



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS IV – UNIDADE ACADÊMICA SOUSA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

JANIO DOMINGOS NOGUEIRA

**ANÁLISE E APLICAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
FOTOVOLTAICA COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM UMA FÁBRICA
DE SORVETES**

**SOUSA – PB
2025**

JANIO DOMINGOS NOGUEIRA

**ANÁLISE E APLICAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
FOTOVOLTAICA COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM UMA FÁBRICA
DE SORVETES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Superior de Tecnologia em Energias Renováveis da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do grau de tecnólogo em Sistemas de Energias Renováveis.

Área de Concentração: Energia Solar
Fotovoltaica e Armazenamento de Energia

Orientador: Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Torres.

**SOUSA – PB
2025**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

N778a Nogueira, Janio Domingos.

Análise e aplicação de sistema de geração distribuída fotovoltaica com armazenamento de energia em uma fábrica de sorvetes [manuscrito] / Janio Domingos Nogueira. - 2025.
41 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Energias renováveis) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2025.

"Orientação : Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Torres, Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Energias Renováveis - CCHA".

1. Indústria de sorvetes. 2. Geração distribuída fotovoltaica.
3. Armazenamento de energia. 4. Sustentabilidade. I. Título

21. ed. CDD 621.47

JANIO DOMINGOS NOGUEIRA

ANÁLISE E APLICAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
FOTOVOLTAICA COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM UMA FÁBRICA DE
SORVETES.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
de Energias Renováveis da
Universidade Estadual da Paraíba,
como requisito parcial à obtenção do
título de Tecnólogo em Sistemas de
Energias Renováveis

Aprovada em: 06/06/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **João Paulo Dantas de Carvalho** (***.185.134-**), em **16/06/2025 20:11:32** com chave **3dcc35c24b0711f0b6902618257239a1**.
- **Thomas Tadeu de Oliveira Pereira** (***.001.714-**), em **16/06/2025 20:30:24** com chave **e0e2d99e4b0911f0b8781a7cc27eb1f9**.
- **Anderson Alberto Pinto Torres** (***.547.004-**), em **16/06/2025 20:10:08** com chave **0bf1880e4b0711f09a5506adb0a3afce**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Folha de Aprovação do Projeto Final

Data da Emissão: 17/06/2025

Código de Autenticação: 8a211e



AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus pela força, saúde e sabedoria que me foram concedidas ao longo desta jornada. Sem Ele, nada disso seria realizável.

A conclusão deste trabalho reflete o apoio, o incentivo e a dedicação de muitas pessoas, às quais expresso minha mais sincera gratidão.

Agradeço ao meu orientador, Anderson Alberto Pinto Torres, pela orientação e pelo suporte durante todo o desenvolvimento deste projeto, cuja orientação foi fundamental para a realização deste trabalho.

À minha mãe, Margarete, e ao meu pai, José Nogueira, por seu apoio incondicional e por acreditarem sempre em meu potencial. À minha irmã, Karine e Kalielândia, deixo meu carinho e reconhecimento por todo o suporte, amor e valores transmitidos.

A Valmir, Luciana e a Vilmar pelo apoio. Como também meus amigos, Gerlan, Jerry, Júnior, Anna Karolina, minha gratidão pela amizade e companheirismo.

Ao saudoso Salomão Gadelha, verdadeiro pioneiro e defensor das energias renováveis, onde tive o privilégio de participar, em 2007, de um evento sobre energia solar em João Pessoa, organizado por ele. Durante sua gestão como prefeito, ele implementou, em 2008, o primeiro módulo fotovoltaico em Sousa. Atualmente, o prédio que abriga a Unidade Acadêmica de Sousa da UEPB, homenageia seu legado ao levar seu nome.

Aos meus colegas de curso, em especial Rafael, Flaviano, Adilson, Thiago Silva, Alberto, Guilherme, Beatriz, Eduarda, Lucas e outros que, infelizmente, não conseguiram concluir essa jornada, deixo minha gratidão pelo companheirismo, apoio e amizade que marcaram todo o percurso.

Aos docentes desta Unidade Acadêmica, representados pelo professor José Alexsandro da Silva, e aos servidores, representados por Glauber, meu agradecimento pelo suporte e pelo comprometimento com a formação de cada um de nós. A todos vocês, deixo meu sincero reconhecimento. Este trabalho traz consigo a marca do apoio e da influência que cada um teve em minha trajetória.

RESUMO

A avaliação do sistema elétrico de uma fábrica de sorvetes situada em Sousa - PB, revela um desafio comum enfrentado por indústrias com alta demanda de energia: os custos elevados e o impacto ambiental associados ao uso de fontes não renováveis. A indústria opera com uma alta demanda de consumo de energia e utiliza um gerador a diesel para suprir suas necessidades durante os períodos de ponta, consumindo cerca de 120 litros de óleo diesel diariamente, o que gera despesas operacionais significativas e agrava a pegada de carbono da empresa. Em contrapartida, a empresa fez investimentos em energia solar como uma alternativa sustentável, no entanto, essa opção ainda não é totalmente explorada, em grande parte devido à falta de um sistema de armazenamento eficiente que possibilite a utilização da eletricidade gerada em momentos de maior demanda. A adoção de baterias não apenas permite uma gestão mais eficaz da eletricidade consumida, mas também traz benefícios econômicos e ambientais ao reduzir a dependência de combustíveis fósseis e os custos associados ao uso de diesel. A metodologia utilizada na pesquisa consiste na coleta de informações operacionais sobre o consumo de energia atual da fábrica, o funcionamento do sistema de energia solar fotovoltaico existente e os gastos relacionados ao uso do gerador a diesel no horário de ponta. Ao término da pesquisa, a intenção é oferecer uma proposta consistente para aprimorar o sistema elétrico da fábrica, sugerindo a adoção de um sistema de geração distribuída fotovoltaica com armazenamento de energia como uma alternativa viável, tanto do ponto de vista econômico como ambiental, além da redução de custo com o gerador a diesel, que seria substituído pelas baterias. Dessa forma, o projeto pretende não apenas aprimorar o rendimento energético da empresa, mas também atuar como um exemplo para outras organizações do segmento que desejam encontrar soluções energéticas para melhorar seu consumo de energia e minimizar os impactos ao meio ambiente.

Palavras-chave: Indústria de Sorvetes, Geração Distribuída Fotovoltaica, Armazenamento de Energia; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The assessment of the electrical system of an ice cream factory located in Sousa - PB, reveals a common challenge faced by industries with high energy demand: the high costs and environmental impact associated with the use of non-renewable sources. The industry operates with a high demand for energy consumption and uses a diesel generator to meet its needs during peak periods, consuming around 120 liters of diesel oil daily, which generates significant operating expenses and worsens the company's carbon footprint. In contrast, the company has invested in solar energy as a sustainable alternative; however, this option has not yet been fully explored, largely due to the lack of an efficient storage system that allows the use of the electricity generated at times of greatest demand. The adoption of batteries not only allows for more effective management of the electricity consumed, but also brings economic and environmental benefits by reducing dependence on fossil fuels and the costs associated with the use of diesel. The methodology used in the research consists of collecting operational information on the factory's current energy consumption, the operation of the existing photovoltaic solar energy system and the costs related to the use of the diesel generator during peak hours. At the end of the research, the intention is to offer a consistent proposal to improve the factory's electrical system, suggesting the adoption of a photovoltaic distributed generation system with energy storage as a viable alternative, both from an economic and environmental point of view, in addition to reducing the cost of the diesel generator, which would be replaced by batteries. In this way, the project aims not only to improve the company's energy efficiency, but also to act as an example for other organizations in the segment that wish to find energy solutions to improve their energy consumption and minimize environmental impacts.

