dispatch the percentage of energy coming from the remotely installed solar plant. The price in [kW.h] of distributed generation in reais, for a net present value of 25 years, calculated according to the LCOE, was around R\$ 0.182. The energy expenditure and avoided financial costs of the concessionaire around 88,0 % and 71,63 % respectively for the first half of the year, 90,79% and 74,34 % for the second, 90,28 % and 75,34 % for the third. The integration of solar photovoltaic distributed generation technology with the baking industry provides a significant competitive advantage, enabling not only the reduction of energy costs but also positioning the business as more sustainable and innovative, standing out from the competition.

Keywords: Operating Costs, Photovoltaic Solar Energy, Small Bakery, Distributed Generation, Avoided Costs.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 -	Participação das fontes da matriz elétrica	19
Figura 2 -	Órgãos Reguladores do Sistema Elétrico	20
Figura 3 -	Sistema Interligado Nacional (SIN) horizonte 2024	21
Figura 4 -	Complementariedade Solar e Eólica	22
Figura 5 -	ACR e ACL – Ambiente de Contratação Regulada e Livre	24
Figura 6 -	Representação de uma célula fotovoltaica	31
Figura 7 -	Roteiro da pesquisa	36
Figura 8 -	Representação da cadeia produtiva no SalGaDinho'S	43
Figura 9 -	Representação da planta industrial do SalGaDinho'S	44
Figura 10 -	Modelo de Controle Empresarial	46
Figura 11 -	Diagrama unifilar elétrico do SalGaDinho'S	47
Figura 12 -	Histórico de consumo medidor 1 a esquerda e medidor 2 a direita do período de fevereiro de 2023 a janeiro de 2024	47
Figura 13 -	Histórico de consumo medidor 1 a esquerda e medidor 2 a direita do período de fevereiro de 2024 a julho de 2024	48
Figura 14 -	Diagrama Unifilar da usina privada solar fotovoltaica instalada de forma on-grid	48
Figura 15 -	Ilustração da conexão da concessionária de energia e da autoprodução de energia solar	49
Figura 16 -	Análise do Ciclo de Vida da empresa com os blocos de cargas 1 e 2	61
Figura 17 -	17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	62

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 -	Crescimento percentual de produção de energia – 2020 em relação à 2010	18
Tabela 2 -	Créditos de energia excedente despachados para os medidores 1 e 2	51
Tabela 3 -	Média de consumo total da empresa para o primeiro, segundo e terceiro semestre em $[\frac{kW.h}{mês}]$	51
Tabela 4 -	Consumo de energia elétrica no primeiro semestre em $[\frac{kW.h}{mês}]$	52
Tabela 5 -	Consumo de energia elétrica no segundo semestre em $[\frac{kW.h}{mês}]$	52
Tabela 6 -	Consumo de energia elétrica no terceiro semestre em $[\frac{kW.h}{mês}]$	53
Tabela 7 -	Valor da energia elétrica no primeiro semestre com o preço da tarifa de 0,91 [R\$ / kWh]	54
Tabela 8 -	Valor da energia elétrica no segundo semestre com o preço da tarifa de 1,00 [R\$/ kWh]	54
Tabela 9 -	Valor da energia elétrica no terceiro semestre com o preço da tarifa de 1,10 [R\$/ kWh]	54
Tabela 10 -	Custo de energia elétrica no primeiro semestre com a GD fotovoltaica	54
Tabela 11 -	Créditos de energia elétrica que sobraram de cada mês (1º semestre)	55
Tabela 12 -	Custo de energia elétrica no segundo semestre com a GD fotovoltaica	55
Tabela 13 -	Créditos de energia elétrica que sobraram de cada mês (2º semestre)	55
Tabela 14 -	Custo de energia elétrica no terceiro semestre com a GD fotovoltaica	56
Tabela 15 -	Créditos de energia elétrica que sobraram de cada mês (3º semestre)	56
Tabela 16 -	Custo evitado de energia elétrica no primeiro semestre com o preço da tarifa de [R\$ 0,91 / kWh]	57
Tabela 17 -	Custo evitado de energia elétrica no segundo semestre com o preço da tarifa de [R\$ 1,00 / kWh]	57
Tabela 18 -	Custo evitado de energia elétrica no terceiro semestre com o preço da tarifa de [R\$ 1,10 / kWh]	58

Tabela 19 -	Alocação financeira da GD com diferentes tarifas e consumo de energia elétrica	58
Tabela 20 -	Alocação Energética da GD com diferentes despachos de créditos e consumo de energia elétrica	58
Tabela 21 -	Porcentagem de custos evitados da concessionária pela GD para cada semestre para a empresa SalGaDinho'S	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIP	Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria
ABRACOPEL	Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Elétrica de Minas Gerais
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional da Política Fazendária
DU	Diagrama Unifilar Elétrico
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
GREG	Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidro energética
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEEE	Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos
ITPC	Instituto Tecnológico de Panificação e Confeitaria
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
MMGD	Micro e Mini Geração Distribuída
NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas

ODS	17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OIE	Oferta Interna de Energia
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PDE	Plano Decenal de Energia
PIS	Programa de Integração Social
PRODIST	Regras e Procedimentos de Distribuição
REN	Resolução Normativa
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SHM	Sistema Holônico de Manufatura
SIN	Sistema Interligado Nacional
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

Sumário

1. Introdução	14
1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.1 Objetivos Específicos	16
2. Revisão Bibliográfica	17
2.1 Matriz Energética Brasileira e Mundial	17
2.2 Estrutura do Sistema Elétrico Brasileiro.....	21
2.2.1 Tarifa de Energia Elétrica	23
2.3 Geração Distribuída	27
2.3.1 Créditos de Energia Elétrica.....	28
2.4 Energia Solar Fotovoltaica	30
2.5 Indústria de Panificação	31
2.6 Manufatura Inteligente.....	32
3. Metodologia	36
3.1 Descrição do Estudo de Caso.....	36
3.2 Diagnóstico Energético Preliminar	36
3.2.1 Diagrama Unifilar Elétrico - DU.....	37
3.3 Análise dos Dados Levantados	38
3.4 Diagnóstico Energético Final.....	38
4. Estudo de Caso	43
4.1 Caracterização do Estudo de Caso	43
4.2 Diagnóstico Energético Preliminar	46
4.2.1 Caracterização do Consumo.....	46
4.2.2 Caracterização da Geração Solar Fotovoltaica	48
4.3 Análise dos Dados Levantados	50

4.3.1 Dados da Geração	50
4.3.2 Dados do Consumo	51
4.4 Diagnóstico Energético Final.....	53
4.4.1 Cenário 1: Diagnóstico Energético sem os Créditos de Energia	53
4.4.2 Cenário 2: Diagnóstico Energético com os Créditos de Energia	54
5. Resultados.....	57
5.1 Análise do Impacto da Geração Distribuída	57
5.2 Custos Evitados e Eficiência Econômica.....	59
5.3 Análise de Sustentabilidade e Responsabilidade Socioambiental	61
6. Conclusão.....	63
Referências.....	66
Anexos	70

1. INTRODUÇÃO

Quando a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2020) declarou o estado de pandemia, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2020) realizou um mapeamento dos impactos da COVID-19 no mercado de panificação. A pesquisa destacou que as pequenas empresas foram as mais expostas e as que mais sofreram com as mudanças nos hábitos de consumo de seus clientes, especialmente em momentos de calamidade pública ou quando restrições econômicas foram impostas no Brasil. De acordo com Salomé et al. (2021), uma pesquisa realizada para identificar os impactos da pandemia da COVID-19 na gestão das micro e pequenas empresas do setor varejista, em um município do interior de Minas Gerais, Brasil, revelou que, na opinião das empresas pesquisadas, as medidas mais impactantes para mitigar os efeitos da pandemia seriam, em primeiro lugar, a redução de impostos e taxas (50,62%), seguida pela redução das tarifas de água e luz (25,93%) e, por fim, a liberação de empréstimos sem juros (23,45%).

A demanda de energia em padarias é significativa para o funcionamento de equipamentos essenciais à fabricação de produtos de panificação. Segundo o SEBRAE (2020), um dos três maiores custos operacionais dessa atividade é o gasto com energia elétrica, ficando atrás apenas da aquisição de matéria-prima e da mão de obra. Diante disso, a redução dos custos com energia elétrica se apresenta como um dos principais desafios do setor.

A geração própria de energia surge como uma alternativa viável para mitigar esses custos, além de promover a sustentabilidade do segmento no Brasil. Além de estabelecer medidas para conter o aumento das despesas e melhorar a eficiência energética, reduzindo o impacto do consumo elétrico do estabelecimento, é imprescindível a adoção de fontes alternativas e renováveis de energia, como a energia solar (ABIP, 2021).

A tecnologia tem desempenhado um papel fundamental no avanço do desenvolvimento humano, proporcionando soluções inovadoras que melhoram a qualidade de vida, ampliam o acesso a recursos e otimizam a produção em diversas áreas. No setor energético, a evolução das tecnologias de geração de energia renovável, como a solar fotovoltaica, tem se mostrado um marco no caminho para um futuro mais sustentável e justo. A energia solar, ao permitir a produção descentralizada de eletricidade, tem possibilitado a inclusão energética, especialmente em regiões afastadas ou com baixo acesso à rede elétrica convencional. Além disso, a transição para fontes de energia limpa e renovável contribui para a redução das emissões de gases de

efeito estufa, um dos maiores desafios globais do século XXI. O acesso à energia solar fotovoltaica, ao mesmo tempo em que reduz custos e aumenta a eficiência, também promove a autonomia dos indivíduos e das comunidades, permitindo que pequenos negócios e consumidores se tornem protagonistas na busca por soluções sustentáveis e mais econômicas. Assim, a tecnologia solar fotovoltaica não só auxilia no desenvolvimento econômico de empresas e países, mas também se alinha a um desenvolvimento social mais inclusivo e ambientalmente responsável.

Nesse contexto, buscar previsibilidade nos custos de energia elétrica pode contribuir positivamente para a estabilidade econômica de estabelecimentos de pequeno porte. Assim, surge a motivação para investigar a seguinte questão: quais são os impactos da geração distribuída nos custos de energia elétrica em uma indústria de panificação?

A análise dos impactos da geração distribuída com energia solar fotovoltaica na operação de uma panificadora de pequeno porte se justifica pela contribuição econômica, ambiental e operacional dessa solução. A Geração Distribuída (GD) com energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma opção viável para pequenos negócios, pois permite que as empresas produzam parte da energia que consomem, reduzindo sua dependência das tarifas da concessionária e mitigando o impacto financeiro das variações de preço da energia elétrica. Além disso, essa alternativa melhora a previsibilidade dos custos e pode contribuir para uma imagem corporativa alinhada com a sustentabilidade, uma vez que a energia solar é considerada uma fonte renovável, de baixa emissão de carbono e, portanto, de reduzido impacto ambiental.

O texto está estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução. O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica. O terceiro descreve a metodologia utilizada para o levantamento de dados. O quarto capítulo traz o estudo de caso com as premissas adotadas. O quinto capítulo analisa os resultados e, por fim, o sexto capítulo apresenta as conclusões, seguidas da lista de referências bibliográficas.

O trabalho também se concentra principalmente nos itens 7 (Energia Acessível e Limpa) e 8 (Emprego Digno e Crescimento Econômico) da Agenda 2030 da ONU (Organização das Nações Unidas). A Agenda 2030 é um plano de ação global que abrange 17 Objetivos integrados e indivisíveis, os quais equilibram de maneira harmoniosa as três dimensões do desenvolvimento sustentável: econômica, social e ambiental, conforme ilustrado na Figura 17. Esses objetivos funcionam como um conjunto de tarefas a serem executadas por governos, sociedade

civil, setor privado e todos os cidadãos, em uma jornada coletiva rumo a um futuro sustentável até 2030.

1.1 Objetivo Geral

A evolução tecnológica, particularmente na interação entre o homem e a máquina, tem sido crucial para a transformação das indústrias, como a de panificação, onde a automação e as soluções energéticas inovadoras, como a energia solar, potencializam a eficiência e a sustentabilidade, promovendo avanços econômicos e operacionais. O objetivo geral desta dissertação é analisar os impactos da implementação de um sistema fotovoltaico instalado de forma remota na cidade de Piranguinho-MG na concessionária de energia do estado de Minas Gerais (CEMIG), em um estabelecimento de panificação de pequeno porte localizado no município vizinho em Itajubá-MG.

O trabalho ora apresentado tem como objetivo responder à seguinte questão: *Como a implementação de um sistema de geração distribuída com energia solar fotovoltaica impacta os custos operacionais de uma panificadora de pequeno porte?* Para isso, faz-se necessário entender como o sistema fotovoltaico contribui para reduzir as despesas mensais e qual o potencial de economia e o uso a longo prazo dos créditos energéticos.

1.1.1 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos tem-se:

- Aperfeiçoar o conhecimento do uso da geração distribuída com energia solar fotovoltaica inserida na rede de distribuição da concessionária de energia elétrica para redução de custos operacionais da empresa e sustentabilidade ambiental.
- Calcular o percentual de consumo de cada medidor do estabelecimento e grupos de cargas dentro de uma empresa de manufatura.
- Analisar o impacto da alocação energética e financeira da geração distribuída com o acompanhamento semestral para diferentes tarifas e consumo de energia elétrica da panificadora.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Matriz Energética Brasileira e Mundial

Segundo Smil (2017), o uso intenso de energia é razoavelmente recente na história. A queima de combustíveis fósseis e a geração de eletricidade criaram uma civilização de alto consumo energético, cuja expansão abrangeu todo o planeta de maneira diferentes. Isso se traduz em uma dinâmica complexa de produção, transporte e consumo das diferentes fontes de energia e alguns gargalos na dinâmica do setor energético permeiam a sociedade. As mudanças na matriz energética se conectam com aspectos econômicos, tecnológicos, políticos e sociais e alguns países tem adotado medidas que tornam o aproveitamento energético peça chave para tomadas de decisões futuras. O domínio geopolítico no fornecimento de fontes primarias gera dependência energética e flutuações nos preços de energia elétrica impactando o crescimento tecnológico e industrial e perda de competitividade no âmbito internacional.

A energia que movimenta a indústria, o transporte, o comércio e demais setores do país recebe denominação de “Consumo Final”. A soma do consumo final e das perdas de energia é chamada de “Oferta Interna de Energia” – OIE, também denominada “Demanda Total de Energia” (*Total Primary Supply*). A estrutura da OIE é comumente chamada de Matriz Energética (REN, 2020, p. 28). No cenário mundial no ano de 2019, as maiores participações são os combustíveis fósseis, que lideram o ranking nas três primeiras posições: petróleo (31,1%), carvão (27,0%) e gás natural (23,0%), seguido pela biomassa (9,3%) e as principais fontes de energia elétrica como nuclear (5,0%), hidráulica (2,6%), solar eólica e outras (2%) (IEA, 2019). Já no Brasil as porcentagens são (33,1%) do petróleo, (19,1%) derivados da cana, (12,6%) hidráulica, (11,8%) gás natural (8,9%) lenha e carvão vegetal, (7,7%) solar, eólica e outras renováveis (4,9%) carvão mineral, (1,3%) nuclear e o restantes (0,6%) são outras não renováveis (BEN, 2020). Vale ressaltar a energia geotérmica, que é a energia térmica advinda do interior da Terra, e que é utilizada para produção de eletricidade, contribuindo com 0,38% na matriz energética mundial.

As fontes renováveis de energia são aquelas em que os recursos naturais são capazes de se regenerar, são consideradas inesgotáveis e diminuem o impacto ambiental. Dentre as energias alternativas mais conhecidas atualmente destacam-se a eólica, hidráulica, energia do mar, solar, geotérmica e biomassa. A utilização em substituição aos combustíveis fósseis provocam um impacto menor ao meio ambientes e não afetam o balanço térmico e nem a composição atmosférica do planeta. A crescente preocupação com as questões ambientais e a

conscientização mundial sobre a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis vem estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico que visam à aprendizagem e a consequente redução dos custos de geração dessas tecnologias (FREITAS & DATHEIN, 2013).

Conforme mostrado na Tabela 1, o crescimento percentual da produção de energia das fontes da matriz mundial e brasileira no ano de 2020 em relação a 2010, o aumento da produção de energia a partir da fonte solar e eólica supera das fontes não renováveis.

Tabela 1 – Crescimento percentual de produção de energia – 2020 em relação à 2010

Fonte de Energia	Mundo	Brasil
Biocombustíveis	139,54%	35,00%
Carvão	5,81%	-17,59%
Eólica	359,27%	2519,44%
Gás Natural	22,31%	59,30%
Geotérmica/outras renováveis	73,85%	64,01%
Hidrelétrica	25,06%	-1,61%
Nuclear	-2,47%	5,32%
Petróleo	6,12%	42,38%
Solar	2441,36%	7858,69% (2015 a 2020)

Fonte: *Statistical Review of World Energy* (2021).

A disponibilidade dos recursos energéticos nacionais, as elevadas tarifas finais de eletricidade e um modelo de compensação de créditos favorável tornaram o investimento em geração própria bastante rentável no Brasil conforme a Figura 1 a seguir. Isso levou não apenas consumidores residenciais, mas também produtores rurais, redes varejistas, bancos e indústrias a investirem em sistemas de MMGD nas modalidades local ou remoto.

A publicação do Plano Decenal de Energia (PDE 2024) sinaliza que cerca de metade da expansão da capacidade de produção de energia elétrica no Brasil será baseada nas fontes eólica, solar, biomassa e oriunda de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). Com isso, as fontes renováveis terão um papel fundamental para o país atingir os 73 mil MW previstos para 2024,

na avaliação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Entre os destaques também está a expansão do consumo de biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel).

