

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DOUGLAS DOS SANTOS OLIVEIRA

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE MICRORREDE FOTOVOLTAICA COM ARMAZENAMENTO EM  
BATERIAS PARA CONFIABILIDADE ENERGÉTICA

CURITIBA

2025

DOUGLAS DOS SANTOS OLIVEIRA

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE MICRORREDE FOTOVOLTAICA COM ARMAZENAMENTO EM  
BATERIAS PARA CONFIABILIDADE ENERGÉTICA

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista, Curso de Pós-graduação em Eficiência Energética e Geração Distribuída, departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná

Orientador: João Américo Vilela Junior

CURITIBA

2025

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma microrrede fotovoltaica com banco de baterias na empresa X Transportes. A proposta surgiu da necessidade de garantir maior confiabilidade no fornecimento de energia elétrica diante de falhas recorrentes da rede da concessionária. A empresa já possuía um sistema fotovoltaico on-grid em operação, que reduzia a fatura energética, mas que não oferecia suporte durante interrupções. Foram levantados dados referentes à frequência e à duração das quedas de energia, bem como seus impactos operacionais e financeiros. A microrrede proposta demonstrou capacidade de suprir cargas críticas durante falhas curtas, além de possibilitar o uso estratégico da energia armazenada em horários de ponta. Contudo, a análise demonstrou que o banco de baterias dimensionado para suprir as falhas de curta duração não possui capacidade limitada para gerar economia expressiva nos custos tarifários, estratégia que exigiria um investimento em um banco de maior capacidade. Os resultados indicaram que a solução é tecnicamente viável e economicamente atrativa, com um tempo de retorno do investimento (*payback*) estimado em 2 anos e 7 meses, trazendo benefícios adicionais como maior confiabilidade, redução do uso de geradores a diesel e alinhamento da empresa a práticas de sustentabilidade.

Palavras-chave: microrrede, armazenamento de energia, viabilidade econômica, confiabilidade energética.

## ABSTRACT

This study aimed to analyze the technical and economic feasibility of implementing a photovoltaic microgrid with a battery bank at the company X Transportes. The proposal arose from the need to ensure greater reliability in the electricity supply amidst recurrent failures from the utility grid. The company already had an on-grid photovoltaic system in operation, which reduced its energy bill but offered no support during outages. Data regarding the frequency and duration of power outages were collected, as well as their operational and financial impacts. The proposed microgrid demonstrated the capacity to supply critical loads during short outages and to enable the strategic use of stored energy during peak hours. However, the analysis showed that the battery bank, sized to cover short-duration failures, has limited capacity to generate significant savings on tariff costs, a strategy that would require an investment in a larger-capacity battery bank. The results indicated that the solution is technically feasible and economically attractive, with an estimated investment payback period of 2 years and 7 months, bringing additional benefits such as greater reliability, reduced use of diesel generators, and alignment with sustainability practices.

Keywords: microgrid, energy storage, economic feasibility, energy reliability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de energia em horário de ponta e fora ponta (gráfico da fatura) .....	22
Figura 2 - Estimativa mensal de geração do sistema fotovoltaico existente (kWh/mês) .....	23

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de consumo de energia em ponta e fora ponta (kWh) .....	22
Tabela 2 - Estrutura tarifária aplicada (R\$/kWh) .....	24
Tabela 3 - Registro de falhas de energia (março a junho de 2025).....	25
Tabela 4 - Impacto das falhas em horário comercial (março a junho de 2025).....	27
Tabela 5 - Cargas críticas do escritório.....	30
Tabela 6 - Estimativa dos custos de implantação da microrrede.....	36

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CAPEX – Capital Expenditure (Despesa de Capital / Investimento Inicial)

CC – Corrente Contínua

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

DIC – Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

DoD – Depth of Discharge (Profundidade de Descarga)

FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

FIC – Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

FV – Fotovoltaico

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

kWp – Quilowatt-pico

LiFePO<sub>4</sub> – Lítio-Ferro-Fosfato

NBR – Norma Brasileira

PIS – Programa de Integração Social

SAIDI – System Average Interruption Duration Index

SAIFI – System Average Interruption Frequency Index

SCEE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica

## Sumário

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1.	CONTEXTO E PROBLEMA.....	10
1.2.	OBJETIVOS.....	11
1.2.1.	Objetivo Geral.....	11
1.2.2.	Objetivos Específicos .....	12
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	12
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	14
2.1.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	14
2.2.	ESTRUTURA TARIFÁRIA NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO .....	14
2.3.	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID .....	15
2.4.	MICRORREDES E SISTEMAS HÍBRIDOS COM ARMAZENAMENTO .....	15
2.5.	ARMAZENAMENTO EM BATERIAS.....	16
2.6.	CONFIABILIDADE E QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA .....	16
<b>3.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
3.1.	ESTUDOS NACIONAIS .....	18
3.2.	ESTUDOS INTERNACIONAIS .....	19
3.3.	PESQUISAS SOBRE CONFIABILIDADE ENERGÉTICA .....	19
3.4.	TRABALHOS SOBRE VIABILIDADE ECONÔMICA .....	20
<b>4.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	21
4.1.	PERFIL ENERGÉTICO DA EMPRESA .....	21
4.1.1	Consumo de energia elétrica.....	21
4.1.2	Geração fotovoltaica.....	23
4.1.3	Estrutura tarifária da Copel .....	24
4.2.	MAPEAMENTO DAS QUEDAS DE ENERGIA .....	25
4.3.	IMPACTO FINANCEIRO DAS FALHAS DE ENERGIA .....	26
4.4.	ANÁLISE DE CENÁRIOS OPERACIONAIS E ESTRATÉGIAS DE USO .....	28
4.4.1	Cenário atual: Vulnerabilidade operacional .....	28
4.4.2	Cenário proposto: Microrrede com foco em confiabilidade energética .....	28
4.4.3	Análise de oportunidade: Uso estratégico da bateria no horário de ponta .....	28
4.5.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO .....	29
4.5.1	Levantamento das cargas críticas .....	30
4.5.2	Cálculo da potência e energia requeridas .....	30

4.5.3	Seleção e dimensionamento das baterias.....	31
4.5.4	Verificação da autonomia e da taxa de descarga .....	32
4.5.5	Seleção do inversor híbrido .....	33
4.5.6	Síntese do dimensionamento e recomendações técnicas .....	34
4.6.	CÁLCULO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA .....	35
4.6.1	Levantamento de custos e projeção de economia anual .....	35
4.6.1.1	Custos de implantação (CAPEX).....	36
4.6.1.2	Projeção de economia anual (Benefícios) .....	36
4.6.2	Estimativa de payback .....	37
4.6.3	Benefícios não financeiros.....	38
4.7.	CONCLUSÃO PARCIAL DO DESENVOLVIMENTO .....	39
5.	<b>CONCLUSÃO</b> .....	41
6.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	42
	<b>ANEXO A – DATASHEET DO INVERSOR HÍBRIDO DEYE SUN-8K-SG05LP1-EU</b> .....	44
	<b>ANEXO B – DATASHEET DA BATERIA ZTROON – ZTS48100S</b> .....	46

## 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o tema central do trabalho e o contexto no qual a pesquisa foi desenvolvida. São discutidos o problema identificado, os objetivos que nortearam a investigação e a justificativa para a realização do estudo, destacando sua relevância no campo da eficiência e da confiabilidade no fornecimento de energia elétrica.

### 1.1. CONTEXTO E PROBLEMA

Nas últimas décadas, o uso de fontes renováveis de energia tem ganhado destaque como alternativa para reduzir custos operacionais e mitigar impactos ambientais. No setor industrial, que possui alta dependência de eletricidade, a busca por maior confiabilidade no fornecimento também se tornou fator estratégico para garantir a produtividade. Paralelamente a essa necessidade de maior segurança energética, os sistemas fotovoltaicos consolidam-se como uma solução viável para a redução de custos, em especial aqueles conectados à rede (on-grid) que possibilitam a compensação de energia e a diminuição da fatura mensal.

Contudo, inversores fotovoltaicos que operam exclusivamente conectados à rede apresentam uma limitação importante: não operam em caso de falha no fornecimento da rede elétrica. Essa característica, exigida por normas de segurança – como a NBR 16149 (ABNT, 2013), que estabelece requisitos para a proteção contra ilhamento –, faz com que o sistema se desligue automaticamente durante quedas de energia, o que pode comprometer a continuidade de processos críticos, mesmo que haja geração solar disponível naquele momento.

A empresa utilizada como estudo de caso neste trabalho é uma empresa real do setor de transportes. Por questões de confidencialidade, sua identidade não será revelada, sendo referida ao longo do texto apenas como X Transportes. A empresa já conta com um sistema fotovoltaico on-grid instalado e em operação. No entanto, enfrenta episódios recorrentes de instabilidade no fornecimento de energia da rede pública, cuja frequência e impacto ainda serão devidamente levantados ao longo desta pesquisa. Tais interrupções, ainda que breves, podem causar prejuízos relevantes, principalmente em setores administrativos e de controle operacional, onde a perda de conectividade e o desligamento de equipamentos comprometem a eficiência do trabalho. Esse aspecto é particularmente relevante, pois deixa evidente que a solução a ser proposta precisa operar de forma semelhante a um nobreak online, garantindo que não haja interrupção alguma nas cargas críticas, mesmo durante os milissegundos necessários para a comutação de alguns sistemas de armazenamento. Essa exigência restringe as alternativas tecnológicas possíveis e orienta a escolha de uma solução capaz de oferecer continuidade plena no fornecimento de energia.

Diante disso, surge a necessidade de avaliar alternativas que permitam garantir o fornecimento de energia às chamadas "cargas críticas" da empresa — como computadores, servidores e sistemas de segurança — mesmo em situações de falha da rede. Além disso, há a oportunidade de explorar o uso de sistemas de armazenamento de energia para reduzir custos em horários de ponta, quando a tarifa de energia elétrica é mais elevada.

Outro ponto de destaque nesta discussão é o uso de geradores a diesel, tradicionalmente empregados para garantir o fornecimento em situações emergenciais. Embora eficazes, esses equipamentos apresentam impactos ambientais significativos, como a emissão de gases poluentes, ruídos e o consumo de combustível fóssil, além de custos operacionais elevados. Portanto, mesmo que ao final do trabalho seja constatada a inviabilidade técnica ou econômica da substituição completa do gerador a diesel por um sistema híbrido com baterias, a redução parcial no uso do gerador já representa um avanço importante em termos de sustentabilidade, eficiência e racionalização de recursos.