Keywords: Ice Cream Industry, Photovoltaic Distributed Generation, Energy Storage; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Estrutura Tarifária da ENERGÊS.....	16
Figura 02 – Banco de baterias BESS.....	19
Figura 03 – Demonstração gráfica da aplicação de arbitragem de energia.....	21
Figura 04 – Usina híbrida para Geração de energia.....	22
Figura 05 – Torres de Resfriamento.....	25
Figura 06 – Torres de Resfriamento com bombas.....	25
Figura 07 – Compressores da Refrigeração.....	26
Figura 08 – Condensadores da Refrigeração.....	26
Figura 09 – Compressor de ar.....	27
Figura 10 – Dessalinizadores.....	27
Figura 11 – Sala de Produção do Túnel de Congelamento de Picolés.....	28
Figura 12 – Subestação de energia.....	29
Figura 13 – Quadros de energia geral e do Gerador.....	29
Figura 14 – Gerador de energia.....	30
Figura 15 – Tanque de combustível para o Gerador de energia.....	30
Figura 16 – Visor do Gerador de energia.....	31
Figura 17 – Banco de Capacitores.....	31
Figura 18 – Índice de Irradiação nos painéis fotovoltaicos da fábrica.....	32
Figura 19 – Painéis fotovoltaicos em teto da fábrica.....	32
Figura 20 – Inversor.....	33
Figura 21 – Consumo de Energia Ativa e Demanda da Indústria de Sorvetes.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Consumo e Demanda, na ponta, fora ponta e total.....	34
Tabela 02 – Comparação do antes e depois da GD+BESS na Indústria de Sorvetes.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1 Contextualização.....	15
3.2 Perfil Elétrico Industrial.....	15
3.3 Geração Distribuída Fotovoltaica.....	17
3.4 Armazenamento de Energia.....	18
4 METODOLOGIA.....	23
4.1 Coleta de dados em campo.....	23
4.2 Análise das contas de energia.....	23
4.3 Cálculo da demanda total	23
4.4 Simulação Computacional	24
4.5 Análise econômica e ambiental.....	24
4.6 Carga da Indústria de Sorvetes.....	24
4.7 Sistema Elétrico da Indústria de Sorvetes	28
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	34
6 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma matriz energética predominantemente limpa, com destaque para a geração hidrelétrica. No entanto, eventos recentes, como crises hídricas e oscilações nos reservatórios, têm evidenciado a necessidade de diversificação das fontes de energia. Nesse contexto, fontes renováveis como a solar e a eólica têm ganhado espaço significativo, impulsionadas por políticas públicas, incentivos fiscais e avanços tecnológicos (GREENER, 2021).

Empresas brasileiras, especialmente nos setores industrial e comercial, têm investido em soluções como a geração distribuída, em que consumidores produzem sua própria energia — geralmente por meio de painéis solares fotovoltaicos — e podem até injetar o excedente na rede elétrica. Além disso, iniciativas de eficiência energética e o uso de sistemas inteligentes de gestão de consumo também têm se mostrado estratégias eficazes para a redução de custos (GREENER, 2021).

Nos últimos tempos, tem havido um aumento significativo nos estudos, desenvolvimentos e discussões sobre maneiras alternativas de reduzir os custos da energia elétrica (Liu *et al.*, 2019). Com o crescimento potencial da demanda por energia, grandes empresas focam, cada vez mais, em encontrar soluções para garantir um fornecimento contínuo de eletricidade. Embora muitos sistemas de geração ainda utilizem combustíveis fósseis, há um movimento crescente para substituí-los por fontes renováveis (Yang; Sun, 2019).

Essa tendência deve estar alinhada com os objetivos das empresas de serem mais eficientes, competitivas e sustentáveis. Portanto, a implementação de sistemas de geração de energia renovável, com ou sem armazenamento, precisa ser viável tanto técnica quanto economicamente. Essa viabilidade depende de diversos fatores e cenários distintos.

Nos casos em que o armazenamento não é utilizado (injeção direta de energia), a viabilidade econômica é influenciada não apenas pelos custos de painéis fotovoltaicos, inversores e outros componentes, mas também pela legislação vigente, que define as regras para essa aplicação. Esses fatores são dinâmicos e exigem constantes atualizações nos estudos de viabilidade.

Um exemplo recente foi a publicação da Lei nº 14.300/2022, em 6 de janeiro de 2022, que estabeleceu o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída de Energia, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS) (Brasil, 2022), trazendo impactos diretos sobre esses estudos. Por outro lado,

em cenários que contemplam sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia, além da legislação e dos custos envolvidos, é imprescindível considerar os avanços tecnológicos no setor de armazenamento e a redução dos preços, resultado do aumento na escala de produção.

Entre as tecnologias utilizadas para o armazenamento de energia no contexto de fontes renováveis, as baterias se destacam por sua modularidade e pela capacidade de oferecer soluções simples, adaptáveis tanto a demandas reduzidas de poucos kW/kWh quanto a aplicações maiores, podendo alcançar centenas de MW/MWh (Enformer, 2022). Por essa razão, o armazenamento baseado em baterias tornou-se uma das alternativas mais empregadas atualmente (Sandia, 2022).

Entre as diferentes opções disponíveis, destacam-se as tradicionais baterias de íons de lítio e chumbo-ácido como as mais amplamente utilizadas para essa finalidade (Kamiva, 2021). Além dessas, outras tecnologias, como as baterias de fluxo e as baterias de chumbo-carbono (também conhecidas como baterias de chumbo-ácido avançadas), possuem aplicações específicas, embora sejam menos empregadas (Bowen *et al.*, 2021).

Segundo a Greener (2021), os sistemas de armazenamento oferecem serviços essenciais à geração de energia, como absorver excedentes de produção e redistribuí-los em momentos de maior demanda. Quando integrados a sistemas fotovoltaicos, podem substituir geradores a diesel em instalações off-grid, entre outros usos. No contexto de transmissão e distribuição, contribuem para o aumento da eficiência das redes e para a melhoria na qualidade do fornecimento de eletricidade. Para consumidores finais, auxiliam no gerenciamento do consumo e da demanda contratada, atuam como fonte de energia reserva e ampliam os benefícios relacionados à geração distribuída.

O crescimento contínuo da demanda por energia elétrica, impulsionado pelo aumento da população, pela expansão industrial e pelos avanços tecnológicos, tem levantado preocupações sobre sustentabilidade, segurança energética e os custos associados ao consumo. Nesse contexto, torna-se essencial buscar soluções que combinem eficiência econômica com a preservação ambiental. A dependência predominante de combustíveis fósseis na geração de energia, ainda presente em muitos países, apresenta desafios significativos, como a emissão de gases de efeito estufa e a volatilidade nos preços (MMA, 2025).

Por essa razão, ganham destaque as pesquisas e investimentos voltados para fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. No Brasil, essa discussão tem uma relevância especial, dada a vasta capacidade do país para produzir energia

limpa, somada ao aumento das tarifas e à vulnerabilidade da matriz energética diante de crises hídricas (MMA, 2025).

É, portanto, justificável investir em estudos e iniciativas que favoreçam o uso de tecnologias sustentáveis, como a geração distribuída e sistemas de eficiência energética, com ênfase no setor público e em grandes empresas. Essas ações não apenas reduzem a dependência de fontes não renováveis, mas também fortalecem a autonomia energética, levam à economia de longo prazo e contribuem diretamente para atingir as metas climáticas nacionais (MMA, 2025).