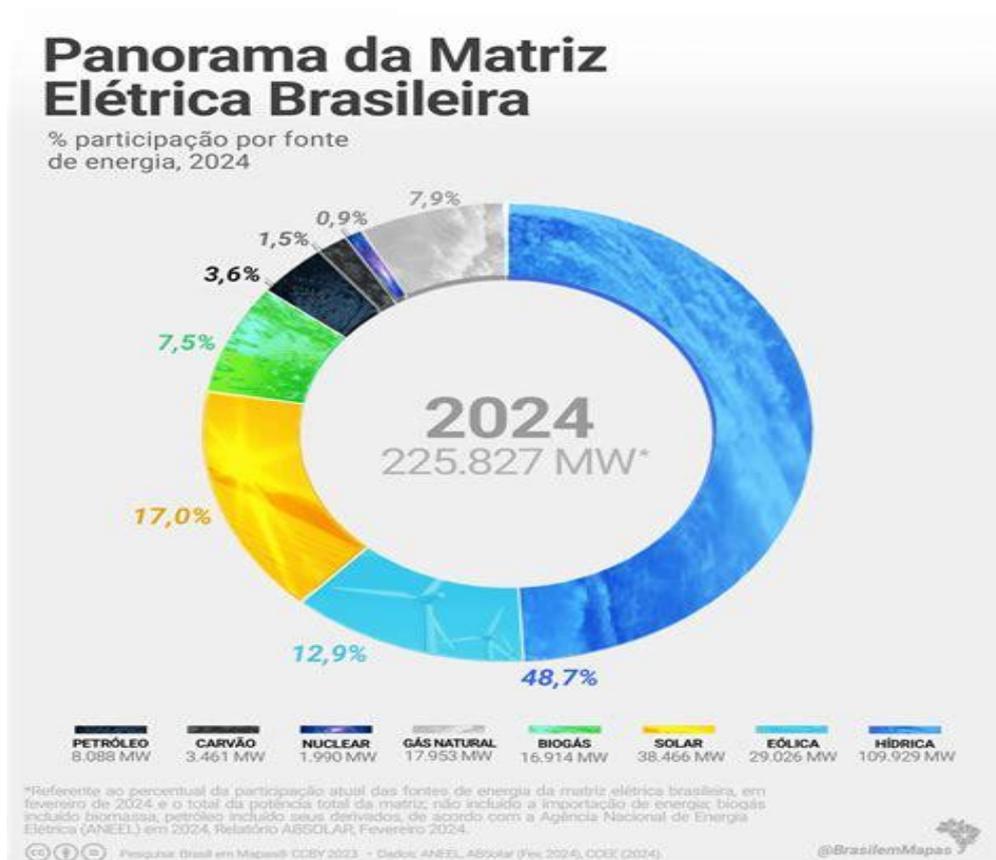


Figura 1 – Participação das fontes da matriz elétrica

Fonte: PDE (2024)

A segurança energética vem sendo tratada como assunto de agendas e conferências mundiais, e o desenvolvimento econômico tem obtido como pré-requisito a disponibilidade de energia em quantidade e qualidade (TOLMASQUIM, GUERREIRO E GORINI, 2007). O consumo de energia em uma pequena panificadora pode ter impactos significativos nos custos e na rentabilidade do negócio. Gerir o suprimento de energia de forma eficiente pode trazer benefícios econômicos, ambientais e operacionais para o negócio além de melhorar a imagem institucional da empresa.

Como indicado na Figura 2 o Brasil é composto por 7 instituições para regular, supervisionar, planejar e incentivar políticas públicas para comercialização do setor energético e elétrico brasileiro e podem ser definidos como se seguem:

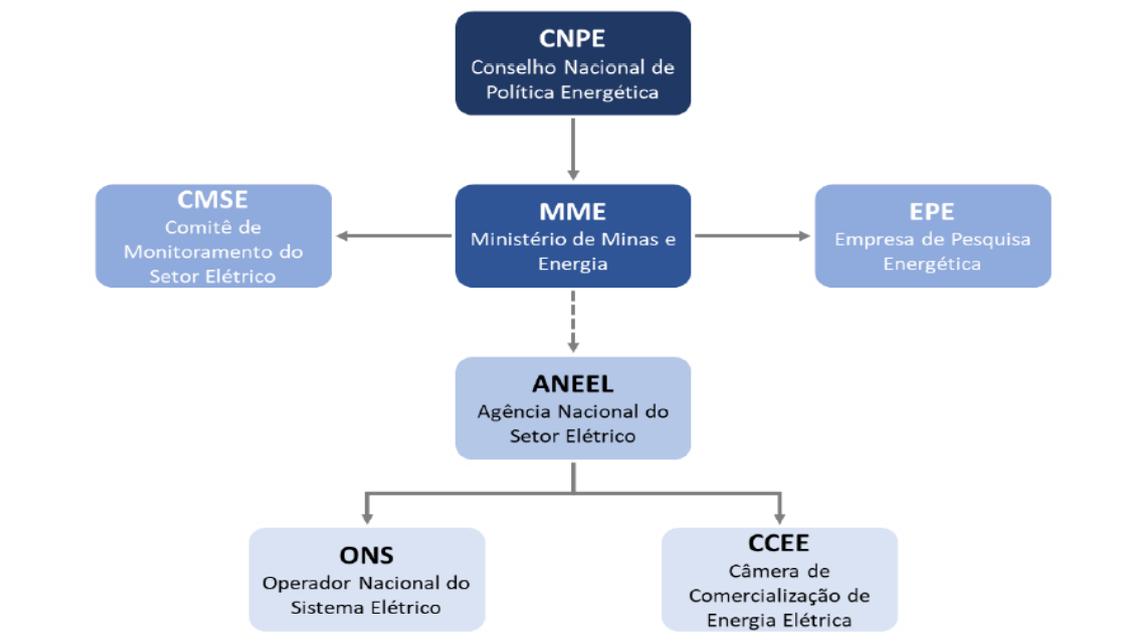


Figura 2 - Órgãos Reguladores do Sistema Elétrico

Fonte: MME (2021)

- **CNPE – Conselho Nacional de Política Energética**
Órgão interministerial de assessoramento à Presidência da República que tem como principais atribuições a formulação de políticas e diretrizes de energia que assegurem o suprimento de insumos energéticos a todas as áreas do país.
- **MME – Ministério de Minas e Energia**
Órgão do Governo Federal responsável pela condução das políticas energéticas do país.
- **CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico**
Órgão sob coordenação direta do MME, criado para acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo território nacional. O Comitê é formado pelos órgãos MME, ANEEL, ONS, EPE, CCEE e ANP (Agência Nacional do Petróleo).
- **EPE – Empresa de Pesquisa Energética**
Instituição vinculada ao MME cuja finalidade é a realização de estudos e pesquisas destinadas à subsidiar o planejamento do setor energético.
- **ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica**

As atribuições são regularização e fiscalização da produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

- **CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**

Reúne empresas e instituições que viabilizam operações de compra e venda de energia em todo o país.

- **ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico**

Responsável por operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN) e por administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil.

2.2 Estrutura do Sistema Elétrico Brasileiro

A ONS atua no SIN, figura 3, que interliga todo o sistema nacional em 4 sub-mercados, que são definidos de acordo com os limites de transmissão entre um sub-mercado e outro, sendo Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte.

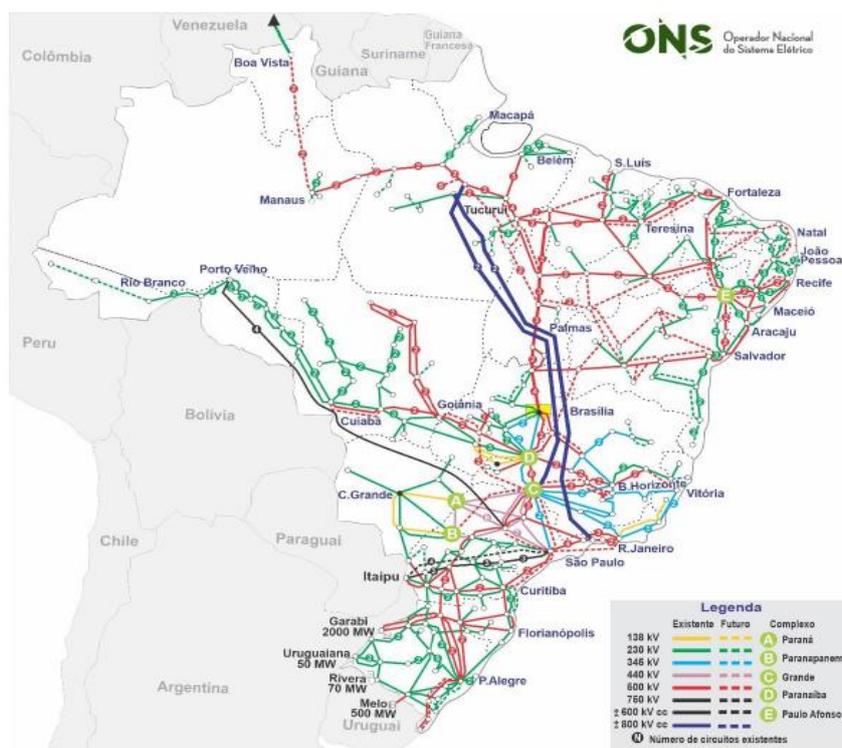


Figura 3 - Sistema Interligado Nacional (SIN) horizonte 2024

Fonte: ONS (2022)

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é composto por empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, responsáveis por suprir todas as regiões conectadas. Contudo, ainda existem áreas fora desse sistema, chamadas de *Sistemas Isolados*, principalmente no Norte do Brasil, como nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá, Pará, e em algumas localidades de Mato Grosso. A única capital atendida por sistemas isolados é Boa Vista, em Roraima. Apesar disso, o consumo nessas regiões representa apenas cerca de 1% da carga total do país (ONS, 2022).

Com o avanço das tecnologias de geração de energia renovável, como a solar fotovoltaica e a eólica, essas regiões passaram a contar com alternativas mais eficazes para o fornecimento de energia. Porém, a integração dessas fontes renováveis ao Sistema Interligado Nacional (SIN) ainda enfrenta desafios, principalmente devido à sua natureza intermitente, o que exige um planejamento mais sofisticado para garantir a estabilidade do fornecimento. A variabilidade da geração de energia solar e eólica ao longo do dia e das estações exige que o sistema elétrico se adapte para lidar com essas flutuações de forma eficiente, conforme exemplificado na Figura 4 (ONS, 2022).

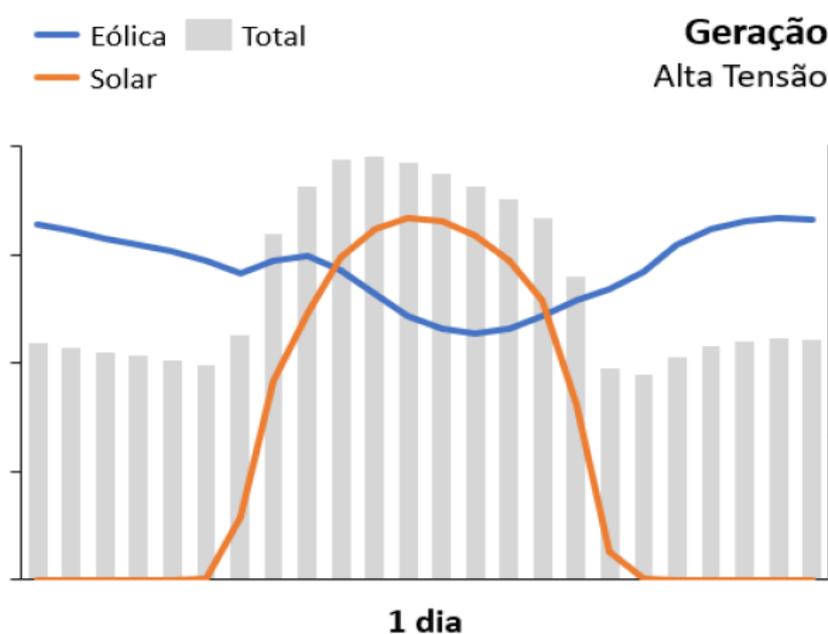


Figura 4 – Complementariedade Solar e Eólica

Fonte: IEEE (2022)

No entanto, o avanço tecnológico tem permitido superar essas dificuldades, oferecendo novas soluções que tornam o setor elétrico mais flexível e adaptável às novas demandas. Nesse contexto, a Geração Distribuída (GD) com sistemas de energia solar fotovoltaica se destaca como uma inovação significativa. Essa tecnologia tem permitido que os pequenos negócios, antes vistos apenas como consumidores de energia, passem a ser também supridores. Pequenos estabelecimentos comerciais, como panificadoras, por exemplo, podem agora gerar parte da sua própria energia, reduzindo a dependência da rede elétrica e oferecendo mais previsibilidade aos seus custos operacionais.

Com o aprimoramento das tecnologias de armazenamento e gestão de energia, como as baterias de alta performance e os sistemas de monitoramento inteligente, esses negócios conseguem otimizar a utilização de energia gerada localmente, equilibrando a demanda e garantindo a continuidade das operações, mesmo nos momentos em que a geração solar e eólica não seja suficiente. Portanto, ao invés de depender exclusivamente de fontes externas de energia, os pequenos negócios estão assumindo um papel mais ativo e independente, alinhado com a transição para uma matriz energética mais sustentável e descentralizada.

O desenvolvimento das tecnologias de geração renovável, especialmente a solar e a eólica, está, assim, não apenas transformando o setor elétrico brasileiro, mas também criando novas oportunidades para o crescimento econômico local, especialmente para os pequenos empreendedores. A GD não só facilita o controle sobre os custos de energia, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental, permitindo que pequenos negócios se integrem à cadeia produtiva de energia renovável.

2.2.1 Tarifa de Energia Elétrica

O ambiente regulado, a tarifa é definida pela ANEEL e o consumidor paga direto para distribuidora, que realiza o pagamento para geradora com base na energia leiloadas. A estimativa é que até 2028 o mercado de energia livre esteja aberto para a totalidade de consumidores, observando-se as mitigações para os possíveis impactos de contratos legados do ambiente ACR e métodos de desligamento de consumidores (PORTO, 2022).

O preço da energia elétrica no país é dado por **[R\$/MWh] – reais por mega watt x hora** - e existem dois ambientes de contratação no mercado brasileiro, mostrado na figura 5 abaixo, sendo eles:

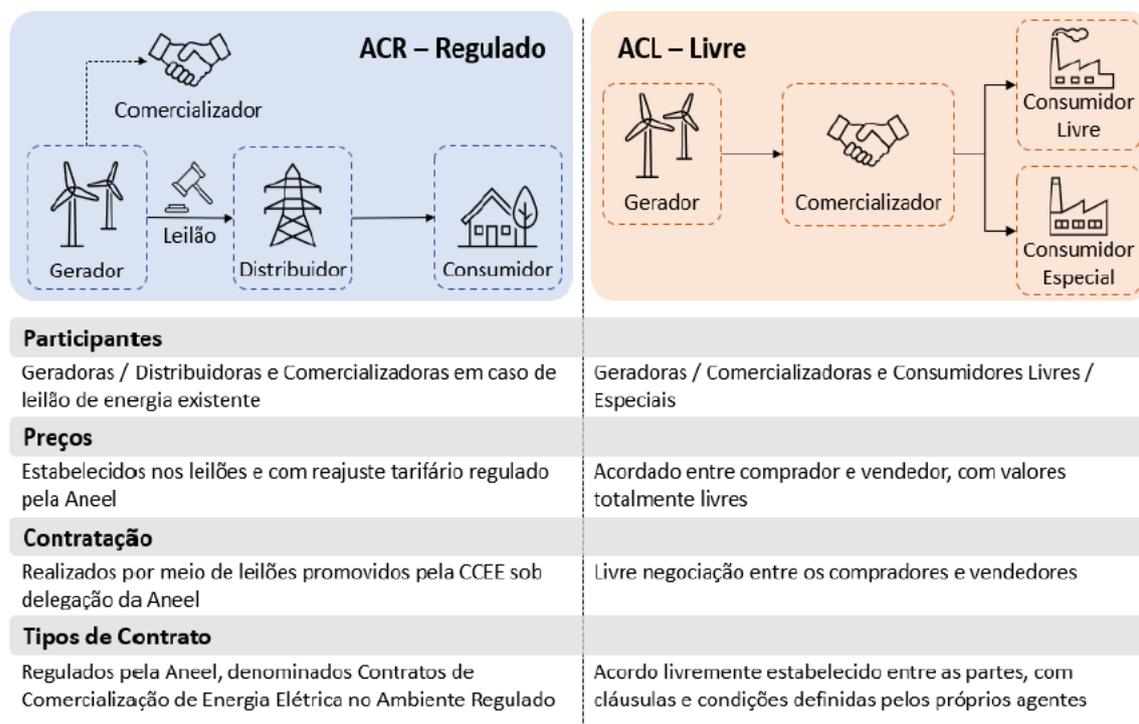


Figura 5 – ACR e ACL – Ambiente de Contratação Regulada e Livre

Fonte: CCEE (2022)

ACR – AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADA, é realizada por meio de leilões de energia, promovidos pela CCEE, que fornecem energia para as distribuidoras que, por sua vez, atenderão aos consumidores regulados, com carga inferior a 0,5 [MW].

ACL – AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE, o contrato é realizado diretamente entre gerador/comercializador e o consumidor final, sendo que o consumidor deve ter potência entre – 0,5 [MW] e 1,5 [MW] – para ser considerado Consumidor Especial, ou acima de 1,5 [MW] considerado Consumidor Livre.

No Brasil, a tarifa de energia elétrica dos consumidores é constituída por custos com a aquisição de energia elétrica, decorrentes da contratação de montantes de energia por meio dos leilões regulados, onde a distribuidora compra uma quantidade de energia que considera suficiente para o atendimento do seu mercado; pelo uso do sistema de distribuição, que estão inseridos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), como as despesas de capital e os custos de operação e manutenção das redes de distribuição; pelo uso do sistema de transmissão, estão inseridos na Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST); pelas perdas

técnicas e não técnicas; pelos encargos diversos, que são contribuições instituídas por lei, cujos valores são estabelecidos por resoluções ou despachos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), visando a obter recursos e a financiar necessidades específicas do setor elétrico; e pelos tributos como o PIS (Programa de Integração Social)/PASEP (Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público), COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social) e ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) (TARIFAS DE ENERGIA, 2018).

Os consumidores residenciais e comerciais de pequeno porte são considerados como cativo, onde as distribuidoras de energia é fornecedora compulsória e a tarifa é regulada, cujo o preço é resultante de contratos de longo prazo e elas absorvem as incertezas do planejamento centralizado do governo onde ambas participam do rateio dos custos da diferença entre geração programada e realizada e a cobrança tem a seguinte composição tarifária:

Energia: O custo de energia vem do seu processo de produção, dos equipamentos necessários para a manutenção e construção de novas usinas, mão-de-obra etc.

Distribuição: A distribuição se refere ao custo de levar a energia da nossa distribuidora até a sua instalação.

Tributos: Os tributos se referem aos impostos pagos para o governo, ICMS, COFINS e PIS.

Encargos: Os encargos são contribuições definidas em leis aprovadas pelo Congresso Nacional, utilizadas para financiar o desenvolvimento Elétrico brasileiro e as políticas energéticas do Governo Federal.