Este trabalho propõe, portanto, investigar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico híbrido, com banco de baterias, que seja capaz de suprir demandas específicas em momentos estratégicos, oferecendo maior confiabilidade, autonomia e economia à operação da empresa.

## 1.2. OBJETIVOS

A definição dos objetivos é fundamental para nortear o desenvolvimento da pesquisa e estabelecer os limites de sua aplicação. Neste trabalho, os objetivos estão divididos em geral e específicos, de modo a garantir clareza na abordagem e coerência entre a proposta e os resultados esperados.

### 1.2.1. Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica e econômica da formação de uma microrrede, a partir da integração de um sistema de armazenamento em baterias ao sistema fotovoltaico existente na empresa X Transportes, com o propósito de garantir o fornecimento de energia a cargas críticas durante falhas no sistema da concessionária de energia e de possibilitar o uso estratégico da energia armazenada nos horários de ponta, contribuindo para a confiabilidade e a para a gestão adequada do consumo energético da operação.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Levantar dados operacionais e energéticos da empresa X Transportes, com foco na ocorrência de quedas de energia elétrica e seus impactos sobre a operação.
- Identificar e classificar as cargas críticas que necessitam de fornecimento ininterrupto em caso de falha na rede elétrica.
- Avaliar as características e limitações do sistema fotovoltaico on-grid atualmente instalado na empresa.
- Dimensionar um banco de baterias capaz de suprir as cargas críticas durante os períodos de interrupção no fornecimento de energia.
- Simular a operação do sistema híbrido em horários de ponta estimando o potencial de economia com o uso da energia armazenada.
- Realizar uma análise comparativa entre o cenário atual e o cenário proposto, considerando aspectos técnicos, operacionais e financeiros.
- Apresentar uma proposta de implantação do sistema híbrido, demonstrando sua viabilidade e os benefícios esperados para a empresa.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis, associada à necessidade de garantir a continuidade das operações em empresas que dependem de energia elétrica para manter seus processos, torna essencial a busca por alternativas que combinem geração própria com capacidade de armazenamento. Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos híbridos surgem como uma solução viável e estratégica, permitindo não apenas a redução de custos com energia, mas também a autonomia em situações de falha no fornecimento da concessionária.

A realização deste trabalho se justifica pela relevância prática da proposta, uma vez que parte de um problema real enfrentado por uma empresa de transportes de médio porte, que será identificada neste estudo como X Transportes. A empresa já possui um sistema fotovoltaico on-grid, mas enfrenta limitações quanto à continuidade de operação durante quedas de energia, o que afeta diretamente setores sensíveis, como o administrativo e os sistemas de segurança. A análise de um sistema híbrido com banco de baterias, portanto apresenta-se como uma alternativa promissora para atender cargas críticas, garantir maior estabilidade operacional e explorar a possibilidade de economia adicional com o uso da energia armazenada nos horários de ponta.

Além disso, o trabalho contribui para o desenvolvimento técnico do autor e pode servir como base para projetos semelhantes em outras empresas do setor, sendo um exemplo de aplicação direta de soluções voltadas à qualidade de energia, ao reduzir os impactos das

interrupções no fornecimento. A combinação de análise técnica, avaliação econômica e aplicação prática torna este estudo relevante tanto do ponto de vista acadêmico, quanto empresarial.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica tem como objetivo apresentar os conceitos básicos necessários para a compreensão do tema tratado neste trabalho. Os tópicos a seguir abordam definições fundamentais sobre energia solar fotovoltaica, sistemas de armazenamento em baterias, estrutura tarifária do setor elétrico brasileiro e indicadores de confiabilidade, que servirão de base para a análise desenvolvida nos capítulos seguintes.

### 2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é uma das principais fontes renováveis em expansão no mundo, destacando-se pelo potencial de redução de custos e pela contribuição à sustentabilidade. Seu princípio de funcionamento está baseado no efeito fotovoltaico, fenômeno físico no qual a incidência da radiação solar em materiais semicondutores promove a movimentação de elétrons, gerando corrente elétrica contínua.

Os módulos fotovoltaicos, compostos por várias células conectadas, são responsáveis pela conversão direta da energia elétrica. Essa energia é posteriormente processada por inversores, que transformam a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), compatível com a rede elétrica e com a maioria das cargas utilizadas em aplicações residenciais, comerciais e industriais.

No Brasil, a regulamentação para micro e minigeração distribuída foi estabelecida pela Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), posteriormente atualizada pela Lei nº 14.300/2022, que instituiu o Marco Legal da Geração Distribuída. Essa legislação consolidou as regras para compensação de energia elétrica, impulsionando de forma significativa a adoção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em residências, comércios e indústrias.

### 2.2. ESTRUTURA TARIFÁRIA NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

A estrutura tarifária no Brasil é definida pela ANEEL e considera diferentes perfis de consumo, grupos e modalidades tarifárias. As empresas do Grupo A, que operam em média tensão, geralmente adotam a modalidade horo-sazonal, em que o custo da energia varia de acordo com o horário do dia.

Nessa modalidade, os períodos se dividem em:

- Horário de ponta: geralmente três horas consecutivas no período noturno, definidas pela concessionária, com tarifas mais elevadas devido a maior demanda do sistema elétrico.

- Horário fora ponta: todos os demais horários do dia, com tarifas reduzidas.

Além disso, as tarifas incluem componentes adicionais, como encargos setoriais, tributos (ICMS, PIS e Cofins) e a aplicação de bandeiras tarifárias, que refletem o custo da geração em períodos de escassez hídrica ou necessidade de acionamento de termelétricas.

Essa diferenciação tarifária tem papel relevante na análise econômica completa de projetos de armazenamento. No entanto, para o escopo deste trabalho, o principal motivador para a implantação de um sistema híbrido não é a otimização de custos com o deslocamento de carga, mas sim a necessidade de garantir a continuidade operacional diante das falhas de fornecimento. A análise posterior investigará se o sistema, dimensionado primariamente para a confiabilidade, pode oferecer benefícios secundários de economia financeira no horário de ponta.

### 2.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em diferentes categorias de acordo com sua conexão e modo de operação:

- Sistemas on-grid (conectados à rede): operam em paralelo com a rede elétrica da concessionária, permitindo injetar excedentes de energia na rede e compensar posteriormente por meio de créditos. Sua principal limitação é a dependência da rede, pois, em caso de falha no fornecimento, os inversores se desligam automaticamente em cumprimento à norma ABNT NBR 16149, que trata da proteção anti-ilhamento.
- Sistemas off-grid (isolados): operam de forma independente da rede pública, sendo compostos por módulos, controladores de carga, baterias e inversores autônomos. Esses sistemas oferecem autonomia energética em locais sem acesso à rede elétrica, mas exigem um banco de baterias de maior capacidade para garantir o fornecimento contínuo.

Cada modelo possui vantagens e desvantagens, e a escolha depende das condições técnicas, econômicas e do perfil de consumo do usuário.

### 2.4. MICRORREDES E SISTEMAS HÍBRIDOS COM ARMAZENAMENTO

Quando a geração distribuída, armazenamento em baterias e cargas críticas são integrados em uma mesma instalação, caracteriza-se como uma microrrede. Diferente de um

sistema puramente on-grid ou off-grid, a microrrede possui a capacidade de operar tanto conectada à rede elétrica principal quanto de forma isolada (modo ilhado), garantindo maior flexibilidade e, principalmente, maior confiabilidade no fornecimento de energia.

A análise deste trabalho recai justamente sobre a proposta de transformar a instalação atual da empresa em uma microrrede integrando um sistema de armazenamento em baterias ao arranjo fotovoltaico já existente. Essa abordagem permite atender às cargas críticas sem interrupção durante falhas na rede e, adicionalmente, possibilita o uso estratégico da energia armazenada nos horários de ponta, quando o custo da tarifa é mais elevado.

## 2.5. ARMAZENAMENTO EM BATERIAS

O armazenamento de energia em baterias tem papel estratégico para aumentar a confiabilidade e a flexibilidade dos sistemas elétricos. Entre as principais tecnologias aplicadas em sistemas de energia, destacam-se:

- Chumbo-ácido: Mais tradicionais e de menor custo inicial, porém com menor vida útil e maior necessidade de manutenção.
- Íon-lítio: mais modernas, apresentam maior densidade energética, eficiência superior e maior número de ciclos de carga e descarga, apesar do custo mais elevado.

Conceitos importantes relacionados ao armazenamento incluem:

- Profundidade de descarga (DoD): Representa a porcentagem da capacidade total de uma bateria que foi utilizada em um ciclo de descarga.
- Eficiência de ciclo completo (*Round-trip Efficiency*): Refere-se à relação percentual entre a energia retirada de uma bateria durante a descarga e a energia que foi inserida durante a carga em um ciclo completo.
- Vida útil: expressa em anos ou número de ciclos, sendo fortemente influenciada pelo DoD e pelas condições de operação.

A escolha da tecnologia e do dimensionamento adequado é fundamental para garantir que o sistema atenda às necessidades da empresa sem gerar custos excessivos.

## 2.6. CONFIABILIDADE E QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

A confiabilidade do fornecimento de energia elétrica é um fator crítico para consumidores industriais e comerciais que dependem de continuidade operacional. Falhas no fornecimento

podem gerar prejuízos diretos, como perda de produtividade, e indiretos, como danos a equipamentos e atrasos em processos.

No Brasil, a ANEEL adota indicadores para monitorar a continuidade do serviço de distribuição:

- DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora): Representa a média do tempo total, em horas, que um grupo de consumidores ficou sem energia em um determinado período. É um indicador coletivo, que mede o desempenho geral da distribuidora em uma região.
- FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora): Representa o número médio de vezes que um grupo de consumidores sofreu interrupções de energia em um determinado período. Assim, como o DEC, é um indicador coletivo.
- DIC (Duração de Interrupção Individual por Unidade consumidora): Mede o tempo máximo que cada unidade consumidora pode ficar sem energia de forma contínua. Diferente do DEC, este é um limite individual. Caso uma interrupção ultrapasse o tempo máximo estabelecido pela ANEEL para aquela localidade, a distribuidora é obrigada a compensar financeiramente o consumidor com o valor creditado automaticamente na fatura de energia.
- FIC (Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora): Define o número máximo de vezes que o fornecimento de energia para uma unidade consumidora pode ser interrompido em um determinado período (geralmente mensal, trimestral ou anual). Assim como o DIC, é um limite individual. Se o número de interrupções ultrapassar o limite definido, a distribuidora também deve compensar o consumidor financeiramente.