Esta pesquisa traz uma visão detalhada das possibilidades de ganhos técnico-financeiros a partir da redução da energia elétrica consumida da rede da concessionária ao longo do ano, assim como avaliar o potencial de eficiência energética que pode ser obtido a partir do diagnóstico global da empresa versus à solução apresentada incluindo os possíveis cenários de viabilidade futura. Consistindo numa análise e aplicação de sistemas de geração distribuída com armazenamento de baterias e sem armazenamento numa indústria, como alternativa ao uso de geradores a diesel e com foco na sustentabilidade e viabilidade econômica.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

- Analisar a viabilidade técnica-econômica de um sistema de geração distribuída fotovoltaica com armazenamento de energia para uma Fábrica de Sorvetes situada em Sousa-PB.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o consumo energético da fábrica com base nas contas de energia e nos padrões de demanda atuais;
- Simular cenários com sistemas de energia solar fotovoltaica integrados a baterias utilizando software especializado REOPT;
- Comparar custos operacionais entre o uso de gerador a diesel e o sistema proposto de armazenamento;
- Identificar os benefícios ambientais, como a redução de emissões de gases do efeito estufa, com a adoção do sistema de energia sustentável;
- Elaborar um plano de substituição gradual do gerador a diesel, destacando benefícios econômicos e ambientais;
- Reduzir os custos da energia em horário de ponta e fora de ponta;
- Propor um sistema de armazenamento de energia tipo BESS.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Contextualização

Os recursos energéticos distribuídos (RED) desempenham um papel tanto no lado da demanda quanto no da oferta, englobando geração distribuída, eficiência energética e armazenamento de energia. Sob a perspectiva da operação da rede, esses recursos geram, em geral, o mesmo efeito: diminuir ou modificar a carga que precisa ser atendida pela rede. Além disso, promovem mudanças na estrutura econômica de todo o sistema. Para os consumidores, os RED oferecem a possibilidade de maior envolvimento na geração e no gerenciamento do consumo de sua própria energia (FGV ENERGIA, 2016).

O local do estudo é a fábrica de sorvetes, em Sousa-PB, que utiliza um gerador de energia, onde consome cerca de 120 litros de óleo diesel diariamente durante os períodos de ponta, gerando custos elevados e contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa.

A pesquisa foi realizada em uma fábrica de sorvetes localizado na cidade de Sousa-PB. De acordo com o Atlas Solar Global, Sousa-PB (cidade com 70.000 habitantes) é uma cidade com alta incidência de radiação solar, com uma Irradiação normal direta (DNI) no local das placas igual a 5,811 kWh/m² dia (GLOBAL SOLAR ATLAS, 2025), ideal para geração de energia fotovoltaica. Contudo, a falta de um sistema de armazenamento eficiente limita a exploração dessa alternativa sustentável. A substituição gradual do gerador a diesel por baterias permitirá armazenar energia gerada e utilizá-la de forma otimizada, resultando em economia financeira e redução de impactos ambientais.

Este estudo contribui para o avanço da geração distribuída e do armazenamento no Brasil, promovendo sustentabilidade e eficiência no uso de recursos energéticos.

3.2. Perfil Elétrico Industrial

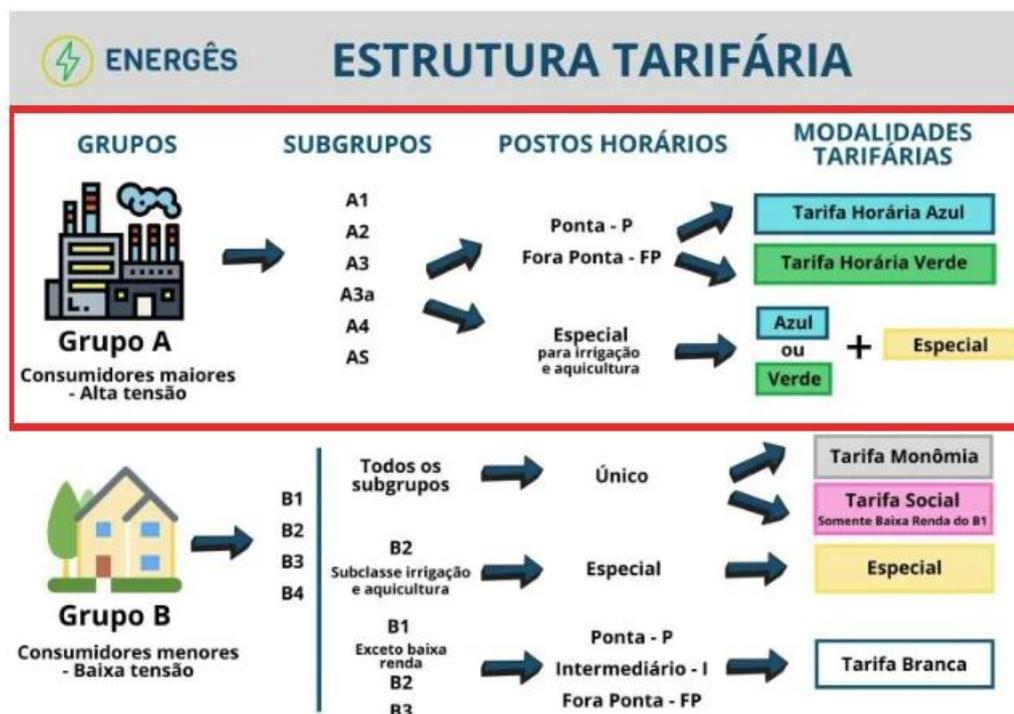
Consumidores industriais (Grupo A) não apenas arcam com o custo da energia que efetivamente utilizam, mas também precisam contratar uma demanda máxima junto à distribuidora. Essa prática assegura maior confiabilidade tanto ao fornecimento próprio quanto ao de outros usuários conectados à mesma rede. Ter um entendimento aprofundado sobre a composição da fatura e os padrões de consumo permite optar pela modalidade tarifária mais adequada, contribuindo para a redução dos gastos com energia elétrica (DUQUE, 2025).

A descrição da estrutura tarifária de energia elétrica da empresa Energês (DUQUE, 2025) é um exemplo da grande maioria das concessionárias, em que é organizada em dois principais grupos tarifários: Grupo A e Grupo B.

Grupo A – Alta Tensão, destinado a grandes consumidores, como indústrias. Subgrupos: A1 a A5 (classificados de acordo com a tensão fornecida). Estrutura tarifária baseada em horários: - Ponta / Fora Ponta - Tarifa Horária Azul ou Verde Modalidade específica disponível para atividades de irrigação e aquicultura.

Grupo B – Baixa Tensão, voltado para consumidores de menor porte, como residências e estabelecimentos comerciais. Subgrupos: B1 (baixa renda), B2 (rural), B3 e B4. Opções tarifárias aplicáveis: - Monômnia (valor fixo por kWh consumido) - Tarifa Social (com descontos para famílias de baixa renda) - Tarifa Branca (variação conforme o horário de consumo) - Modalidade especial para irrigação e aquicultura. Na figura 1, é mostrado a estrutura tarifária da empresa Energês.

Figura 1 – Estrutura Tarifária da ENERGÊS.



Fonte: DUQUE, 2025.

No grupo A, a tarifa de energia é binômnia, com consumo de energia (kWh) e demanda contratada (kW). Além disso, o dia possui um período de 21 horas, conhecido como fora de

ponta (valor mais acessível) e o período de ponta, 3 horas (valor elevado de custo). Assim, muitas indústrias optam por usar geradores a diesel para ligar nos horários de ponta.