Perdas: A perda se refere aos custos às perdas técnicas e comerciais. A perda técnica é o processo de levar a energia da fonte até a sua instalação, ocorre dissipação no processo de transporte, transformação de tensão e medição devido as leis da física. Além disso ocorrem as perdas comerciais em decorrência de ligações clandestinas de energia, popularmente conhecidas como "gatos".

Transmissão: A transmissão se refere aos custos de levar a energia da fonte até a nossa distribuidora.

Além disso, para equilibrar os custos da aquisição de energia é cobrado um valor a mais, chamado bandeira tarifária, que passou a valer a partir de 2015.

(i) **Bandeira tarifária**

A bandeira tarifária é um sistema que sinaliza se haverá acréscimo no valor da energia para consumidores finais em função das condições de geração energética. Quando chove pouco, por exemplo, a redução no volume dos reservatórios pode levar a necessidade de acionamentos das termelétricas para garantir o atendimento ao sistema. Assim, pode haver uma mudança na bandeira de verde para amarela ou até mesmo vermelha (situação mais crítica). Isso decorre pelos fatos das termelétricas, movidas principalmente por combustíveis fósseis como carvão e óleo diesel, são fontes de energia mais caras e não renováveis. Em momentos de hidrologia desfavorável, acionam-se as térmicas de custos adicionais que não é coberto pela tarifa de energia vigente no ano, assim cria a necessidade de arrecadação adicional que é sinalizado ao consumidor em tempo real, mês a mês. É essa diferença que vai parar nas bandeiras tarifárias, encarecendo o valor a ser pago pelo consumidor. (ANEEL, 2022).

(ii) **Tipos de bandeiras tarifária**

De acordo com a ANEEL (2022), foram listadas as características de cada modalidade e os valores cobrados em fevereiro de 2022.

1 - Bandeira Verde – condições de geração de energia estão favoráveis, não há acréscimo na tarifa.

2 - Bandeira Amarela – Condições menos favoráveis de geração, acréscimo de R\$ 1,87 na tarifa a cada 100 [kWh] consumido.

3 - Bandeira Vermelha (patamar 1) – Condições mais custosas para geração, acréscimo de R\$ 3,97 na tarifa a cada 100 [kWh] consumido.

4 – Bandeira Vermelha (patamar 2) – Condições ainda mais custosas do que o patamar 1 para geração, acréscimo de R\$ 9,49 na tarifa para cada 100 [kWh] consumido.

5 – Bandeira de Escassez Hídrica – Criada recentemente e indica que as condições de geração de energia são críticas, acréscimo de R\$ 14,20 na tarifa a cada 100 [kWh] consumido. Foi estipulada pela Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidro energética (CREG), órgão criado por meio de medida provisória em 2021 com o objetivo de fornecer diretrizes para o enfrentamento da crise que impactou na geração de energia pelas usinas hidroelétricas.

As alterações das bandeiras dependem, sobretudo, do regime de chuvas durante os primeiros meses do ano, quando boa parte do país registra os maiores volumes de precipitação e projeta-se a água acumulada será suficiente para atravessar o período mais seco, para saber qual será a bandeira tarifaria, basta acompanhar os anúncios da ANEEL, nas datas previamente divulgadas no *calendário de acionamento de bandeiras tarifárias*.

2.3 Geração Distribuída (GD)

A Geração Distribuída (GD) e o sistema de compensação de energia elétrica no Brasil começaram a ganhar destaque com a publicação da Resolução Normativa nº 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Esse marco legal regulamentou a micro e minigeração distribuída conectada à rede, permitindo que consumidores gerassem sua própria energia a partir de fontes renováveis, como solar, eólica e biomassa. A norma também instituiu o sistema de compensação de energia elétrica, no qual a energia excedente gerada pode ser injetada na rede de distribuição, gerando créditos que podem ser utilizados para abater o consumo em períodos subsequentes.

Em 2022, a Lei nº 14.300/2022 consolidou o marco legal da GD, estabelecendo o Sistema de Compensação de Energia Elétrica e definindo os direitos e deveres dos consumidores-geradores. Essa legislação visou fortalecer o setor de GD, proporcionando maior previsibilidade para investidores e consumidores, além de promover a expansão das fontes de energia renováveis no país. Em fevereiro de 2023, a ANEEL publicou a Resolução Normativa 1059/2023, que regulamentou aspectos específicos da Lei nº 14.300 e introduziu procedimentos para o acesso

e faturamento da geração distribuída, alinhando a legislação brasileira às melhores práticas internacionais de incentivo à geração de energia renovável.

A classificação da GD no Brasil é dividida em microgeração e minigeração, com base na potência instalada. A microgeração é definida como qualquer sistema com potência instalada menor ou igual a 75 kW, enquanto a minigeração refere-se a sistemas com potência superior a 75 kW e até 5 MW. Esses limites foram estabelecidos para diferenciar o impacto na rede e a complexidade de conexão de cada sistema. Os sistemas de microgeração são comumente instalados em residências e pequenos comércios, enquanto a minigeração é mais frequentemente utilizada em locais remotos, para atender a atividades comerciais e/ou industriais.

O crescimento da GD tem sido impulsionado pela conscientização ambiental e políticas de incentivo, com destaque para a energia solar fotovoltaica, que se consolidou como uma das fontes mais populares de sistemas distribuídos. A evolução tecnológica no setor solar tem possibilitado que pequenas e médias empresas integrem sistemas fotovoltaicos em suas operações, criando novas oportunidades de desenvolvimento e eficiência energética. A energia solar, com seu baixo impacto ambiental e custos decrescentes, tem se mostrado uma solução atraente para a redução das despesas com energia e para a promoção da sustentabilidade no setor empresarial.

De acordo com Zilles (2016) e Oliveira (2015), a GD oferece diversos benefícios, como a diversificação da matriz energética, a redução das emissões de carbono e o aumento da resiliência energética dos consumidores. Com a geração distribuída, os consumidores passam a depender menos da rede centralizada, conquistando maior autonomia e controle sobre seus custos e impactos ambientais.

2.3.1 Créditos de Energia Elétrica

Para aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, o "Consumidor Cativo" adquire sua energia diretamente das distribuidoras e se beneficia dos créditos gerados pela ANEEL. Praticamente todas as residências e comércios no Brasil adquirem sua energia das distribuidoras, permitindo que proprietários de imóveis ou comércios se integrem ao sistema. Em 2015, o CONFAZ (Conselho Nacional da Política Fazendária), revogou o convênio que orientava a tributação da energia injetada na rede, permitindo que cada estado decidisse se tributaria ou não a energia solar injetada na rede da distribuidora. Em Minas Gerais, por exemplo, existe uma legislação estadual que concede isenção de ICMS para consumidores com usinas de

até 5 MW. Além disso, o Governo Federal, através da Lei nº 13.169/2015, isentou a energia solar injetada na rede da cobrança de PIS e COFINS.

A energia excedente gerada pelo sistema fotovoltaico, ao ser injetada na rede de distribuição, gera um crédito de energia, que pode ser utilizado pelo consumidor para compensar o seu consumo em períodos subsequentes. Esses créditos têm validade de 60 meses e podem ser transferidos para outras propriedades ou unidades consumidoras, desde que pertencentes ao mesmo titular, seja pessoa física ou jurídica. Além disso, é possível realizar a transferência de créditos entre propriedades de diferentes titulares, desde que formalizado um contrato, ou ainda por meio de cooperativas e consórcios de empresas ou indivíduos. Esta flexibilidade permite que pequenos negócios e até grupos de consumidores se unam para construir um sistema de geração de energia solar maior e compartilhar a produção de energia.

O sistema de compensação de energia elétrica foi estabelecido pela Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, que definiu as regras básicas para o acesso de microgeração e minigeração distribuída (MMGD) aos sistemas de distribuição de energia elétrica. De acordo com a normativa, a energia produzida pelo sistema de microgeração ou minigeração é fornecida à distribuidora local e, em seguida, compensada para a mesma unidade consumidora (ANEEL, 2012).

A regulação no Brasil, permite que os créditos sejam transferidos entre unidades consumidoras de um mesmo titular, o que facilita o uso dos créditos de energia gerados em um imóvel para abater o consumo em outro. O processo de **compensação** de energia é simples e pode ser acompanhado pelas próprias faturas de energia, tornando o controle acessível e transparente.

O valor da energia injetada na rede local é devolvido ao consumidor na forma de créditos, com uma equivalência de 1 crédito para cada 1 kWh injetado. No entanto, com a sanção da Lei Ordinária nº 14.300/2022, que instituiu o "Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída", os solicitantes de acesso ao sistema de compensação passaram a ser responsáveis pelo pagamento de uma alíquota progressiva sobre a tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD). Para aqueles que solicitaram o acesso antes da vigência da lei, o pagamento das taxas permanecerá inalterado, mantendo a compensação de 1 crédito para cada 1 kWh injetado até o ano de 2045.

Mesmo em períodos de pouca geração (dias nublados ou chuvosos), os créditos podem garantir que a energia seja fornecida sem custos adicionais, como uma espécie de "backup". Para empresas, os créditos podem ser usados para reduzir os custos operacionais, aumentando a **competitividade** no mercado, uma vez que a redução de despesas com energia elétrica é um dos fatores-chave para o sucesso financeiro. Além disso, o sistema fotovoltaico, ao longo do tempo, pode se pagar por meio da economia com energia, transformando os créditos em uma verdadeira **forma de investimento**.

2.4 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar é a principal fonte de energia para a Terra, provinda do Sol, que é uma fonte inesgotável de calor e luz em escala terrestre de tempo. Essa radiação é crucial, pois desencadeia processos físicos, químicos e biológicos fundamentais, além de fornecer a energia primária para os processos terrestres (SOUZA, NICÁCIO e MOURA, 2005).

O planeta Terra, considerando sua forma e inclinação, resulta em variações na incidência solar para diferentes regiões. Isso significa que a quantidade de luz solar recebida em cada lugar varia. A captação ótima de radiação solar ocorre em áreas mais próximas a linha do equador, onde há menos variação na duração diária da luz solar ao longo do ano. Além da proximidade com o equador, a quantidade de luz solar também é influenciada pela latitude e pelo momento específico no tempo, incluindo o dia do ano e a hora do dia (Greenpro, 2004).

Conforme aponta Rigo (2017), o potencial do Brasil para geração de energia solar fotovoltaica é vasto e de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o país recebe diariamente uma incidência de radiação solar que varia entre 4.500 [Wh/m²] e 6.300 [Wh/m²], sendo que, de acordo com Rico (2017), a quantidade de radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha é aproximadamente 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil.

Por meio das células fotovoltaicas, a energia solar pode ser utilizada para a produção de energia elétrica. Os módulos fotovoltaicos são dispositivos com a capacidade de transformar a energia luminosa do sol em energia elétrica (DUDIÁK, 2014). Uma célula fotovoltaica é construída com materiais semicondutores dopados, formando uma junção p-n exposta à luz solar, como ilustrado na Figura 6. Quando a luz solar incide sobre essa junção, um campo elétrico é gerado, induzindo o fluxo de cargas elétricas na forma de corrente contínua (GONÇALVES, 2004).

Villalva (2010) explica que esse fenômeno ocorre porque a energia dos fótons da luz solar é suficiente para promover a excitação dos elétrons nos materiais semicondutores, o que depende tanto dos materiais utilizados na célula quanto do comprimento de onda da luz incidente. O efeito fotovoltaico é influenciado pela absorção da radiação solar, pela geração e transporte de portadores de carga no semicondutor, pela criação de portadores na junção p-n e pela coleta desses portadores pelos terminais do dispositivo.

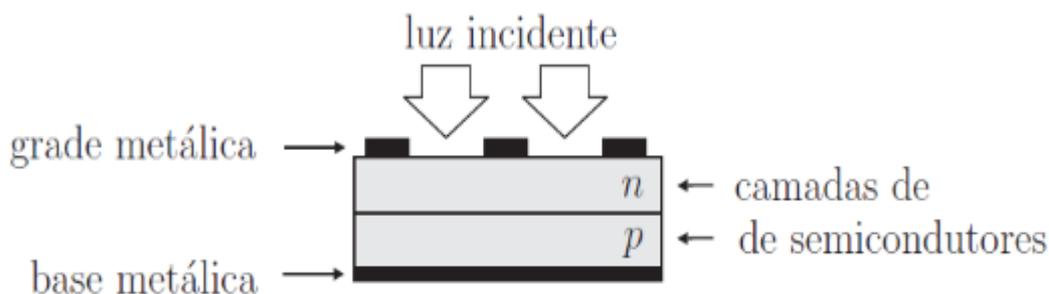


Figura 6 – Representação de uma célula fotovoltaica

Fonte: VILLALVA (2010)

Nos últimos dez anos, houve um rápido crescimento na produção de energia solar no Brasil sendo que em 2022, foram instalados 1.890.095 sistemas fotovoltaicos conectados à rede, totalizando uma potência instalada de 20.417 [MW], colocando o Brasil como o oitavo maior produtor mundial de energia solar. Em 2023, esse número aumentou para 24 [GW]. Hoje, cerca de 50% da energia solar fotovoltaica no Brasil é gerada por sistemas de micro e minigeração distribuídas, totalizando 1.490.534 unidades e uma potência instalada de 10.328,5 [MW] (PORTALSOLAR, 2023).

2.5 Indústria de Panificação

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP), o mercado brasileiro de panificação e confeitaria continua a expandir, com os negócios do setor se destacando como um dos segmentos industriais mais importantes do país (ABIP, 2019). Em Minas Gerais, o setor de panificação ocupa a terceira posição entre os estados com o maior número de pequenos empreendimentos, totalizando 34,5 mil negócios formalizados. Esses empreendimentos representam 12% dos mais de 292 mil negócios no segmento em todo o Brasil (SEBRAE, 2023).

O setor é caracterizado pela alta concorrência, pois muitos ofertam o mesmo serviço sem muita ou quase nenhuma diferenciação, sendo os supermercados os principais concorrentes

(RONCATO, 2014). De acordo com a ABIP e o Instituto Tecnológico de Panificação e Confeitaria (ITPC), para se destacarem diante da concorrência, padarias estão se transformando em centros gastronômicos ao oferecer novos serviços como cafés, lanches frescos e variações de receitas. No entanto, para decidir onde e em quais produtos investir, é crucial ter um controle financeiro detalhado dos custos e entender o retorno financeiro que cada produto ou serviço pode trazer. Assim, gerenciar os custos torna-se indispensável para o gestor não tomar decisões equivocadas e com isso evitar prejuízos indesejáveis (ROCHA, 2019).

Um sistema de controle de custos proporciona maior segurança no processo de tomadas de decisões (MELO e PIETRO, 2013). Dentre eles, os de energia elétrica é um dos mais relevantes que exige bastante atenção dos estabelecimentos de panificação. Para identificar quais equipamentos consomem mais energia elétrica, deve-se verificar a potência dos equipamentos, quanto maior a potência, maior será o consumo de energia. Os equipamentos de refrigeração são responsáveis pelo maior consumo de energia em padarias e correspondem com mais de 40% do que é pago na conta. Em segundo lugar, estão os fornos que consome em torno de 29%. O restante divide-se entre demais equipamentos como ar-condicionado, micro-ondas, estufas, maseiras, cilindros e iluminação (ABIP, 2021).

Santos Junior *et al* (2018), informa que empresários dos setores da indústria, comércio e serviços demonstram cada vez mais interesse sobre o consumo de energia elétrica em seus negócios, que se mal utilizada pode acarretar grandes gastos para o empreendimento, onerando ainda mais os produtos ou serviços prestados. De acordo com Da Silva e Araújo (2022), a adesão à energia solar é uma estratégia para empresas que dependem de energia elétrica para operar seus processos, como mercadinhos varejistas, padarias, confeitarias, restaurantes, lanchonetes, hotéis e pousadas. Assim, além de proporcionar reduções significativas dos custos operacionais principalmente em longo prazo, também contribui para a sustentabilidade ambiental.

2.6 Manufatura Inteligente

Para que as empresas possam responder adequadamente às exigências do mercado moderno, é imprescindível que adotem modelos de produção que integrem inovação tecnológica com a habilidade humana. A evolução no campo da manufatura exige a valorização dos recursos humanos e a implementação de estruturas organizacionais mais ágeis e descentralizadas, nas quais o trabalho inteligente, que combina conhecimento técnico e criativo, torna-se fundamental. Este tipo de abordagem exige que os trabalhadores desenvolvam competências como

autonomia, iniciativa, responsabilidade e a capacidade de aprender continuamente, além de serem capazes de interagir de maneira eficaz com as tecnologias emergentes.

No contexto das pequenas indústrias, como o setor de panificação, a combinação de processos tradicionais, como o trabalho manual, com inovações tecnológicas se torna essencial para aumentar a eficiência e atender às demandas do mercado. O avanço tecnológico nas indústrias de manufatura e panificação é crucial, pois permite não apenas otimizar os processos, mas também personalizar os produtos, atendendo às necessidades específicas dos consumidores. A interação entre os processos manuais e tecnológicos cria um equilíbrio entre a tradição e a inovação, permitindo que o conhecimento prático dos trabalhadores seja complementado pelas tecnologias de automação e controle inteligente.

A manufatura adaptativa, como conceito, foi definida pelos autores Nagel & Dove (1991) como "a habilidade de prosperar em um ambiente competitivo onde ocorrem mudanças contínuas e inesperadas, e responder rapidamente às bruscas mudanças do mercado orientadas pelos clientes, valorizando os produtos e a marca". No setor de panificação, isso implica uma adaptação aos processos de produção, onde a inovação não é apenas tecnológica, mas também uma forma de proporcionar soluções personalizadas para o cliente, combinando a tradição com os avanços tecnológicos. Nesse contexto, a tecnologia solar fotovoltaica, aplicada no setor de panificação, contribui para a criação de um ambiente de produção mais sustentável e flexível, permitindo que as empresas se tornem mais autossuficientes em termos energéticos.

Além disso, Gould (1997) aponta que "a Manufatura Inteligente se diferencia conceitualmente da manufatura enxuta (lean manufacturing) e requer estilo diferente de operação e de estrutura organizacional". Este conceito é especialmente relevante para as empresas de panificação, que, apesar de ainda manterem processos manuais, podem se beneficiar da introdução de sistemas inteligentes, como a geração distribuída solar fotovoltaica, para melhorar a eficiência energética e reduzir custos operacionais. Essa integração de tecnologias com o processo manual permite um controle mais preciso sobre os recursos e oferece maior flexibilidade na produção, adaptando-se rapidamente às mudanças na demanda do mercado.