Esses indicadores nacionais (DEC e FEC) estão alinhados aos padrões internacionais SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) e SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*). Definidos pela norma IEEE Std 1366 (IEEE, 2012), esses indicadores são amplamente utilizados por concessionárias de energia em todo o mundo para medir e comparar a duração e a frequência média das falhas no fornecimento, servindo como uma referência global para a performance de redes de distribuição.

Para empresas como a X Transportes, que dependem de sistemas administrativos e de monitoramento contínuos, a confiabilidade energética não é apenas um fator de custo, mas também de segurança e produtividade.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura tem como finalidade apresentar e discutir pesquisas já desenvolvidas relacionadas ao tema do trabalho. Diferente da fundamentação teórica, que abordou os conceitos técnicos necessários, este capítulo busca evidenciar o que outros autores encontraram em estudos semelhantes, apontando suas contribuições e limitações. Dessa forma, torna-se possível identificar como a presente pesquisa se posiciona no contexto acadêmico e empresarial, destacando sua relevância e contribuição original.

#### 3.1. ESTUDOS NACIONAIS

No Brasil, o avanço da geração distribuída ganhou impulso após a publicação da Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, que foi posteriormente atualizada e aprimorada pela Lei nº 14.300/2022, conhecida como o Marco Legal da Geração Distribuída (BRASIL, 2022). Essa legislação consolidou as regras para o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), abrindo espaço para pesquisas sobre a integração de sistemas fotovoltaicos com armazenamento.

Estudos nacionais têm se concentrado em avaliar a viabilidade de baterias em sistemas híbridos ou microrredes. Klein (2021) analisou a viabilidade técnico-econômica da inserção de armazenamento em uma indústria brasileira, concluindo que a adoção de baterias pode reduzir significativamente os custos associados ao horário de ponta, embora o investimento inicial ainda seja elevado. A autora reforça ainda, no mesmo trabalho, que os ganhos em previsibilidade tarifária e confiabilidade justificam a aplicação da tecnologia em setores industriais estratégicos.

Outro ponto recorrente nos estudos nacionais é a importância da confiabilidade no fornecimento de energia. Klein (2021), por exemplo, destaca que a qualidade e a continuidade do fornecimento são essenciais para a indústria, e que instabilidades na rede podem acarretar perdas significativas. De forma semelhante, Moraes, Ferreira e Ferri (2022) desenvolveram sua análise com foco na "garantia de funcionamento em casos de queda de energia". Essas pesquisas reforçam que quedas recorrentes, mesmo de curta duração, podem representar prejuízos consideráveis para indústrias e comércios, justificando a necessidade de soluções como bancos de baterias para manter cargas críticas em operação.

### 3.2. ESTUDOS INTERNACIONAIS

No cenário internacional, as pesquisas têm avançado não apenas na viabilidade econômica, mas também no desenvolvimento de estratégias operacionais que utilizam o armazenamento para agregar valor e serviços à rede elétrica. Deng et al. (2024), por exemplo, demonstraram que a associação de geração solar com baterias de segunda vida (second-life batteries) desempenha um papel fundamental na redução dos picos de demanda (peak shaving), diminuindo os custos em estações de carregamento rápido para veículos elétricos/híbridos. Esses serviços ancilares aumentam a atratividade econômica ao oferecer benefícios adicionais além da simples redução de custos com tarifas.

Outro ponto de análise relevante é a comparação de custos e impactos de diferentes soluções. Verma (2023) oferece uma análise econômica e ambiental contrastando o uso de baterias com a alternativa de superdimensionar o arranjo fotovoltaico para obter reservas de energia. O estudo concluiu que, do ponto de vista do custo de instalação, a utilização de painéis adicionais é uma solução mais econômica do que a instalação de baterias para a mesma capacidade de reserva. Adicionalmente, a pesquisa destaca que o impacto ambiental da fabricação de baterias é consideravelmente superior ao da produção de células fotovoltaicas.

Esses resultados mostram que, além dos benefícios operacionais, a decisão de implementar sistemas com armazenamento envolve uma análise complexa de custos e sustentabilidade, reforçando a importância de estudos de viabilidade detalhados para cada aplicação.

### 3.3. PESQUISAS SOBRE CONFIABILIDADE ENERGÉTICA

A confiabilidade energética é um aspecto amplamente abordado em pesquisas sobre integração de sistemas de armazenamento, especialmente em ambientes industriais e corporativos. Diferentes estudos utilizam indicadores como SAIDI e SAIF, no contexto internacional, e seus correspondentes brasileiros, como DEC e FEC, para medir os benefícios da redução de falhas e interrupções no fornecimento de energia.

Nesse contexto, Klein (2021) destaca que sistemas de armazenamento podem atuar como backup para garantir a confiabilidade e a qualidade do serviço em plantas industriais, reduzindo os danos causados por instabilidades e degradação na qualidade do suprimento de energia da rede. De forma semelhante, Morais, Ferreira e Ferri (2022), ao analisarem a implantação de um sistema fotovoltaico com banco de baterias, concluíram que a solução proposta, gerenciada por um controlador híbrido, torna o sistema mais confiável ao operar como um Nobreak, oferecendo garantia de funcionamento para as cargas mesmo em casos de queda de energia da

concessionária. Esses estudos reforçam, com resultados específicos, que a adoção de bancos de baterias em conjunto com a geração fotovoltaica é uma estratégia eficaz para garantir a continuidade em cargas sensíveis.

### 3.4. TRABALHOS SOBRE VIABILIDADE ECONÔMICA

Pesquisas confirmam que a viabilidade de sistemas com armazenamento, quando analisada apenas pela ótica da economia de energia, pode ser desafiadora. Em um estudo para um consumidor residencial, Silva e Donadel (2023) concluíram que, embora tecnicamente viável, a opção sem bateria apresentou um retorno financeiro mais atrativo. De forma semelhante, os estudos de Lima e Impinnisi (2024) e Morais, Ferreira e Ferri (2022) destacam que o retorno do investimento pode ser longo ou até mesmo inviável em alguns cenários, principalmente devido ao elevado custo inicial dos bancos de bateria.

Contudo, parte da literatura aponta que essas análises podem ser incompletas se não considerarem o custo da interrupção no fornecimento. Klein (2021), por exemplo, afirma que sistemas de armazenamento podem atuar para reduzir os danos causados por instabilidades na rede, que são danosos aos sistemas produtivos e podem acarretar perdas significativas. Indo além, Lima e Impinnisi (2024) observam que, embora o payback de seu estudo tenha ultrapassado oito anos, a adoção de sistemas híbridos pode ser justificada justamente pela "mitigação de perdas produtivas decorrentes de interrupções elétricas". Essa perspectiva é fundamental e alinha-se diretamente ao foco deste TCC, que, no capítulo de cálculo de viabilidade, considerará não apenas a economia de energia, mas também os custos evitados com as falhas de fornecimento.

## 4. DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta os dados levantados junto à empresa X Transportes e as análises realizadas a partir desse conjunto de informações. Nele são expostos o perfil energético (consumo, geração e estrutura tarifária), o mapeamento das quedas de energia e seus impactos operacionais e financeiros, as simulações de cenários de operação com integração de armazenamento, o dimensionamento do banco de baterias para as cargas críticas e a avaliação da viabilidade técnica e econômica da solução proposta. O objetivo é apresentar de forma clara e sequencial os resultados da pesquisa, permitindo que as conclusões sejam derivadas diretamente dos dados e cenários estudados.

### 4.1. PERFIL ENERGÉTICO DA EMPRESA

O perfil energético da empresa X Transportes é o ponto de partida para compreender tanto a demanda elétrica atual quanto as limitações e oportunidades relacionadas ao uso de fontes alternativas e armazenamento de energia. A análise envolve o levantamento do consumo de energia elétrica, da geração proveniente do sistema fotovoltaico já instalado e da estrutura tarifária aplicada pela concessionária local, a Copel. A caracterização desses três elementos fornece subsídios para a avaliação dos custos, dos impactos das quedas de energia e do potencial de mitigação por meio da implantação de um banco de baterias.

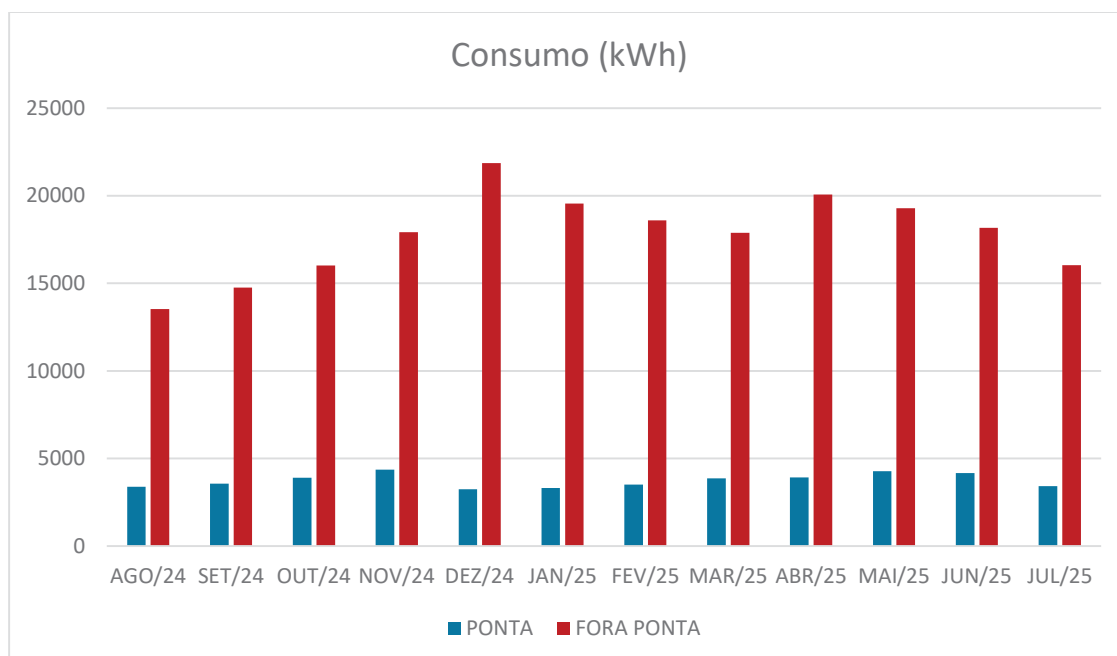
#### 4.1.1 Consumo de energia elétrica

O consumo de energia elétrica da empresa é monitorado mensalmente por meio das faturas emitidas pela concessionária. Esses documentos permitem identificar a demanda contratada, os valores registrados em horários de ponta e fora de ponta, bem como a evolução do consumo total ao longo dos meses. Para este estudo, foram utilizados os dados mais recentes, que permitem caracterizar o perfil de utilização de energia da unidade.