As plantas industriais consistem em diversos equipamentos com diferentes níveis de consumo de energia elétrica, operando sob uma variedade de características de regime. O padrão de consumo energético de uma planta fabril resulta da interação dos regimes operacionais de todos os seus equipamentos. Alguns desses equipamentos podem trabalhar em regimes não uniformes, apresentando intermitências diárias ou horárias, dependendo do planejamento da produção (Machalek; Powell, 2019).

Essas variações ocasionam mudanças constantes nas demandas de energia elétrica, com uma relação direta e significativa entre a potência consumida e os volumes produzidos no processo industrial. O estudo do perfil de consumo característico dos processos industriais tem sido uma prática comum em diversas fábricas, visando à sua otimização e à redução de custos, com foco no aumento da eficiência operacional e na melhoria da competitividade (Machalek; Powell, 2019).

Com base em um perfil de demanda (potência em operação), é possível avaliar e dimensionar sistemas de geração de energia elétrica capazes de atender a essa necessidade específica. Entre as opções tecnológicas disponíveis, os painéis fotovoltaicos são utilizados para gerar energia, observando a irradiação solar na localização geográfica escolhida para a instalação do sistema.

A seguir, temos a descrição de alguns equipamentos e sistema elétrico da Indústria de Sorvetes analisada.

3.3 Geração Distribuída Fotovoltaica

Como uma fonte de energia renovável, a energia solar fotovoltaica atualmente representa 48.837 MW da matriz elétrica do Brasil, correspondendo a cerca de 18,2%. Desde 2019, a energia solar tornou-se uma das opções mais competitivas no país (ABSOLAR, 2024). A geração distribuída de energia fotovoltaica oferece grandes vantagens para o setor elétrico brasileiro, incluindo a diversificação da matriz energética com baixo impacto ambiental, redução nos investimentos em transmissão, diminuição das perdas nas redes elétricas e aprimoramento na qualidade do serviço de energia.

No trabalho de Torres *et al.* (2024), foi feita uma análise de eficiência energética, geração distribuída e sistema de armazenamento de energia em baterias (representado pela sigla BESS, do termo em inglês Battery Energy Storage System) foram projetadas e

simuladas com os softwares RETScreen Internacional e REopt, do National Renewable Energy Laboratory. Os resultados mostraram que a implantação de uma geração distribuída associada a um sistema BESS, promovem uma contribuição significativa para a melhoria do meio ambiente, uma vez que vai evitar o envio de várias toneladas de gases do efeito estufa. Além disso, vai ocorrer uma redução de custos com a energia elétrica, pois o sistema GD diminuirá a dependência em relação a rede da concessionária e armazenará energia para despachar em momentos de necessidade da carga ou do próprio sistema elétrico, melhorando o desempenho e evitando o fluxo reverso da geração fotovoltaico.

Os sistemas fotovoltaicos apresentam algumas limitações relacionadas às condições climáticas da região em que são instalados, além de serem naturalmente intermitentes na geração de energia. Contudo, ao implementar um sistema de armazenamento de energia associado a essa forma de geração, é possível criar uma solução mais eficaz para minimizar essa intermitência. Apesar disso, os custos ainda elevados dos sistemas fotovoltaicos, devido aos materiais e tecnologias empregados, dificultam sua ampla adoção e disseminação. Para impulsionar a compreensão e evidenciar os benefícios desses sistemas, torna-se essencial analisar a viabilidade econômica e a eficiência de sua aplicação em diferentes contextos (Yang; Sun, 2019).

Fu e Remo (2018) propõem modelos e cenários com foco em otimizar o desempenho e reduzir custos. Um dos cenários aborda a implementação de um sistema fotovoltaico integrado a um sistema de armazenamento de energia conectado à rede da concessionária, enquanto o outro considera um sistema independente de armazenamento de energia utilizando baterias de íons de lítio também conectado à rede da concessionária.

3.4 Armazenamento de Energia

No Brasil, uma aplicação que tem ganhado destaque é o uso de sistemas de armazenamento para diminuir o consumo de energia durante o horário de ponta. Em algumas distribuidoras, a diferença de preço entre os períodos de ponta e fora de ponta é bastante significativa. Consumidores com menor capacidade de gestão de carga podem optar por armazenar energia nos horários fora de ponta, quando os custos são mais baixos, para utilizá-la nos horários de ponta, quando os preços são mais elevados (GREENER, 2021).

Conforme apontado pela Greener (2021), o armazenamento de energia combinado com a geração distribuída pode contribuir para reduzir a injeção de energia na rede, sendo uma solução viável para usuários que enfrentam perdas expressivas na compensação de

créditos. A energia excedente produzida pelo sistema é armazenada em baterias para uso futuro, diminuindo, assim, a necessidade de injetar energia na rede elétrica.

Os sistemas de armazenamento de energia são frequentemente utilizados para aproveitar opções de energia mais econômicas em diversas situações, como durante variações de carga e em momentos de pico. Por exemplo, o sistema pode ser carregado quando a energia está com um custo mais baixo e descarregado quando os preços aumentam. Estes sistemas encontram aplicação em vários setores, com o principal objetivo de diminuir os custos de energia para a operação industrial ou o consumo doméstico. Espera-se que os custos dessas tecnologias continuem a diminuir no futuro, facilitando sua disseminação. Outra utilização fundamental desses sistemas é durante períodos de alta demanda, quando o preço da energia da rede aumenta significativamente. Os sistemas de armazenamento podem ser carregados diretamente pela rede fora dos horários de pico ou por outras fontes geradoras, como energias renováveis, através de painéis solares e turbinas eólicas, entre outros métodos (Venkataraman et.al, 2018).

Figura 2 – Banco de baterias BESS.



Fonte: Diário do Nordeste, 2024.

Saem os geradores a diesel e entram os sistemas BESS. O equipamento, cujo nome em inglês significa Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias, opera de maneira bem direta: armazena a eletricidade gerada e a disponibiliza para o sistema sempre que necessário. Essa alternativa, que geralmente está associada a formas limpas de geração de energia, apresenta como expectativa a redução de até 40% no consumo energético, refletindo um avanço significativo nesse campo (Rodrigues, 2024).

Os BESS já são uma realidade consolidada na geração distribuída no país, ganhando cada vez mais espaço e adesão. Sua principal função é armazenar energia para uso em

momentos críticos ou nos períodos de "ponta de carga", quando o custo da eletricidade é mais elevado (Rodrigues, 2024).

No caso das baterias do projeto Moranguinho, a instalação ficou a cargo da Matrix Energia. De acordo com a empresa, foi firmado um contrato para a aquisição de 12 unidades do sistema, totalizando uma capacidade instalada de 5 megawatts-hora (MWh). A primeira unidade-conceito, com previsão de entrega em outubro, será capaz de armazenar 1 MWh, marcando o início das operações com essa tecnologia inovadora (Rodrigues, 2024).

De acordo com Alexandre Gomes, diretor da unidade de negócios da rede de energia, o sistema de armazenamento oferece diversas vantagens, destacando-se a disponibilidade quase ininterrupta do fornecimento por meio das baterias. Essas baterias armazenam energia e a liberam conforme a necessidade. Proporcionamos energia mais estável para o cliente e eliminamos eventuais reativos presentes. Caso haja energia reativa, o sistema BESS atua ainda como um filtro. Ele também possui a função de Black Start, substituindo um gerador. Para determinadas cargas, a entrada do BESS acontece de forma imperceptível, sem ruídos ou queima de combustíveis fósseis, em um ambiente altamente automatizado e controlado, comenta ele (Rodrigues, 2024).