Esse modelo de produção flexível e adaptável também envolve a capacidade de ajustar a fabricação conforme a demanda do consumidor. A "produção inteligente é a habilidade de uma empresa de administrar a mudança, no imprevisível mundo do comércio e da indústria e,

sobreviver no mercado que demanda uma rápida resposta às inesperadas expectativas do consumidor” Owen & Kruse (1997). O setor de panificação, com seu alto grau de personalização e produção em pequena escala, exige essa adaptabilidade. A tecnologia, como a GD solar fotovoltaica, e a automação dos processos de produção, permitem que os pequenos negócios se tornem mais ágeis e capazes de atender rapidamente às mudanças nas preferências dos consumidores, sem comprometer a qualidade dos produtos.

Com isso, está claro que os efeitos da globalização e da transformação digital no mercado mundial tornam cada vez mais necessário que as empresas adotem soluções para alcançar a **produção ágil e inteligente**. A integração de tecnologias, como a GD solar fotovoltaica, em processos de produção mais tradicionais, permite que as empresas do setor de panificação se tornem mais competitivas e sustentáveis. A aplicação de sistemas solares fotovoltaicos proporciona uma base sólida para a redução de custos operacionais e permite que as empresas alcancem maior autonomia, tanto em termos energéticos quanto de produção, capaz de atender de forma mais eficaz as demandas do mercado, ao mesmo tempo em que preserva a qualidade e a personalização dos produtos. Esse modelo de produção é a chave para o sucesso das pequenas indústrias no cenário competitivo e dinâmico da atualidade.

O Sistema Holônico de Manufatura (SHM) será, segundo a Comissão Europeia, uma das soluções para as organizações no próximo século, permitindo produção rápida e contínua de lotes pequenos, com foco na redução de custos e aumento da competitividade (Comissão Europeia, 1997). A pesquisa do Consórcio dos Países Ricos para o Século XXI aponta que, para atender a essas necessidades, as empresas precisarão de sistemas abertos, distribuídos, inteligentes, autônomos e cooperativos, capazes de se reconfigurar facilmente para produzir uma grande variedade de produtos (Consórcio dos Países Ricos, 1997).

De acordo com Gould, "a manufatura inteligente se diferencia da manufatura enxuta e requer um estilo operacional e organizacional distinto". Para atingir esse modelo, a empresa deve focar nas inter-relações entre seus três recursos principais: **pessoas**, com qualificação e empowerment; **organização**, com estrutura inovadora; e **tecnologia**, que deve ser flexível e adaptada às necessidades das pessoas (Gould, 1997).

O paradigma tradicional de alta produção em massa e baixa variedade de produtos está desaparecendo. Os consumidores exigem mais personalização, o que resulta na fragmentação

do mercado e na necessidade de customização dos produtos, a custos semelhantes aos de produção em massa (Gould, 1997). Isso leva as empresas a adotar soluções flexíveis para atender a demandas específicas.

O conceito de manufatura inteligente é a capacidade da empresa de gerenciar mudanças em um mercado imprevisível, respondendo rapidamente às expectativas dos consumidores e aos desafios competitivos e tecnológicos. A globalização aumenta a necessidade de empresas adotarem estratégias de produção ágil, que não se limitam a fabricar produtos, mas buscam construir relacionamentos duradouros com os clientes, proporcionando valor contínuo e serviços complementares que estão constituídas dos seguintes parâmetros (Owen & Kruse, 1997).

- Um provedor de soluções: ela não mais faz um produto, mas sim constrói um relacionamento com os clientes, um relacionamento duradouro que vai bem além de um produto, abrangendo serviços que proporcionam valor ao cliente e são a sua fonte de riqueza mais significativa;

- Colaborativa: tanto dentro como fora da empresa. Isto normalmente significa parcerias da empresa com “organizações virtuais” fora da empresa. Empresas ágeis agem colaborativamente para explorar oportunidades de mercado, para satisfazer novas demandas de mercado criadas pelos clientes;

- Inovadora: através de seus talentos humanos e das instalações produtivas escaláveis ou reconfiguráveis, com uma equipe de trabalho que tenha a iniciativa e flexibilidade de responder criativamente às necessidades do cliente.

3. METODOLOGIA

3.1 Descrição do Estudo de Caso

Como método, a pesquisa utiliza o estudo de caso de um estabelecimento do setor de panificação localizado na cidade de Itajubá-MG, com uma abordagem qualitativa para a verificação do padrão de uso dos equipamentos e quantitativa acerca do consumo de cada medidor de leitura de energia da concessionária e grupos de cargas.

As etapas metodológicas da pesquisa constituem em três partes, a primeira é referente ao Diagnóstico Energético Preliminar, a segunda sobre a Análise dos Dados Levantados e por fim o Diagnóstico Energético Final (RAMOS e DE ANDRADE, 2016). A figura 7 ilustra o roteiro simplificado da pesquisa. A descrição detalhada de cada uma das etapas metodológicas é detalhada na sequência. As premissas adotadas são detalhadas no capítulo seguinte.

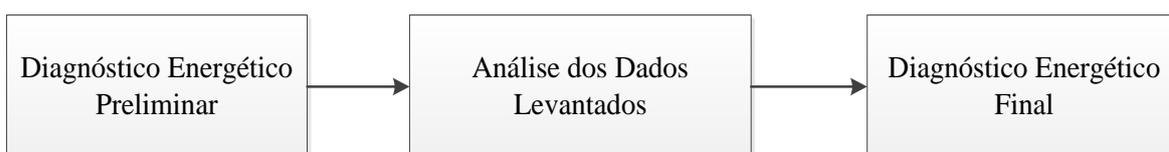


Figura 7 – Roteiro da pesquisa (Adaptado)

Fonte: RAMOS e DE ANDRADE (2016)

A metodologia delineada oferece uma estrutura clara para a coleta, análise e interpretação dos dados quantitativos relacionados ao consumo de energia elétrica e aos benefícios econômicos da implantação de um sistema fotovoltaico no estabelecimento considerado para esse estudo de caso.

3.2 Diagnóstico Energético Preliminar

De acordo com Ramos e De Andrade (2016), o objetivo inicial do diagnóstico energético preliminar é identificar oportunidades e entender qualitativamente o uso dos equipamentos geradores e consumidores de energia pela empresa. Para isso, foram realizadas visitas ao local de trabalho, permitindo a coleta de dados sobre os equipamentos, instalações, padrões de uso de recursos energéticos e detalhes dos processos de produção.

Nessa etapa foi possível elaborar a planta industrial do estabelecimento para analisar a estrutura física e o comportamento do fluxo de trabalho para um consumo eficiente de energia. Foi possível também entender a configuração elétrica com o desenho do Diagrama Unifilar

Elétrico com a composição dos medidores, cabeamento e dos equipamentos conectados em cada um, sendo possível diferenciar os 2 diferentes grupos de cargas, os que servem para manter a estrutura como geladeiras, lâmpadas e estufas e os que servem na hora de preparar os produtos fabricados, como o cilindro e forno. O estabelecimento possui dois medidores de energia disponibilizados pela concessionária do estado de Minas Gerais (CEMIG).

Foram realizadas análises da variação do preço da tarifa energética em [R\$/kW.h] cobrados pela concessionária em cada semestre do estudo a partir da conta de energia elétrica cobrados da empresa e do comportamento de consumo de cada medidor pelo período de um ano e meio datado de fevereiro de 2023 a julho de 2024 para compreender o perfil de consumo do empreendimento. Nessa etapa, também foi apresentado a caracterização da geração solar fotovoltaica instalada de forma remota na cidade vizinha, Piranguinho, que o estabelecimento já possui desde 2018, para averiguar a distribuição dos créditos de energia excedentes gerados em [kWh] para os dois medidores da empresa.

3.2.1 Diagrama Unifilar Elétrico - DU

O diagrama unifilar é um desenho que utilizando simbologia específica e representa um circuito elétrico com suas características, indicando, sobre a planta arquitetônica: os pontos de luz e tomadas, a posição dos eletrodutos, a localização dos quadros de distribuição, a divisão dos circuitos e o número e a caracterização dos condutores. Serve também para realização de estudos como de fluxo de potência e curto-circuito para o correto dimensionamento de equipamentos e segurança das instalações e pessoas.

Importante levar em consideração o sistema elétrico das construções prediais, ainda mais quando tratamos de empresas que têm certos números de equipamentos elétricos instalados, a norma NBR 5410 estabelece condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens (NBR 5410,2004). Além da parte técnica definida pela NBR 5410, temos também o econômico conforme ABNT NBR 15920:2011 que abrange um número maior de fatores como o tempo de utilização diário da carga alimentada, preço de venda e preço da energia elétrica.

Muitos acidentes elétricos evoluem para incêndios. Isso ocorre devido a problemas na instalação elétrica, como redes obsoletas, falta de manutenção, sobrecargas e a não atuação da

proteção elétrica por não ter sido dimensionada adequadamente (SILVA,2016). Segundo levantamento realizado pela Abracopel, no ano de 2016 foram mais de 600 vítimas fatais em decorrência de acidentes com eletricidade e acordo com dados do Corpo de Bombeiro do Estado de São Paulo, a 2ª maior causa de incêndios no Estado são instalações elétricas inadequadas. (ABRACOPEL, 2017).

3.3 Análise dos dados levantados

Os dados de geração foram simulados pelo software PVsystem, para a vida útil dos equipamentos de 25 anos. Os dados de consumo, foi considerado os medidores (1 e 2). Nessa etapa, obteve-se a média de seis em seis meses para realizar uma análise semestral. A partir da média, obteve-se o consumo de cada grupo de carga (1 e 2), e para isso foi utilizado as Equações 1 e 2.

$$GC_2 = Med_2 - Med_1 \quad (1)$$

Onde:

GC_2 : consumo dos equipamentos do grupo de carga 2 [kWh/mês]

Med_1 : média do consumo do medidor 1 [kWh/mês];

Med_2 : média do consumo do medidor 2 [kWh/mês].

$$GC_1 = Med_1 + Med_2 - GC_2 \quad (2)$$

Onde:

GC_1 : consumo dos equipamentos do grupo de carga 1 [kWh/mês];

GC_2 : consumo dos equipamentos do grupo de carga 2 [kWh/mês];

Med_1 : média do consumo do medidor 1 [kWh/mês];

Med_2 : média do consumo do medidor 2 [kWh/mês].

3.4 Diagnóstico Energético Final

O diagnóstico energético final representa o ápice do trabalho realizado, consolidando todo o conhecimento adquirido ao longo da pesquisa em busca da eficiência energética na em-

presa, e nesse caso o entendimento dos impactos da geração distribuída com energia solar fotovoltaica na operação do estabelecimento do estudo de caso. Este estágio integra os dados coletados e sua análise, juntamente com considerações sobre as análises realizadas. Além disso, as melhorias identificadas durante o desenvolvimento do trabalho são apresentadas como sugestões para aprimorar a eficiência da empresa (RAMOS e DE ANDRADE, 2016).

Com o intuito de analisar o impacto da adesão do estabelecimento à geração distribuída, foram apresentados dois cenários distintos, um sem considerar os créditos de energia gerados pela usina solar fotovoltaica e outro considerando os créditos de energia gerados. Assim, foi possível analisar o impacto da geração distribuída fotovoltaica no estabelecimento de forma quantitativa.

O LCOE (*Levelized Cost of Energy*), ou custo nivelado de eletricidade é o valor presente líquido do custo unitário de eletricidade ao longo da vida útil de um ativo de geração (BRANKER et al., 2011;) e tem como equação abaixo, em [R\$/kWh]:

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{(Mt+ Ft)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}} = \frac{CUSTO TOTAL [R\$]}{ENERGIA TOTAL PRODUZIDA [kWh]} \quad (3)$$

Onde:

- O custo inicial das despesas de investimento (I_0)
- Despesas de manutenção e operações por ano da usina fotovoltaica e da região de conexão (M)
- Despesas com combustível (aplicável) por ano (F)

A produção total do ativo de geração de energia incluirá:

- A soma de toda a eletricidade gerada em [kW.h] por ano (E)

Os dois últimos fatores importantes a serem considerados na equação são:

- A taxa de desconto do projeto (r)
- A vida do sistema (n)
- Ano de vida útil 1,2,3,.....,n (t)

Para analisar o valor do custo de energia elétrica para empresa que faz o uso de energia de usina solar fotovoltaica deve-se usar a seguinte equação:

$$Med_{1GD} = CD + (Med_1 - D) * LCOE \quad (4)$$

Onde:

Med_{1GD} : valor do custo de energia elétrica do medidor 1 com a geração distribuída;

CD: valor mensal da disponibilidade [R\$];

Med_1 : média do consumo do medidor 1 [kWh/mês];

D: disponibilidade do sistema de distribuição da concessionária [kWh/mês];

LCOE: custo unitário de eletricidade ao longo da vida útil de um ativo de geração [R\$/kWh];

$$Med_{2GD} = CD + (Med_2 - D) * LCOE \quad (5)$$

Onde:

Med_{2GD} : valor do custo de energia elétrica do medidor 2 com a geração distribuída;

CD: valor mensal da disponibilidade [R\$];

Med_2 : média do consumo do medidor 2 [kWh/mês];

D: disponibilidade do sistema de distribuição da concessionária [kWh/mês];

LCOE: custo unitário de eletricidade ao longo da vida útil de um ativo de geração;

E as equações dos grupos de cargas:

$$GC_{2GD} = Med_{2GD} - Med_{1GD} \quad (6)$$

Onde:

GC_{2GD} : valor do custo de energia elétrica do grupo de carga 2 com a geração distribuída;

Med_{1GD} : valor do custo de energia elétrica com a geração distribuída para o medidor 1;

Med_{2GD} : valor do custo de energia elétrica com a geração distribuída para o medidor 2;

$$GC_{1GD} = Med_{1GD} + Med_{2GD} - GC_{2GD} \quad (7)$$

Onde:

GC_{1GD} : valor do custo de energia elétrica do grupo de carga 1 com a geração distribuída;

GC_{2GD} : valor do custo de energia elétrica do grupo de carga 2 com a geração distribuída;

Med_{1GD} : valor do custo de energia elétrica com a geração distribuída para o medidor 1;

Med_{2GD} : valor do custo de energia elétrica com a geração distribuída para o medidor 2;

A equação a seguir deve ser usada para analisar se há sobra de energia creditada para cada medidor da usina fotovoltaica ou não, para isso quando o resultado for positivo quer dizer que sobraram créditos para serem usados dentro de 5 anos. Caso seja negativo, quer dizer que faltaram créditos de energia excedente da usina privada para atender a demanda da panificadora tendo quer ser usada energia da concessionária, sendo assim, temos:

$$CEM_X = D_X + (\%)EXC_X - Med_X \quad (8)$$

Onde:

CEM_X : Créditos Medidor: (+) sobra (-) falta, em [kWh/mês];

D_X : mínimo de energia cobrado pela concessionaria para uso da rede de distribuição em [kWh/mês];

$(\%)EXC_X$: porcentagem de energia excedente para o medidor em [kWh/mês];

Med_X : consumo do medidor em análise em [kWh/mês];

A porcentagem energética evitada pela usina privada remota solar fotovoltaica quando supri toda demanda com a disponibilidade, temos:

$$(\%)EN_{evit.empresa} = \frac{EN_{cons} - D}{EN_{cons}} * 100 (\%) \quad (9)$$

Onde:

$(\%)EN_{evit.empresa}$: porcentagem de energia total evitada da concessionária pela empresa;

EN_{cons} : Energia total Consumida do Medidor 1 + Medidor 2 em [kWh/mês];

D: Valor da disponibilidade do Medidor 1 + Medidor 2 em [kWh/mês];

Vale lembrar que essa fórmula é exclusiva para quando a GD mais a disponibilidade suprem toda a demanda de cada medidor e que o valor em [kW.h/mês] para medidores de energia monofásico é de 30,0 [kW.h/mês].

Para saber a porcentagem financeira total evita da concessionária, deve-se primeiramente fazer uma análise dos dois cenários em estudo e posteriormente usar estes dados na seguinte equação:

$$(\%)R\$_{\text{evit.empresa}} = \left(\frac{(Med_1 + Med_2)_{\text{cenário 1} - \text{cenário 2}}}{(Med_1 + Med_2)_{\text{sem os créditos da GD}}} \right) * 100(\%) \quad (10)$$

Onde:

$(\%)R\$_{\text{evit.empresa}}$: porcentagem financeiramente total evitado da concessionária com a GD pela empresa;

$(Med_1 + Med_2)_{\text{cenário 1} - \text{cenário 2}}$: Soma do Medidor 1 + Medidor 2, tabela (cenário 1 – cenário 2);

$(Med_1 + Med_2)_{\text{sem os créditos da GD}}$: Soma do Medidor 1 + Medidor 2, sem debitar os créditos de energia excedente da GD;

Por fim, para analisar o impacto da energia e o custo financeiro evitado em cada medidor e grupos de carga, quando a usina solar fotovoltaica supre toda a demanda devemos usar a seguinte equação:

$$(\%)R\$_{\text{evit-x}} = \left(\frac{(Y)_{\text{cenário 1} - \text{cenário 2}}}{(Y)_{\text{sem os créditos da GD}}} \right) * 100(\%) \quad (11)$$

$(\%)R\$_{\text{evit-x}}$: porcentagem financeira evitada da concessionária com a GD;

$(Y)_{\text{cenário 1} - \text{cenário 2}}$ = Consumo do medidor ou grupo de carga em análise no momento apresentado na tabela *cenário 1 – cenário 2* [kW.h/mês];

$(Y)_{\text{sem os créditos da GD}}$ = Consumo do medidor ou grupo de carga em análise no momento sem debitar os créditos da GD [kW.h/mês];

$$(\%)EN_{\text{evit-z}} = \left(\frac{Z - D}{Z} \right) * 100(\%) \quad (12)$$

Onde:

$(\%)EN_{\text{evit-x}}$: porcentagem energética evitado da concessionária com a GD;

Z = Consumo do medidor ou grupo de carga em análise no momento [kW.h/mês];

D: valor da disponibilidade - 30 [kW.h/mês] para monofásico; 60 [kW.h/mês] para bifásico (2 medidores de 30 [kW.h/mês]);

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização do Estudo de Caso

O estabelecimento escolhido para esse estudo de caso chama-se SalGaDinho'S e está localizado na cidade de Itajubá, no estado de Minas Gerais. Atua no setor de panificação em geral, oferecendo os mais diversos produtos de lanchonete, incluindo no total de onze tipos de salgados assados. O local conta com três funcionários que trabalham intercalada durante o horário de funcionamento das 6h00 às 18h00 de segunda a sexta e das 6h00 às 13h00 aos sábados. O fluxo de clientes no estabelecimento é recorrente e é bastante frequentado por sua excelente localização próximo ao centro comercial da cidade, escolas, pet shops e laboratórios, assim possui uma alta rotatividade de produtos frescos.