De forma geral, observa-se que a maior parte do consumo ocorre no período fora de ponta, compatível com a rotina administrativa e operacional da empresa, concentrada no horário comercial. Entretanto, também há consumo expressivo durante o período de ponta, associado ao funcionamento contínuo de equipamentos que não podem ser interrompidos. Essa característica evidencia a vulnerabilidade da operação a falhas de energia, reforçando a necessidade de garantir um fornecimento ininterrupto para estas cargas críticas.

Na Figura 01 é apresentada a representação gráfica do consumo de energia elétrica da empresa, discriminando os períodos de ponta e fora de ponta. Esse gráfico foi extraído diretamente

da fatura emitida pela Copel e permite uma visualização simples da distribuição do consumo entre os dois períodos tarifários.



**Figura 1 - Consumo de energia em horário de ponta e fora ponta**

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da fatura de energia da Copel (2025).

Embora a figura ofereça uma visão geral, ela não apresenta os valores absolutos de consumo. Para detalhar essas informações, elaborou-se a Tabela 01, que apresenta os dados numéricos registrados na fatura, incluindo o consumo em horário de ponta e fora ponta.

**Tabela 1 - Valores de consumo de energia em ponta e fora ponta (kWh)**

Mês	AGO/24	SET/24	OUT/24	NOV/24	DEZ/24	JAN/25	FEV/25	MAR/25	ABR/25	MAI/25	JUN/25	JUL/25
Consumo Ponta	3383	3571	3897	4365	3236	3310	3519	3875	3923	4271	4176	3422
Consumo F. Ponta	13527	14756	16019	17925	21868	19549	18591	17878	20069	19285	18170	16033

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de fatura da Copel (2025).

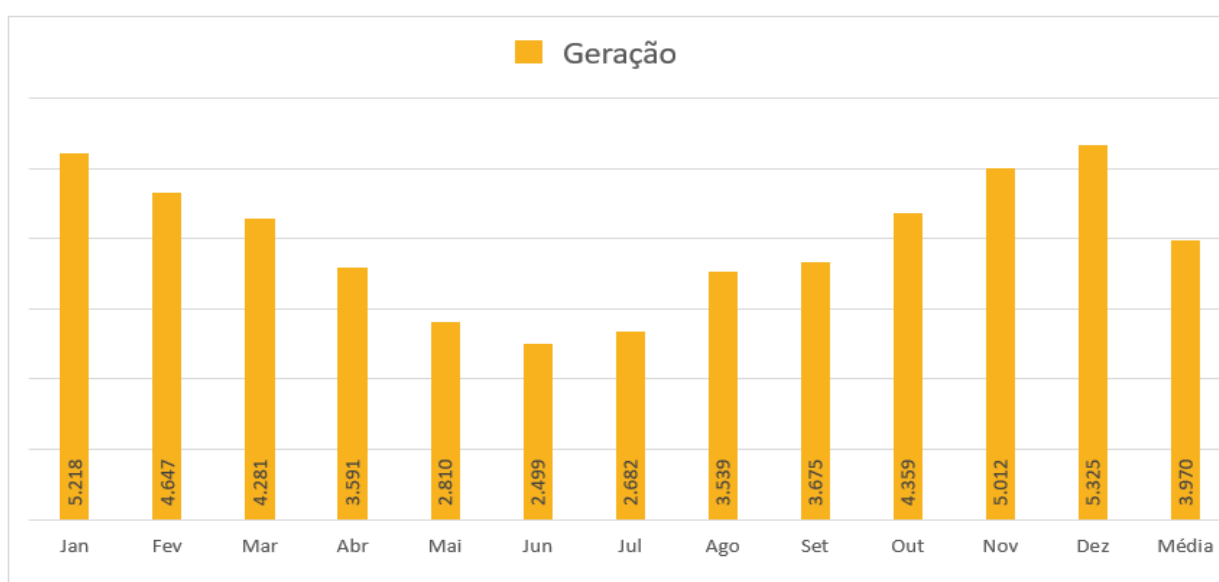
A análise conjunta da figura e da tabela evidencia que, embora o consumo fora ponta seja majoritário, a representatividade do consumo em horário de ponta traz impactos financeiros significativos. Esse aspecto justifica a avaliação de alternativas como o uso de armazenamento em baterias, que poderiam deslocar parte do consumo para períodos de menor custo e reduzir a exposição às tarifas mais elevadas.

#### 4.1.2 Geração fotovoltaica

A empresa já possui instalado um sistema fotovoltaico, composto por 60 módulos fotovoltaicos de 560Wp cada, totalizando 33,6kWp de potência instalada. Esse sistema contribui para reduzir a dependência da rede elétrica, embora, por estar conectado em modo on-grid, não opere em caso de falha no fornecimento da concessionária devido às exigências normativas de anti-ilhamento.

Como ainda não estão disponíveis relatórios históricos detalhados de geração, a análise neste trabalho baseia-se na estimativa de produção de energia fornecida no orçamento e contrato de instalação do sistema existente. Essa estimativa considera as condições médias de irradiação solar da região e o desempenho esperado dos módulos ao longo do ano.

Na Figura 02 é apresentada a projeção mensal de geração do sistema fotovoltaico, conforme consta na documentação contratual.



**Figura 2 - Estimativa mensal de geração do sistema fotovoltaico existente (kWh/mês)**

Fonte: Elaboração própria a partir de orçamento/contrato da empresa (2025).

Embora se trate de valores estimados, eles são fundamentais para este estudo, pois permitem avaliar a contribuição do sistema fotovoltaico no balanço energético da empresa e simular o impacto da integração com o banco de baterias, cujo objetivo principal é garantir o fornecimento de energia durante as quedas da concessionária, avaliando também, como benefício secundário, o potencial de deslocamento do consumo em horário de ponta.

#### 4.1.3 Estrutura tarifária da Copel

A empresa é classificada no Grupo A, modalidade horo-sazonal verde, em que os custos de energia variam entre os períodos de ponta e fora ponta. A compreensão dessa estrutura tarifária é importante para a análise econômica completa do projeto. Embora o foco principal seja a confiabilidade, a diferenciação de custos permite avaliar se a bateria, dimensionada para suprir as falhas, pode gerar uma economia adicional ao ser utilizada de forma estratégica para deslocar o consumo no horário de ponta.

Na Tabela 02 estão apresentados os valores da tarifa de energia elétrica praticados pela Copel, conforme registrado nas faturas analisadas. Os dados são apresentados em R\$/kWh, considerando tanto os valores sem impostos quanto os valores finais com a aplicação dos encargos tributários.

**Tabela 2 - Estrutura tarifária aplicada (R\$/kWh)**

<i>Itens da fatura</i>	<i>Tarifa unitária</i>	<i>Preço unitário com tributos</i>
<i>Energia elétrica TE Ponta</i>	R\$0,429943	R\$0,560321
<i>Energia elétrica USD Ponta</i>	R\$1,241951	R\$1,618568
<i>Energia elétrica TE Fora Ponta</i>	R\$0,271333	R\$0,353614
<i>Energia elétrica USD Fora Ponta</i>	R\$0,099321	R\$0,129439
<i>Demanda USD</i>	R\$23,417333	R\$30,518526
<i>Demanda USD isenta ICMS</i>	R\$23,417333	R\$24,722054

*Fonte: Elaboração própria a partir de dados de fatura da Copel (2025).*

Além das tarifas básicas, é importante destacar os tributos que incidem sobre a energia elétrica e que impactam diretamente o custo final para o consumidor. No estado do Paraná, os principais encargos são: o ICMS, aplicado com alíquota fixa de 19%; o PIS, com incidência média de 0,94%; e o COFINS, com incidência média de 4,33%. Embora o PIS e COFINS apresentem pequenas variações entre faturas, neste trabalho serão considerados os valores constantes na última fatura.

A análise dessas informações evidencia que a combinação de tarifas diferenciadas por horário e tributos incidentes torna a gestão energética um fator estratégico. Contudo, para o caso da X Transportes, o maior impacto financeiro não reside no custo previsível do horário de ponta, mas sim nas perdas imprevisíveis geradas pelas interrupções no fornecimento. Nesse contexto, a implantação de um sistema de armazenamento é avaliada, primeiramente, por sua capacidade de garantir a confiabilidade e a continuidade operacional, mitigando os prejuízos decorrentes das falhas de energia.

#### 4.2. MAPEAMENTO DAS QUEDAS DE ENERGIA

Com o objetivo de identificar a frequência, a duração e os horários mais recorrentes de falhas no fornecimento de energia elétrica, foi realizado o mapeamento das quedas de energia ocorridas na unidade da empresa. Essa etapa é fundamental para avaliar o impacto operacional dessas interrupções e subsidiar o dimensionamento adequado do sistema de armazenamento proposto.

Para esta análise, foi utilizada como principal fonte de dados a memória de eventos do nobreak APC Smart-UPS RT 10kVA, que atende o sistema de segurança da empresa. Esse equipamento registra com precisão a data, a hora e a duração de cada falha detectada na rede elétrica, permitindo a construção de uma base de dados confiável para o estudo.

No período de quatro meses analisado, entre março e junho de 2025, foram identificadas 29 ocorrências de queda de energia. Um dado relevante é que 22 desses eventos (aproximadamente 75%) ocorreram em horário comercial (08h-18h), impactando diretamente os setores administrativos e operacionais da empresa. A Tabela 03 apresenta o detalhamento de todas as ocorrências registradas.

**Tabela 3 - Registro de falhas de energia (março a junho de 2025)**

<i>Nº</i>	<i>Data</i>	<i>Hora da falha</i>	<i>Hora do retorno</i>	<i>Duração (mins)</i>	<i>Nº</i>	<i>Data</i>	<i>Hora da falha</i>	<i>Hora do retorno</i>	<i>Duração (mins)</i>
01	01/03	08:17	08:21	4	16	24/04	19:22	19:25	3
02	04/03	14:23	14:28	5	17	28/04	10:17	10:21	4
03	07/03	10:44	10:48	4	18	01/05	07:44	07:48	4
04	11/03	09:02	09:05	3	19	03/05	09:06	09:11	5
05	14/03	17:35	17:39	4	20	06/05	13:53	13:56	3
06	17/03	03:12	03:16	4	21	10/05	15:37	15:41	4
07	22/03	11:59	12:02	3	22	14/05	10:11	10:15	4
08	25/03	13:10	14:22	72	23	19/05	17:59	18:04	5
09	29/03	21:08	21:12	4	24	22/05	02:27	02:31	4
10	02/04	08:33	08:38	5	25	27/05	11:20	11:23	3
11	06/04	09:41	09:45	4	26	01/06	08:08	08:12	4

12	10/04	11:12	11:15	3	27	04/06	12:34	12:38	4
13	12/04	16:09	16:13	4	28	10/06	17:47	17:50	3
14	15/04	04:47	04:51	4	29	15/06	21:19	21:23	4
15	20/04	14:56	15:01	5	--	--	--	--	--

*Fonte: Elaboração própria a partir de dados registrados no nobreak da empresa (2025).*

O mapeamento evidencia a frequência relativamente alta de falhas no fornecimento, que incluem tanto interrupções curtas, de apenas 3 a 5 minutos, quanto uma falha prolongada superior a 1 hora. Esse diagnóstico é essencial para fundamentar a análise dos impactos financeiros e subsidiar o dimensionamento do banco de baterias, que serão apresentados nos próximos tópicos.