Locais como supermercados e hospitais, onde interrupções no fornecimento de energia são críticas para o funcionamento, frequentemente utilizam geradores a diesel para lidar com quedas inesperadas. Segundo Vinícius Suppion, especialista técnico regulatório da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), o Bess desponta como uma alternativa mais vantajosa em termos de custo-benefício.

Zhu (2018) indicam que a utilização de sistemas de armazenamento de energia em regiões com tarifas dinâmicas de energia elétrica pode trazer ganhos substanciais, especialmente quando se combinam diferentes métodos, adaptando-se às condições e custos mais vantajosos em cada momento. Essa abordagem pode ser estrategicamente aplicada na implementação de sistemas semelhantes, considerando que as oscilações nos preços da energia têm se tornado mais frequentes devido a fatores externos.

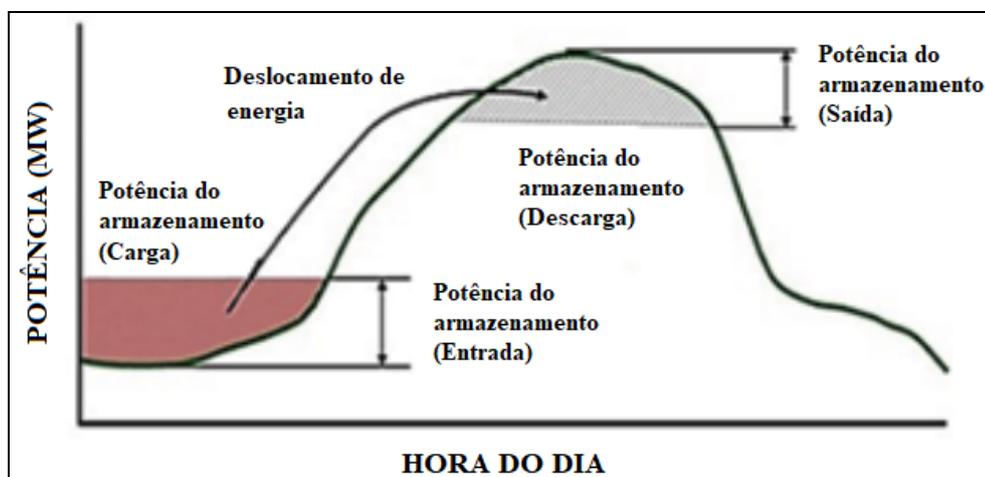
Com relação às tecnologias de baterias, Zubi *et al.* (2018) destacam a superioridade das baterias de íons de lítio em termos de eficiência, apontando-as como a opção mais promissora para esse tipo de aplicação. Isso se deve às suas características favoráveis, como a não toxicidade do lítio, sua baixa densidade e alta eletropositividade. Por esses motivos, segundo os autores, outras alternativas de armazenamento de energia elétrica não conseguem competir com a tecnologia de íons de lítio. No entanto, o fato de essas baterias serem importadas representa um desafio logístico, complicando atividades como manutenção dos

sistemas, substituição de peças e disponibilidade de componentes no mercado. Além disso, seu custo elevado, quando comparado às baterias de chumbo-ácido disponíveis no mercado nacional, também se apresenta como uma desvantagem significativa.

A arbitragem de energia é um modelo de negócio altamente vantajoso, que se baseia no uso de sistemas de armazenamento de energia (BESS) para captar energia de baixo custo em períodos com alta oferta e revendê-la, tanto no mesmo mercado quanto em outros mercados, durante momentos de baixa disponibilidade e preços elevados. Para maximizar os benefícios dessa estratégia, é indicado o uso de sistemas com maior capacidade de armazenamento, permitindo melhor aproveitamento das flutuações nos valores energéticos.

Para ilustrar esse conceito, a Figura 3 apresenta uma representação visual da aplicação. No gráfico, observa-se que, na primeira etapa (destacada pela região vermelha), o BESS armazena energia adquirida a custos reduzidos. Posteriormente, essa mesma energia é utilizada ou comercializada em horários de pico, quando os preços atingem níveis mais altos, conforme indicado pela região hachurada no gráfico.

Figura 3 - Demonstração gráfica da aplicação de arbitragem de energia.



Fonte: Adaptado de GÜNTER, 2015.

A região de Caiambé, localizada no Amazonas, tornou-se a pioneira entre as comunidades do interior a receber uma usina híbrida. A iniciativa conta com o suporte de autoridades em níveis local e nacional, com o objetivo de proporcionar energia sustentável e confiável às áreas mais remotas do estado. Segundo a CNN, o sistema a ser implementado (Figura 4) combina geração térmica, energia solar e armazenamento, otimizando o acesso e a gestão energética para as comunidades locais, que anteriormente dependiam apenas da

eletricidade gerada por diesel. Em junho de 2025 o Diário Oficial da União divulgou o resultado preliminar da chamada pública relacionada ao Programa de Redução Estrutural de Custos de Geração de Energia na Amazônia Legal e à Navegabilidade dos rios Madeira e Tocantins (CNN, 2025). Este programa, ligado ao Ministério de Minas e Energia, tem como meta principal reduzir, de forma estrutural, os custos de geração de energia.

O projeto escolhido abrange 23 comunidades no Amazonas e inclui a instalação de 88 MWp de geração solar, além de 105 MWh em sistemas de armazenamento de energia utilizando baterias (BESS). Com a implementação da nova matriz energética, espera-se uma economia anual de cerca de 130 mil litros de diesel e a redução de 405 toneladas de emissões de CO₂ (CNN, 2025).

Figura 4. Usina híbrida para Geração de energia.



Fonte: CNN, 2025.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho combinou análise de campo, realizado na fábrica de sorvetes, localizado na cidade de Sousa-PB, com estudo documental (contas de energia elétrica do grupo A) e simulação computacional utilizando o software REopt, desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL), para avaliar a viabilidade técnica e econômica da adoção de um sistema de geração distribuída fotovoltaica com armazenamento por baterias (BESS). As etapas metodológicas foram as seguintes:

4.1 Coleta de dados em campo

A etapa inicial consistiu na coleta de dados diretamente nas instalações da fábrica de sorvetes. Foram realizadas as seguintes atividades:

- Levantamento do perfil de carga da unidade consumidora;
- Identificação dos principais equipamentos consumidores de energia elétrica, como compressores, torres de resfriamento e dessalinizadores;
- Registro do uso do gerador a diesel durante os horários de ponta, a fim de verificar sua frequência e impacto no consumo energético.

4.2 Análise das contas de energia

As faturas de energia elétrica referentes ao Grupo A (alta tensão) foram analisadas mensalmente, abrangendo o período de fevereiro de 2024 a fevereiro de 2025, totalizando 13 meses. A análise concentrou-se nos seguintes aspectos:

- Consumo de energia ativa (kWh);
- Demanda contratada (kW), segmentada entre os horários de ponta e fora de ponta.

4.3 Cálculo da demanda total

Com base nas informações disponíveis nas faturas, foi realizada a soma da demanda registrada nos horários de ponta e fora de ponta de cada mês. Esse procedimento visou fornecer uma estimativa da carga real que o sistema de geração distribuída com armazenamento (GD+BESS) precisaria atender, com o objetivo de:

- Reduzir o uso do gerador a diesel;

- Evitar ultrapassagens da demanda contratada.

4.4 Simulação computacional

A simulação foi realizada por meio do software REopt, que permite modelar cenários de geração fotovoltaica e uso de sistemas de armazenamento de energia. Para essa etapa, foram adotados os seguintes parâmetros de entrada:

- Custo da energia: R\$ 0,43/kWh;
- Custo da demanda: R\$ 32,90/kW;
- Capacidade atual de geração solar: 179 kWp;
- Capacidade adicional proposta: 645 kWp, totalizando 824 kWp;
- Banco de baterias: 110 kWh de energia e 43 kW de potência.