A escolha deste local para o estudo se justifica pela escassez de pesquisas focadas nos impactos da adoção da geração distribuída (GD) com energia solar fotovoltaica em estabelecimentos de panificação de pequeno porte. O objetivo é fornecer ao proprietário uma compreensão aprofundada e precisa sobre os efeitos da implementação de uma usina solar em seu negócio, permitindo que ele tome decisões com mais informações e otimize seus resultados.

A empresa, reconhecida pela excelência de seus produtos, estabelece parcerias com fornecedores de alto padrão para garantir a qualidade de sua matéria-prima. Os insumos são devidamente armazenados até o momento do processamento e transformação. Ao integrar tecnologia de ponta com uma abordagem de manufatura inteligente, a empresa consegue produzir pequenos lotes de forma eficiente e constante, garantindo que os produtos estejam sempre frescos e minimizando desperdícios. Esse processo não apenas aprimora a qualidade do produto final, mas também permite um atendimento assertivo a diferentes nichos de clientes. A representação da cadeia produtiva pode ser visualizada na Figura 8.



Figura 8 – Representação da cadeia produtiva no SalGaDinho'S

Fonte: Elaboração própria

Seja para os revendedores fixos, consumidores do balcão ou aqueles que compram através de plataformas de entrega como o iFood, a combinação de tecnologia e manufatura inteligente assegura uma operação ágil, flexível e com uma produção adaptada às necessidades específicas de cada público, impactando positivamente nos resultados e na satisfação do cliente.

A Figura 9 apresenta a planta industrial de forma a otimizar a alocação de utensílios e equipamentos, visando maior sustentabilidade ambiental. Essa abordagem é essencial para garantir uma interação eficiente entre homem e máquina, assegurando que cada atividade seja executada com o máximo de eficácia. No estudo de caso, a principal preocupação é garantir que, independentemente da tarefa do momento, todos os utensílios estejam estrategicamente posicionados próximos às atividades realizadas, permitindo que os colaboradores sempre estejam disponíveis para realizar as vendas. Além disso, é fundamental identificar falhas que possam resultar em consumo desnecessário de energia elétrica.

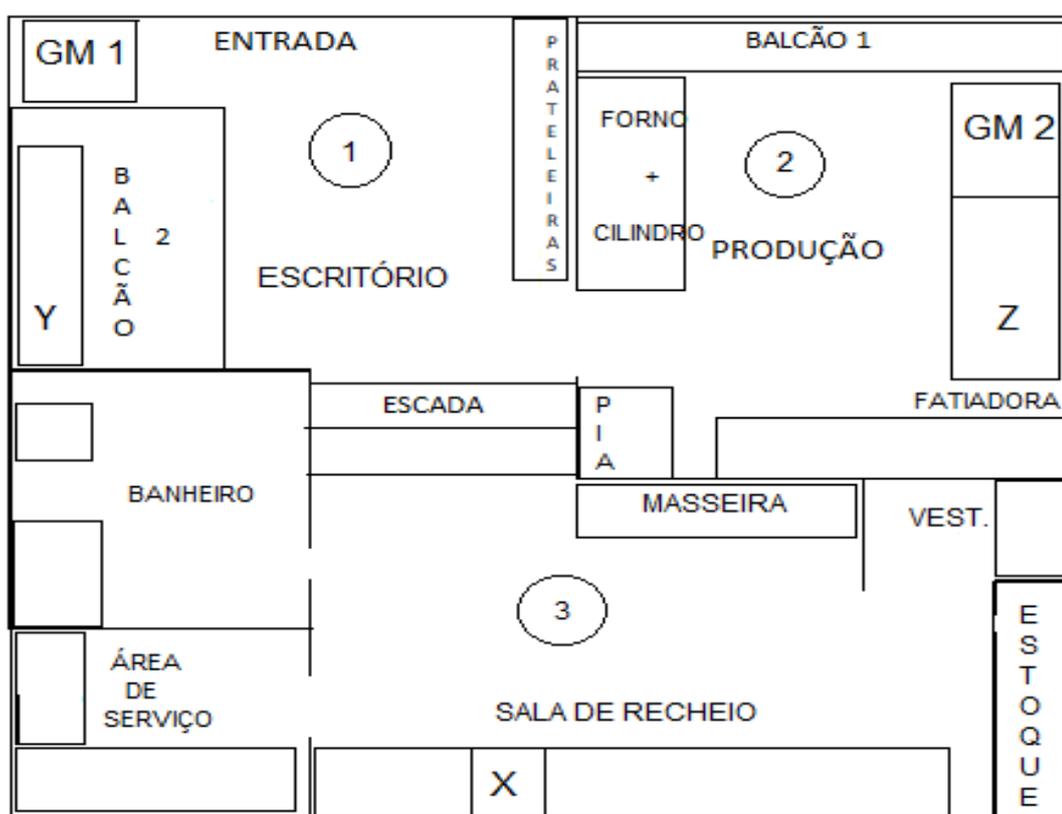


Figura 9 – Representação da planta industrial do SalGaDinho'S

Fonte: Elaboração própria

A letra X localizada na sala de recheio é a geladeira estoque, onde recebe as mercadorias resfriadas e congeladas para armazenagem e supri tanto a área de recheio quanto a geladeira de

número Y, localizada no escritório. Essa dinâmica facilita o controle de estoque que vai para o freezer da produção (letra Z) evitando que falte mercadoria. As geladeiras Mostroário 1 e 2 ficam próximas aos balcões para oferta de bebidas.

O design dos ambientes de trabalho tem se afastado das estações individuais, adotando layouts abertos que incentivam o trabalho colaborativo. Conforme destacado por William Edwards Deming (Deming, W. Edwards, *O Livro dos Negócios*, Editora Globo), "É a estrutura da organização, e não apenas os funcionários, que detém a chave para a melhoria da qualidade da produção". Essa abordagem gerencial tem se tornado a base de muitas empresas, pois permite uma resposta mais ágil às mudanças do mercado e às necessidades dos clientes, ao mesmo tempo em que proporciona aos colaboradores maior autonomia, criando um ambiente de trabalho mais criativo. As prateleiras de exposição, que abrigam as matérias-primas, contribuem para que os produtos sejam também destinados à revenda, permitindo que o investimento realizado retorne mais rapidamente, gerando lucro para a empresa.

Tradicionalmente, as empresas desenvolvem produtos numa sequência linear de desenvolvimento, em que cada departamento envolvido nas etapas trabalha isoladamente, antes de passar o produto ao novo departamento. Dessa forma, o produto parcial tem que passar pelos departamentos de design, engenharia e produção. A abordagem alternativa, escolhida pela empresa é baseada no tempo, onde se tem uma equipe pequena de pessoas todas trabalhando juntas desde o começo. Um processo não linear implica que os gerentes devem estar preparados para trabalhar com uma estrutura menos rígida e estimular uma cultura de confiança constantemente. A gestão baseada no tempo só funciona de forma eficaz em empresas que empregam funcionários flexíveis e com múltiplas habilidades e que, em troca, respeitam as habilidades uns dos outros e valorizam as ideias mutuamente.

Sabendo disso, o controle empresarial, conforme demonstrado na Figura 10, deve ser considerado na gestão para o correto dimensionamento e operação do sistema de geração de energia fotovoltaica, bem como para as futuras projeções de aumento da capacidade instalada. A economia de energia elétrica gerada mês a mês deve ser avaliada como um fator de otimização, representando uma vantagem competitiva significativa em relação aos concorrentes.

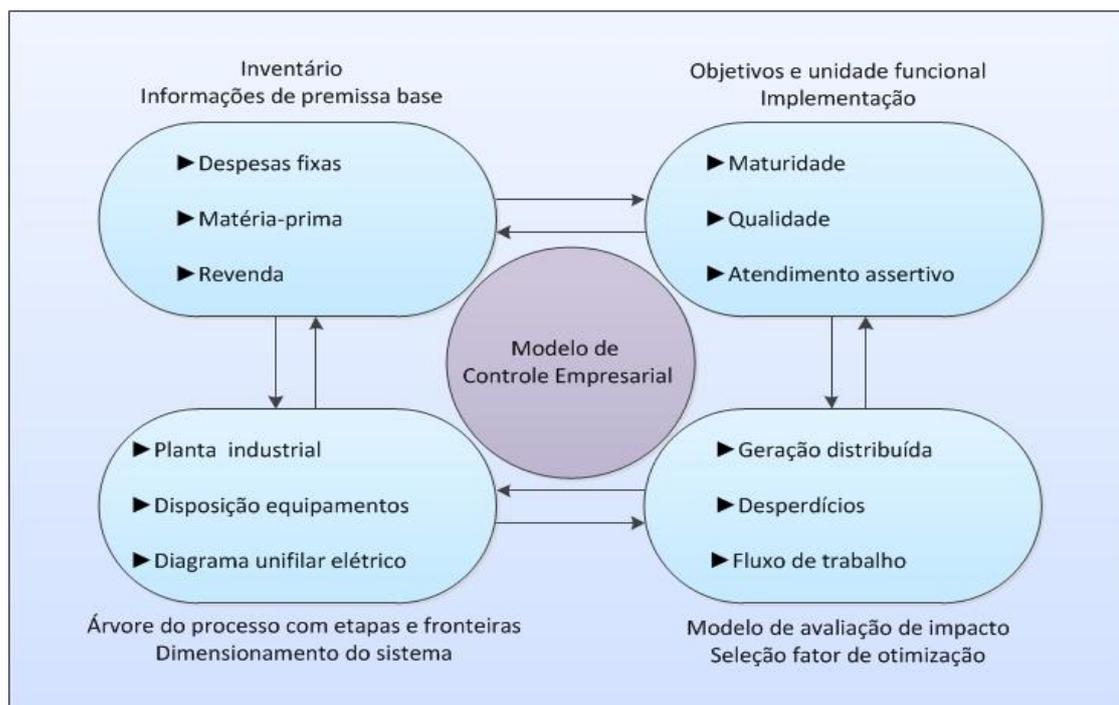


Figura 10 - Modelo de Controle Empresarial

Fonte: Elaboração própria

Ao adotar o custo unitário de energia elétrica, calculado por meio da fórmula LCOE (Levelized Cost of Energy), para a usina privada, observa-se que, ao final dos 25 anos de vida útil dos equipamentos, o lucro será igual a zero. Nesse contexto, o tempo se torna um fator crucial para a maturação do projeto, influenciando diretamente as decisões estratégicas a serem tomadas através da avaliação do impacto do investimento em geração e a engenharia simultânea sensível a todos os processos do empreendimento.

4.2 Diagnóstico Energético Preliminar

Com informações obtidas através de visitas ao local foi possível realizar um diagnóstico energético do estabelecimento para entender as características de consumo.

4.2.1 Caracterização do Consumo

O Diagrama Elétrico Unifilar é importante para a visualização e o dimensionamento dos sistemas de proteção e cabeamento, assim não há perdas de energia por superaquecimento dos cabos e evita riscos ao local instalado, extraindo o máximo de rendimento do empreendimento. O diagrama foi elaborado por meio do *software* PTW a partir de observação da estrutura física do estabelecimento, conforme ilustra a Figura 11.

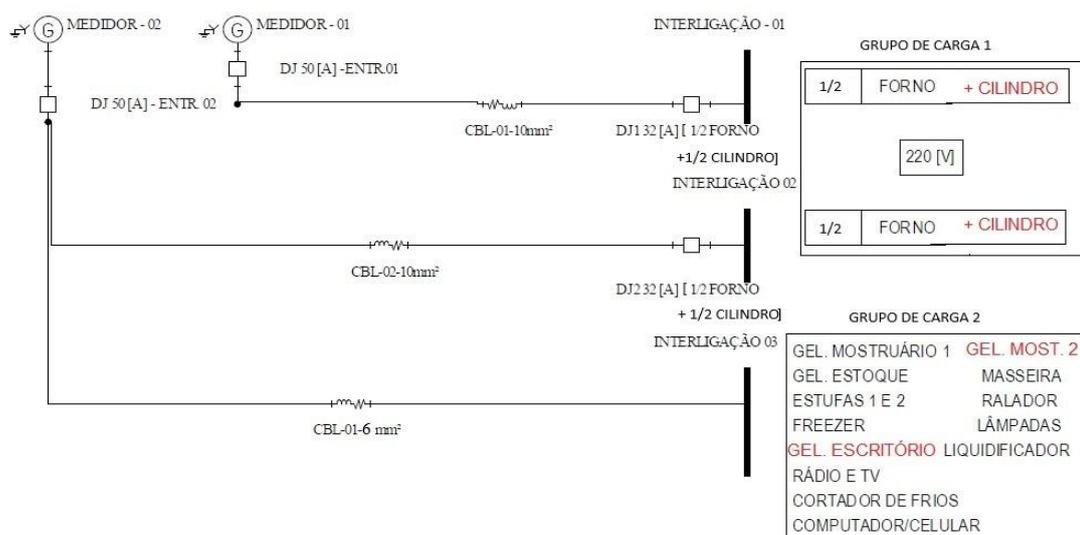


Figura 11 – Diagrama unifilar elétrico do SalGaDinho'S

Fonte: Elaboração própria

O estabelecimento possui dois medidores monofásicos de 127 [V] fornecidos pela concessionária de energia estatal de Minas Gerais, CEMIG. O medidor 1 representa uma fase do forno e uma fase do cilindro que são equipamentos de 220 [V]. O medidor 2 representa todas as outras tomadas, a outra fase do cilindro e do forno.

Os históricos de consumo de cada medidor do período de fevereiro de 2023 a julho de 2024 estão ilustrados nas Figuras 12 e 13 e foram obtidos por meio da conta de energia elétrica da empresa cobrados pela concessionária CEMIG.

Histórico de Consumo				Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	Cons. kWh	Média kWh/Dia	Dias	MÊS/ANO	Cons. kWh	Média kWh/Dia	Dias
JAN/24	166	5,35	31	JAN/24	487	15,70	31
DEZ/23	178	6,35	28	DEZ/23	481	17,17	28
NOV/23	205	6,40	32	NOV/23	501	15,65	32
OUT/23	196	6,32	31	OUT/23	462	14,90	31
SET/23	208	6,70	31	SET/23	450	14,51	31
AGO/23	176	5,67	31	AGO/23	398	12,83	31
JUL/23	172	5,93	29	JUL/23	339	11,68	29
JUN/23	173	5,24	33	JUN/23	358	10,84	33
MAI/23	172	5,37	32	MAI/23	382	11,93	32
ABR/23	149	4,96	30	ABR/23	339	11,30	30
MAR/23	153	4,93	31	MAR/23	359	11,58	31
FEV/23	83	2,96	28	FEV/23	309	11,03	28

Figura 12 – Histórico de consumo medidor 1 a esquerda e medidor 2 a direita do período de fevereiro de 2023 a janeiro de 2024

Fonte: Elaboração própria

Histórico de Consumo				Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	Cons. kWh	Média kWh/Dia	Dias	MÊS/ANO	Cons. kWh	Média kWh/Dia	Dias
JUL/24	163	5,43	30	JUL/24	403	13,43	30
JUN/24	172	5,21	33	JUN/24	442	13,39	33
MAI/24	150	5,17	29	MAI/24	420	14,48	29
ABR/24	154	5,31	29	ABR/24	412	14,20	29
MAR/24	192	6,62	29	MAR/24	507	17,48	29
FEV/24	193	6,03	32	FEV/24	496	15,50	32

Figura 13 – Histórico de consumo medidor 1 a esquerda e medidor 2 a direita do período de fevereiro de 2024 a julho de 2024

Fonte: Elaboração própria

O grupo de carga 1 corresponde ao consumo dos equipamentos forno e cilindro, e o grupo de carga 2 representa o consumo dos equipamentos geladeiras, freezer, estufas, lâmpadas, rádio, TV, Celular, Notebook, cortador de frios, masseira, liquidificador e ralador de queijo.

4.2.2 Caracterização da Geração Solar Fotovoltaica

A usina solar é composta por 20 módulos PV - modelo Taleun - e 20 micros inversores – Apsystems, monofásicos instalados em um telhado de 2 abas (lado direito e lado esquerdo), conforme demonstrado na Figura 14, sendo que 10 estão do lado direito e em uma fase de 127 [V] e os outros 10 conjuntos do lado esquerdo e em outra fase de 127 [V].

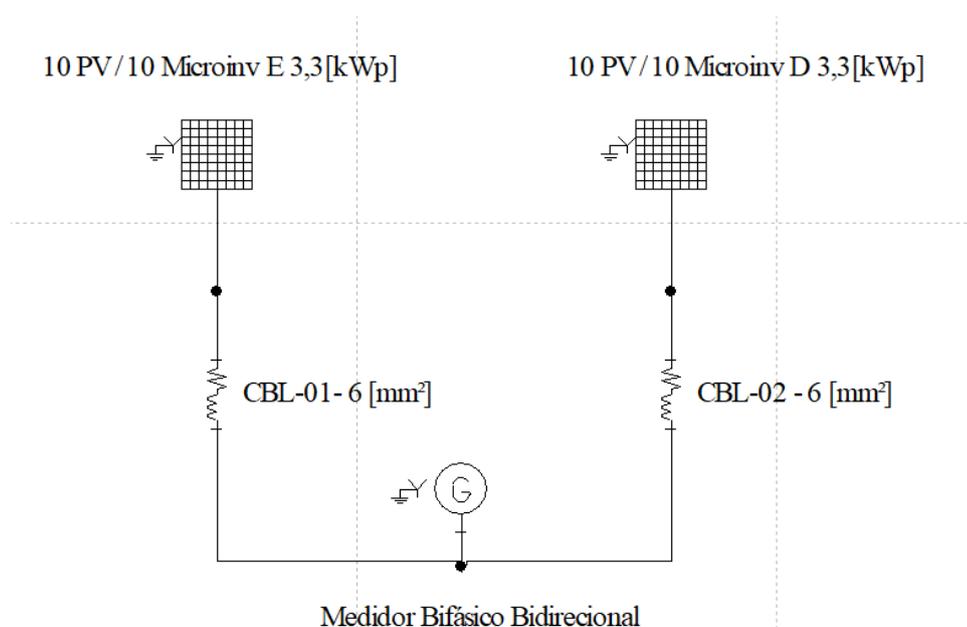


Figura 14 – Diagrama Unifilar da usina privada solar fotovoltaica instalada de forma on-grid

Fonte: Elaboração própria

Com potência instalada de 6,60 [kWp] e de acordo com o projeto simulado no *software* PVSyst (ANEXO A – Relatoria da Usina Solar Fotovoltaica), a energia total gerada pela usina solar fotovoltaica considerando uma vida útil de 25 anos corresponde a 264 [MWh]. Apesar de demandar maior atenção com a quantidade de micro inversores, um painel não atrapalha o outro na hora de gerar energia caso estejam sujos ou com diferentes irradiações, tornando os independentes a cada momento na geração. Caso precisem de manutenção em um lado, o outro continua funcionando normalmente, proporcionando duas possíveis paradas.