#### 4.3. IMPACTO FINANCEIRO DAS FALHAS DE ENERGIA

Para mensurar os prejuízos decorrentes das quedas de energia, foi adotada uma metodologia baseada no custo de inatividade da equipe administrativa. Considerou-se não apenas o tempo em que a empresa permaneceu sem energia, mas também um período adicional de 10 minutos de retomada para cada ocorrência, representando o tempo médio necessário para que os colaboradores reestabeleçam o fluxo normal de trabalho.

O cálculo do custo por minuto foi fundamentado na estimativa do custo total de um funcionário para a empresa. Foi considerado um custo mensal de R\$4.250,00 por colaborador, valor que engloba o salário-base (estimado em R\$2.500,00) acrescido dos encargos sociais e trabalhistas (INSS patronal, FGTS, provisões de férias e 13º). Com base em uma jornada de trabalho padrão de 160 horas mensais (40 horas semanais), chegou-se a um total de 9.600 minutos trabalhados por mês. Assim, o custo por minuto de trabalho de cada funcionário é de aproximadamente R\$0,44 (R\$4.250,00/9.600 minutos). Multiplicando esse valor pelos 32 funcionários do setor administrativo, o custo de inatividade da equipe é de R\$14,18 por minuto.

A Tabela 04 apresenta o detalhamento das perdas financeiras para os 22 eventos que ocorreram em horário comercial, relacionando o tempo de falha, o tempo adicional de retomada, o tempo total improdutivo e o custo resultante por ocorrência.

**Tabela 4 - Impacto das falhas em horário comercial (março a junho de 2025)**

<b>Nº (Tab. 03)</b>	<b>Tempo das falhas (mins)</b>	<b>Tempo ocioso adicional (mins)</b>	<b>Tempo ocioso total (mins)</b>	<b>Valor por funcionário ocioso (R\$)</b>	<b>Valor total ocioso – equipe (R\$)</b>
01	4	10	14	6,16	197,12
02	5	10	15	6,6	211,2
03	4	10	14	6,16	197,12
04	3	10	13	5,72	183,04
05	4	10	14	6,16	197,12
07	3	10	13	5,72	183,04
08	72	10	82	36,08	1154,56
10	5	10	15	6,6	211,2
11	4	10	14	6,16	197,12
12	3	10	13	5,72	183,04
13	4	10	14	6,16	197,12
15	5	10	15	6,6	211,2
17	4	10	14	6,16	197,12
19	5	10	15	6,6	211,2
20	3	10	13	5,72	183,04
21	4	10	14	6,16	197,12
22	4	10	14	6,16	197,12
23	5	10	15	6,6	211,2
25	3	10	13	5,72	183,04
26	4	10	14	6,16	197,12
27	4	10	14	6,16	197,12
28	3	10	13	5,72	183,04
<b>TOTAL</b>	<b>155</b>	<b>220</b>	<b>375</b>	<b>165,00</b>	<b>5.280,00</b>

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados consolidados apontam para uma perda financeira de R\$5.280,00 no período de quatro meses, valor este que corresponde exclusivamente à perda de produtividade administrativa em função das interrupções de energia elétrica. Esse montante, quando projetado anualmente, representa um prejuízo de aproximadamente R\$15.840,00.

Importa destacar que este valor é conservador e não contempla outros custos relevantes, como acionamento de geradores a diesel, consumo de combustível, manutenções corretivas, retrabalhos ocasionados pela perda de dados em sistemas, ou impactos indiretos relacionados à imagem da empresa. Dessa forma, o levantamento reforça que as falhas no fornecimento, ainda que majoritariamente curtas, acumulam efeitos financeiros significativos, evidenciando a necessidade de avaliar soluções técnicas que possam mitigar o eliminar esse tipo de perda.

#### 4.4. ANÁLISE DE CENÁRIOS OPERACIONAIS E ESTRATÉGIAS DE USO

Com base no mapeamento das falhas e no impacto financeiro identificado, este capítulo analisa e compara diferentes cenários operacionais para a empresa X Transportes. O objetivo é demonstrar como a implantação de um sistema fotovoltaico híbrido com armazenamento pode mitigar os problemas atuais e agregar novos benefícios estratégicos.

##### 4.4.1 Cenário atual: Vulnerabilidade operacional

Atualmente, a empresa opera com um sistema fotovoltaico on-grid que, apesar de reduzir a fatura de energia, não oferece proteção contra as falhas da concessionária. Como resultado, as 22 interrupções em horário comercial, registradas no período de quatro meses, geraram um prejuízo direto de R\$ 5.280,00, projetando uma perda anual superior a R\$ 15.000,00 apenas com a ociosidade da equipe administrativa. Para falhas prolongadas, a empresa recorre a geradores a diesel, acarretando custos adicionais com combustível e manutenção, além de impactos ambientais. Este cenário evidencia uma clara vulnerabilidade operacional e financeira às instabilidades da rede elétrica.

##### 4.4.2 Cenário proposto: Microrrede com foco em confiabilidade energética

A proposta central deste trabalho é a implementação de uma microrrede, onde o banco de baterias, carregado pela energia solar excedente, atua como um sistema de fornecimento ininterrupto (nobreak) para as cargas críticas. Neste cenário, durante uma falha na rede, o inversor híbrido isola a instalação da concessionária e passa a alimentar instantaneamente os circuitos essenciais (computadores, servidores e sistemas de segurança) com a energia armazenada.

O principal benefício desta configuração é a eliminação das perdas financeiras decorrentes das paradas de trabalho, pois a continuidade das atividades administrativas seria assegurada. A solução garante que mesmo as interrupções de curta duração, que são a maioria, não afetem a produtividade.

##### 4.4.3 Análise de oportunidade: Uso estratégico da bateria no horário de ponta

Uma vez justificado o investimento no banco de baterias pela necessidade de confiabilidade, analisa-se a possibilidade de utilizá-lo de forma estratégica para gerar um

benefício econômico secundário. A empresa, por estar enquadrada na modalidade horo-sazonal, paga uma tarifa de energia significativamente mais alta durante o horário de ponta.

Nesse contexto, a energia solar armazenada ao longo do dia poderia ser descarregada nesse período para reduzir o consumo da rede. Essa estratégia é tecnicamente conhecida como peak shaving (em português, "corte de picos"), e consiste em utilizar uma fonte de energia local, como um banco de baterias, para diminuir a demanda máxima de eletricidade que a empresa consome da concessionária nos momentos de maior custo.

Contudo, é fundamental ressaltar que a eficácia dessa estratégia depende diretamente da capacidade do banco de baterias. Como o dimensionamento proposto neste trabalho, detalhado no capítulo seguinte, é focado em suprir falhas de curta duração, a quantidade de energia disponível para o deslocamento de carga é limitada. A análise de viabilidade investigará posteriormente se essa capacidade é suficiente para gerar uma economia relevante ou se representa apenas um ganho marginal no retorno do investimento.

Dessa forma, a análise do uso em horário de ponta serve para compor o quadro completo dos benefícios potenciais do sistema, mas não constitui a principal justificativa para sua implantação. O valor do investimento se ancora, primariamente, na eliminação dos prejuízos causados pelas interrupções e na garantia da confiabilidade operacional.

#### 4.5. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

O dimensionamento do sistema de armazenamento foi realizado com o objetivo principal de garantir a continuidade do fornecimento de energia às cargas críticas da empresa, eliminando as perdas de produtividade causadas pelas falhas na rede elétrica. A meta de autonomia foi estabelecida em 30 minutos, tempo suficiente para cobrir a grande maioria das interrupções mapeadas na seção 4.2.

A solução técnica adotada é a de retrofit do sistema fotovoltaico existente, que consiste em adicionar a capacidade de armazenamento sem modificar a usina solar já em operação. Para isso, será utilizada a topologia de Acoplamento CA (AC Coupling), na qual o inversor on-grid permanece responsável exclusivamente pela geração dos painéis, enquanto um novo inversor híbrido é instalado no barramento de corrente alternada (CA) para gerir o banco de baterias. Nessa configuração, o inversor híbrido atua como o gestor da microrrede: ele monitora a rede da concessionária e, em caso de falha, isola a instalação em milissegundos, formando uma rede local estável que mantém o fornecimento às cargas críticas a partir das baterias, operando de forma independente e coordenada com o inversor fotovoltaico original.

O processo de dimensionamento seguirá uma sequência técnica lógica: primeiro, serão levantadas as cargas críticas para definir a demanda de potência e energia; em seguida, serão

selecionados e dimensionados os componentes (baterias e inversor) capazes de atender a esses requisitos.

#### 4.5.1 Levantamento das cargas críticas

O primeiro passo consiste em identificar os equipamentos essenciais que devem permanecer em funcionamento durante uma falha no fornecimento de energia. Para a X Transportes, essas cargas concentram-se no setor administrativo, garantindo a operação dos sistemas de gestão, comunicação e segurança. A Tabela 05 apresenta a relação desses equipamentos e suas respectivas potências.

**Tabela 5 - Cargas críticas do escritório**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência unid. (W)</b>	<b>Potência total (W)</b>
Computador	32	150	4.800
Monitor	32	20	640
Servidor	1	300	300
Switch de rede	3	20	60
Roteador	6	10	60
Iluminação	20	10	200
<b>Subtotal (banco)</b>	--	--	<b>6.060</b>
Câmeras de segurança	46	6	276
NVR/DVR	1	40	40
<b>Total geral</b>	--	--	<b>6.376</b>

Fonte: Elaboração própria (2025).

As cargas do sistema de segurança (câmeras e NVR/DVR) já são atendidas por um nobreak dedicado e não foram incluídas no cálculo. Portanto, a potência total que o novo sistema de armazenamento deve ser capaz de suprir é de 6.060 W (6,06 kW).