4.5 Análise econômica e ambiental

A última etapa consistiu na análise comparativa entre os cenários com e sem a implantação do sistema GD+BESS. Foram considerados os seguintes critérios:

- Comparação dos custos operacionais;
- Estimativa de economia com energia elétrica e consumo de diesel;
- Projeção de redução das emissões de gases de efeito estufa, expressas em toneladas de CO₂ equivalente (CO₂eq).

4.6 Carga da Indústria de Sorvetes

Na Indústria de Sorvetes em questão, existe uma carga elétrica elevada com diversos equipamentos, consomem uma grande quantidade de energia, desde compressores de refrigeração e de ar comprimido a sistemas de torres de resfriamento.

Figura 5 – Torres de Resfriamento.



Fonte: Própria, 2025.

A fábrica possui 4 torres de resfriamento (Figura 5), que são utilizados para as seguintes operações: picoleteira, pasteurização, túnel de congelamento e produtoras de sorvetes. São equipamentos essenciais para dissipar o calor gerado nos processos produtivos, garantindo o bom funcionamento de máquinas, sistemas de climatização e outros processos. Elas resfriam a água que circula nos equipamentos, evitando superaquecimento e contribuindo para a eficiência energética e a sustentabilidade (MULTIAGUA, 2025). Cada torre possui 2 bombas (uma reserva) e um sistema de ventilação no teto. Na figura 6 ilustra o sistema de bombeamento acoplado as torres de resfriamento.

Figura 6 – Torres de Resfriamento com bombas.



Fonte: Própria, 2025.

Figura 7 – Compressores da Refrigeração.



Fonte: Própria, 2025.

Figura 8 – Condensadores da Refrigeração.



Fonte: Própria, 2025.

Nas Figura 7 e 8 mostram compressores e condensadores que compõe o sistema de refrigeração de congelamento industrial da fábrica. Este sistema utiliza fluidos refrigerantes que passam por um ciclo de compressão, condensação, expansão e evaporação para absorver calor e manter a temperatura ambiente em níveis seguros e estáveis (em torno de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) para os produtos.

Figura 9 – Compressor de ar.



Fonte: Própria, 2025.

Na Figura 9 mostra um compressor de ar, utilizado para o transporte de produtos até a embalagem e manutenção da higiene. O ar comprimido gerado pelos compressores é utilizado em sistemas de automação, limpeza, embalagem, resfriamento e outras aplicações que garantem a qualidade e segurança dos alimentos.

Figura 10 – Dessalinizadores.



Fonte: Própria, 2025.

A miniestação de tratamento de água (Figura 10) da empresa possui dois dessalinizadores com membranas de osmose reversa, servindo para remover sais e outros minerais da água, tornando-a mais adequada para os processos industriais e para a qualidade final dos alimentos produzidos. Protegem equipamentos e tubulações e melhoraram a eficiência dos processos industriais. Sais em excesso podem causar acúmulo de incrustações, corrosão e desgaste em caldeiras, trocadores de calor e tubulações.

Figura 11 – Sala de Produção do Túnel de Congelamento de Picolés.



Fonte: Própria, 2025.

A Figura 11 é mostrado a área de produção da fábrica, especialmente na área do túnel de congelamento, é um ambiente altamente controlado, tanto do ponto de vista higiênico-sanitário quanto operacional.

4.7 Sistema Elétrico da Indústria de Sorvetes

Para suportar toda essa carga existem um sistema elétrico bem dimensionado para suprir todas as necessidades da fábrica. Assim, o sistema elétrico é composto de Subestação de energia com 2 transformadores de 300 KVA, quadros elétricos, gerador de energia, tanque de combustível, banco de capacitores. Esses equipamentos estão nas Figuras 12 a 17.

Figura 12 – Subestação de energia.



Fonte: Própria, 2025.

Figura 13 – Quadros de energia geral e do Gerador.



Fonte: Própria, 2025.

A empresa possui um gerador de energia (figura 13) com potência de 300 KW (375 KVA), sendo utilizado nas horas de ponta e para eventuais faltas de energia. O mesmo possui um tanque de combustível embutido, porém está sendo utilizado outro tanque (figura 14), em

que possui uma barreira de segurança ao seu redor (pequena parede de alvenaria) afim de conter possíveis vazamento, evitando assim graves consequências.

Figura 14 – Gerador de energia.



Fonte: Própria, 2025.

Figura 15 – Tanque de combustível para o Gerador de energia.

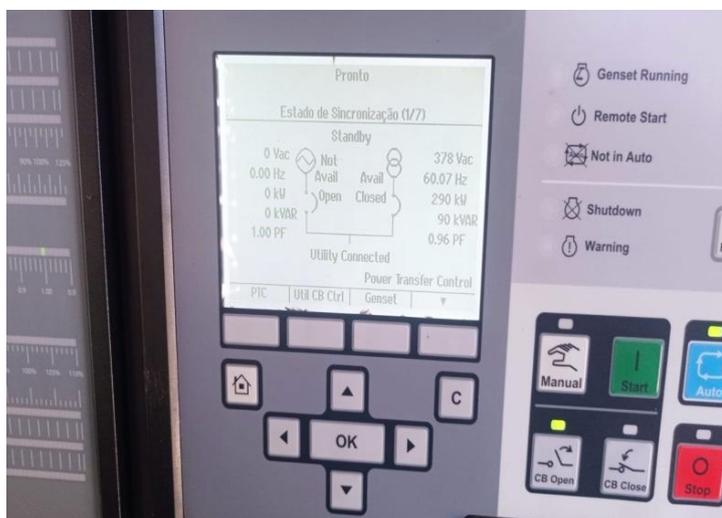


Fonte: Própria, 2025.

Na Figura 16 temos um visor do gerador, mostrando importantes parâmetros conectados em paralelo a rede da empresa, a exemplo do Fator de Potência igual a 0,96 em

momento de carga elevado na fábrica e que é almejado graças ao banco de capacitores (Figura 17), evitando custos extras de energia através da energia reativa.

Figura 16 – Visor do Gerador de energia.



Fonte: Própria, 2025.

Figura 17 – Banco de Capacitores.



Fonte: Própria, 2025.

Atualmente a Indústria de Sorvetes possui um sistema de Geração distribuída por energia fotovoltaica, localizada nas coordenadas geográficas -6.752855° , -38.244148° com uma Irradiação normal direta (DNI) no local das placas (figura 18) igual a $5,811 \text{ kWh/m}^2$ por dia (GLOBAL SOLAR ATLAS, 2025), composta por 350 painéis solares de 510 kwp instalados em parte do teto da fábrica. Sendo capaz de gerar em torno de 30% de energia que a empresa consome.

Figura 18 – Índice de Irradiação nos painéis fotovoltaicos da fábrica.



Fonte: Solar Global Atlas, 2025.

Na Figura 19 é mostrado os painéis fotovoltaicos instalados no teto, onde correspondem 350 placas com potência de 510 W, logo temos uma potência pico total de 178.500W ou 178,5 KW, sendo arredondado para 179 kWp e na figura 18 o inversor de 200 kWp, no qual são observadas entradas que podem ser adicionadas para uma maior geração de energia.

Figura 19 – Painéis fotovoltaicos em teto da fábrica.



Fonte: Própria, 2025.

Figura 20 – Inversor.