O sistema esquemático da conexão entre a autoprodução de energia solar e da concessionária de energia local (CEMIG) ao estabelecimento SalGaDinhos'S pode ser visto na Figura 15.

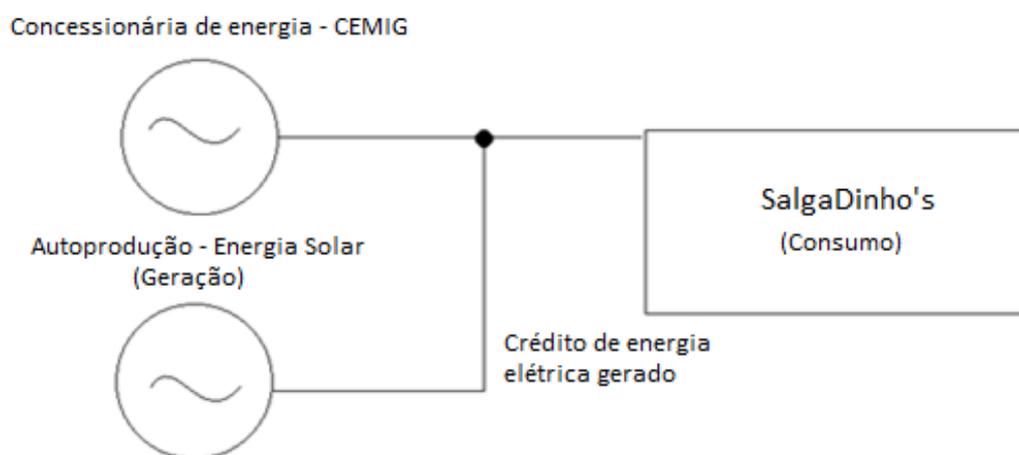


Figura 15 – Ilustração da conexão da concessionária de energia e da autoprodução de energia solar

Fonte: Elaboração própria

O estabelecimento apresenta dois medidores de energia monofásicos e possui geração distribuída solar fotovoltaica on-grid de forma remota.

A concessionária pública de energia elétrica do estado de Minas Gerais em média apresenta as seguintes frações de cada setor que compõe a composição tarifária dentro do sistema elétrico brasileiro. A referência percentual apresentada pode variar 0,50 ponto percentual para mais ou para menos em cada alocação (CEMIG, 2024):

Custo da Geração de Energia Elétrica (27,50%): O custo de energia vem do seu processo de produção, dos equipamentos necessários para a manutenção e construção de novas usinas, mão-de-obra, etc.

Custo do Setor de Distribuição (24,50%): A distribuição se refere ao custo de levar a energia da nossa distribuidora até a sua instalação.

Custo do Setor de Transmissão (5,50%): A transmissão se refere aos custos de levar a energia da fonte até a nossa distribuidora.

Perdas (6,50%): A perda se refere aos custos às perdas técnicas e comerciais. A perda técnica é o processo de levar a energia da fonte até a sua instalação, ocorre dissipação no processo de transporte, transformação de tensão e medição devido as leis da física. Além disso ocorrem as perdas comerciais em decorrência de ligações clandestinas de energia, popularmente conhecidas como "gatos".

Tributos (21,50%): Os tributos se referem aos impostos pagos para o governo, ICMS, COFINS e PIS.

Encargos (14,50%): Os encargos são contribuições definidas em leis aprovadas pelo Congresso Nacional, utilizadas para financiar o desenvolvimento Elétrico brasileiro e as políticas energéticas do Governo Federal.

4.3 Análise dos Dados Levantados

4.3.1 Dados da Geração

O valor total do investimento para a instalação da usina corresponde a **R\$ 48.000,00** durante a vida útil com as devidas manutenções. O custo unitário de eletricidade pela usina solar fotovoltaica privada ao longo da vida útil de um ativo de geração, segundo a fórmula 3 do LCOE, tem o valor aproximadamente **0,182** [$\frac{R\$}{kW.h}$]. Assim, a **economia anual** com a tarifa de **R\$ 1,10/kWh** será de **R\$ 9.639,00** por ano com base nos dados da usina privada e da concessionária pública, com isso, a taxa de desconto (ou TIR) do projeto de geração fotovoltaica, considerando o cenário de 25 anos, gira entre **18% a 20% ao ano**.

A energia elétrica produzida anualmente pela autoprodução é de 10,30 [MWh] e mensalmente corresponde a 858,33 [kWh]. Desse total, 12% são consumidos pelo local da instalação da usina solar totalizando 755,33 [kWh] de excedente. Do total de créditos despachados,

89,0% desse montante é direcionado para o estabelecimento, onde no momento 23,0% para o medidor 1 e 66,0% para o medidor 2, conforme tabela 2:

Tabela 2 – Créditos de energia excedente despachados para os medidores 1 e 2

Créditos de Energia Excedente $[\frac{kW.h}{mês}]$	Medidor 1	Medidor 2
CEE	173,72	498,51
CEE + D	203,72	528,21

Fonte: Elaboração própria

A disponibilidade (D) para os medidores monofásicos é de 30 $[\frac{kW.h}{mês}]$ e esse valor de energia é acrescida com os créditos excedentes gerados pela usina solar fotovoltaica, esse valor é o mínimo de custo com a concessionária para o usuário – gerador.

4.3.2 Dados do Consumo

Os seis primeiros meses de fevereiro de 2023 a julho de 2023, o consumo foi menor do que o semestre seguinte entre os meses de agosto de 2023 a janeiro de 2024 quando foram instalados uma geladeira para estoque e mais uma geladeira mostruário no escritório e o cilindro configurado para 220 [V]. No último e terceiro semestre da análise seu consumo foi registrado de fevereiro de 2024 a julho de 2024 onde a operação do forno foi modificada para um melhor desempenho da empresa. Assim, o cálculo da média de consumo no primeiro, segundo e terceiro semestre é demonstrado na tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Média de consumo total da empresa para o primeiro, segundo e terceiro semestre em $[\frac{kW.h}{mês}]$

Média de consumo por semestre	1° semestre	2° semestre	3° semestre
$[\frac{kW.h}{mês}]$	498,00	651,34	617,34

Fonte: Elaboração própria

A média obtida de consumo de energia elétrica por medidor e de cada grupo de carga utilizando as Equações 1 e 2 em [kWh/mês] e o respectivo percentual serão apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6.

No primeiro semestre, os equipamentos que ficam ligados 24 horas por dia e sete dias por semana, principalmente as geladeiras e os refrigeradores, que correspondem ao grupo de carga 2, demandaram cerca de 39,6%. Os que devem funcionar na hora da produção, correspondente ao grupo de carga 1, apresentam um consumo variado, demandaram cerca de 60,4% de toda energia consumida pela indústria.

Tabela 4 – Consumo de energia elétrica no primeiro semestre em $\left[\frac{kW.h}{mês}\right]$

Consumo $\left[\frac{kW.h}{mês}\right]$	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
1º Semestre	150,33	347,67	300,66	197,34
(%)	30,20	69,80	60,40	39,60

Fonte: Elaboração própria

Para o segundo semestre, após a instalação de mais equipamentos (1 geladeira mostruário e 1 geladeira estoque) e a mudança de configuração do cilindro (220 [V]), pode-se observar que houve um aumento no consumo de cada medidor, porém as porcentagens se mantiveram próximas do semestre anterior com 57,8% para o grupo de carga 1 e 42,2% para o grupo 2.

Tabela 5 – Consumo de energia elétrica no segundo semestre em $\left[\frac{kW.h}{mês}\right]$

Consumo $\left[\frac{kW.h}{mês}\right]$	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
2º Semestre	188,17	463,17	376,34	275,00
(%)	28,90	71,10	57,80	42,20

Fonte: Elaboração própria

O terceiro semestre, a operação do forno foi modificada e passou a ficar ligado 24 horas por dia menos aos domingos. Quando o expediente é encerrado o mesmo permanece no mínimo possível para que não seja necessário esquentar do zero no começo dos trabalhos no dia seguinte, assim a porcentagem mudou passando a assumir 55,3% enquanto os equipamentos que mantêm a estrutura passaram a ter um olhar mais crítico de operação durante o expediente e assumiu 44,7% de consumo.

Tabela 6 – Consumo de energia elétrica no terceiro semestre em $\left[\frac{kW.h}{mês}\right]$

Consumo $\left[\frac{kW.h}{mês}\right]$	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
3º semestre	170,67	446,67	341,34	276,00
(%)	27,60	72,40	55,30	44,70

Fonte: Elaboração própria

4.4 Diagnóstico Energético Final

Nessa etapa foram apresentados dois modelos para fins de comparação. O primeiro cenário corresponde ao diagnóstico sem considerar os créditos de energia gerados pela usina solar fotovoltaica e o segundo cenário corresponde considerando os créditos excedentes de energia gerado. Assim, será possível comparar ambos os modelos e analisar os impactos da adoção da geração distribuída fotovoltaica no empreendimento.

4.4.1 Cenário 1: Diagnóstico Energético sem os Créditos de Energia

Para averiguar os impactos da geração distribuída fotovoltaica no empreendimento foi considerado, primeiramente, o cenário sem a influência dos créditos de energia, ou seja, o levantamento do preço do consumo de energia elétrica para cada um dos medidores e grupos de carga a partir da concessionária de energia elétrica suprindo toda a demanda de energia elétrica do estabelecimento.

Conforme mencionado no item 3.2, através do acompanhamento dos valores das contas de energia elétrica cobrados pela concessionária para a loja os valores do [kW.h] ficou: No primeiro semestre de fevereiro de 2023 a julho de 2023 foi considerado o preço da tarifa de 0,91 [R\$/ kWh], no segundo semestre de agosto de 2023 a janeiro de 2024 o preço considerado da tarifa foi 1,00 [R\$ / kWh] e para o terceiro de fevereiro de 2024 a julho de 2024 o valor de 1,10 [R\$ / kWh]. Esses valores do quilowatt hora da concessionaria podem variar de mês a mês dependendo do desempenho do setor elétrico, das condições ambientais e das políticas adotadas no momento.

Com os dados de consumo de energia elétrica indicados nas Tabelas 4,5 e 6 foi possível obter os resultados apresentados na Tabela 7,8 e 9 correspondentes ao primeiro, segundo e terceiro semestres respectivamente.

Tabela 7 – Valor da energia elétrica com o preço da tarifa de 0,91 [R\$/ kWh]

Cenário 1 [$\frac{R\$}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
1º Semestre	136,80	316,38	273,60	179,58

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 – Valor da energia elétrica com o preço da tarifa de 1,00 [R\$ / kWh]

Cenário 1 [$\frac{R\$}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
2º Semestre	188,17	463,17	376,34	275,00

Fonte: Elaboração própria

Tabela 9 – Valor da energia elétrica com o preço da tarifa de 1,10 [R\$ / kWh]

Cenário 1 [$\frac{R\$}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
3º Semestre	187,74	491,34	375,47	303,60

Fonte: Elaboração própria

4.4.2 Cenário 2: Diagnóstico Energético com os créditos de energia

Nos três semestres analisados, os créditos de energia excedente, juntamente com a disponibilidade, foram suficientes para atender à demanda da indústria e somado ao custo de disponibilidade aplicado no período de estudo com base nas fórmulas 4, 5, 6 e 7, obtém-se o valor do custo mensal de energia elétrica para a empresa.

Assim, serão apresentadas a Tabela 10, que mostra o custo de energia para a empresa com a geração distribuída fotovoltaica, e a Tabela 11, que apresenta os créditos mensais válidos para os próximos 60 meses:

Tabela 10 – Custo de energia elétrica no primeiro semestre com a GD fotovoltaica

Cenário 2 [$\frac{R\$}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
1º Semestre	49,20	79,35	98,4	30,15

Fonte: Elaboração própria

Deve-se utilizar a Fórmula 8 para calcular os créditos válidos de cada medidor para consumo futuro.

Tabela 11 – Créditos de energia elétrica que sobraram de cada mês (1° semestre)

Créditos de Energia Elétrica [$\frac{kW.h}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2
1° Semestre	53,39	180,84

Fonte: Elaboração Própria

A geração distribuída fotovoltaica mais a disponibilidade supre 100,0% de toda a demanda de energia da empresa, ou seja, o valor total energético evitado nos dois medidores na cobrança da concessionária para o estabelecimento seguindo a fórmula 9, obteve-se:

$$\%EN_{evit} = 87,952\%.$$

Aproximadamente 88,0% do total de energia consumida da concessionária foram evitados pela usina solar particular instalada de forma remota e os demais 12,0% representam a disponibilidade que, por se tratarem de 2 medidores monofásicos a disponibilidade representa 60,0 [$\frac{kW.h}{mês}$].

A mesma análise feita para o primeiro se semestre é válida para o segundo semestre, conforme demonstrada nas tabelas 12 e 13:

Tabela 12 – Custo de energia elétrica no segundo semestre com a GD fotovoltaica

Cenário 2 [$\frac{R\$}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
2° Semestre	58,79	108,83	117,47	49,65

Fonte: Elaboração própria

Tabela 13 – Créditos de energia elétrica que sobraram de cada mês (2° Semestre)

Créditos de Energia Elétrica [$\frac{kW.h}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2
2° Semestre	15,61	65,34

Fonte: Elaboração Própria

A geração distribuída fotovoltaica mais a disponibilidade supre 100,0% de toda a demanda de energia da empresa, ou seja, o valor total energético evitado nos dois medidores na cobrança da concessionária para o estabelecimento seguindo a fórmula 9, obtém-se:

$$\%EN_{evit} = 90,788\%.$$

Aproximadamente 91,0% do total de energia consumida da concessionária foram evitados pela usina solar particular e os demais 9,0% representam a disponibilidade que, por se tratarem de 2 medidores monofásicos a disponibilidade representa $60,0 \left[\frac{kW.h}{mês} \right]$.

Para o terceiro e último semestre será feita a mesma análise, segue a tabela 14:

Tabela 14 – Custo de energia elétrica no terceiro semestre com a GD fotovoltaica

Cenário 2 $\left[\frac{R\$}{mês} \right]$	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
3° Semestre	58,60	108,83	117,20	50,23

Fonte: Elaboração própria

Conforme fórmula 8 para os créditos de energia elétrica excedente para cada medidor, obtém-se a tabela 15:

Tabela 15 – Créditos de energia elétrica que sobraram de cada mês (3° Semestre)

Créditos de Energia Elétrica $\left[\frac{kW.h}{mês} \right]$	Medidor 1	Medidor 2
3° Semestre	33,05	81,84

Fonte: Elaboração Própria

A geração distribuída fotovoltaica mais a disponibilidade supre 100% de toda a demanda de energia da empresa, ou seja, o valor total energético evitado nos dois medidores na cobrança da concessionária para o estabelecimento seguindo a fórmula 9, tem-se:

$$\%EN_{evit} = 90,281\%.$$

Aproximadamente 90,0% do total de energia consumida da concessionária foram evitados pela usina solar particular instalada de forma remota e os demais 10,0% representam a disponibilidade que, por se tratarem de 2 medidores monofásicos a disponibilidade representa $60,0 \left[\frac{kW.h}{mês} \right]$.

5. RESULTADOS

5.1 Análise do Impacto da Geração Distribuída

Será apresentado a seguir o impacto da implementação da GD solar fotovoltaica nas para a empresa com as diferentes operações e cobranças de energia elétrica da concessionária CEMIG nos 3 semestres em estudo.

Para o primeiro semestre, pode-se analisar qual o impacto do custo evitado monetário e percentual dos medidores 1 e 2 e dos blocos de cargas 1 e 2, como se segue na tabela 16.

Tabela 16 – Custo evitado de energia elétrica no primeiro semestre com o preço da tarifa de 0,91 [R\$/ kWh]

Cenário 1 – Cenário 2 [$\frac{R\$}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
1º Semestre	87,60	237,03	175,20	149,43
$[\frac{\text{Cenário 1} - \text{Cenário 2}}{\text{Cenário 1}}]$ (%)	64,0	74,90	64,0	83,20

Fonte: Elaboração própria

- Para análise do percentual do valor financeiro evitado nos dois medidores, deve-se usar a fórmula número 10 da metodologia onde o resultado fica aproximadamente 71,63%.

Com a mesma análise para o segundo semestre, o impacto do custo evitado monetário e percentual dos medidores 1 e 2 e dos blocos de cargas 1 e 2, segue na tabela 17.

Tabela 17 – Custo evitado de energia elétrica no segundo semestre com o preço da tarifa de 1,00 [R\$/ kWh]

Cenário 1 – Cenário 2 [$\frac{R\$}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
2º Semestre	129,38	354,84	258,87	225,35
$[\frac{\text{Cenário 1} - \text{Cenário 2}}{\text{Cenário 1}}]$ (%)	68,80	76,60	68,80	81,90

Fonte: Elaboração própria

- Para análise do percentual do valor financeiro evitado nos dois medidores, deve-se usar a fórmula número 10 da metodologia onde o resultado fica aproximadamente 74,34%.

Para o terceiro e último semestre, o impacto do custo evitado monetário e percentual dos medidores 1 e 2 e dos blocos de cargas 1 e 2, segue na tabela 18.

Tabela 18 – Custo evitado de energia elétrica no terceiro semestre com o preço da tarifa de 1,10 [R\$ / kWh]

Cenário 1 – Cenário 2 [$\frac{R\$}{mês}$]	Medidor 1	Medidor 2	Grupo de carga 1	Grupo de carga 2
3º Semestre	129,14	382,51	258,27	253,37
$[\frac{\text{Cenário 1} - \text{Cenário 2}}{\text{Cenário 1}}]$ (%)	68,0	77,80	68,80	83,50

Fonte: Elaboração própria

- Para análise do percentual do valor financeiro evitado nos dois medidores, deve-se usar a fórmula número 10 da metodologia onde o resultado fica aproximadamente 75,34%.

O percentual de custo financeiro e energético total evitados da concessionária para cada medidor e grupo de carga dos semestres em estudo, segue as tabelas 19 e 20, segundo as fórmulas 11 e 12.