#### 4.5.2 Cálculo da potência e energia requeridas

Com as cargas críticas definidas, calculam-se a potência, a energia e a corrente que o sistema de armazenamento deve ser capaz de fornecer.

1. Potência de Demanda: A potência que o inversor e as baterias devem suprir continuamente é de:

$$P_{cargas} = 6.060W$$

2. Energia Requerida para 30 minutos: Embora o mapeamento das quedas de energia (seção 4.2) tenha demonstrado que a maioria das interrupções é de curta duração – inferiores a 5 minutos – estabeleceu-se uma meta de autonomia de 30 minutos (0,5h) por diretriz estratégica do responsável pela empresa. A premissa adotada é que, uma vez realizado o investimento na infraestrutura da microrrede, o sistema deve possuir robustez para suportar contingências mais severas, garantindo maior segurança operacional e protegendo a empresa contra falhas de maior impacto que venham a ocorrer. Com base nesse parâmetro de projeto, a energia útil necessária é:

$$E_{req} = P_{cargas} \times t$$

$$E_{req} = 6.060W \times 0,5h$$

$$E_{req} = 3.030Wh \text{ ou } 3,03kWh$$

3. Corrente de descarga: Considerando a tensão do banco de baterias de 48V, a corrente de descarga contínua necessária é:

$$I_{descarga} = \frac{P_{cargas}}{V_{banco}}$$

$$I_{descarga} = \frac{6.060W}{48V} \approx 126,25A$$

O sistema de armazenamento deve, portanto, ser capaz de fornecer continuamente 126,25A e uma energia útil total de 3,03kWh.

#### 4.5.3 Seleção e dimensionamento das baterias

Após a definição da demanda de potência (6.060W) e da corrente de descarga contínua (126,25 A), foi realizada uma pesquisa de mercado para selecionar uma tecnologia de bateria que atendesse aos requisitos do projeto. A tecnologia de Lítio-Ferro-Fosfato ( $LiFePO_4$ ) foi escolhida devido à sua alta ciclagem, eficiência, segurança e longa vida útil, sendo adequada para aplicações de confiabilidade.

O modelo de referência selecionado para o dimensionamento foi a bateria ZTS48100S, que opera em 48 V e possui capacidade nominal de 100 Ah. Conforme as especificações técnicas, um único módulo desta bateria suporta uma corrente de descarga contínua de 100 A.

Verifica-se que a demanda das cargas críticas exige uma corrente de descarga contínua de 126,25A. Ao analisar o *datasheet* do modelo selecionado (ZTS48100S), observa-se que a corrente máxima de descarga contínua permitida pelo fabricante é de 100A. É fundamental destacar que a escolha por um segundo módulo de bateria em paralelo não foi motivada apenas pela capacidade energética (Ah), mas sim pela limitação da Taxa C de descarga. Uma única bateria de 100Ah operando com 126,25A estaria submetida a uma taxa de 1,26C, valor superior ao limite de segurança de 1C (100A) estabelecido para este equipamento. Com a associação de módulos em paralelo para suprir a potência necessária, o número mínimo de unidades é calculado da seguinte forma:

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Corrente Total Requerida}}{\text{Corrente por Módulo}} = \frac{126,25A}{100A} = 1,26$$

Como não é possível utilizar uma fração de bateria, o valor deve ser arredondado para cima, resultando na necessidade de 2 módulos de bateria em paralelo. Com essa configuração, a capacidade total sobe para 200Ah, fazendo com que a corrente de 126,25A seja dividida entre os módulos (63,13A por bateria). Isso resulta em uma operação de 0,63C, garantindo que o sistema trabalhe dentro de uma faixa saudável, preservando a integridade das células e do sistema de gestão da bateria (BMS). O novo banco de baterias terá as seguintes características nominais:

- Tensão nominal: 48V
- Capacidade Nominal Total: 2 x 100Ah = 200Ah
- Energia Nominal Total: 2 x 4,8kWh = 9,6kWh

#### 4.5.4 Verificação da autonomia e da taxa de descarga

Com o banco de baterias dimensionado com dois módulos em paralelo, é necessário verificar a autonomia real que o sistema fornecerá às cargas críticas e qual será a taxa de descarga exigida de cada bateria, garantindo uma operação segura e que preserve a vida útil dos componentes.

##### 1. Cálculo da Autonomia Real

A autonomia é o tempo que o banco de baterias consegue suprir a demanda das cargas críticas. O cálculo parte da energia nominal total do banco e aplica as correções de eficiência e profundidade de descarga.

- Energia Nominal Total do Banco: 9,6kWh (2 módulos de 4,8kWh)
- Profundidade Máxima de Descarga (DoD): Adota-se 80% (0,8) para preservar a vida útil das baterias.

- Eficiência Global do Sistema ( $\eta$ ): Adota-se 90% (0,9) para considerar perdas no inversor e na conversão.

A energia efetivamente fornecida às cargas é calculada como:

$$E_{fornecida} = Energia\ Nominal \times DoD \times \eta$$

$$E_{fornecida} = 9,6kWh \times 0,8 \times 0,9 = 6,91kWh$$

Com a potência das cargas críticas em 6,06kW, a autonomia real do sistema é:

$$t_{autonomia} = \frac{E_{fornecida}}{P_{cargas}} = \frac{6,91kWh}{6,06kW} \approx 1,14h$$

O sistema dimensionado é capaz de fornecer energia para as cargas críticas por aproximadamente 1 hora e 8 minutos, superando significativamente a meta inicial de 30 minutos e cobrindo com folga a totalidade das falhas de curta duração e até mesmo a falha mais longa registrada (72 minutos).

## 2. Verificação da Corrente de Operação (Taxa C)

A taxa C indica a intensidade da corrente de descarga em relação à capacidade nominal da bateria. Taxas elevadas podem reduzir a vida útil do equipamento. Com a demanda de 126,25 A dividida entre os dois módulos, a corrente por bateria será:

- Corrente por módulo:  $\frac{126,25A}{2\text{ módulos}} = 63,13A$  (por módulo)

Para uma bateria de 100Ah, a Taxa C é:

- Taxa C:  $\frac{63,13A}{100Ah} = 0,63C$

Uma taxa de descarga de 0,63C é considerada conservadora e saudável para a tecnologia  $LiFePO_4$ , pois está bem abaixo do limite de descarga contínua de 1C (100A) especificado pelo fabricante. Essa condição de operação suave contribui para maximizar a vida útil do banco de baterias.

### 4.5.5 Seleção do inversor híbrido

A escolha do inversor é um passo crucial, pois este equipamento é o cérebro da microrrede, responsável por gerenciar o fluxo de energia entre o banco de baterias, as cargas críticas e a rede da concessionária.

Para a topologia de Acoplamento CA adotada neste projeto, o novo inversor híbrido não precisa gerenciar toda a geração fotovoltaica existente. Em vez disso, ele é dimensionado para atender especificamente à potência das cargas críticas, que é de 6,06 kW.

Com base nesse requisito, foi selecionado o inversor Deye SUN-8K-SG05LP1-EU, com potência nominal de 8 kW. A escolha por um equipamento com potência superior à demanda imediata se baseia em três critérios técnicos fundamentais:

1. Margem de segurança operacional: Dimensionar um inversor com uma potência superior à demanda contínua das cargas, neste caso com uma folga de aproximadamente 32%, evita que o equipamento opere constantemente próximo de sua capacidade máxima. Essa condição de trabalho menos exigente contribui para a longevidade do inversor e garante uma operação mais estável e eficiente.
2. Flexibilidade para expansão futura: A potência adicional oferece à empresa a flexibilidade de adicionar novas cargas críticas no futuro, como mais estações de trabalho ou equipamentos de rede, sem a necessidade de substituir o inversor.
3. Disponibilidade comercial: Inversores híbridos monofásicos são fabricados em faixas de potência padronizadas. O modelo de 8 kW é a opção comercialmente disponível mais próxima e adequada acima da demanda requerida, garantindo que o projeto seja executado com equipamentos de prateleira e com bom suporte técnico.

Além disso, o modelo é compatível com o banco de baterias de 48V e foi projetado para a modernização de sistemas já em operação. Conforme especificado em seu datasheet, o inversor possui a possibilidade de retrofit em sistemas fotovoltaicos existentes, o que permite sua integração perfeita com a instalação on-grid que a empresa já possui.

#### 4.5.6 Síntese do dimensionamento e recomendações técnicas

O dimensionamento técnico demonstrou que a solução para o problema de confiabilidade da empresa X Transportes é a implantação de um banco de baterias composto por 2 módulos ZTS48100S (48V 100Ah), operando em paralelo e gerenciado por um inversor híbrido Deye SUN-8K-SG05LP1-EU de 8 kW, em uma topologia de Acoplamento CA.

Os cálculos confirmam que esta configuração não apenas atende, mas supera os requisitos mínimos do projeto:

- Atendimento à potência: O banco de baterias é capaz de fornecer continuamente 200 A, suprimindo com segurança a demanda de 126,25 A das cargas críticas. O inversor de 8 kW também atende à potência de 6,06 kW com uma margem operacional segura.

- Autonomia garantida: O sistema oferece uma autonomia de aproximadamente 1 hora e 8 minutos, excedendo a meta de 30 minutos e cobrindo a duração da grande maioria das falhas registradas, inclusive a mais longa.
- Operação saudável: A taxa de descarga de 0,63C por bateria é conservadora e ideal para preservar a vida útil dos módulos, garantindo a longevidade do investimento.

A solução é modular e flexível, pois o sistema permite a expansão futura para até 16 módulos de bateria em paralelo. Isso possibilita que a empresa, caso deseje, possa aumentar a autonomia para períodos superiores a uma hora ou até mesmo explorar com mais robustez a estratégia de *peak shaving* no futuro.

Portanto, do ponto de vista técnico, recomenda-se a implementação inicial com 2 módulos de 100 Ah. Essa configuração resolve de forma imediata e eficaz o problema central de interrupções nas atividades administrativas e representa a base para o cálculo de viabilidade econômica que será detalhado no capítulo seguinte.

#### 4.6. CÁLCULO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Este capítulo apresenta a análise de viabilidade da solução dimensionada, com o objetivo de avaliar se o investimento na implantação da microrrede com armazenamento em baterias se justifica do ponto de vista técnico e econômico. A análise financeira será fundamentada nos custos de aquisição dos equipamentos e nos benefícios gerados, com foco principal na eliminação das perdas por interrupções no fornecimento de energia, conforme quantificado nos capítulos anteriores.

A avaliação demonstrará que, embora a solução técnica seja robusta, sua viabilidade econômica se ancora primariamente na garantia da continuidade operacional, e não em ganhos secundários como o deslocamento de carga no horário de ponta. Serão apresentados os custos de implantação, a projeção de economia anual e o cálculo do tempo de retorno do investimento (*payback*), além dos benefícios não financeiros que agregam valor estratégico ao projeto.

##### 4.6.1 Levantamento de custos e projeção de economia anual

Esta seção detalha os valores que servem como base para a análise de viabilidade: o investimento inicial necessário para a implantação da microrrede e a projeção dos benefícios financeiros anuais gerados pela nova configuração.

#### 4.6.1.1 Custos de implantação (CAPEX)

O investimento inicial (CAPEX) compreende o custo de aquisição dos novos equipamentos – o inversor híbrido e o banco de baterias – e os serviços de instalação e adequação do sistema existente. A tabela 06 apresenta o orçamento detalhado para a implementação da microrrede, com base nos componentes dimensionados na seção anterior.

**Tabela 6 - Estimativa dos custos de implantação da microrrede**

<b>Item</b>	<b>Quant.</b>	<b>Valor Unit. (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
<i>Inversor Híbrido Deye SUN-8K SG05LP1-EU (8KW)</i>	1	12.066,51	12.066,51
<i>Bateria ZTS48100S 48V 100Ah – 3,48kWh úteis</i>	2	6.171,04	12.342,08
<i>Material complementar, instalação, adequação e encargos</i>	1	20.000,00	20.000,00
<b>Total estimado</b>	--	--	<b>R\$44.408,59</b>

Fonte: Elaboração própria (2025).

O investimento inicial total para a implementação da solução de confiabilidade é, portanto, estimado em R\$44.408,59.

#### 4.6.1.2 Projeção de economia anual (Benefícios)

A projeção da economia gerada pelo sistema é composta por dois benefícios financeiros distintos: um primário, que é a principal justificativa do projeto, e um secundário, que representa um ganho adicional.

1. Benefício primário (confiabilidade): Conforme calculado na seção 4.3, a eliminação das perdas de produtividade decorrentes das interrupções no fornecimento de energia representa uma economia anual direta de R\$ 15.840,00. Este é o principal benefício financeiro que justifica o investimento, pois resolve o problema central de paradas não programadas na operação administrativa.
2. Benefício secundário (*peak shaving*): Foi realizada uma estimativa conservadora do ganho adicional com o uso da bateria no horário de ponta. A análise considerou os seguintes parâmetros:

- Diferença de Tarifa: O custo total do kWh no horário de ponta é de R\$ 2,18, enquanto fora de ponta é de R\$ 0,48, resultando em uma economia de aproximadamente R\$ 1,70 por kWh deslocado.
- Energia deslocada: Um uso conservador de 3 kWh da energia armazenada por dia durante o horário de ponta.
- Período de aplicação: A estratégia de peak shaving gera economia apenas durante o horário de ponta, que, segundo a regulamentação da ANEEL, vigora somente em dias úteis. Portanto, o cálculo considera aproximadamente 250 dias por ano.

A economia anual secundária é calculada como:

$$Economia_{ponta} = 3kWh/dia \times R\$1,70/kWh \times 250 dias = R\$1.275,00$$

Embora positivo, este valor é considerado marginal e serve como um benefício complementar, não sendo o principal motivador do projeto.

A economia anual total projetada para a análise de viabilidade é, portanto, a soma dos dois benefícios:

$$Economia Anual Total = R\$15.840,00 (confiabilidade) + R\$1.275,00 (ponta)$$

$$Economia Anual Total = R\$17.115,00$$

#### 4.6.2 Estimativa de payback

O tempo de retorno do investimento, ou Payback Simples, é um dos indicadores de viabilidade mais diretos, pois calcula o período necessário para que a economia gerada pelo projeto se iguale ao custo do investimento inicial. Embora não considere o valor do dinheiro no tempo, é uma métrica amplamente utilizada pela sua simplicidade e clareza na apresentação do resultado.

O cálculo é realizado dividindo-se o investimento inicial total pelo valor da economia anual projetada:

$$Payback = \frac{Investimento Inicial}{Economia Anual Total}$$

Substituindo os valores levantados na seção anterior:

$$Payback = \frac{R\$44.408,59}{R\$17.115,00} \approx 2,59 \text{ anos}$$

Para uma melhor compreensão, o resultado pode ser convertido para anos e meses. O valor de 0,59 anos corresponde a aproximadamente 7 meses ( $0,59 \times 12$  meses).

Assim, o investimento para a implementação da microrrede seria recuperado em aproximadamente dois anos e sete meses. É importante ressaltar que este cálculo considera apenas o novo investimento necessário para o retrofit (inversor híbrido e baterias), uma vez que o sistema fotovoltaico já é um ativo existente na empresa e seu custo não entra nesta análise de viabilidade.

Esse tempo de retorno é considerado altamente atrativo para projetos de eficiência e confiabilidade energética, reforçando a viabilidade econômica da solução proposta, especialmente quando se considera que a vida útil dos novos equipamentos é significativamente superior a este período.

#### 4.6.3 Benefícios não financeiros

Além da economia financeira direta e do retorno do investimento calculado, a implantação do sistema híbrido com armazenamento em baterias agrega uma série de benefícios qualitativos que, embora não diretamente monetizados, representam um valor estratégico significativo para a X Transportes. Estes ganhos reforçam a robustez da solução proposta e justificam o investimento para além do *payback*.

Os principais benefícios não financeiros são:

- **Maior confiabilidade operacional:** A eliminação das interrupções no fornecimento de energia para as cargas críticas garante a continuidade dos processos administrativos e de gestão. Isso se traduz em um ambiente de trabalho mais estável, sem o estresse e a perda de ritmo causados por paradas inesperadas, assegurando a fluidez e a produtividade da equipe.
- **Segurança energética e de dados:** A garantia de um fornecimento de energia ininterrupto para servidores, computadores e sistemas de rede protege os ativos digitais da empresa contra perdas de dados, corrupção de arquivos e danos a equipamentos sensíveis, que poderiam ser causados por desligamentos abruptos.
- **Flexibilidade e escalabilidade futura:** A solução implementada é modular. O inversor de 8 kW e a topologia de Acoplamento CA permitem que a empresa expanda facilmente o banco de baterias no futuro, caso decida aumentar a autonomia ou incluir novas cargas críticas, sem a necessidade de grandes alterações na infraestrutura.

- Reforço da estratégia de sustentabilidade e resiliência operacional: Este investimento reforça o compromisso da empresa com a sustentabilidade, já demonstrado pela instalação do sistema fotovoltaico. Ao adicionar a capacidade de armazenamento, a X Transportes evolui de uma simples geradora de energia limpa para uma organização com uma infraestrutura energética resiliente. Essa postura proativa em relação à confiabilidade de suas operações fortalece a imagem da marca como uma empresa moderna, eficiente e preparada para os desafios do setor, um atributo de grande valor para clientes e parceiros comerciais.

Em conjunto, esses benefícios não financeiros demonstram que o valor da implantação da microrrede transcende a economia direta calculada no *payback*. O investimento representa um passo estratégico para a X Transportes, transformando uma vulnerabilidade operacional – a dependência de um fornecimento de energia instável – em um ponto forte de resiliência e modernidade. A solução não apenas resolve o problema imediato das perdas por interrupção, mas também posiciona a empresa de forma mais competitiva e sustentável para o futuro, tornando a análise de viabilidade ainda mais favorável.

#### 4.7. CONCLUSÃO PARCIAL DO DESENVOLVIMENTO

O levantamento de dados e as análises realizadas ao longo deste capítulo permitiram compreender, de forma clara e fundamentada, os impactos das falhas de fornecimento de energia elétrica na empresa X Transportes, bem como as possibilidades técnicas e econômicas de mitigação desses problemas por meio da adoção de um sistema fotovoltaico híbrido com armazenamento em baterias.

Inicialmente, o mapeamento das interrupções energéticas, realizado a partir de dados reais, comprovou a vulnerabilidade da empresa, com 29 falhas registradas em um período de quatro meses, sendo a maioria em horário comercial. Foi identificado que essas quedas, embora majoritariamente curtas, geram prejuízos expressivos, estimados em aproximadamente R\$15.840,00 anuais, considerando apenas a ociosidade dos funcionários administrativos.

Na sequência, o dimensionamento técnico demonstrou que a implementação de uma microrrede em Acoplamento CA é a solução mais adequada. A configuração proposta, composta por um inversor híbrido de 8kW e um banco de baterias de 9,6kWh nominais (dois módulos de 100Ah), é capaz de oferecer uma autonomia de aproximadamente 1 hora e 8 minutos para as cargas críticas, superando a meta inicial e cobrindo a totalidade das falhas registradas.

Por fim, o estudo de viabilidade econômica indicou que o investimento estimado em R\$ 44.408,59 apresenta um tempo de retorno atrativo de aproximadamente 2 anos e 7 meses. A

análise reforçou que o projeto se justifica primariamente pela eliminação das perdas operacionais, sendo complementado por benefícios não financeiros de grande valor estratégico, como o aumento da confiabilidade, a redução do uso de geradores a diesel e o fortalecimento da imagem de sustentabilidade da empresa.

Dessa forma, o desenvolvimento deste estudo demonstrou que a solução proposta é tecnicamente robusta, economicamente viável e estrategicamente vantajosa, fornecendo uma base sólida para as conclusões finais deste trabalho.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma microrrede com armazenamento em baterias na empresa X Transportes, a fim de mitigar os impactos das recorrentes falhas no fornecimento de energia elétrica. Buscou-se, a partir de um estudo de caso real, desenvolver uma solução que garantisse a confiabilidade operacional e explorasse oportunidades de redução de custos com a tarifa de energia.

Ao longo do desenvolvimento, a análise de dados reais, obtidos a partir do registro de eventos de um *nobreak*, permitiu quantificar o problema enfrentado pela empresa. Foi constatado que as 29 interrupções de energia em um período de quatro meses, majoritariamente em horário comercial, geraram um prejuízo financeiro direto e conservador de aproximadamente R\$ 15.840,00 anuais, apenas com a perda de produtividade da equipe administrativa. Esse diagnóstico validou a necessidade de um investimento em confiabilidade energética.

A solução técnica proposta, que consiste na integração de um sistema de armazenamento em acoplamento CA à instalação fotovoltaica existente, mostrou-se robusta e adequada. O dimensionamento de um inversor híbrido de 8 kW e um banco de baterias de Lítio-Ferro-Fosfato com 9,6 kWh de capacidade nominal não apenas atende às necessidades das cargas críticas, como também supera a meta de autonomia, oferecendo cerca de 1 hora e 8 minutos de suporte energético.

A análise econômica demonstrou que o investimento de R\$ 44.408,59 é recuperado em um período atrativo de aproximadamente 2 anos e 7 meses. Ficou evidente que a viabilidade do projeto se ancora na eliminação das perdas por paradas operacionais, sendo o benefício de *peak shaving* um ganho marginal com o dimensionamento adotado. Além do retorno financeiro, a solução agrega valor estratégico ao reduzir a dependência de geradores a diesel, aumentar a segurança dos dados e reforçar o compromisso da empresa com a sustentabilidade.

Conclui-se, portanto, que a adoção do sistema híbrido é tecnicamente viável e economicamente justificável, respondendo positivamente ao problema de pesquisa. A solução não apenas resolve uma vulnerabilidade operacional crítica para a X Transportes, mas também se apresenta como um modelo estratégico para outras empresas com perfis semelhantes que buscam maior resiliência e eficiência em suas operações.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF: ANEEL, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16149**: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 jan. 2022.

DENG, Chenyang et al. Economic Benefit and Peak Demand Reduction of Photovoltaic and Second-life Battery Storage on Fast Charging System. In: IEEE 52ND PHOTOVOLTAIC SPECIALIST CONFERENCE (PVSC), 52., 2024, [...]. **Anais [...]**. [...]: IEEE, 2024. p. 1185-1187.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Std 1366-2012**: IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. New York: IEEE, 2012.

KLEIN, Pricila. **Viabilidade técnica e econômica para implantação de armazenamento para consumidores industriais do grupo A4**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.

LIMA, José Fárlei Oliveira; IMPINNISI, Patrício Rodolfo. Estudo de viabilidade técnico-econômica para inserção de sistemas fotovoltaicos e armazenamento de energia em uma indústria brasileira. **Revista Foco**, v. 17, n. 6, p. 01-27, 2024.

MORAIS, Almir Rogério Flausino; FERREIRA, Bruno Batista; FERRI, Eduardo Barbosa. **Análise da viabilidade técnica-econômica para amortização da energia elétrica em horário de ponta através da implantação de um banco de bateria alimentada por uma usina solar fotovoltaica**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

SANTOS FILHO, Antonio Pereira dos. **Metodologia multicritério para definição da tecnologia de baterias para armazenamento de energia**. 2020. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2020.

SILVA, Gustavo Andrei Oliveira da; DONADEL, Clainer Bravin. Estudo de viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico híbrido a baterias sob a lei nº 14.300/2022. In: SIMPÓSIO

LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2023, [...]. **Anais [...]. [...]:** ABES, 2023. p. 1-9.




VERMA, Pankaj. Deloading Strategy in PV Systems: Installation Cost and Environmental Impacts Assessment for Obtaining Ancillary Services in Power System. In: IEEE GLOBAL CONFERENCE FOR ADVANCEMENT IN TECHNOLOGY (GCAT), 4., 2023, Bangalore. **Anais [...].** Bangalore: IEEE, 2023. p. 1-5.

## ANEXO A – DATASHEET DO INVERSOR HÍBRIDO DEYE SUN-8K-SG05LP1-EU



## Inversor Híbrido Monofásico

SUN-3.6/5/6/7/7.6/8K-SG05LP1-EU

-  Tela LCD touch colorida, grau de proteção IP65
-  Possibilidade de retrofit em sistemas fotovoltaicos existentes
- 16** Até 16 inversores em paralelo, suporte a múltiplas baterias
- 190** Corrente máxima de carga e descarga de até 190A
- 6** 6 períodos programáveis para carga e descarga da bateria
-  Suporte a gerador a diesel



## Dados técnicos

Modelo	SUN-3.6K -SG05LP1-EU	SUN-5K -SG05LP1-EU	SUN-6K -SG05LP1-EU	SUN-7K -SG05LP1-EU	SUN-7.6K -SG05LP1-EU	SUN-8K -SG05LP1-EU
<b>Dados de entrada da bateria</b>						
Tipo de Bateria	Ácido de chumbo ou íões de lítio					
Faixa de Tensão da Bateria (V)	40-60					
Corrente de carga máxima (A)	90	120	135	175	190	190
Corrente máxima de descarga (A)	90	120	135	175	190	190
Estratégia de Carga para Bateria Li-Ion	Auto-ajustação ao BMS					
Número de entradas de bateria	1					
<b>Unidade de entrada</b>						
Potência máxima de acesso fotovoltaico (W)	7200	10000	12000	14000	15200	16000
Potência máxima CC (W)	4680	6500	7800	10000	9880	10400
Tensão nominal CC (V)	500					
Tensão de Partida (V)	125					
Faixa de tensão da MPPT (V)	150-425					
Tensão de entrada DC nominal (V)	370					
Corrente máxima de operação da entrada (A)	13+13			26+26		
Corrente mínima de curto-circuito da entrada (A)	17+17			34+34		
Número de rastreadores MPPT/ Número de Strings MPPT Tracker	2/1+1			2/2+2		
<b>Dados de Saída AC</b>						
Potência ativa de entrada/saída nominal (W)	3680	5800	6000	7800	7600	8000
Potência aparente máxima de entrada/saída (VA)	3960	5800	6600	7700	8360	8900
Corrente nominal de saída CA (A)	16.4/15.7	22.7/21.7	27.3/26.1	31.9/30.5	34.5/33	36.4/34.8
Corrente nominal de entrada/saída (A)	18/17.2	25/23.9	30/28.7	35/33.5	38/36.3	40/38.3
Corrente máxima de passagem (rede para carga) (A)	35		40		50	
Potência de pico (Oliv Grid) (W)	2 vez da potência nominal, 10s					
Faixa do fator de potência	0,8 adiantado a 0,8 atrasado					
Frequência e tensão de saída (V)	220/230 0.85Un-1.1Un					
Faixa de frequência de trabalho nominal (Hz)	50/45-55, 60/55-65					
Tipo de conexão à rede	L+N+PE					
Distorção harmônica (THD)	<3% (da potência nominal)					
Corrente de injeção DC	<0.5 In					
<b>Eficiência</b>						
Eficiência máxima	97.60%					
Eficiência Euro	96.5%					
Eficiência MPPT	>99%					
<b>Proteção</b>						
Integrado	Proteção contra sobrecorrente de saída CA, Proteção térmica, Proteção contra sobretensões de saída CA, Proteção contra curto-circuito de saída CA, Monitoramento de componentes DC, Proteção contra queda de carga de sobretensão, monitoramento de corrente de fuga à terra, laboratório de circuito de fuga de arco (opcional), Monitoramento da proteção do fuso, Detecção de falhas IGBT, Inversor de entrada DC, Monitoramento da impedância da bobina terminal DC, deteção de corrente residual (RCD), nível de proteção contra sobretensão					
Proteção contra sobrecorrente	TYPE II(DC), TYPE II(AC)					
<b>Interface</b>						
Interface de Comunicação	RS485/RS232/CAN					
Modo de Monitor	GPRS/WiFi/Bluetooth/4G/LAN (opcional)					
<b>Dados gerais</b>						
Faixa de temperatura operacional (°C)	-40 to +60°C, +45°C Dessecação					
Umidade ambiente permitida	0-100%					
Altitude permitida	2000m					
Ruído (dB)	≤30					
Grau de proteção	IP 65					
Topologia do inversor	Não isolado					
Categoria de sobretensão IP	OVC II(DC), OVC III(AC)					
Dimensões (WxHxD mm)	330x580x232 (Excluído conectores e suportes)					
Peso (kg)	24.9					
Modo de resfriamento	Refrigeração de ar inteligente					
Garantia	5 anos/10 anos O período de garantia depende do local de instalação final do inversor. Para obter mais informações, consulte a política de garantia					
Regulamentação da rede	IEC 61727, IEC 62116, CEI 0-21, EN 50549, NRS 097, RD 140, UNE 217002, OVE-Richtlijn R25, G99, VDE-AR-N 4105					
Regulamentação de EMC/Segurança	IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2					

Deye Support Center  
 L Estr. Alc. José Manoel, 551, Box 15 - Vila Moglar, Mogi das Cruzes - SP  
 (11) 2508-0501  
 suporte@dewey.com.br  
 www.dewey.com.br

## ANEXO B – DATASHEET DA BATERIA ZTROON – ZTS48100S



BATERIAS DE LÍTIO (LFP)

ZTS48100S | 48V 100Ah



## ESPECIFICAÇÕES

Tecnologia da Bateria	LFP (LiFePO4)
Tensão Nominal	48V
Capacidade da Bateria	100Ah
Energia Nominal C5	4,8kWh
Associação das Células	15S1P
Corrente Máxima de Carga/Descarga	100A
Faixa de Tensão de Operação	Carga: 53,2 - 56,4V Descarga: 40,0 - 53,0V
Tensão de Corte de Descarga	40V
Dimensões (AxLxP)	133x442x440mm ±2
Peso (Kg)	39kg ±2
Eficiência de Carga e Descarga	>94%
Comunicação	CANRS485*2
Estado do Indicador	ALMRUN/SOC
Paralelo	Até 16 em paralelo
Pino Terminal	M8
Alarme e Proteção	Sobretensão, subtensão, curto-circuito, sobrecarga, sobrecorrente, sobretensão, proteção contra baixas temperaturas.
Modo de Resfriamento	Auto-refrigeração
Altitude	≤ 4000m
Umidade	5% ~ 95%
Garantia	Garantia de 5 anos (já incluído os 90 dias da garantia legal).*

\*Consulte o termo de garantia na [Central de Suporte ao Cliente](#).

Grau de Proteção	IP20
Faixa de Temperatura de Operação	Carga: -5°C ~ 45°C Descarga: -20°C ~ 50°C
Temperatura de Armazenamento	20°C ~ 35°C
Ciclo de Vida	6000 ciclos em 0,5C / 25°C / 80% DOD
SOH ao Final da Vida Útil	70%

## DESTAQUES

Alta Performance em Segurança
Design Modular
Fácil Expansão
Uso em Temperaturas Elevadas
Compatibilidade com Diversos Inversores
Menor Custo de Manutenção

## APLICAÇÕES

Energia Solar Off-Grid ou Sistemas Híbridos
Backup de Energia
Estações de Telecom
Automação e Controle

## CERTIFICAÇÕES

Portaria 140 INMETRO - Registro N°: 005448/2024
ISO9001   ISO14001   CE   UN38.3   IEC