Fonte: Própria, 2025.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da análise das faturas do grupo A da Indústria de Sorvetes, foram coletados dados referentes ao consumo de energia e demanda elétrica no período de fevereiro de 2024 a fevereiro de 2025. A Tabela 1 apresenta os valores mensais do consumo nas faixas de ponta e fora de ponta, bem como as demandas contratadas correspondentes.

Tabela 1: Consumo e Demanda, na ponta, fora ponta e total.

Mês	Consumo Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Consumo Total (kWh)	Demanda Ponta (kW)	Demanda Fora Ponta (kW)	Demanda Total (kW)
FEV/24	481,04	89472,88	89953,92	128,8	350,56	479,36
MAR/24	252	93529,52	93781,52	113,12	333,76	446,88
ABR/24	608,16	76775,72	77383,88	49,28	333,76	383,04
MAI/24	196	104816,6	105012,6	117,6	336	453,6
JUN/24	792,4	69172,6	69965	80,64	334,88	415,52
JUL/24	913,36	104664	105577,36	140	369,6	509,6
AGO/24	381,36	106987,44	107368,8	64,96	381,92	446,88
SET/24	340,48	94185,84	94526,32	59,36	330,4	389,76
OUT/24	417,76	110972,12	111389,88	68,32	367,36	435,68
NOV/24	770,56	103498,08	104268,64	123,2	362,88	486,08
DEZ/24	1457,68	111237,28	112694,96	133,28	346,08	479,36
JAN/25	485,24	110146,68	110631,92	131,04	347,2	478,24
FEV/25	2828	93450	96278	153,44	398,72	552,16

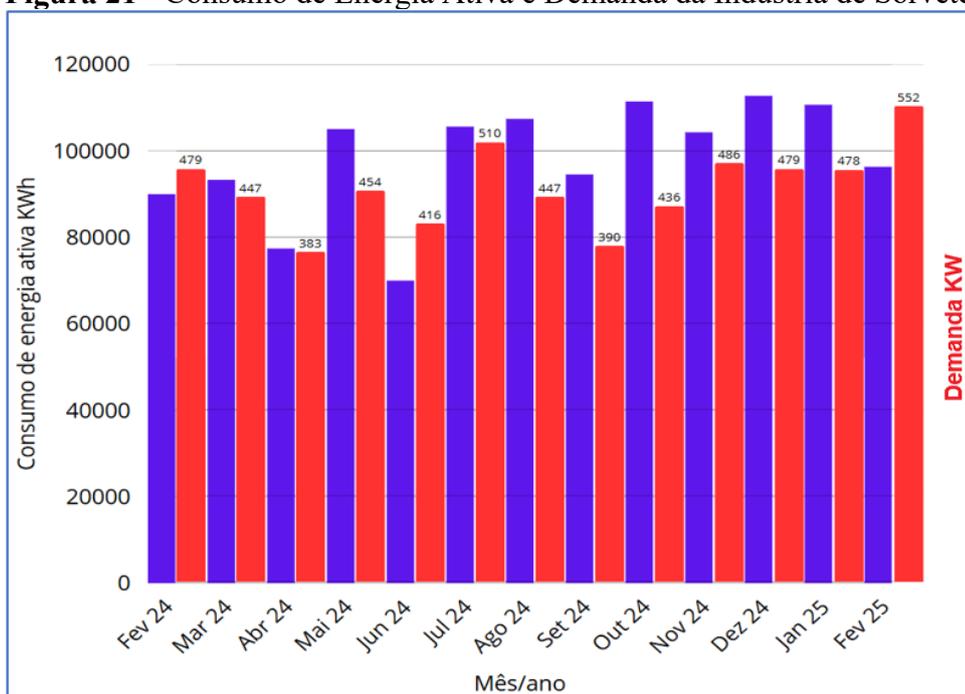
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Com base nos dados levantados, foram realizadas simulações utilizando o software REopt, considerando dois cenários:

1. Cenário atual com Geração Distribuída (GD) existente;
2. Cenário proposto com ampliação da GD e incorporação de um sistema de armazenamento por baterias (BESS).

Na Figura 21 são apresentados o gráfico do histórico de consumo e demanda de energia elétrica em um período de treze meses da Indústria de Sorvetes, de fevereiro de 2024 à fevereiro de 2025. Ressalta-se que a demanda máxima de 552,16 kW ocorreu em fevereiro de 2025 e o maior consumo de energia elétrica, de 112.694,96 kWh, ocorreu em dezembro de 2024. O consumo acumulado no período foi de 1.278.832,8 kWh, evidenciando o alto consumo energético da planta industrial, o que reforça a importância de estratégias para redução de custos e maior eficiência.

Figura 21 - Consumo de Energia Ativa e Demanda da Indústria de Sorvetes.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O acréscimo de 645 kWp de capacidade fotovoltaica, totalizando 824 kWp, e a inserção de um banco de baterias com capacidade de 110 kWh de energia e 43 kW de potência. Os principais parâmetros considerados nas simulações foram:

- Custo da energia: R\$ 0,43/kWh
- Custo da demanda: R\$ 32,90/kW
- Custo do sistema fotovoltaico: R\$ 2.420,00/kWp
- Custo das baterias: R\$ 2.584,40/kWh e R\$ 5.168,80/kW (com câmbio - US\$ 1 = R\$ 5,68).
- Emissões evitadas: 0,1364 lbCO₂eq/kWh.

Além disso, temos os seguintes resultados demonstrados na Tabela 2:

Tabela 2: Comparação do antes e depois da GD+BESS na Indústria de Sorvetes.

Componente	GD existente	GD novo+BESS	Diferença
Potência pico	179 kW	824 kW	645 kW
Capacidade Bateria	0 kW	43 kW	43 kW
Capacidade Bateria	0 kW	110 kWh	110 kWh
Energia produzida	293.044 kWh	1.352.565 kWh	1.059.521 kWh
Energia consumida	1.203.298 kWh	496.050 kWh	-707.248 kWh
Emissões CO ₂ eq	N/A	629 t	629 t
Custo de energia para concessionária	520.787 R\$	214.691 R\$	-306.097 R\$
Custo total do sistema	N/A	2.066.158 R\$	2.066.158 R\$
Custo total do Ciclo de vida	6.898.902 R\$	4.455.066 R\$	- 2.443.836 R\$
Redução com custo de energia	0 R\$	2.443.836 R\$	2.443.836 R\$
Retorno financeiro	N/A	4,06 anos	4,06 anos
Custo da energia solar	N/A	0,057 kWh	0,057 kWh

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os resultados obtidos estão consolidados na Tabela 2 e indicam ganhos expressivos:

- Redução de 707.248 kWh no consumo de energia da rede elétrica anualmente;
- Economia de R\$ 306.097,00 na fatura de energia ao ano;
- Retorno do investimento (payback) estimado em 4,06 anos;
- Economia acumulada em 25 anos: R\$ 2.443.836,00;
- Redução de 629 toneladas de CO₂eq, promovendo significativa mitigação ambiental;
- Custo nivelado da energia solar (LCOE): R\$ 0,057/kWh – competitivo frente às tarifas convencionais.

Ainda, ao comparar o sistema proposto com a operação atual baseada no gerador a diesel, os benefícios são ainda mais evidentes. O gerador consome, em média, 120 litros de diesel por dia, com custo anual aproximado de R\$ 187.185,60 apenas com combustível. Em 25 anos, esse custo se acumula em R\$ 4.679.640,00. Somando o custo de aquisição (R\$

233.920,00), o total chega a R\$ 4.913.560,00, sem considerar custos de manutenção e impactos ambientais.

Em contraste, o sistema GD+BESS apresenta um custo de implantação de R\$ 2.066.158,00, com benefícios expressivos e permanentes, inclusive ambientais. A comparação revela não apenas a superioridade econômica da solução proposta, mas também sua viabilidade sustentável de longo prazo.