Tabela 19 – Alocação financeira da GD com diferentes tarifas e consumo de energia elétrica

Custo Financeiro Evitado da Concessionaria com a GD	Medidor 1 (%)	Medidor 2 (%)	Grupo de carga 1 (%)	Grupo de carga 2 (%)
1º semestre	64,0	74,90	64,0	83,20
2º semestre	68,80	76,60	68,80	81,90
3º semestre	68,80	77,80	68,80	83,50

Fonte: Elaboração própria

Tabela 20 – Alocação Energética da GD com diferentes despachos de créditos e consumo de energia elétrica

Energia Evitada da concessionaria com a GD	Medidor 1 (%)	Medidor 2 (%)	Grupo de carga 1 (%)	Grupo de carga 2 (%)
(1º semestre)	80,0	91,40	80,0	84,80
(2º semestre)	84,10	93,50	84,0	89,10
(3º semestre)	84,0	93,30	82,40	89,10

Fonte: Elaboração própria

5.2 Custos Evitados e Eficiência Econômica

Uma análise de sensibilidade foi conduzida para avaliar como o LCOE (Custo Nivelado de Energia) e a economia gerada são impactados por variações na taxa interna de retorno, nas condições do sistema de conexão (considerando a frequência de quedas de energia da distribuidora) e nos custos de manutenção e operação. Ao se considerar uma diminuição na taxa (TIR) de 20% para 16%, observou-se um pequeno aumento no LCOE, embora este ainda se mantenha competitivo em relação à tarifa da concessionária. Esse resultado destaca a robustez do sistema de geração distribuída (GD) sob condições econômicas variáveis, oferecendo previsibilidade nos custos de energia para a panificadora e apresentando-se como uma alternativa viável para pequenos negócios que operam com margens reduzidas e enfrentam alta volatilidade nos custos.

No primeiro semestre, o consumo de energia foi inferior devido ao fluxograma de trabalho e à quantidade de equipamentos instalados. No entanto, no segundo semestre, foram instaladas duas novas geladeiras e o cilindro foi alterado para 220 [V], o que permitiu que a geração da usina privada passasse a atender de forma mais consistente o consumo da empresa de panificação. Já no terceiro semestre, a operação do forno foi modificada, passando a funcionar 24 horas por dia, exceto aos domingos, visando maior agilidade e eficiência no aquecimento e para assar os salgados, especialmente no período da manhã.

A Tabela 21 a seguir apresenta o percentual de economia energética e financeira obtido pela empresa com o uso da usina solar de forma remota, em comparação com o consumo de energia elétrica da concessionária nos dois medidores instalados na indústria de panificação.

Tabela 21 – Porcentagem de custos evitados da concessionária pela GD para cada semestre para a empresa SalGaDinho'S

Alocação energética e financeira da GD para a empresa	Energético (%)	Financeiro (%)
(1º semestre)	88,0	71,63
(2º semestre)	90,79	74,34
(3º semestre)	90,28	75,34

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar que o aumento no consumo de energia elétrica no segundo semestre, em comparação ao primeiro, resultou em uma redução de 3,0% na representatividade da energia consumida da concessionária.

Posteriormente, na análise do terceiro semestre, com a mudança na operação do forno e a redução no consumo de energia pela empresa, houve um aumento de 0,5% na representatividade da energia consumida da concessionária.

Na área financeira, a porcentagem de custo evitado cresceu 3,0% do primeiro para o segundo semestre, devido ao aumento do consumo e da tarifa da concessionária, e, posteriormente, houve um acréscimo de 1,0% do segundo para o terceiro semestre, em razão da diminuição do consumo pela empresa e de um novo aumento na tarifa. Dessa forma, os percentuais observados são reflexo tanto do controle interno da empresa quanto de fatores externos.

Fica evidente que ao longo da vida útil da usina solar, se a empresa aumenta seu consumo e a tarifa da concessionária aumentar durante os anos, maior os custos evitados energético e financeiro, tornando um diferencial sobre a concorrência.

Mesmo com aproximadamente 90,28% da energia suprida pela usina solar fotovoltaica o mesmo não se consegue com o custo evitado que está em torno de 75,34%, deixando claro a importância de se executar um bom projeto de GD, boa manutenção de equipamentos e um ótimo controle empresarial para o maior custo-benefício possível.

Essa dinâmica foi viabilizada a partir de 2018, quando a usina solar iniciou suas operações com 10 painéis fotovoltaicos, e sua expansão acompanhou o crescimento e a melhoria contínua da empresa.

A utilização dos custos evitados, aliada à análise dos dados, permitiu a continuidade dos investimentos. Essa visão estratégica se torna essencial para que o empreendedor possa avaliar o desempenho de cada setor, evitando decisões tomadas sem informações claras, e facilitando a precificação dos produtos fabricados e dos itens revendidos.

Outro ponto relevante é que os créditos de energia elétrica se tornaram um novo ativo no contexto atual, permitindo que a usina seja operada de maneira otimizada, garantindo a conformidade com os dois medidores. Dessa forma, os créditos excedentes podem ser alocados conforme a demanda do momento, e seu acúmulo representa um recurso estratégico valioso para a empresa.

A principal vantagem observada foi a redução significativa nos custos com energia elétrica, além da adequação entre a geração da autoprodução e o consumo da empresa de manufatura.

5.3 Análise de Sustentabilidade e Responsabilidade Socioambiental

A Figura 16 a seguir ilustra a análise do ciclo de vida da empresa, destacando a conexão entre os blocos de carga 1 e 2, que são sustentados pela alocação energética e financeira proporcionada pela Geração Distribuída (GD). Essa alocação apoia os processos de manufatura da panificadora, abrangendo as etapas de armazenamento, preparo e exposição dos salgados produzidos no mostruário.

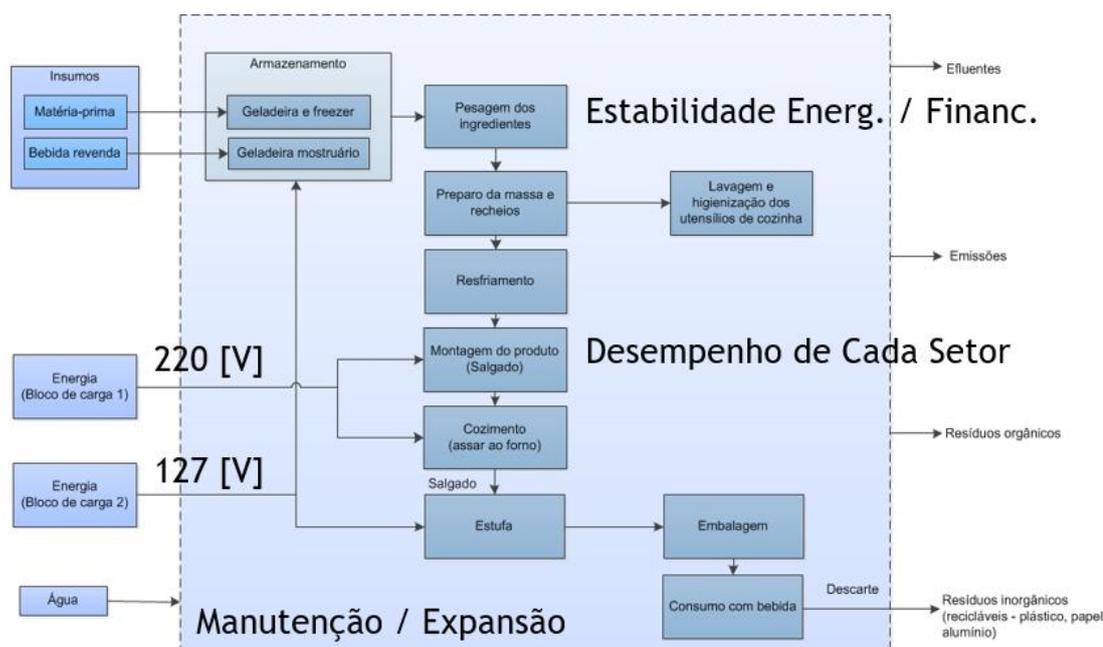


Figura 16 – Análise do Ciclo de Vida da empresa com os blocos de cargas 1 e 2

Fonte: Elaboração própria

Sob um olhar mais técnico, a usina privada contribui para a estabilidade energética, a manutenção do empreendimento, o acompanhamento do desempenho de cada setor e da expansão a cada ciclo de vida da empresa. A alocação do percentual de créditos de acordo com a configuração elétrica da planta, é possível, por exemplo, trocar a estufa atual para outra projetada em 220 [V] para entrar em sintonia com o forno e cilindro da área da produção, propiciando melhores dados para o administrador do horário em que a loja está aberta para as vendas dos produtos fabricados. Com isso, o bloco de carga 2 ligado em 127 [V], ficaria a cargo de suprir as geladeiras de estoque e de vendas de bebidas dos produtos que são refrigerados que ficam ligados 24 horas por dia e 7 dias por semana e também para expansão do negócio como a instalação de novos equipamentos de revenda dependendo da estratégia da empresa como máquina de café, freezer de sorvete ou açai, entre outros.

A GD também contribui significativamente para a responsabilidade socioambiental da panificadora. A energia solar é uma fonte limpa e renovável, que não emite gases de efeito estufa durante a geração, alinhando-se com tendências globais e aumentando seu valor junto à comunidade e aos consumidores que valorizam negócios ecologicamente responsáveis. Nesse sentido, empresas que geram energia de fontes renováveis, como solar ou eólica, podem acumular créditos de carbono devido à redução das emissões em comparação com fontes de energia convencionais.

Esses créditos podem ser vendidos para outras empresas que precisam compensar suas próprias emissões. Esse processo ocorre por meio de plataformas ou mercados de carbono, onde as empresas compram e vendem créditos conforme suas necessidades. O valor desses créditos é determinado pelo mercado, e a transação é regulada por normas ambientais e de sustentabilidade. Isso incentiva a redução das emissões globais, promovendo um ciclo econômico e ambiental mais sustentável.

A sustentabilidade ambiental tem sido amplamente debatida em todas as esferas globais, tornando-se essencial para a sobrevivência de todas as espécies do planeta. A colaboração entre os agentes do setor público e privado será fundamental para a redução das emissões de CO₂ na atmosfera, bem como a conscientização para o aumento da eficiência no descarte de embalagens e na separação e coleta de plásticos, alumínio e resíduos orgânicos, visando sua decomposição e reciclagem.



Figura - 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Fonte: ONU agenda 2030, Brasil.

6. CONCLUSÃO

Estabelecimentos que dependem fortemente de equipamentos elétricos, como fornos, geladeiras e máquinas de café, podem reduzir substancialmente seus custos operacionais ao adotar a geração distribuída. Os pequenos negócios podem contribuir para a construção de um ambiente empresarial mais sustentável e eficiente em termos energéticos e financeiro. A flexibilidade e os benefícios econômicos desse modelo tornam-no uma escolha atraente para uma variedade de atividades.

Empresas que mantem um controle empresarial e que fazem um diagnóstico preliminar para depois instalar uma usina fotovoltaica ficam seguras do investimento. Esse estudo é importante para aperfeiçoar o desempenho e eficiência energética e financeira durante a vida útil dos equipamentos de geração, sendo possível também programar diferentes formas de operação e expansão. Ao se adquirir uma usina solar na GD, ela passa a fazer parte de um conjunto de outros fatores dentro do controle empresarial da empresa e com conhecimento e correto uso, abre possibilidades para diferentes análises de ciclo de vida sem prejudicar a área financeira.

A geração distribuída (GD) auxilia na atuação no mercado, o fortalecimento sustentável da marca, no rendimento empresarial e na expansão e obtenção de metas. Quando os equipamentos elétricos são operados de maneira correta com as devidas manutenções preventivas, tornam-se bens duráveis por vários anos, como é o caso de painéis fotovoltaicos que podem render até 80% da sua potência após 25 anos de operação. Vale ressaltar a importância na hora de se adquirir aos inversores (DC-AC) que no estudo de caso em questão optou-se por micro inversores monofásicos, que apesar de terem mais equipamentos para manutenção durante a vida útil, são capazes de serem trocados sem interferir nas outras peças da usina e também fragmenta a absorção da radiação solar em um maior número de circuitos elétricos, ficando menos susceptível a sombreamento em um determinado horário do dia e sujeira que possa ocorrer em 1 ou mais painéis solares.

A composição tarifária da concessionária reflete os custos associados ao transporte de energia elétrica, frequentemente de longas distâncias, além da mão de obra qualificada necessária para a operação das subestações e dos equipamentos elétricos, que variam em potência e rendimento, assim como das linhas de transmissão e distribuição. A esses custos, somam-se os impostos relacionados a áreas que não pertencem diretamente ao setor elétrico, além das perdas que também são repassadas ao consumidor. Assim, ao adotar uma usina privada, a empresa deixa de depender da estrutura tarifária da concessionária, passando a ter maior controle sobre

seus custos. Após o cálculo do custo unitário da energia gerada pela usina privada em um período determinado, a operação da usina fica sob responsabilidade do proprietário, que deve gerenciá-la de forma a manter o LCOE dentro dos parâmetros previstos, ou até mesmo buscar um desempenho superior ao longo do tempo.

O trabalho considerou os créditos de energia elétrica antes da lei ordinária 14.300/2022 onde a troca de energia excedente da usina privada com a concessionária era de 1 [kW.h] gerado para 1 [kW.h] consumido. Após essa lei, o TUSD que representa o uso da rede de distribuição para MMDG passou a ser cobrado, tendo representatividade em torno de 25,0% da composição tarifária. Mesmo com essa cobrança, os custos evitados passaram com sobra esse valor, em torno de 75,34%, com uma alta atratividade. Além disso, o investimento em painéis fotovoltaico vai além da redução da conta de energia, permitindo diferentes formas de controle dentro da empresa de manufatura, conforme demonstrado no trabalho, sendo um ótimo fator de otimização para atuação no mercado e na ajuda em atingir metas e planos os traçados.

A energia que está sendo acumulada para os próximos meses em forma de créditos energéticos podem ser usados de diferentes maneiras, como por exemplo, investir em novos equipamentos para ofertar mais produtos para os clientes, diminuir o preço dos produtos fabricados, criar bancos de créditos para suprir a depreciação anual dos equipamentos de geração e consumo, operar o despacho de créditos para cada relógio ajudando na construção de layouts e monitoramento da operação de acordo com o rendimento e a estratégia de expansão da empresa.

A análise dos dados possibilita a avaliação dos ganhos em eficiência e produtividade em diferentes setores. Conforme destacado por Ferracane et al. (2018) e pela OCDE (2015, p. 21), a remoção de barreiras à livre circulação de dados, tanto no âmbito doméstico quanto internacional, pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade média das empresas. Além disso, tal remoção pode fomentar o desenvolvimento de novos mercados e a criação de novos serviços anteriormente inexistentes. A utilização de dados e a análise no setor de panificação são de suma importância para a criação e aprimoramento de produtos, processos e modelos. Os resultados obtidos podem ser aplicados em diversas atividades humanas, bem como na manutenção de empreendimentos.

Diversos fatores influenciam o cálculo dos custos evitados, incluindo o valor do [kW.h] praticado pela concessionária no mês vigente, o custo de disponibilidade cobrado e, especialmente, o fato de que quanto maior o consumo e o preço do [kW.h] da concessionária de energia

elétrica, maior será o benefício gerado pela usina privada em termos de custos evitados, representando uma vantagem significativa a curto, médio e longo prazo. O amadurecimento das empresas de panificação também está intimamente ligado ao nível de conhecimento da gestão em relação à infraestrutura do setor elétrico brasileiro, uma vez que este domínio reflete a vanguarda tecnológica e também abre portas para novas oportunidades no avanço da industrialização do país.

As fórmulas utilizadas neste trabalho podem servir como base para a análise de outros tipos de geração de energia integrados à Geração Distribuída (GD), como no caso da biomassa, por exemplo. Para tanto, basta calcular o valor unitário do [kWh] conforme o projeto específico, utilizando a fórmula do LCOE. Em seguida, deve-se realizar a alocação energética e financeira em relação à concessionária, considerando a unidade atendida.

O ODS 7 busca garantir acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos. Isso inclui aumentar a participação de energias renováveis, melhorar a eficiência energética e expandir a infraestrutura de energia em países em desenvolvimento. A energia é fundamental para o desenvolvimento econômico e social, e reduzir a dependência de combustíveis fósseis ajudará a mitigar as mudanças climáticas.

O ODS 8 visa promover o crescimento econômico sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho digno para todos. Isso inclui aumentar a taxa de emprego, promover direitos trabalhistas e condições de trabalho seguras, e aumentar produtividade e inovação. O emprego digno é fundamental para o bem-estar e autoestima, e o crescimento econômico sustentável reduz a pobreza e desigualdade.

Por fim, este estudo contribui significativamente para a literatura sobre geração distribuída e energia solar fotovoltaica, especialmente no contexto de pequenas empresas. Ao integrar a tecnologia solar fotovoltaica com a prática da manufatura inteligente, a pesquisa evidencia como a colaboração entre homem, máquina e tecnologia pode gerar ganhos substanciais em eficiência, produtividade e lucratividade. A partir de dados precisos e simulações, o estudo mostra como a automação e a geração distribuída podem otimizar os processos produtivos na panificação, reduzindo custos e melhorando a capacidade de atendimento. Dessa forma, oferece insights valiosos para gestores de pequenos negócios, auxiliando-os nas decisões sobre investimentos sustentáveis e proporcionando uma adaptação eficiente às crescentes demandas do mercado, ao mesmo tempo em que promove inovação e competitividade no setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. B. C. A importância da análise para decisão do arranjo físico nas organizações. *Portal de Trabalhos Acadêmicos*, 8(2). Disponível em: <https://revistas.faculdadedemas.edu.br/index.php/academico/article/view/2200>. Acesso em: 30 mar. 2024.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa 482, 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa 687, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

ANÁLISE DOS POTENCIAIS GANHOS DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO FÓRUM DE JABOATÃO, PE. v. 12 n. 6 (2021): *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, jun. 2021.

ABIP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA. Balanço e tendências do mercado de panificação e confeitaria. (2021). Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/wp-content/uploads/2021/09/Cartilha-O-Custo-da-Energia.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

BRASIL. Lei 14.300 de 06 de janeiro de 2022. Marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: 30 mar. 2024.

BRANKER, K. et al. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 4470-4482, 2011.

CAVALCANTE, A. F. de S. Estudo de caso de migração de consumidor do grupo A para o grupo B, com viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico on-grid, (2021). Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/65783>. Acesso em: 30 mar. 2024.

CCEE – CÂMERA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/>. (2022).