6 CONCLUSÃO

Com base em todas as informações apresentadas, é possível afirmar que a combinação de um sistema solar fotovoltaico de geração distribuída com um sistema de armazenamento de energia em bateria (BESS) traz um impacto positivo considerável para o meio ambiente, uma vez que ajuda a prevenir a liberação de diversas toneladas de gases de efeito estufa. Além disso, haverá uma diminuição nos custos relacionados à energia elétrica, já que a geração distribuída reduz a dependência da rede da concessionária e permite o armazenamento de energia para uso em momentos críticos, otimizando o desempenho e evitando o retorno da energia da geração fotovoltaica. Foi percebido que, a longo prazo, o sistema BESS se mostra mais vantajoso financeiramente para a indústria em comparação ao gerador movido a diesel.

O que ficou identificado a partir deste estudo é que as tecnologias de geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos, assim como para armazenamento de energia, são viáveis econômica e tecnicamente para se aplicar na empresa estudada, notou-se um payback simples próximo à 4 anos. Desta forma é válido afirmar que com o barateamento das tecnologias de armazenamento de energia existentes e a contínua evolução das tecnologias de painéis fotovoltaicos, a utilização destes sistemas combinados pode ser mais bem viabilizada, principalmente para implantação de microgeração distribuída nas indústrias Brasileiras.

Dessa maneira, as vantagens incluem aspectos ambientais, aprimoramento da rede elétrica e diminuição das despesas com energia, o que auxilia na administração da cidade, permitindo que os recursos economizados sejam investidos em melhorias para os cidadãos.

Além disso, propõem-se para trabalhos futuros:

- Realizar dimensionamento dos componentes do sistema de geração distribuída fotovoltaica com armazenamento proposto neste trabalho, de acordo com mercado de trabalho;
- Realizar ações de eficiência energética que envolvam as Torres de Refrigeração;
- Realizar ações de eficiência energética nos motores elétricos;

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em 04 jun. 2024.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: **Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BOWEN, Thomas; CHERNYAKHOVSKIY; Ilya; XU, Kaifeng; GADZANKU, Sika; CONEY, Kamyria. **Usaid grid-scale energy storage technologies primer**. National Renewable Energy Laboratory (2021).

BRASIL. **Diário oficial da união**. Publicado em: 07/01/2022 | Edição: 5 | Seção: 1 | Página: 4. Órgão: Atos do Poder Legislativo. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2025.

BRASIL. **Norma Regulamentadora NR-10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho>. Acesso em: 29 nov. 2024.

COSTA, J. A.; SILVA, M. J. **Sistemas híbridos de energia no Brasil: análise de viabilidade**. Revista Brasileira de Energia, 2021.

CNN; BARRA, Helena; FÉLIX, Thiago. **Amazonas: comunidade isolada recebe usina híbrida para geração de energia**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/norte/am/comunidade-do-interior-recebe-usina-hibrida-no-amazonas/> Acesso em: 13 de junho de 2025.

DUQUE, M, J. **Consumo Industrial: Como Funcionam as Tarifas de Energia para os Consumidores em Alta-Tensão**. Disponível em <https://energiainteligenteufjf.com.br/como-funciona/consumo-industrial-como-as-tarifas-de-energia-para-os-consumidores-em-alta-tensao/>. Acesso em: 01 de junho de 2025.

FGV ENERGIA. **Recursos Energéticos Distribuídos**. 2016. Cadernos FGV Energia. Ano 3, nº7. Disponível em: <https://encurtador.com.br/OyWKz>. Acesso em 04 de jun. 2024.

FU. Ran; REMO, Timothy; MARGOLIS, Robert. 2018. 2018 U.S. **Utility-scale photovoltaics-plus-energy storage system cost benchmark**. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A20-71714. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/71714.pdf>. Acesso em: 13 de março de 2022.

GLOBAL, ATLAS SOLAR. **Irradiação normal direta (DNI)**. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?s=-6.73144,-38.243408&m=site&c=-6.752088,-38.241245,11>. Acesso em: 01 jun. 2025.

GREENER. **Estudo do Mercado de Armazenamento de Energia: Aplicações,**

Tecnologias e Análises Financeiras. São Paulo: Greener, 2021.

GÜNTER, N. S. **“Techno-economic analysis of the deployment potential of energy storage for grid connected applications November 2015 Acknowledgment,”** . Novembro, 2015.
HOMER Energy. **HOMER Pro Software for Microgrid Design.** Disponível em: <https://www.homerenergy.com>.

INMET. **Radiação Solar no Nordeste do Brasil.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>.

KAMIVA, George. **Energy Storage Report. International Energy Agency - IEA,** Paris (2021). Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-storage> . Acesso em: 13 de março de 2022.

LIU, Jia; CHEN, Xi; CAO, Sunliang; and YANG, Hongxing. **Overview of hybrid solar photovoltaic electrical energy storage Technologies for power supply to buildings.** Energy conversion and management v 187, p 103: 121, 2019.

MACHALEK, Derek; POWELL, Kody. **Automated electrical demand peak leveling in a manufacturing facility with short term energy storage for smart grid participation** – Journal of manufacturing systems v 52, p 100: 109, 2019.

MMA – **Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Política Nacional de Energias Renováveis.** Brasília: MMA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 11 jun. 2025.

PACHECO, M. L. **Eficiência Energética em Sistemas Industriais.** São Paulo: Editora Técnica, 2019.

RODRIGUES, Luciano. **Armazenamento de energia em baterias gera economia de até 40% de consumo.** Diário do Nordeste (2024). Disponível em <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/armazenamento-de-energia-em-baterias-gera-economia-de-ate-40-no-consumo-entenda-1.3556428>. Acesso em: 25 de maio de 2025.

SANDIA. **Do global energy storage database.** Disponível em: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/gesdb/public/statistics.html>. Acesso em: 21 de maio de 2025.

SILVA, A. L. **Eficiência Energética em Pequenas e Médias Empresas.** Revista de Sustentabilidade Energética, 2020.

SOFTWARE REOPT. **Estimativa de custos de instalação e manutenção do sistema de baterias e comparação com custos atuais do gerador a diesel.** Disponível em <https://reopt.nrel.gov/tool>. Acesso em: 31 de maio de 2025.

MULTIAGUA. **Tipos de Torre de Resfriamento e seu Funcionamento.** Disponível em <https://multiagua.com.br/solucoes-industriais/sistema-de-resfriamento/tipos-de-torre>

de-resfriamento-e-seu-funcionamento/>Acesso em: 04 de junho de 2025.

TORRES, Anderson; LIMA, Rayane; SILVA Rogério; AGUIAR, Victor. **Análise de requisitos para programa municipal de eficiência e recursos energéticos distribuídos em edificações públicas: estudo de caso na cidade de Cajazeiras/pb**. Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2024.

VENKATARAMAN, S.; ZIESLER, Chris; JOHNSON, Peter; KEMPEN, Stephanie Van. **Integrated Wind, Solar, and Energy Storage**. *ieee power & energy magazine* 1540-7977/18 p74:83, 2018.

YANG, Changhui; SUN, Tianyi. **Economic efficiency evaluation of distributed photovoltaic-energy storage hybrid system based on the Dynamic load – IMMS 2019**: Proceedings of the 2019 2nd international conference on information management and management sciences p 213: 218, 2019.

ZHU, K; LI, X; CAMPANA, P; LI, H; YAN, J. **Techno-economic feasibility of integrating energy storage systems in refrigerated warehouses**. *Applied Energy* 216, p348:357, 2018.