DUDIAK, I. J. Integration of renewable energy sources to the power system. 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Krakow, p. 148-151, 2014.

DA SILVA, H. M. F.; ARAÚJO, F. J. C. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 3, p. 859-869, (2022).

GONÇALVES, L. F. Contribuições para o Estudo Teórico e Experimental de Sistemas de Geração Distribuída. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Porto Alegre, março de (2004).

GREENPRO. Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projetos e instalação. Lisboa, (2004), v. 2. Disponível em: <http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

HIDD, G. V. O mercado das empresas de serviços energéticos: uma comparação entre os mercados do Reino Unido e do Brasil, (2015).

IEA. Electricity Information 2022, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>. (2022).

IMS – INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS. Disponível em: <http://www.ims.org>. Acesso em: setembro de (1998).

INTERNATIONAL BUSINESS SCHOOL. Contemporary Topics in Business Management, novembro de (2018).

KIDD, P. T. Agile Manufacturing: forging new frontiers. Addison-Wesley P.C., (1995).

MELO, K.; PRIETO, M. A gestão de custos em micros e pequenas empresas – MPEs: um estudo de caso em empresas de panificação na cidade de Uberlândia. III CSEAR – Conferência Interamericana de Contabilidade Socioambiental – América do Sul. UFPA - Belém – PA – Brasil, jun. (2013).

MATOS, C. H. de; PROENÇA, R. P. da C. Condições de trabalho e estado nutricional de operadores do setor de alimentação coletiva: um estudo de caso.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Disponível em: <https://www.ons.org.br/>. (2022).

ONU, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Disponível em: <Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil>. Acesso em: 30 mar. 2024.

OLIVEIRA, T. E. C. de. Estudo da capacidade de hospedagem de fontes de geração distribuída no sistema elétrico de um campus universitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, (2015).

PLANO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Janeiro, (2012). Análise Econômica da Inserção de Painéis Fotovoltaicos no Campus da UNIFEI, Iberê Carneiro de Oliveira (Itajubá, julho de (2019)).

PORTALSOLAR. Usina solar: o que é, tipos, como funciona, vantagens e desvantagens. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>. Acesso em: 30 mar. 2024.

RAMOS, M. C.; DE ANDRADE, V. S. Auditoria energética no setor de panificação – um estudo de caso em Governador Valadares. In: *Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, (2016).

RIGO, P. D. et al. Microgeração e Minigeração Distribuída de Energia Solar: Cenário e Projeção do Brasil, (2017).

ROCHA, B. de P. Estudos elétricos para avaliação de impacto da geração distribuída na rede de distribuição e na formação de microrredes. Dissertação de Mestrado, UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, junho de (2010).

ROCHA, I. C. et al. A contabilidade de custos como ferramenta na formação do preço de venda em uma indústria de panificação. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 9, p. 15957-15980, (2019).

ROSSI, R. Subestações Elétricas – Fupai, Itajubá/MG, (2016).

SANTOS, E. N. S.; SANTOS, E. N. D. A importância da gestão energética em empresas e o diagnóstico energético como ferramenta de gestão (estudo de caso).

SANTOS JUNIOR, A. A. et al. Diagnóstico energético e propostas de melhorias em uma panificadora no município de Abaetetuba-PA, (2018).

SEBRAE – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. O Impacto da pandemia de coronavírus nos Pequenos Negócios, 2ª edição. Disponível em: [https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Imagens%20SebraeNA/Pesquisa%20O%20impacto%20do%20Coronav%20C3%ADrus%20nos%20pequenos%20neg%20C3%B3cios%20%20Pesquisa%20completa%20%20n%C2%BA2%20\(09042020.pdf](https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Imagens%20SebraeNA/Pesquisa%20O%20impacto%20do%20Coronav%20C3%ADrus%20nos%20pequenos%20neg%20C3%B3cios%20%20Pesquisa%20completa%20%20n%C2%BA2%20(09042020.pdf). Acesso em: 30 mar. 2024.

SEBRAE – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Minas Gerais é o terceiro estado com o maior número de pequenos negócios no setor de panificação. Disponível em: <https://mg.agenciasebrae.com.br/dados/minas-gerais-e-o-terceiro-estado-com-o-maior-numero-de-pequenos-negocios-no-setor-de-panificacao/>. Acesso em: 30 mar. 2024.

SHAYANI, R. A. Método para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Departamento de Energia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, (2010).

SILVA, F. A. P. da. Avaliação energética da empresa RENOPEL. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.22/10640>.

SOUZA, J. L. de; NICÁCIO, R. M.; MOURA, M. A. L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. *Renewable Energy*, v. 30, p. 1203-1220, (2005).

VILLALVA, M. G. Conversor eletrônico de potência trifásico para sistema fotovoltaico de conectado à rede elétrica. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Campinas, (2010).

WOMACK, J. P. A Mentalidade Enxuta nas Empresas. Rio de Janeiro, Ed. Campus, (1998).

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; de OLIVEIRA, S. H. F. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Oficina de textos, (2016).

ANEXO A – RELATÓRIO DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA



Versão 7.4.0

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst - Relatório da simulação

Sistema acoplado à rede

Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÂNTARA

Variante: Nova variante da simulação

Sem desenho 3D de sombras, sem sombras

Potência sistema: 6.60 kWp

Capote - Brazil

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO

PVsyst AVALIAÇÃO | Author



Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÂNTARA

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.4.0

VCS, Data de simulação: 19/07/23 07:56
com v7.4.0

Resumo do projeto

Localização geográfica	Localização		Parâmetros projeto	
Capote	Latitude	-22.36 °S	Albedo	0.20
Brazil	Longitude	-45.56 °W		
	Altitude	840 m		
	Fuso horário	UTC-3		
Dados meteorológicos				
Capote				
Meteonorm 8.1 (2008-2019), Sat=100% - Strático				

Resumo do sistema

Sistema acoplado à rede	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras		
Orientação do plano dos módulos	Sombras próximas	Exigências do consumidor	
Perdas fixas 2 orientações	Sem sombras	Carga limitada (rede)	
Inclinações 20 / 20 °			
Informação do sistema		Inversões	
Grupo PV		Número de unidades	20 unidades
Nr. de módulos	20 unidades	Prdm total	10.00 kWac
Prdm total	6.60 kWp	Rácio Prdm	0.660

Resumo dos resultados

Energia produzida	11252.07 kWh/ano	Produção específica	1702 kWh/kWplano	Índice de perf. PR	81.31 %
-------------------	------------------	---------------------	------------------	--------------------	---------

Índice

Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo PV, Perdas do sistema	3
Resultados principais	8
Diagrama de perdas	9
Gráficos predefinidos	10
Diagrama utilitar	11



Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÁNTARA

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.4.0

V05, Date de simulação: 19/07/23 07:56
com v7.4.0

Parâmetros gerais

Sistema acoplado à rede	Sem desenho 3D de sombras, sem sombras		
Orientação do plano dos módulos	Configuração dos sheds		
Orientação	Não há um desenho 3D definido		
Placas fixas	2 orientações	Modelos utilizados	
Inclinação/módulo	20 / 20 °	Transposição	Peric
	20 / -20 °	Difuso	Peric, Meteonorm
		Cloumaker	separado
Horizonte	Sombras próximas		Exigências do consumidor
Sem horizonte	Sem sombras		Carga limada (rede)

Características do grupo FV

Módulo FV	Generico	Inversor	Generico
Fabricante		Fabricante	
Modelo	TP672P-330-MBB(H)	Modelo	YC500-044E(U)
(Base de dados original do PVsyst)		(Base de dados original do PVsyst)	
Potência unitária	330 Wp	Potência unitária	0.500 kWac
Número de módulos FV	20 unidades	Número de inversores	20 unidades
Nominal (STC)	6.60 kWp	Potência total	10.0 kWac
Grupo #1 - Grupo FV			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	20/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Prapp	297 Wp	Rácio Pnom (DC/AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #2 - Sub-grupo #2			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	20/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Prapp	297 Wp	Rácio Pnom (DC/AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #3 - Sub-grupo #3			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	20/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Prapp	297 Wp	Rácio Pnom (DC/AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		



Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÂNTARA

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.4.0

VCS, Data da simulação: 19/07/23 07:56
com v7.4.0.

Características do grupo FV

Grupo #4 - Sub-grupo #4			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	30/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de Inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pnom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #5 - Sub-grupo #5			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	30/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de Inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pnom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #6 - Sub-grupo #6			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	30/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de Inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pnom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #7 - Sub-grupo #7			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	30/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de Inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pnom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #8 - Sub-grupo #8			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	30/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de Inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pnom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		



Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÂNTARA

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.4.0

VC5, Data de simulação: 19/07/23 07:56
com v7.4.0

Características do grupo FV

Grupo #9 - Sub-grupo #9			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	20/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pprom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #10 - Sub-grupo #10			
Orientação	#1		
Inclinação/Azimute	20/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pprom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #11 - Sub-grupo #11			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pprom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #12 - Sub-grupo #12			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pprom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		
Grupo #13 - Sub-grupo #13			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Pprom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
I mpp	8.8 A		



Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÂNTARA

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.4.0

VC5, Date de simulação: 19/07/23 07:56
com v7.4.0

Características do grupo FV

Grupo #14 - Sub-grupo #14			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/-20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWp
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-48 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Prom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
Impp	8.8 A		
Grupo #15 - Sub-grupo #15			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/-20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWp
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-48 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Prom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
Impp	8.8 A		
Grupo #16 - Sub-grupo #16			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/-20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWp
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-48 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Prom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
Impp	8.8 A		
Grupo #17 - Sub-grupo #17			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/-20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWp
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-48 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Prom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
Impp	8.8 A		
Grupo #18 - Sub-grupo #18			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/-20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWp
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-48 V
Pmpp	297 Wp	Rácio Prom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Partilha de potência neste inversor	
Impp	8.8 A		



Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÂNTARA

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.4.0

VC5, Data de simulação: 19/07/23 07:56
com v7.4.0

Características do grupo FV

Grupo #19 - Sub-grupo #19			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/-20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	257 Wp	Rácio Pnom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Perda de potência neste inversor	
Impp	8.8 A		
Grupo #20 - Sub-grupo #20			
Orientação	#2		
Inclinação/Azimute	20/-20 °		
Número de módulos FV	1 unidade	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	330 Wp	Potência total	0.50 kWac
Módulos	1 String x 1 Em série		
Em condições de func. (50°C)		Tensão de funcionamento	22-45 V
Pmpp	257 Wp	Rácio Pnom (DC:AC)	0.66
Umpp	34 V	Perda de potência neste inversor	
Impp	8.8 A		
Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	7 kWp	Potência total	10 kWac
Total	20 módulos	Número de inversores	20 unidades
Superfície módulos	38.9 m²	Rácio Pnom	0.66
Superfície célula	35.4 m²		

Perdas do grupo

Fator de perdas térm.		Perdas de cablagem DC		Perdas de qualidade dos módulos				
Temperatura módulos em função irradiância		Res. global do grupo	65 mΩ	Fração perdas	-0.8 %			
U _t (const.)	20.0 W/m²K	Res. global dos cabos	3.2 mΩ					
U _v (vento)	0.0 W/m²Km/s	Fração perdas	1.5 % em STC					
Perdas dos módulos com mismatch								
Fração perdas	0.0 % no MPV							
Fator de perda IAM								
Efeito de incidência (IAM): Fresnel, revestimento AR, n(vidro)=1.526, n(Ar)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.997	0.992	0.982	0.915	0.681	0.440	0.000



Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÂNTARA

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.4.0

VCS, Data de simulação: 19/07/23 07:56
com v7.4.0

Resultados principais

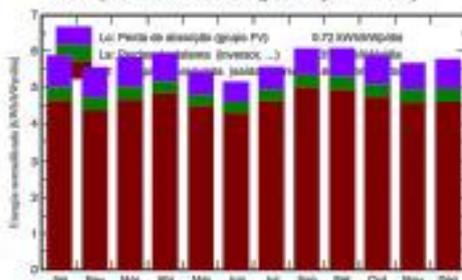
Produção do sistema
Energia produzida

11232.07 kWh/ano

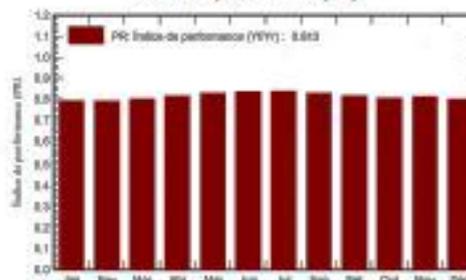
Produção específica
Índice de perf. PR

1702 kWh/kWplano
81.31 %

Produções normalizadas (por kWp instalado)



Índice de performance (PR)



Balances e resultados principais

	GlobHor	DifHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	rácio
Janeiro	106.6	73.01	22.93	182.2	177.7	1029	993	0.792
Fevereiro	158.6	85.96	23.44	155.2	151.3	876	810	0.791
Março	172.3	74.28	22.77	181.0	177.2	1029	996	0.800
Abril	186.1	62.67	21.00	178.6	175.4	1027	980	0.814
Mai	136.1	41.23	18.43	168.3	166.0	967	921	0.829
Junho	119.8	36.43	17.41	154.4	151.3	914	852	0.836
Julho	134.5	33.07	16.99	171.9	168.6	1016	949	0.837
Agosto	157.6	44.01	18.29	187.9	184.6	1096	1027	0.828
Setembro	167.6	59.07	19.22	182.0	178.7	1050	980	0.815
Outubro	181.4	72.26	21.17	182.6	178.5	1046	971	0.806
Novembro	179.2	90.66	20.97	170.0	166.7	964	911	0.811
Dezembro	194.1	87.24	22.59	178.8	174.0	1020	943	0.800
Ano	1953.0	731.89	20.42	2093.0	2048.1	12671	11232	0.813

Legenda

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DifHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		

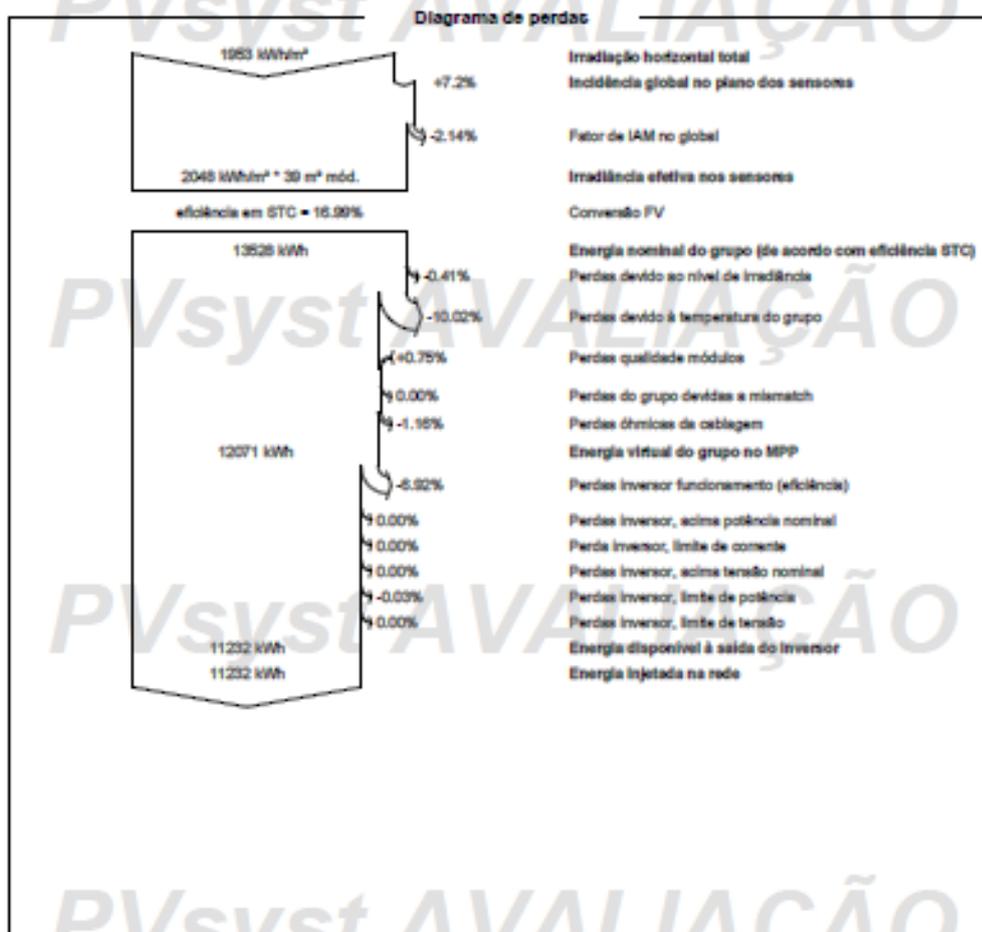


Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÂNTARA

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.4.0

VCS, Date de simulação: 19/07/23 07:56
com v7.4.0





Projeto: ENG. BRUNO FÉLIX ALCÂNTARA

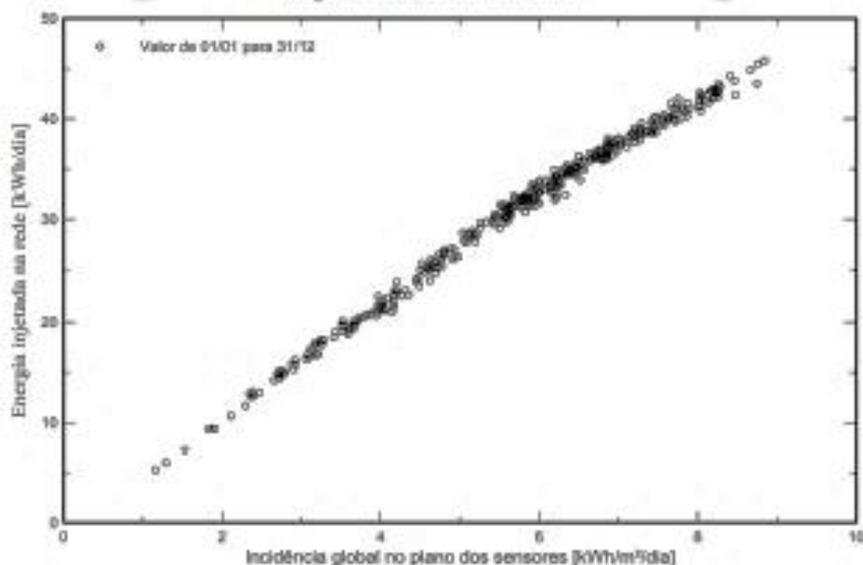
Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.4.0

VCS, Date de simulação: 19/07/23 07:56
com v7.4.0

Gráficos predefinidos

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema

