

RAFAEL HENRIQUE ARREZZI LEITE RODRIGUES

**REVISÃO ENERGÉTICA: DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO ESPECÍFICO PARA
UMA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS NOS TERMOS DA ISO 50001**

Guaratinguetá-SP

2024

Rafael Henrique Arrezzi Leite Rodrigues

**REVISÃO ENERGÉTICA: DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO ESPECÍFICO PARA
UMA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS NOS TERMOS DA ISO 50001**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Valladares Soares
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme E. F. Fernandes Filho

Guaratinguetá-SP

2024

R696r	<p>Rodrigues, Rafael Henrique Arzei Leite</p> <p>Revisão Energética: desenvolvimento de método específico para uma indústria de autopeças nos termos da ISO 50001 / Rafael Henrique Arzei Leite Rodrigues – Guaratinguetá, 2024.</p> <p>118 : il.</p> <p>Bibliografia: f. 115-118</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Paulo Valladares Soares Coorientador: Prof. Dr. Guilherme E. F. Fernandes Filho</p> <p>1.Sistema de energia elétrica. 2. Energia elétrica - consumo. 3. Energia elétrica - Conservação. I. Título.</p> <p>CDU 620.92(043)</p>
-------	---

Luciana Máximo
Bibliotecária CRB-8/3595

REGISTRO DE IMPACTO NA SOCIEDADE

A revisão energética segundo a norma ABNT NBR ISO 50001/2018 em uma indústria de autopeças no Brasil identifica Usos Significativos de Energia, otimiza o consumo, reduz custos operacionais e emissões de gases de efeito estufa, promove a sustentabilidade, gera empregos, incentiva a inovação tecnológica e assegura conformidade com normas internacionais.

IMPACT RECORD ON SOCIETY

The energy review according to the ABNT NBR ISO 50001/2018 standard in an auto parts industry in Brazil identifies Significant Energy Uses, optimizes consumption, reduces operational costs and greenhouse gas emissions, promotes sustainability, generates jobs, encourages technological innovation, and ensures compliance with international standards.

RAFAEL HENRIQUE ARREZZI LEITE RODRIGUES

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE

“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO.

Prof. Dra. Gislaine Cristina Batistela
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Paulo Valladares Soares

Orientador(a)/UNESP - FEG

Documento assinado digitalmente



ANDRE LUIZ VEIGA GIMENES

Data: 10/06/2024 11:37:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Luiz Veiga Gimenes

Coordenador do GEPEA - USP

Documento assinado digitalmente



CARLOS BARREIRA MARTINEZ

Data: 28/05/2024 15:50:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Barreira Martinez

Instituto de Engenharia Mecânica - UNIFEI

Março/2024

DADOS CURRICULARES

RAFAEL HENRIQUE ARREZZI LEITE RODRIGUES

NASCIMENTO	06.05.1992 – Guaratinguetá / SP
FILIAÇÃO	Carlos Alberto Rodrigues Eliete Mariza Arrezzi Leite Rodrigues
2008/2010	Curso Profissionalizante Eletricista de Manutenção SENAI “Félix Guisard”
2012/2016	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Salesiana de São Paulo – UNISAL – Lorena/SP
2017/2019	Curso de Especialização em Automação Industrial e Robótica SENAI “Félix Guisard”

De modo especial, a minha esposa que me suportou em todas as dificuldades e conduziu um período importante de nossas vidas de forma singular.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por, ao longo deste processo desafiador, me ter feito ver o caminho nos momentos em que pensei em desistir. Agradeço pela minha família e minha vida.

Ao professores Prof. Doutor Paulo Valladares Soares e Prof. Doutor Guilherme Eugênio Filippo Fernandes Filho, que me incentivaram e em todo o momento acreditaram no meu projeto. Sem a paciência, sabedoria e orientação deles, este projeto não seria possível.

Aos meus pais e irmão deixo meu eterno agradecimento por, me mostrarem o caminho do bem e da verdade. Sem seus ensinamentos e exemplos, eu jamais teria vencido na vida.

A minha esposa, Franciele, que me fez seguir mesmo que abdicando de minha companhia em boa parte do seu período de gestação, e meu filho Heitor, fonte de inspiração.

A empresa Maxion Structural Components por, me ceder tal oportunidade sobre o apoio de minha gerência no nome de Marcos Antônio Ferreira. Em especial, a minha Supervisora Ana Paula Ribeiro Leite, pessoa ímpar nessa jornada que me incentivou desde os primeiros dias, sendo peça fundamental nesse trabalho.

A coordenação desse curso na pessoa da Prof. Doutora Gislaine Cristina Batistela por, sempre atuar com presteza nas dificuldades e principalmente pela vontade de querer ajudar.

“Conquistas sem riscos são sonhos sem méritos.”
“Ninguém é digno dos sonhos de não usar as derrotas para cultivá-los.”

Augusto Cury

RESUMO

Este trabalho apresenta uma abordagem sobre a realização da revisão energética nos termos da norma ABNT NBR ISO 50001/2018 “Sistema de Gestão de Energia – Requisitos com orientações para uso”. A pesquisa se concentra no setor industrial de autopeças no Brasil, que enfrenta grandes desafios com insumos dentre os quais um dos mais significativos é a energia elétrica. Foi desenvolvido um roteiro para a aplicação da revisão energética e sua contribuição em uma indústria metalúrgica produtora de rodas e chassis para diversos veículos automotores. Esse trabalho contribuiu através do objetivo principal de uma revisão energética que é identificar os Usos Significativos de Energia (USE) dessa organização. O método de uma pesquisa-ação foi aplicado para auxiliar na coleta e análise de dados, possibilitando uma compreensão mais profunda e organizada. Isso assegura que a organização ajuste suas estratégias com base nas observações realizadas. Dentre as fontes de energia presente no processo produtivo, notou-se que a energia elétrica se destaca devido aos altos valores praticados, portanto, essa pesquisa se limitará a esta fonte. A identificação dos USE advém de uma massiva e cautelosa análise de dados, que serão coletados mediante o sistema de medição de energia elétrica. Objetivos específicos incluem a análise do consumo de energia elétrica passado e presente, identificação de usos finais da energia elétrica e a criação de indicadores de desempenho. Para esse projeto foram tratadas as áreas com o consumo expressivo de energia elétrica, sendo elas o sistema de ar comprimido e o processo produtivo de pintura. O método desenvolvido tem como cerne as normas ISO 50001, 50004 e 50006, visando contribuir para a compreensão dos processos energéticos e tendências de consumo. Foram formuladas hipóteses para investigar oportunidades de melhoria do desempenho energético, variáveis relevantes e a maturidade normativa da estrutura da empresa. Com as análises dos resultados foi possível extrair um diagnóstico energético a ponto de fomentar um embrião de estruturação para a certificação da ISO 50001. As análises revelaram que não há componente sazonal nos indicadores de consumo e demanda de energia elétrica, sendo o volume de produção a principal variável que afeta o desempenho energético. A etapa de coleta de dados foi consignada como a fase preeminente, incumbida de prover análises, indicadores e informações passíveis de comparação ao longo de distintos períodos. Sendo propostas ações de conservação de energia acerca dos USE e sugestões de trabalhos futuros com base no direcionamento dos resultados obtidos.

PALAVRAS CHAVES: revisão energética; desempenho energético; coleta de dados; sistema de gestão de energia; indústria de autopeças.

ABSTRACT

This paper presents an approach to conducting an energy audit in accordance with the ABNT NBR ISO 50001/2018 standard "Energy Management System - Requirements with guidance for use." The research focuses on the automotive parts industry in Brazil, which faces significant challenges, with electricity being one of the most critical inputs. A framework for implementing the energy audit and its application in a metallurgical industry producing wheels and chassis for various motor vehicles was developed. This work contributes primarily to the energy audit's main objective, which is to identify Significant Energy Uses (SEU) within the organization. The action research method was applied to assist in data collection and analysis, ensuring a deeper and organized understanding. This ensures that the organization adjusts its strategies based on the observations made. Among the energy sources in the production process, it was noted that electricity stands out due to high costs; therefore, this research is limited to this source. The identification of SEUs stems from a massive and cautious analysis of data collected through the electricity metering system. Specific objectives include analyzing past and present electricity consumption, identifying end uses of electricity, and creating performance indicators. For this project, areas with significant electricity consumption were addressed, namely, the compressed air system and the painting production process. The developed method is centered on ISO 50001, 50004, and 50006 standards, aiming to contribute to understanding energy processes and consumption trends. Hypotheses were formulated to investigate opportunities for improving energy performance, relevant variables, and the normative maturity of the company's structure. With the analysis of results, it was possible to extract an energy diagnosis, fostering the embryo of a structure for ISO 50001 certification. The analyses revealed no seasonal component in electricity consumption and demand indicators, with production volume being the main variable affecting energy performance. The data collection stage was designated as the preeminent phase, tasked with providing analyses, indicators, and comparable information over different periods. Conservation actions regarding SEUs and suggestions for future work were proposed based on the direction of the obtained results.

KEYWORDS: energy audit; energy performance; data collection; energy management system; automotive parts industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo industrial de energia elétrica no Brasil - GWh.....	20
Figura 2 - Consumo das indústrias de autopeças no Brasil - GWh.....	20
Figura 3 - Consumo de energia elétrica em relação a produção de veículos.....	21
Figura 4 - Certificações das empresas do segmento de autopeças no Brasil.....	24
Figura 5 - Consumo energético por tipo de fonte.....	25
Figura 6 - Família ISO 50000.....	31
Figura 7 - Representação esquemática da revisão energética.....	32
Figura 8 - Diagrama do método de investigação.....	38
Figura 9 - Fluxo do método de pesquisa.....	40
Figura 10 - Fluxo da pesquisa da leitura científica.....	42
Figura 11 - Distribuição dos 47 artigos selecionados ao longo do período.....	42
Figura 12 - Requisitos da revisão energética.....	46
Figura 13 - Atividades da revisão energética.....	46
Figura 14 - Configuração do sistema de aquisição de dados.....	52
Figura 15 - Diagrama esquemático do sistema de distribuição de energia elétrica.....	55
Figura 16 - Curva de carga do dia típico.....	55
Figura 17 - Série temporal da demanda máxima mensal.....	56
Figura 18 - Distribuição dos custos na fatura de energia elétrica.....	58
Figura 19 - Processamento de aço.....	59
Figura 20 - Consumo mensal de energia – MWh.....	60
Figura 21 - Série temporal com consumo mensal de energia elétrica - MWh.....	61
Figura 22 - Componente aleatória da série temporal do consumo de energia.....	62
Figura 23 - Consumo com discretização diária - MWh.....	63
Figura 24 - Consumo com discretização horária – MWh/h.....	65
Figura 25 - Série temporal da intensidade energética – kWh/t.....	65
Figura 26 – Intensidade energética em função do volume de produção.....	66
Figura 27 - Variável não significativa.....	68
Figura 28 - Mapa de processo macro de uma indústria de autopeças.....	69
Figura 29 - Consumo de energia elétrica setorial - 2022.....	71
Figura 30 - Representação gráfica dos USE.....	72
Figura 31 - Fluxo de energia de um compressor modelo I.....	74
Figura 32 - Fluxo de energia de um compressor modelo II.....	75

Figura 33 - Diagrama esquemático do sistema de ar comprimido	77
Figura 34 - Demanda máxima alcançada nos horários de ponta e fora de ponta	79
Figura 35 - Consumo de energia na ponta e fora de ponta	79
Figura 36 - Eficiência do sistema de ar comprimido.....	80
Figura 37 - Demanda dos compressores em outubro de 2022 – [kW]	81
Figura 38 - Consumo dos compressores no mês típico em base diária outubro de 2022.....	82
Figura 39 - Consumo específico do mês típico de energia elétrica	83
Figura 40 - Consumo específico médio de compressores de ar para $r=7,0$	84
Figura 41 - Diagrama esquemático.....	86
Figura 42 - Subestação 01 <i>E-coat</i> rodas linha 1	87
Figura 43 - Subestação 06 <i>E-coat</i> chassis	88
Figura 44 - Consumo de energia elétrica <i>E-coat</i> chassis.....	89
Figura 45 - Consumo de energia elétrica <i>E-coat</i> rodas	90
Figura 46 - Consumo de energia elétrica processo de pintura.....	91
Figura 47 - Demanda máxima por segmentação	92
Figura 48 - Consumo de energia elétrica diário	93
Figura 49 - Demanda máxima e mínima processo de pintura	94
Figura 50 - Consumo de energia elétrica dia típico em MWh.....	95
Figura 51 - Demanda do dia típico em kW	95
Figura 52 - Peças pintadas processo de pintura.....	97
Figura 53 - Desempenho energético kWh/peças pintadas.....	97
Figura 54 - Desempenho energético kWh específico da pintura em razão da t. de aço	98
Figura 55 - Análise de variável por tipo de pintura.....	99
Figura 56 - Consumo específico diário do mês típico	99
Figura 57 – Consumo de energia elétrica por cenário	103
Figura 58 - Contribuição dos USE para o consumo de energia elétrica fixo	105
Figura 59 - Consumo de energia elétrica compressor GA160.....	107
Figura 60 - Identificação de vazamento no lubrificador	107
Figura 61 - Média móvel do consumo de energia elétrica	109
Figura 62 - Instalação inadequada de redução de tubulação	109
Figura 63 - Volume de ar comprimido médio/dia	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Linhas de pesquisa para contribuições acadêmicas.....	26
Quadro 2 - Textos em complemento a ISO 50001	31
Quadro 3 - Conservação de energia.....	36
Quadro 4 - Método de pesquisa.....	40
Quadro 5 - Referências normativas	43
Quadro 6 - Questionário energético.....	49
Quadro 7 - Parâmetros programados	51
Quadro 8 - Processos manufatureiros medidos	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico energético	57
Tabela 2 - Informações de contrato	57
Tabela 3 - Consumo trimestral de energia elétrica.....	60
Tabela 4 - Análise descritiva do consumo de energia elétrica	62
Tabela 5 - Consumo (MWh) por categorias de outubro de 2022	64
Tabela 6 - Previsão do consumo de energia elétrica	67
Tabela 7 - IDE kWh/m ²	68
Tabela 8 - Fronteiras do USE	72
Tabela 9 - Levantamento de dados dos compressores instalados na unidade industrial	76
Tabela 10 - Registro de demanda	81
Tabela 11 - Registro de consumo	82
Tabela 12 - Análise sumária	92
Tabela 13 – Síntese dos resultados de consumo.....	94
Tabela 14 - Síntese dos resultados do dia típico.....	96
Tabela 15 - Cenário 1 consumo de energia elétrica.....	102
Tabela 16 - Cenário 2 consumo de energia elétrica.....	102
Tabela 17 - Consumo de energia elétrica do sistema de ar comprimido no cenário 1	104
Tabela 18 – Consumo de energia elétrica do sistema de ar comprimido no cenário 2	104
Tabela 19 - Horas em carga compressor GA 160.....	108
Tabela 20 - Consumo específico 1º semestre de 2022	110
Tabela 21 - Comparação de custos entre modelo de compressores	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Ar comprimido
CAGI	<i>Compressed Air & Gas Institute</i>
CO ₂	Dióxido de carbono
COVID	<i>Corona Virus Disease</i>
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
CE	Consumo Específico
EPA	<i>Enviromental Protection Agency</i>
EUA	Estados Unidos da América
FAD	<i>Free Air Delivery</i>
GWh	Giga Watt hora
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IDE	Indicador de Desempenho Energético
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LBE	Linha de Base Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
SGE	Sistema de Gestão de Energia
TWh	Tera Watt hora
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UNIDO	Organização das Nações Unidas para Desenvolvimento Industrial
USE	Uso Significativo de Energia

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
1.1.	RELEVÂNCIA DO TEMA EM INVESTIGAÇÃO	17
1.2.	O SETOR INDUSTRIAL	18
1.2.1	A Energia Elétrica na Indústria de Autopeças	19
1.3.	OBJETIVOS E DELIMITAÇÃO	22
1.3.1.	Objetivos Específicos	22
1.3.2.	Delimitação	23
1.4.	JUSTIFICATIVAS E QUESTÕES.....	23
1.4.1.	Contribuições Acadêmicas	25
1.5.	ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2.	REVISÃO NORMATIVA	29
2.1.	FAMÍLIA DE NORMAS ISSO 50.000	29
2.2.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA	33
2.2.1.	Intensidade Energética	35
2.3.	CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	36
3.	MÉTODO DA PESQUISA	38
3.1.	APLICAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA-AÇÃO	39
3.2.	PROCEDIMENTOS DO MÉTODO DE PESQUISA	41
4.	DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE REVISÃO ENERGÉTICA	43
4.1.	TERMO E DEFINIÇÕES	43
4.2.	REVISÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS	45
4.3.	COLETA DE DADOS	49
4.3.1.	Coleta de dados Processo Produtivo	53
5.	RESULTADOS	54
5.1.	ETAPA 1 – PERFIL ENERGÉTICO	54

5.1.1. Critérios Relevantes no Perfil Energético	56
5.1.1.1. Análise Tarifária	58
5.2. ETAPA 2 – ANÁLISE DO PERFIL ENERGÉTICO	58
5.2.1. Dados Trienais com Discretização Mensal	58
5.2.2. Dados Mensais com Discretização Diária	63
5.2.3. Dados Diários com Discretização Horária	64
5.2.4. Intensidade Energética	65
5.3. ETAPA 3 – IDENTIFICAÇÃO DOS USE	69
5.3.1. Variáveis relevantes para USE	73
5.3.2. Ar Comprimido	73
5.3.2.1. Empresa em estudo	75
5.3.2.2. Indicadores de Desempenho Energético – Ar Comprimido	78
5.3.3. Sistema de Pintura	84
5.3.3.1. Empresa em estudo	86
5.3.3.2. Indicadores de Desempenho Energético – Processo de Pintura	88
6. OPORTUNIDADE DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO ..	101
6.1. APLICAÇÃO DE AÇÕES DE MELHORIA	106
6.1.1. Ações de conservação de energia e eficiência energética	107
7. CONCLUSÃO	113
REFERÊNCIAS	115

1. INTRODUÇÃO

1.1. RELEVÂNCIA DO TEMA EM INVESTIGAÇÃO

Esta dissertação tem como objetivo a aplicação de um método para a elaboração de uma revisão energética, seguindo as diretrizes estabelecidas pela *International Organization for Standardization* (ISO) 50001, que no Brasil teve como norma espelho a ABNT NBR ISO 50001. Publicada em 2011, a ISO 50001, como resposta à necessidade de aumentar a competitividade das indústrias enquanto respeita as mudanças climáticas, destaca a importância de sistemas de gestão de energia e padronizações para a melhoria contínua.

A norma ISO 50001 estabelece um Sistema de Gestão de Energia (SGE) que orienta as organizações na adoção de práticas eficientes de uso de energia. A revisão energética surge como uma etapa crucial desse processo, envolvendo a análise minuciosa dos padrões de consumo de energia, a identificação de oportunidades de aprimoramento e a avaliação do desempenho energético. Como documento central nesse contexto, a ISO 50001 enfatiza o papel categórico da revisão energética em fornecer uma visão abrangente e precisa do uso de energia pela organização, identificando oportunidades de melhoria e ações para aumentar a eficiência energética, reduzir custos e a redução de impactos ambientais negativos.

Durante a revisão energética, são coletados dados relevantes, como informações sobre aquisição e consumo de energia, históricos de consumo, perfis de carga, eficiência de equipamentos e sistemas energéticos, entre outros aspectos relevantes. Esses dados são analisados para identificar áreas de alto consumo de energia, ineficiências operacionais e possíveis oportunidades de economia.

Com base nos resultados obtidos na revisão energética, são elaborados recomendações e planos de ação visando aprimorar o desempenho energético da organização. Essas ações podem compreender a implementação de medidas de eficiência energética com a adoção de novas tecnologias, melhoria de processos, o treinamento de funcionários e o monitoramento contínuo do consumo de energia.

A revisão energética assume um papel essencial no sistema de gestão de energia de uma organização, conforme preconizado pela ISO 50001. Esta etapa proporciona uma base sólida para o desenvolvimento e implementação de estratégias de gestão de energia eficazes, visando melhorias contínuas no desempenho energético. Em organizações que carecem de uma estrutura propícia, as oportunidades identificadas por meio da revisão energética

frequentemente não são implementadas devido à ausência da gestão de energia na cultura organizacional e na visão estratégica da empresa (BUNSE et al., 2011).

A norma ISO 50004 complementa a ISO 50001, oferecendo diretrizes específicas para a condução da revisão energética. Ela destaca a importância de uma abordagem sistemática, incluindo a coleta de dados, análise de desempenho e a identificação de áreas críticas que exigem ação.

Por sua vez, a norma ISO 50006 fornece orientações sobre a quantificação e comunicação dos resultados da revisão energética. Isso inclui a definição de indicadores de desempenho energético, estabelecimento de metas mensuráveis e a comunicação eficaz dos resultados para partes interessadas relevantes.

Em síntese, a revisão energética, conforme definida pelas normas ISO 50001, 50004 e 50006, desempenha um papel essencial no estabelecimento, implementação e aprimoramento contínuo de práticas eficientes de gestão de energia em organizações. Ao adotar essas normas, as empresas podem reduzir seu uso de energia, custos, reduzir os impactos ambientais e demonstrar um compromisso sólido com a sustentabilidade.

Nesta pesquisa, serão exploradas oportunidades relacionadas ao consumo de energia elétrica, apesar da existência de outra fonte de energia com custos e utilização inferiores. O montante despendido na quitação da fatura de energia elétrica é substancial, situando-se na ordem de milhões de reais. Assim sendo, projetos que visem à redução desse custo são de suma importância, podendo ser implementados diretamente por meio de ações ou indiretamente por meio de estudos preliminares que proporcionem uma compreensão abrangente do cenário histórico e atual da empresa.

Giampieri (2020) afirma que a capacidade de garantir a satisfação do cliente com menos recursos é sempre importante. Logo, fomentar um perfil energético eficiente e sustentável complementa o fator competitividade.

1.2. O SETOR INDUSTRIAL

Inicialmente, destaca-se o papel significativo do setor industrial global, responsável por aproximadamente 29% do consumo mundial de energia elétrica. Com um potencial de redução de até 20%, equivalente a 974 milhões de toneladas de óleo, o setor industrial representa uma área estratégica para implementação de medidas de eficiência energética (ABRAHAM et al., 2021).

No contexto brasileiro, os dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica indicam um crescimento de 4,6% no consumo total de energia elétrica em 2021 em relação ao ano anterior. No âmbito industrial, esse aumento foi ainda mais expressivo, atingindo 8,4%. O setor metalúrgico, que inclui a indústria de autopeças, específica do presente estudo, apresentou um aumento notável de 7,08%, representando um consumo final de 43 TWh em 2021 (Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2022).

A importância estratégica do setor industrial no cenário energético brasileiro, aliada à necessidade de efetivação da eficiência energética, é acentuada pelas complexidades e diversidades de processos na indústria de autopeças. Esta caracterização envolve operações energéticas em diversas fases, como estamparia, pintura, solda e utilidades, proporcionando oportunidades significativas para a otimização energética (FILIPPO FILHO, 2018).

A busca por excelência operacional e o desenvolvimento de tecnologias eficientes destacam-se como oportunidades econômicas para as organizações industriais. Nesse contexto, a melhoria do desempenho energético surge como uma abordagem crucial na gestão manufatureira, buscando avaliar como o uso de energia pode ser reduzido em plantas e processos, considerando a qualidade e a produtividade das linhas de produção.

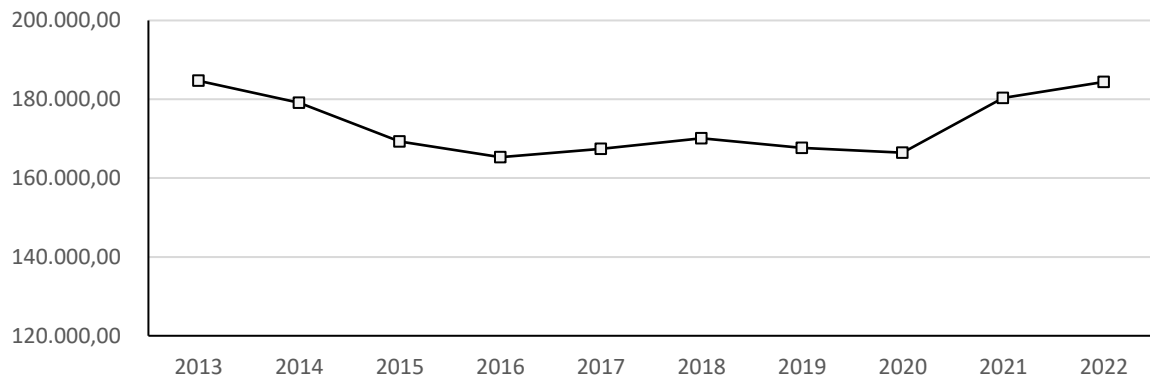
Além disso, autores como Bunse (2011) e Schulze (2016) enfatizam a importância da integração da gestão de energia elétrica à gestão da produção para garantir a posição de liderança no mercado e alcançar efetividade em um ambiente industrial competitivo.

Portanto, a revisão energética proposta, alinhada à norma ISO 50001, emerge como uma estratégia essencial para a gestão eficiente da energia elétrica nas indústrias, visando não apenas a conformidade normativa, mas também a busca pela excelência operacional, sustentabilidade energética e competitividade no mercado.

1.2.1. A Energia Elétrica na Indústria de Autopeças

A utilização da energia elétrica no ramo industrial no Brasil tem sido crescente ao longo dos últimos dez anos, apresentando pequenas variações não superiores a mais ou menos 10%, como identificado entre os anos de 2013 e 2020. A Figura 1 permite observar um crescimento no último triênio de 10,77%.

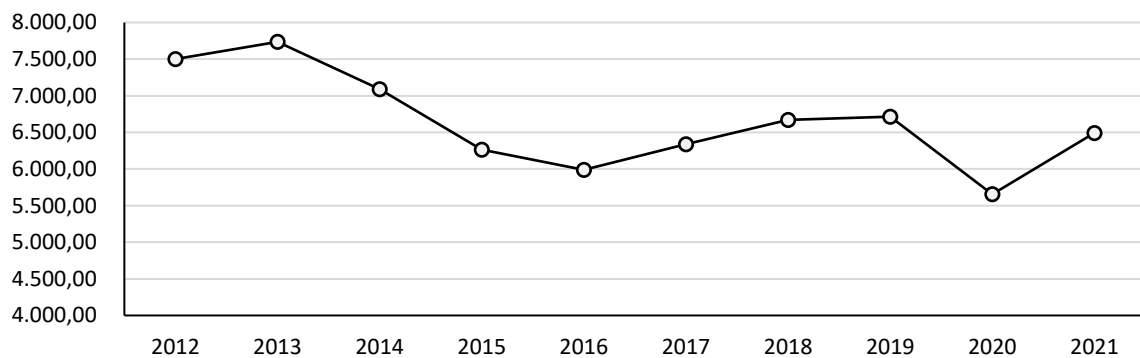
Figura 1 - Consumo industrial de energia elétrica no Brasil - GWh



Fonte – Adaptada de <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-bertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 06 mar. 2023.

O consumo de energia elétrica pelo setor de autopeças ao longo dos últimos dez anos, em média histórica, representa 4,07% do consumo total de energia elétrica no setor industrial. A Figura 2 revela, em uma análise decenal, o consumo de energia elétrica no segmento de autopeças, evidenciando pequenas variações. Destaca-se uma queda de aproximadamente 25% nos primeiros quatro anos da série temporal, seguida por um aumento linear entre os anos de 2016 e 2019. Entretanto, esse aumento ocorre em níveis inferiores aos observados nos anos de 2012 e 2023.

Figura 2 - Consumo das indústrias de autopeças no Brasil - GWh



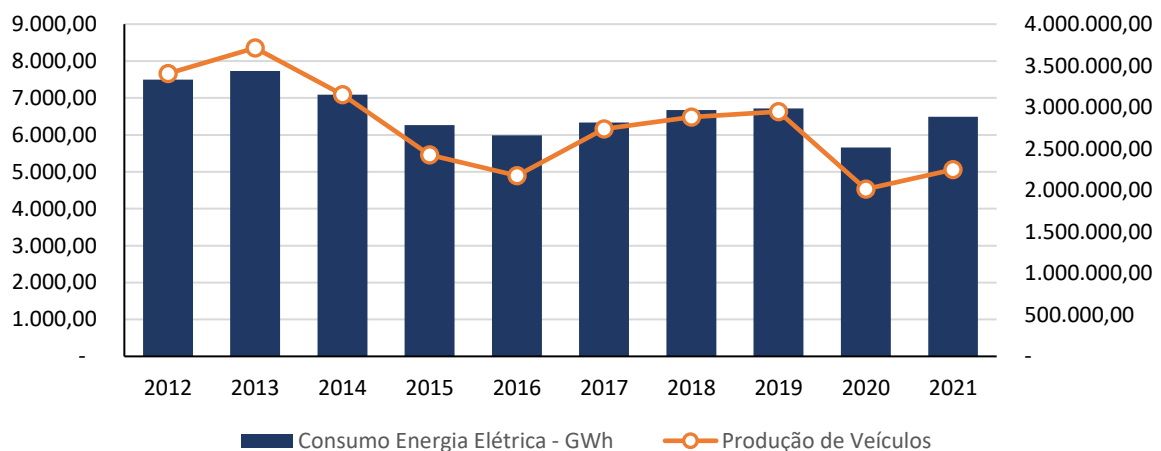
Fonte – Adaptada de <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-bertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 06 mar. 2023

A indústria de fabricação de automotores é uma indústria com processos intensos em consumo de energia elétrica, sendo classificada no ramo industrial do Brasil como a oitava maior em 2022, segundo a EPE. Logo, para se manterem competitivas, os fabricantes de componentes automotivos precisam se empenhar no processo de melhoria contínua de seus

produtos, sendo uma das práticas racionais para o consumo de energia elétrica eficiente (GIAMPIERI et al., 2020).

O diagnóstico energético contribui com ações de redução de resíduos e a melhor gestão dos recursos. A Figura 3 traz informações relevantes quanto à eficiência produtiva do mercado automobilísticos, no qual é apresentado o quantitativo médio de consumo de energia elétrica, em uma série histórica de 2012 a 2021, para fabricação de veículos, sendo pertencentes a esta relação os autoveículos carros, comerciais leves, caminhões e ônibus.

Figura 3 - Consumo de energia elétrica em relação a produção de veículos



Fonte – Adaptada de <<https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>>. Acesso em: 06 mar. 2023

A Figura 3 permite identificar a tendência do consumo de energia (GWh) em relação à quantidade de produção (veículos). Assim, ao observar a série é possível notar que o consumo de eletricidade é eficiente em relação ao que se produz, no entanto, existem variações irregulares. Por tanto, uma investigação com objetivo de delinear o perfil energético em industriais automobilísticas sustenta a hipótese que a avaliação do consumo de energia por meio de modelos da revisão energética é fundamental para a implementação de estratégias de racionalização e redução de energia de curto, médio e longo prazo nas industriais de autopeças (GIAMPIERI et al., 2020).

Este trabalho apresenta as atividades necessárias e os métodos de como aplicá-las para obter uma revisão energética voltada para o setor industrial de autopeças. O método de revisão energética aplicada neste trabalho aborda um conjunto de atividades que, implementadas, poderá trazer ganhos como maturidade em sistema de gerenciamento de energia e oportunidades socioeconômicas.

1.3. OBJETIVOS E DELIMITAÇÃO

A pesquisa tem como objetivo central o desenvolvimento de uma revisão energética, componente essencial no planejamento tático de um SGE. Esta abordagem representa a faceta técnica e analítica do SGE, desempenhando, assim, um papel crítico. O foco está na análise histórica e atual do uso e consumo de energia elétrica em uma unidade industrial de autopeças.

O estudo visa identificar, por meio dos usuários finais, o consumo de energia, gerando indicadores de desempenho energético alinhados ao planejamento da ISO 50001, possibilitando a realização de uma revisão energética. Ferramentas padronizadas, conforme as normas ISO 50001, 50004 e 50006, como linhas de base energéticas (LBE), indicadores de desempenho energético (IDE), gráficos e análises estatísticas, serão empregadas nesse processo.

As referidas normas não definem um método para a realização desta revisão. Cada organização decide como melhor fazer. A pesquisa apresenta propostas específicas para a indústria de autopeças, visando a aplicação de um método dedicado à revisão energética e à identificação do consumo de energia. O método proposto contribui para o controle geral do consumo energético, destacando áreas de maior demanda. Além de proporcionar um embrião que conduza a organização pelo desafiador caminho que leva à adequada implementação e operação de um sistema de gerenciamento de energia.

1.3.1. Objetivos Específicos

A revisão energética retrata o consumo global e setorial da companhia e, para atender ao objetivo proposto há quatro objetivos específicos para realização da revisão energética:

- a) Análise do consumo da energia elétrica passado e presente;
- b) Levantamento dos diferentes usos finais da energia elétrica e identificação dos USE;
- c) Definição e quantificação de variáveis relevantes aplicando métodos estatísticos;
- d) Criação de indicadores de desempenho de energia elétrica que relacionam o uso da energia com o nível de produção;

Para os ambientes setoriais, este estudo concentra em analisar os dados gerados a partir da identificação dos USE no interior de uma fronteira física estabelecida. Entre todos os USE esse trabalho identifica aqueles que apresentam uma combinação de maior consumo de energia elétrica e potencial elevado de melhoria do desempenho energético.

1.3.2. Delimitação

A revisão energética é delimitada em uma empresa multinacional brasileira de fabricação de componentes automotivos. A pesquisa realizada foi dedicada a uma unidade localizada no interior do estado de São Paulo na cidade de Cruzeiro.

Esta pesquisa foi limitada à etapa de revisão energética no que tange a energia elétrica e aos métodos necessários para alcançá-la, sendo parte de um sistema de gestão de energia conforme preconiza as NBR's 50001, 50004 e 50006.

1.4. JUSTIFICATIVAS E QUESTÕES

Dada a importância no cenário energético global, e principalmente no Brasil, o uso da energia elétrica tem apresentado um crescimento expressivo e de forma rápida, que traz pautas como a conservação de energia e eficiência energética para objetos de pesquisas acadêmicas e industriais.

Em síntese, a conservação de energia está relacionada a duas vertentes do consumo e uso, sendo elas: padrões e hábitos, e aspectos estruturais. Já as ações da eficiência energética visam a substituição e adequação tecnológicas. Ambas as ações são partes táticas de um sistema de gestão de energia que visa buscar a melhoria contínua do desempenho energético de uma organização.

Uma indústria automotiva líder no mercado de rodas e componentes estruturais para veículos, precisa engajar com estratégias que garantam a sustentabilidade do seu processo e elevem seu nível de competitividade. Para esse propósito, a revisão energética irá contribuir e desenvolver um referencial energético para a empresa, garantindo um estudo que se compromete com a gestão da energia, reforçando sua imagem pública como organização socialmente responsável e comprometida com a sustentabilidade energética.

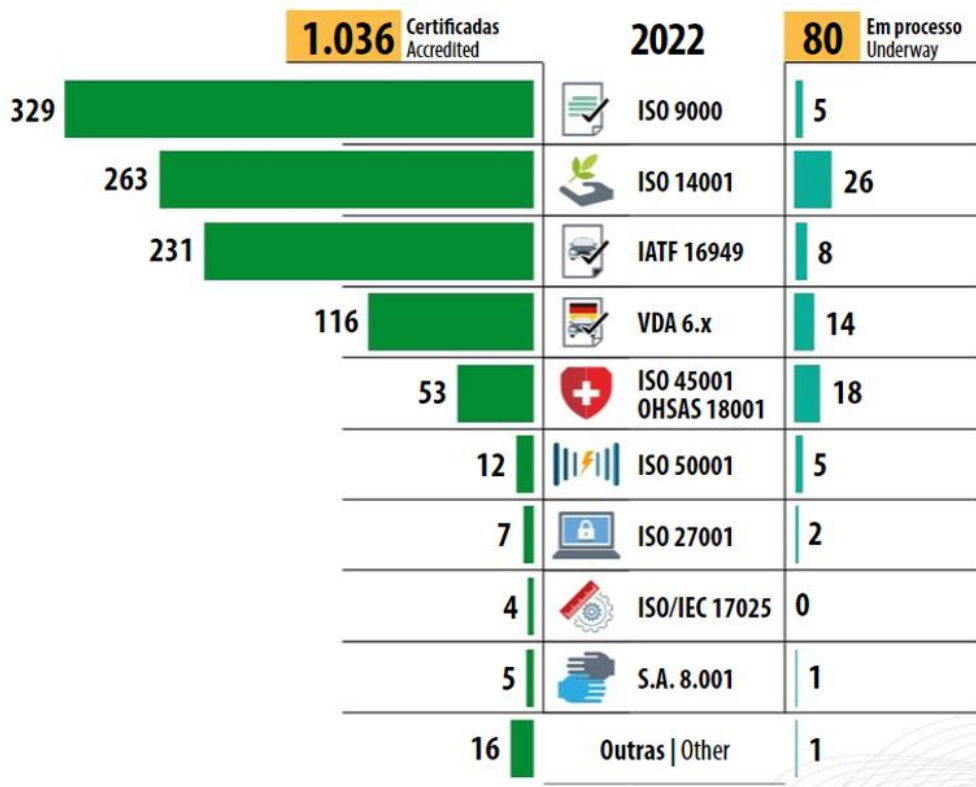
Ações governamentais têm sido mais intensas no quesito sustentabilidade energética, com o objetivo de conter o esgotamento de recursos naturais, sendo destaque a energia elétrica, umas das principais fontes de energia.

Por tanto, a indústria manufatureira vem se aperfeiçoando em sistemas mais eficientes e sustentáveis energeticamente, cujo desenvolvimento de métodos de análises convergem para uma revisão energética, que contribui na preparação da indústria a alcançar este objetivo.

Bunse (2011) afirma que para os governos e empresas manufatureiras, a crise energética e a crescente conscientização ecológica dos clientes colocaram o tema eficiência energética como uma das principais agendas a serem discutidas dentro das organizações.

Existem várias razões para reduzir a intensidade energética além dos objetivos ambientais e econômicos, Menghi (2019) reforça ainda que o tema tem se tornado importante na gestão de produção. A Figura 4 reforça o compromisso do grupo Iochpe Maxion em se preparar no âmbito energético objetivando certificações como a ISO 50001, normativa cujo a relevância no mercado de autopeças passará a ter destaque.

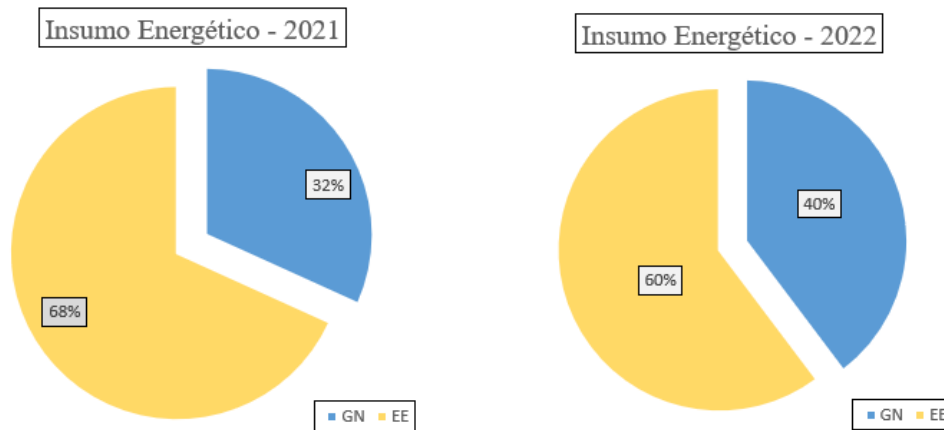
Figura 4 - Certificações das empresas do segmento de autopeças no Brasil



Fonte: Sindipeças (2023)

Em maior parte dos seus processos, as indústrias automotivas emitem CO₂ de forma indireta por meio do seu consumo de eletricidade e gás natural. Ao melhorar o desempenho energético e os custos de energia associados, as organizações podem ser mais competitivas e identificar oportunidades de redução de emissões. A Figura 5 representa o consumo dos principais insumo energético da unidade industrial em estudo nos anos de 2021 e 2022, destacando-se a energia elétrica, objeto de estudo dessa pesquisa para a aplicação da revisão energética.

Figura 5 - Consumo energético por tipo de fonte



Fonte: Elaborada pelo Autor (2023)

A implementação de estudos energéticos pode levar as organizações a atenderem metas gerais de mitigação das mudanças climáticas ao reduzirem suas emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao uso da energia.

A fim de garantir os objetivos propostos nesta pesquisa, as seguintes hipóteses serão investigadas:

- Quais oportunidades de melhoria do desempenho energético podem ser identificadas em uma indústria de autopeças?
- Quais variáveis relevantes afetam o desempenho energético em uma indústria de autopeças?
- No que tange ao desempenho energético, a atual estrutura da companhia é detentora dessa avaliação normativa?

1.4.1. Contribuições Acadêmicas

Estudos envolvendo a revisão energética abordam diferentes pontos de vistas e diferentes campos da engenharia de produção, tornando a abordagem multidisciplinar e associações significativas entre os diversos campos de pesquisas como gestão, qualidade, tecnologia da informação.

A indústria da transformação fez com que a eficiência energética ganhasse destaque na gestão de ativos e, a partir deste fato, surgiram novas tendências que contribuem diretamente para que novos modelos de pesquisas sejam desenvolvidos. Neste sentido, diferentes abordagens têm sido impulsionadas pelo setor energético, com foco em fazer as indústrias

reduzirem as perdas no uso e consumo da energia e aperfeiçoar as produções alinhadas com fontes de energias renováveis (MENGHI et al., 2019).

A pesquisa de revisão energética pode fornecer uma compreensão mais profunda dos processos e sistemas energéticos em diferentes setores industriais, incluindo a análise de tendências de consumo de energia e de mudanças tecnológicas ao longo do tempo.

No que tange à perspectiva metodológica, esta pesquisa apresenta um planejamento abrangente para construir uma base de conhecimento de apoio sólido para o desenvolvimento de novos modelos de revisão energética, sendo no contexto de uma indústria ou não. O Quadro 1 ilustra de forma unificada as possíveis contribuições:

Quadro 1 - Linhas de pesquisa para contribuições acadêmicas

CONTRIBUIÇÕES
<p>Compreensão mais profunda dos processos e sistema energéticos.</p> <p>Identificação de oportunidades de pesquisa e desenvolvimento.</p> <p>Análise de políticas e regulamentações energéticas.</p> <p>Avaliação de impactos ambientais e sociais.</p>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste trabalho é apresentado uma revisão energética desenvolvida por meio de métodos pertencentes a programas de gestão associados a ISO 50001, 50004, 50006 e adaptações resultantes da revisão da literatura. Para isso, esta dissertação está organizada em 07 capítulos conforme segue:

No Capítulo 1 – INTRODUÇÃO sobre a relevância do tema, apresentando os princípios que sustentam a resolução normativa NBR ISO 50001, observa-se o panorama do processo industrial, mostrando-se o cenário nacional e em específico a indústria de autopeças. Também é apresentada as justificativas que motivaram o estudo do tema, o objetivo geral e específico e a estrutura de apresentação desta dissertação.

No Capítulo 2 – REVISÃO NORMATIVA é realizada onde se faz uma análise dos princípios e aplicações das normas da família ABNT ISO NBR 50000. A revisão é feita por meio de uma ampla revisão da literatura com base em trabalhos relevantes que de forma holística contribuem para o tema em desenvolvimento. A revisão geral permitiu que diferentes métodos de aplicação da revisão energética fossem observados e entendido para que o ambiente

de aplicação não se limite ao setor industrial, podendo ser aplicada a diferentes segmentos de organizações.

No Capítulo 3 – PESQUISA AÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS é apresentada a pesquisa-ação, método de pesquisa utilizado nessa dissertação que segundo Bryman (2003) o pesquisador e o cliente colaboram no desenvolvimento de um diagnóstico e para a solução de um problema. Ainda nesse capítulo serão apresentados os dados introdutórios da indústria estudada e de que forma eles se encaixaram no planejamento da pesquisa.

No Capítulo 4 – MÉTODO DESENVOLVIDO aplicado o qual conduziu a pesquisa e disponibiliza informações suficientes para uma análise sólida do modelo de revisão energética em uma indústria de autopeças. Nesse capítulo são apresentadas as etapas fundamentais para a execução da revisão energética em uma indústria do segmento de autopeças. O método desenvolvido se baseia nas diretrizes da norma ABNT ISO NBR 50001 e o no estado da arte de pesquisas relacionadas ao tema.

No Capítulo 5 – RESULTADOS são apresentados em conformidade com o modelo proposto de revisão energética acerca de seus métodos. Centena de milhares de dados foram processados oriundo do consumo de energia elétrica. São dados que após um extenso tratamento fornecem valiosas informações do uso e consumo de energia elétrica e seus principais consumidores. Aqui serão apresentadas as características das instalações da unidade industrial, os dados de consumo de energia elétrica em horários de ponta e fora de ponta, o perfil de comportamento da demanda elétrica e a intensidade energética.

Assim, os IDE são apresentados em conjunto com as variáveis que têm forte influência sobre o consumo e as de menores significância para um melhor direcionamento de trabalhos futuros. Adicionalmente, é exposto modelos para a previsão do consumo de energia, embasados em abordagens temporais e métodos de regressão.

No Capítulo 6 – OPORTUNIDADES de aprimoramento do desempenho energético são destacadas, evidenciando os dois sistemas em análise, a saber, o sistema de ar comprimido e o processo de pintura *E-coat*. O texto expõe de que maneira esses USE influenciam o desempenho global da unidade. Em seguida, são apresentadas ações concretas para a melhoria do desempenho energético no sistema de ar comprimido.

No Capítulo 7 – CONCLUSÕES são apresentadas e sugestões para trabalhos futuros acerca do tema. Na etapa conclusiva, serão apresentados apontamentos específicos para a empresa em estudo, delineando oportunidades tangíveis no sistema de coleta de dados e melhoria no desempenho energético. Estes resultados elevarão a importância do tema, que posteriormente devem ser compartilhados com a alta diretoria, com o intuito de promover uma

abordagem proativa no desenvolvimento e implementação de práticas mais eficientes no âmbito energético. Além disso, a maturidade da gestão de energia na empresa será avaliada com base nos resultados alcançados durante o processo de revisão energética.

Em REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA são listadas as referências utilizadas para embasamento e condução desta pesquisa.

2. REVISÃO NORMATIVA

2.1. FAMÍLIA DE NORMAS ISO 50.0000

Um das estratégias mais promissoras para reduzir a demanda de consumo de energia e os custos associados à sua utilização é a aplicação de um SGE de acordo com a ISO 50001. Ela permite que organizações apliquem procedimentos com auxílio de ferramentas de forma estruturada desde a aquisição de energia até a sua utilização (EL MAJATY et al., 2023).

A ABNT NBR ISO 50001 é baseada no modelo de sistema de gestão de melhoria contínua, também usado para outras normas bem conhecidas, como ISO 90001 ou ISO 14000 (KANNEGANTI et al., 2017).

Conforme delineado por Pinto (2014), a gestão energética vem em auxílio aos procedimentos administrativos existentes em uma indústria possibilitando a organização exercer controle sobre o uso e consumo de energia de maneira sistematizada, visando aprimorar o desempenho energético dos processos. A implementação de uma gestão energética apropriada capacita a organização a determinar a alocação eficiente da energia e, com base nisso, formular estratégias direcionadas à redução do consumo e dos custos associados.

No entendimento de Frozza et al. (2012), os SGE almejam uma compreensão integral do fluxo energético dentro de uma instituição. O propósito central desse enfoque é identificar possíveis influências e áreas suscetíveis a melhorias, destacando a importância de exercer controle sobre o sistema mediante a implementação de ações corretivas.

É relevante observar que, em muitos cenários, a eficácia de um SGE supera a de um programa de eficiência energética isolado, conforme indicado pelas assertivas de Frozza et al. (2012). A abordagem abrangente e duradoura de um SGE é ressaltada como um diferencial significativo. Essa perspectiva implica não apenas na solução de iniciativas pontuais, mas na integração da gestão da energia em diversos processos organizacionais.

Frozza et. al. (2012) e Pinto (2014) destacam que, além da eficácia, o investimento inicial associado à implementação de um SGE é considerado relativamente modesto em comparação aos benefícios resultantes da otimização da eficiência energética nos processos organizacionais. Esse argumento ressalta a relação custo-benefício favorável, encorajando a consideração dos Sistemas de Gestão de Energia como uma estratégia viável para aprimorar a eficiência energética em organizações.

Em suma e de acordo com Frozza et al. (2012), a adoção de um SGE não apenas proporciona uma visão abrangente do fluxo de energia, mas também se destaca como uma

abordagem eficaz e duradoura, apresentando vantagens econômicas substanciais quando comparada a programas isolados de eficiência energética. Essa perspectiva ressalta a relevância dos Sistemas de Gestão de Energia como uma ferramenta estratégica para a otimização do consumo energético e a promoção da sustentabilidade nas organizações.

O gerenciamento de energia foi identificado como uma solução que visa superar as dificuldades e melhorar a eficiência energética, trazendo benefícios econômicos e ambientais com a redução do consumo de energia dentro da organização sem afetar a produtividade (NUNES et al., 2020).

Em uma indústria o SGE pode contribuir intensivamente em:

- Conhecer o perfil de consumo de energia;
- Mapear os sistemas energointensivos;
- Identificar oportunidades de eficiência energética;
- Monitorar os ganhos de eficiência ao longo do tempo.

O SGE é capaz de ampliar a performance energética e trazer benefícios além do tema de energia, por meio da capacitação e integração entre os processos e/ou equipamentos definidos em uma fronteira, quanto na implantação de processos de melhoria contínua.

Barreiras iniciais como desinformação, falta de recursos humanos e de capital, priorização de outros investimentos, precisam ser superadas para que a aplicação das diretrizes fornecidas pela NBR ISO 50001 resulte em ganhos da melhoria do desempenho energético.

Diante da importância da ISO 50001, foi consenso na comunidade internacional que textos normativos adicionais focados em complementar o entendimento da 50001 deveriam ser desenvolvidos. Este conjunto de texto normativo são representados por cinco normas técnicas complementares, sendo todos eles já publicadas no Brasil conforme segue Quadro 2.

É importante a conscientização de toda a estrutura estratégica de uma organização com a autonomia de tomada de decisão, visto que ao longo do desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de energia, pontos importantes podem ser observados e com esse padrão, as organizações não apenas conseguem reduzir seus custos de consumo e produção, mas também demonstram seu compromisso com o desenvolvimento sustentável.

Segundo a ISO 50001, o processo de revisão energética faz parte dos objetivos táticos do gerenciamento de energia, que podem fornecer um diagnóstico organizado do estado atual de sua utilização. A norma orienta uma organização a desenvolver e programar uma política para

identificar áreas com o uso significativo de energia, sendo parte integrante do processo de cumprimento desta (KANNEGANTI et al., 2017).

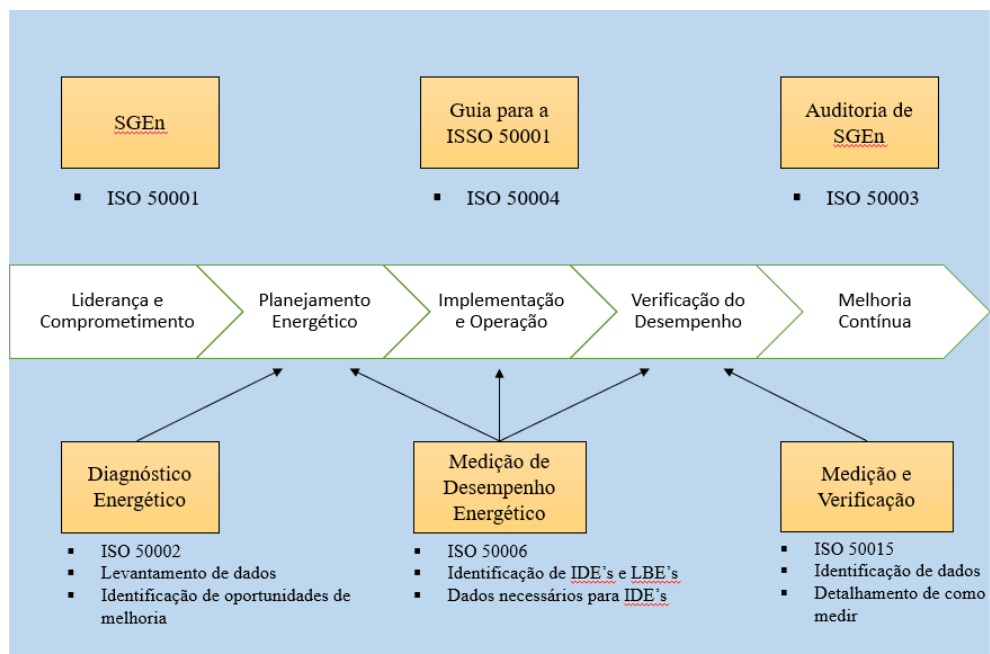
Quadro 2 - Textos em complemento a ISO 50001

TEXTO NORMATIVO	
NORMA	APLICAÇÃO
ABNT NBR ISO 50002	Diagnósticos energéticos – Requisitos com orientação para uso;
ABNT NBR ISO 50003	Sistemas de gestão de energia – Requisitos para organismos de auditoria e certificação de sistemas de gestão de energia
ABNT NBR ISO 50004	Sistemas de gestão de energia – Guia para implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão de energia;
ABNT NBR ISO 50006	Sistema de gestão de energia – Medição do desempenho energético utilizando linhas de base energética (LBE) e indicadores de desempenho energético (IDE) – Princípios gerais e orientações
ABNT NBR ISO 50015	Sistemas de gestão de energia – Medição e verificação do desempenho energético das organizações – Princípios gerais e orientações;

Fonte - Adaptado de <https://www.gov.br/mme/ptr/assuntos/secretarias/spe/iso-50001>

A Figura 6 disponibiliza um resumo das aplicações normativas da família ISO 50000.

Figura 6 - Família ISO 50000

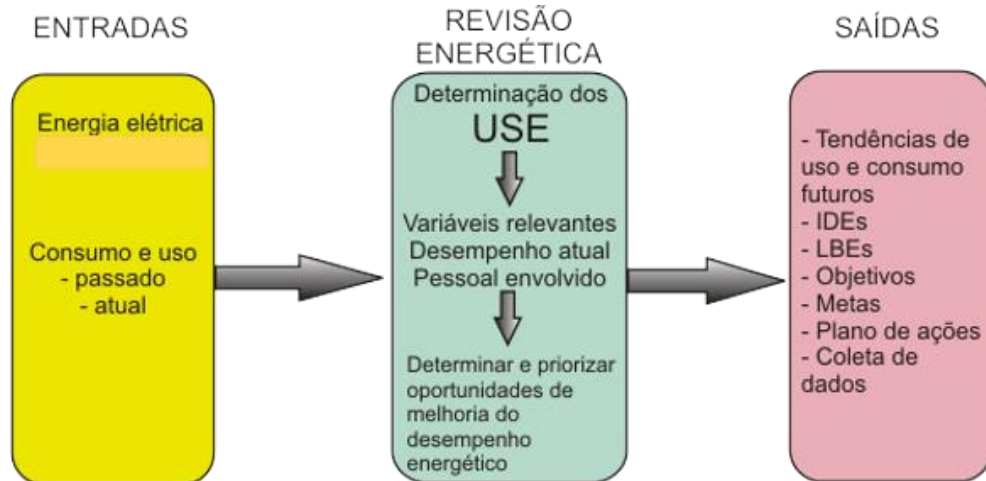


Fonte – Adaptada de <https://www.gov.br/mme/ptr/assuntos/secretarias/spe/iso-50001>.

A Figura 07 nos permite identificar a revisão energética como a parte central de um planejamento tático de um SGE. Ela constitui a parte analítica e técnica do SGE com entradas

e saídas, por tanto, se trata de uma parte crítica do SGE. Os detalhes da Figura 7 serão mais bem detalhados no capítulo 4.

Figura 7 - Representação esquemática da revisão energética



Fonte - ABNT NBR 50001

Ao realizar uma revisão energética pela primeira vez, é importante, nos termos da ISO 50001, que a fase inicial seja a disponibilidade de dados, podendo ser melhorada à medida que a organização ganha mais experiência com o domínio dos dados, sendo energéticos e não energéticos relevantes.

De acordo com a ISO 50001, o consumo de energia deve ser medido com alta precisão, que segundo Fernandes Filho (2018), as medições precisam ser processadas e passar por uma autêntica mineração. Para realizar as medições podem ser usados multimedidores de energia setoriais em caráter temporário ou permanente.

Diante deste contexto, o sistema de coleta de dados deverá estar relacionado aos usuários significativos de energia, avaliando o seu desempenho em conjunto com os Indicadores de Desempenho Energético (KANNEGANTI et al., 2017)

A partir desta perspectiva, indicadores de desempenho de energia, baseados em avaliações técnicas destacam os principais componentes para uma revisão energética: medição, *Key Performance Indicators* (KPI), monitoramento e avaliação e controle (MAY et al., 2017). Além disso, Menghi et al., (2019), valida que KPI's abrangentes tornariam os métodos e ferramentas de avaliação de energia mais fáceis de usar e implementar.

A fim de garantir a melhoria do desempenho energético no setor industrial, a revisão energética está relacionada ao consumo e uso da energia elétrica e a redução de custos, fator chave para aprovação e viabilização de projetos (GONÇALVES; SANTOS, 2019).

Neste contexto, estudos científicos têm sido desenvolvidos para promover a gestão da energia nas indústrias. Abraham (2021) afirma que a gestão energética tem papel fundamental em programas de economia de energia, redução de gases de efeito estufa e benefícios na produtividade por meios da prática de gestão e mudanças tecnológicas.

Os padrões de gerenciamento de energia são diretrizes amplamente aplicáveis, quistos por tarefas como a revisão energética, que transformam a perspectiva dos indicadores de desempenho energético em inúmeras organizações ao redor do mundo, dando-lhes uma ferramenta estratégica para usar sua energia de forma mais eficiente e eficaz (JIN et al., 2021).

Desenvolver métodos simples e abrangentes que visam melhorar a avaliação da energia elétrica no quesito de conservação e uso devem ser explorados para aplicação em diferentes contextos (MENGHI et al., 2019). Segundo Paramonova (2017), ao combinar teorias transversais, que é a capacidade de aprender requisitos teoricamente sistematizados com a questões práticas da realidade, permitem novos modelos analíticos que podem ser desenvolvidos para buscar a melhoria contínua em eficiência energética.

2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

De acordo com o relatório final do balanço energético nacional do ano de 2023, divulgado pela EPE, o consumo de energia elétrica referente ao ano de 2022 foi 2,3% maior que o ano anterior, representando um consumo de 586,1 TWh, com destaque para o setor industrial, que participou com 37,3% do montante do cenário nacional.

O setor industrial emprega mais energia do que qualquer outro setor de uso final. A energia é consumida no setor industrial por um grupo de segmentos, identificados como químicas, ferro e aço, minerais não metálicos, celulose e papel e metais não ferrosos.

Segundo Menghi (2019) a eficiência energética representa uma medida importante para mitigar os impactos ambientais dos processos de fabricação e pode ser considerado como o primeiro passo para uma produção sustentável. Martinez (2019) também afirma que existem ganhos para a indústria em se comprometer com um programa de eficiência energética, vide que o gerenciamento do consumo de energia é uma forma de reduzir seus custos de produção e aumentar sua eficiência.

Existe uma forte relação entre à produção e uso da energia no cenário mundial com o constante aumento da emissão CO_2 , isto devido ao grande uso de energia estar relacionado também as operações industriais. O desperdício contribui diretamente para este cenário, sendo

que da totalidade do uso energia no setor industrial, uma ordem de 20% a 40% correspondem ao uso desnecessário de energia elétrica (FYSIKOPOULOS et al., 2012).

O processo manufatureiro da indústria consome recursos renováveis e não renováveis, produzindo um impacto significativo ao meio ambiente. Com base neste fato, o interesse das instituições governamentais e das indústrias tem mostrado crescente na procura de novas tecnologias e estratégias que permitam reduzir os custos energéticos e de produção (DIAZ C.; OCAMPO-MARTINEZ, 2019).

Ainda segundo Diaz e Ocampo-Martinez (2019) na dimensão ambiental, estudos se concentram no desenvolvimento de tecnologias com o foco em materiais renováveis ou menos contaminantes. Por outro lado, em aspectos tecnológicos e econômicos o foco é na redução do consumo de energia. Ambas as perspectivas têm como previsão ganhos na eficiência energética nos componentes do sistema manufatureiro.

A melhoria da eficiência energética em sistemas industriais é um dos pressupostos da gestão energética, visto que pode haver confusão entre o termo eficiência energética e conservação de energia. A conservação de energia possui uma definição simples que é evitar o desperdício de energia, como por exemplo, reduzir um nível de aquecimento de um tanque de lavagem industrial ou apagar luzes em períodos sem operação. A eficiência energética, por sua vez, é a razão entre os serviços que dependem de energia e a entrada de energia (SVENSSON; PARAMONOVA, 2017).

A equação (01) representa a eficiência energética:

$$Eficiência\ Energética = \left(\frac{Output\ Útil}{Input\ de\ Energia} \right) \times 100\% \quad (1)$$

A eficiência energética concentra-se em práticas que contribuem para um processo produtivo, serviços ou resultados com menor consumo de energia possível. Trata-se de utilizar tecnologias, processos e sistemas mais avançados e otimizados para reduzir as perdas e desperdícios de energia durante a conversão, distribuição e uso final.

Objetivo principal da aplicação dos conceitos da eficiência energética é elevar a saída desejada enquanto diminui a entrada de energia necessária para alcançar esses resultados.

“O potencial de eficiência energética de um único motor elétrico pode ser relativamente pequeno, mas o potencial de eficiência energética de todo o sistema do motor (ou unidade operacional que a inclui) pode ser

“muito melhorada por meio de práticas de gerenciamento do sistema.”
(GONÇALVES; SANTOS, 2019)

Parte do pacote de medidas de eficiência, indústrias vem aplicando o método de modelagem de previsão de energia, sendo orientadas por meio de medidores que realizam o monitoramento da carga elétrica e levando a uma melhor compreensão do consumo de energia, o que permite implementar ações de melhoria e detecção precoce de anomalias no sistema (BERMEO-AYERBE et al., 2022).

No ambiente fabril existem barreiras atreladas a questão cultural e estrutural que podem ser melhor desenvolvidas com o apoio da diretoria, pois com apenas ações discretas não é o suficiente para uma melhoria energética. Além disso, as prioridades concorrentes, falta de estrutura e disciplina com a realização de atividades de eficiência energética dificultam a adoção de uma perspectiva de longo prazo, dificultando a capacidade de implementar a potência ganho da eficiência energética (SVENSSON; PARAMONOVA, 2017).

Um dos desafios da utilização de medidas de eficiência energética baseadas em estimativas teóricas de projetos de engenharia é que podem ser facilmente rejeitadas como sendo economicamente inviáveis.

2.2.1. Intensidade Energética

A intensidade energética é uma métrica associado a forma com que a energia está sendo empregada e gerenciada em sistema e processos.

Os índices de intensidade fornecem métricas para medir a eficiência energética e o desempenho energético em comparação com uma linha de base. Boyd (2017) afirma que para medir a intensidade é preciso de uma medida de energia e de uma grandeza para o denominador, podendo estar relacionado a uma medida de produção, como por exemplo: quantidade consumida, quantidade horas trabalhadas, quantidade peças produzidas etc.

Um dos objetivos de se obter os índices de intensidade energética é para que seja possível realizar comparações entre linhas de bases e até mesmo entre unidades industriais.

A equação (2) representa a intensidade energética:

$$\text{Intensidade Energética} = \frac{\text{Consumo de Energia}}{\text{Unidade de Produção}} \quad (2)$$

Em síntese, a intensidade se relaciona com a quantidade de energia usada em uma atividade em específico, enquanto a eficiência se concentra em como essa energia é utilizada, tornando os processos, sistemas e dispositivos mais eficientes seja através de tecnologias mais avançadas e melhoras práticas no processo produtivo.

2.3. CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

A conservação de energia é um processo complementar da eficiência energética, cujo seu objetivo é a redução do consumo de energia eliminando os desperdícios e preservar os recursos energéticos.

A conservação de energia é classificada pela ISO 50001 como um processo contínuo que envolve a identificação de oportunidades para melhorar a eficiência energética e reduzir o consumo de energia em uma organização, bem como a implementação de ações para aproveitar essas oportunidades.

Segundo a ISO 50001, a conservação de energia é sequenciada em quatro etapas conforme segue Quadro 3.

Quadro 3 - Conservação de energia

ETAPAS
I. Identificação de oportunidades de conservação de energia; II. Estabelecimento de objetivos e metas de conservação de energia; III. Implementação de ações de conservação de energia; IV. Monitoramento e análise de resultados;

Fonte – Adaptado da ISO 50001 (2018)

No contexto industrial brasileiro, o uso consciente da energia elétrica resulta do conjunto de estratégias responsáveis pela redução de perdas e racionalização técnico-econômica dos fatores de produção, evidenciando a importância do suprimento de eletricidade no ciclo do processo produtivo.

Em uma indústria, o modo imediato para agir em relação a conservação de energia é tratar o desperdício atentando-se para os bons hábitos de construção e manutenção das instalações. Novas instalações, como por exemplo, a construção de uma área industrial, podem ser projetadas com o aproveitamento da incidência da luz natural e a troca de colar do prédio com o ambiente externo, evitando a permanência do sistema de iluminação ligado por mais tempo e uso excessivo de ventiladores industriais.

Um segundo modo de se evitar o desperdício segundo Filippo Filho (2018), está relacionado a estrutura do uso e consumo da energia elétrica e por meio de substituição de tecnologias, com objetivo de ter o mesmo uso de energia com um consumo menor.

As implicações da política ambiental do menor uso de energia levaram ao desenvolvimento de programas governamentais voluntários para eficiência energética, em virtude da ausência ou em complemento de outros tipos de política climática. Esses programas surgiram no início da década de 1990 e se expandiram nos EUA (Estados Unidos da América) com a introdução do EPA (*Environmental Protection Agency*) criando o *Energy Star for Industry* (BOYD, 2014).

Programas que visam incentivar o uso eficiente de energia foram criados pelo governo brasileiro, destacando-se o Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), criado em 1985 pelo Ministério de Minas e Energia (MME), vinculado a Eletrobras. Com o objetivo de promover a racionalização do consumo de energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos e os investimentos setoriais, contribuindo de forma direta para a eficiência energética (BUCCIARI, 2014).

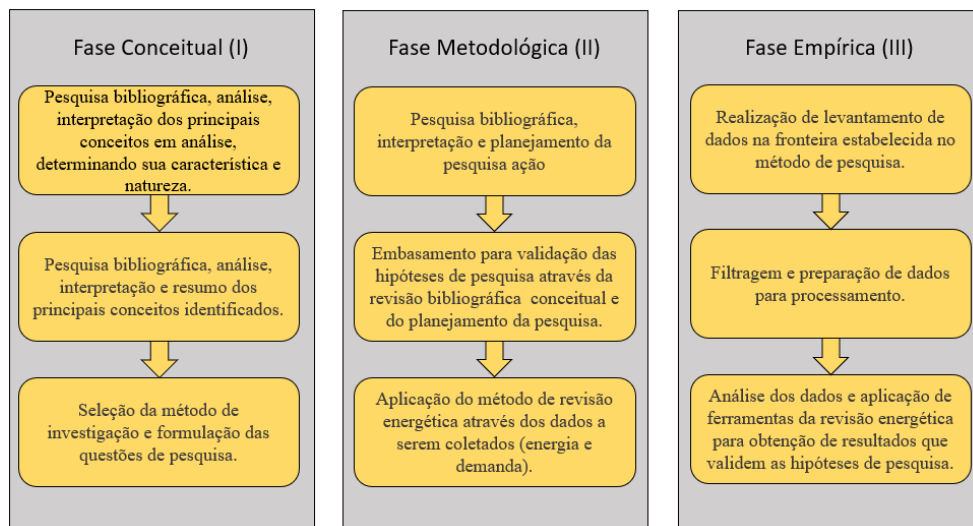
Em síntese, a conservação de energia e a eficiência energética são dois conceitos relacionados, mas distintos, ambos conceitos são importantes para a utilização de recursos energéticos e na mitigação dos impactos ambientais no processo de produção e consumo de energia.

3. MÉTODO DA PESQUISA

Esta pesquisa tem o propósito de analisar os dados referentes ao uso e consumo da energia elétrica em uma unidade industrial de autopeças, que permitam realizar uma revisão energética. Pretende responder às questões de como a identificação no uso significativo da energia (USE) podem contribuir para uma revisão energética e quais elementos conceituais e atividades podem contribuir para a melhoria de um método de revisão.

O diagrama do método de investigação vem auxílio para que todas as etapas possam se completar e gerar conhecimento para sequência da pesquisa. A Figura 8 permite observar a evolução entre etapas.

Figura 8 - Diagrama do método de investigação



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Quanto à abordagem deste trabalho, trata-se de uma pesquisa exploratória e quantitativa. Exploratória no sentido de buscar as informações relacionadas ao perfil energético em uma indústria de autopeças, pois não existe maturidade o suficiente sobre o tema, ajudando a definir e delimitar a abordagem. Quantitativa pelo fato de amostras estarem submetidas a procedimento metodológicos adequados, além da mensuração de dados pelo tempo e pela quantidade a serem observados (RANGEL et al., 2018).

Bryman (1989) afirma que a pesquisa-ação colabora no desenvolvimento de um diagnóstico e na solução de um problema, por meio de descobertas resultantes que irão contribuir na estratégia de pesquisa.

Um ponto de vista interessante para os estudos que exploram a realidade da indústria é que os problemas já são conhecidos pelo pesquisador e necessitam de solução (MELLO et al., 2012). Na pesquisa-ação, a investigação parte de um problema específico identificado em um ambiente real, o que demanda uma descrição tanto do problema quanto do contexto em que ele ocorre.

A pesquisa-ação é um método de pesquisa que tem o duplo objetivo de pesquisa e ação:

- Pesquisa para ampliar o conhecimento específico e científico;
- Ação para promover uma melhoria na organização ou comunidade onde a pesquisa está sendo realizada (Dick, 1993; Kock et al., 1997).

Apuradas as definições citadas acima, este projeto tem como orientação e condução o método de pesquisa-ação, na qual foram considerados as seguintes questões: o objetivo da pesquisa, o envolvimento do pesquisador no ambiente onde a pesquisa se realiza e a identificação de um problema e oportunidades de melhorias nesse ambiente específico.

3.1. APURAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA-AÇÃO

As atividades e etapas propostas serão realizadas em conjunto com as áreas focais dentro da organização, sendo apresentadas as preposições como causas e efeitos, fazendo com que o conhecimento se transforme em informação, sendo o foco a revisão energética com um diagnóstico contemplando métodos de avaliação do uso e consumo da energia elétrica.

A organização a ser estudada é líder mundial em fabricação de rodas para veículos comerciais e fora de estrada, com parte significativa do mercado de autopeças em fabricação de componentes estruturais para caminhões e ônibus. Para garantir tal conceituação a organização é provida de uma potência instalada de equipamentos elétricos de 52 MVA, os quais resultam em um consumo médio mensal de 6.992.000 kWh/mês.

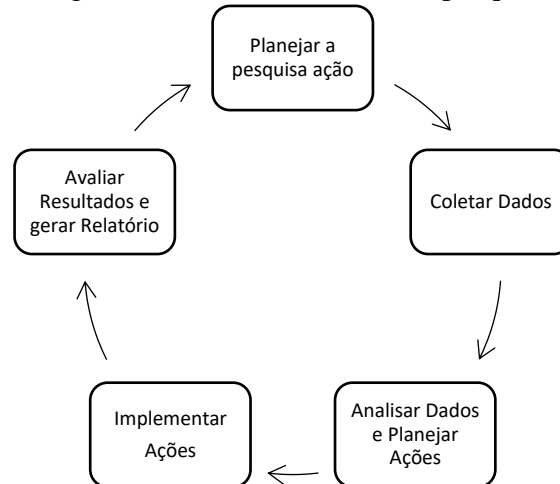
Esta conceituada organização está buscando por meios de etapas a formulação de uma revisão energética, a fim de fomentar o plano diretor da empresa alinhado com um processo produtivo mais sustentável e comprometido com a redução do carbono.

Problemas práticos com contextos específicos são características do método pesquisa-ação, portanto, o método irá sustentar a revisão energética em sintonia com as premissas normativas.

O clico de pesquisa é apresentado conforme segue a Figura 9, no qual o projeto tende-se a apresentar a situação atual da empresa em relação ao desempenho energético, mas não

realizando intervenções, no entanto, serão relatadas como hipótese as ações que poderão ser aplicadas objetivando uma possível comparação de dados do estado da energia atual com os dados que poderão sofrer mudanças caso as hipóteses sejam aplicadas.

Figura 9 - Fluxo do método de pesquisa



Fonte: Adaptada de Westbrook (1995), Coughlan e Coughlan (2002) e Thiollent (2007).

As ações que compreendem o método de pesquisa-ação voltadas à aplicação de uma revisão energética são ilustradas no Quadro 4, no qual tem-se uma abordagem participativa no sentido de coleta de dados junto as áreas produtivas e colaborativa com foco em desenvolver um novo padrão de entendimento da energia elétrica utilizada na indústria automotiva.

Quadro 4 - Método de pesquisa

MÉTODO DE PESQUISA	
FASE	DESENVOLVIMENTO
Planejamento da pesquisa ação	Exploratória – Coleta de dados do consumo com base na implantação de medidores para uma base de dados, estabelecendo a fronteira do que será estudado.
Coletar dados	Medidores de energia com parâmetros pré-estabelecidos por um período específico durante os anos de 2019, 2021 e 2022.
Analisar dados e planejar ações	Filtragem dos dados, preparação e processamento (obtenção de séries plurianuais, mensais e diárias do consumo e demanda – IDE), análise de dados (sazonalização, modulação, consumo inativo, estouro de demandas).
Implementar ações	Relatar como hipótese as ações que poderão ser aplicadas e que contribuam com o desempenho energético.
Avaliar resultado e gerar relatório	Identificação dos USE, propostas de IDE, planos de ação e metas. Gerar conclusão da maturidade da empresa quanto a Revisão Energética.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.2. PROCEDIMENTOS DO MÉTODO DE PESQUISA

A investigação dos principais trabalhos relevantes sobre revisão energética foi realizada utilizando palavras chaves como eficiência energética industrial, revisão energética ISO 50001 e métodos para revisão energética na indústria automotiva.

As pesquisas que compõem a revisão bibliográfica vêm sendo realizadas por meio de bancos de dados online de literatura científica que coletam dados acadêmicos e estudos publicados em periódicos como *Web of Science* e *SCOPUS*.

Alguns critérios de inclusão e exclusão foram adotados a fim de direcionar os artigos mais relevantes da literatura científica. Especificamente, a pesquisa foi limitada a artigos com as seguintes características: artigos de revisão, publicações entre o ano de 2015 a 2022 e associações ao termo engenharia de manufatura, engenharia industrial, conservação de energia, eficiência energética e gerenciamento energético. Artigos com relevância no tema anteriores a 2015 foram estudados de forma a contribuir na formação de ideias, no entanto, não contabilizam na revisão bibliométrica.

Todos os outros tipos de publicação foram excluídos devido à não relação com a área industrial. Também foram excluídos artigos não escritos em inglês.

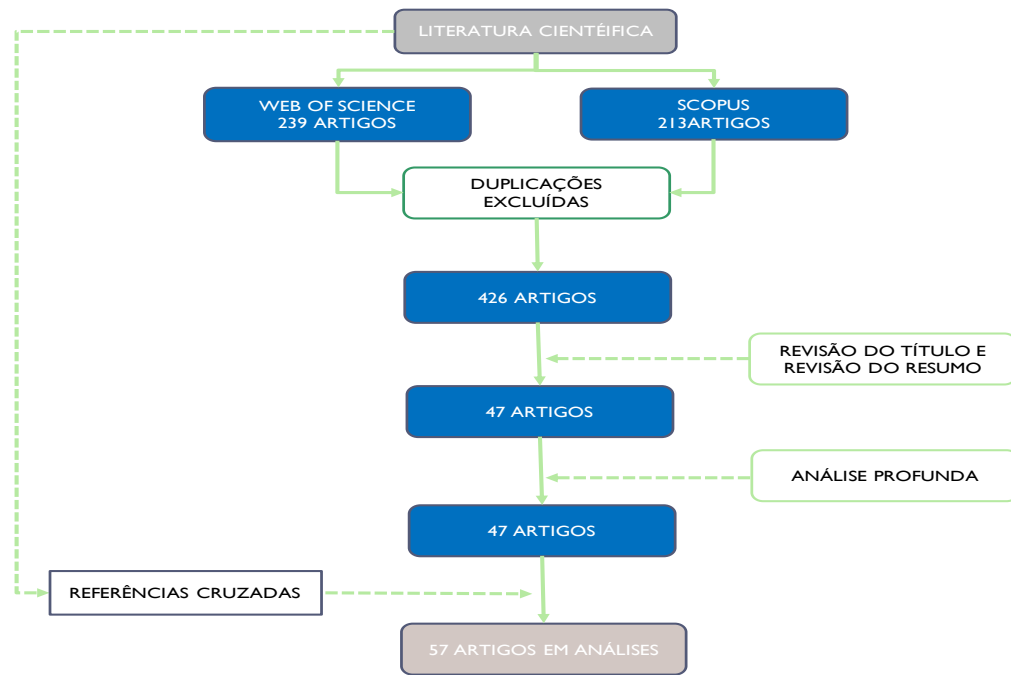
Os artigos foram escolhidos com base em sua relevância em relação ao tema do projeto. Foram excluídos artigos que focam apenas em equipamentos, bem como artigos que focam em questões financeiras e políticas em vez de questões associados à revisão energética.

A revisão de literatura realizada em artigos, publicações e dissertações permitiu direcionar o estudo a realizar uma avaliação do método praticado e a indicar conceitos para aprimoramento.

O método do processo de pesquisa sistemática, juntamente com as principais etapas, está ilustrado na Figura 10. Como resultado, 57 artigos foram selecionados e foram objetos de estudo de uma análise mais detalhada.

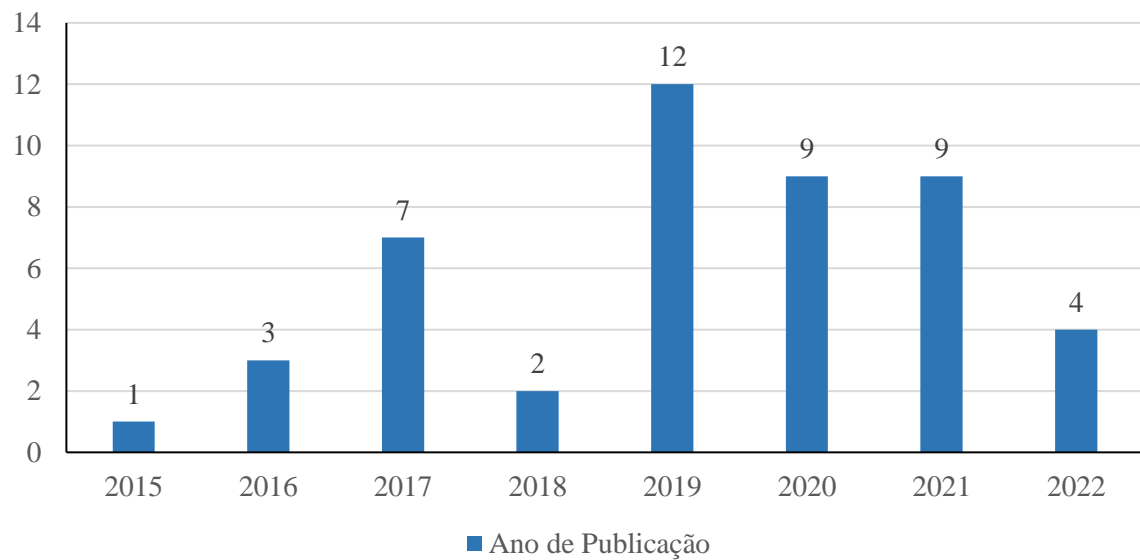
A Figura 11 permite observar a distribuição temporal dos artigos selecionados. A maioria dos artigos estão concentrados nos anos de 2019, 2020 e 2021, destacando o crescente interesse por novos métodos e ferramentas para melhorarem a eficiência energética, sendo elas por questões relacionadas a redução de carbono, sustentabilidade e redução de custos.

Figura 10 - Fluxo da pesquisa da leitura científica



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Figura 11 - Distribuição dos 47 artigos selecionados ao longo do período



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

4. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE REVISÃO ENERGÉTICA

Para o tratamento das informações que foram utilizadas na realização da revisão energética foram respeitadas as orientações e requisitos das normas contidos no Quadro 5.

Quadro 5 - Referências normativas

ABNT NBR ISO 50001	
REQUISITO	ASSUNTO
I	Revisão Energética
II	Indicadores de Desempenho Energético (IDE)
III	Linha de Base Energética (LBE)
IV	Planejamento para Coleta de Dados Energéticos
ABNR NBR ISO 50006	
REQUISITO	ASSUNTO
I	Resumo Geral
II	Obtenção de informações relevantes ao desempenho energético a partir da revisão energética
III	Identificação dos Indicadores de Desempenho Energético
IV	Estabelecimento da Linha de Base Energética

Fonte: Adaptado ABNT NBR ISO 50001 (2018) e 50006 (2016)

4.1. TERMO E DEFINIÇÕES

Dos termos e definições importantes que constam no texto da norma, é possível destacar:

- **Melhoria Contínua** - processo recorrente que resulta em melhoria de desempenho energético e do sistema de gestão de energia;

- **SGE -Sistema de Gestão de energia** - conjunto de elementos inter-relacionados ou interativos para estabelecer uma política energética e objetivos, e processos e procedimentos para atingir tais objetivos;

- **Desempenho energético** - Resultado(s) mensurável(is) relacionado(s) à eficiência energética, ao uso de energia (ventilação, iluminação, aquecimento, resfriamento, transporte, processos, dentre outros) e ao consumo de energia;

- **IDE - Índice de Desempenho Energético** - Trata-se do valor ou medida quantitativa utilizado pela ISO 50001 para quantificar o desempenho energético definido pela organização. Os resultados do desempenho energéticos podem ser expressos por uma métrica simples ou por uma razão entre valores medidos (FILIPPO FILHO, 2018). Para se avaliar a situação real do desempenho energético é necessário compará-lo com a LBE correspondente, avaliando se a meta energética prevista está ou não sendo atendida. Os IDE serão tratados em bases temporais com o objetivo de identificar padrões não aleatórios na série temporal de uma série de interesse,

e a observação deste comportamento podendo permitir fazer previsões futuras, orientando a tomada de decisões;

- **LBE - Linha de Base Energética** - referência quantitativa que fornece um valor para comparação com os índices de desempenho energético. Essa comparação permite acompanhar a evolução do desempenho energético. Para isso, deve-se estabelecer um histórico do IDE e, com base nele, elaborar uma previsão de comportamento esperado do IDE. Assim, as LBEs podem ser apresentadas por meio de séries temporais ou relações causais;

- **Revisão energética** - determinação do desempenho energético da organização com base em dados e em outras informações, conduzindo à identificação dos USEs e das oportunidades de melhoria do desempenho energético;

- **SGE - Sistema de Gestão da Energia** – diretrizes com foco na melhoria contínua em fluxo de energia;

- **USE - Uso Significativo de Energia** - uso de energia responsável por substancial consumo de energia e/ou que ofereça considerável potencial para melhoria do desempenho energético.

Outros termos comumente utilizados em estudo energéticos são explicados na sequência. Assim, pretende-se uma transferência de conhecimento mais assertiva.

O consumo de energia elétrica é a medida total da eletricidade utilizada por uma instalação ao longo de um período específico, geralmente expresso em quilowatt-hora (kWh). Este indicador essencial é central para avaliar a eficiência no uso de energia em diferentes setores. A demanda elétrica, por outro lado, representa a taxa máxima na qual a energia está sendo consumida em um momento específico. Medida em kilowatt (kW), a demanda é crucial para dimensionar a capacidade de sistemas elétricos.

O fator de carga entra em cena como a relação entre o consumo real de energia e a demanda máxima possível. Um fator de carga elevado indica uma utilização eficiente da capacidade instalada, sendo um parâmetro de relevância na gestão energética.

Explorando além, a modulação refere-se à variação controlada da potência, permitindo redução e economia de energia em sistemas elétricos. Essa prática é comumente aplicada sistema de climatização e processos industriais.

No que tange às penalidades, estas estão associadas ao não cumprimento de normas ou condições estabelecidas, podendo envolver multas ou encargos adicionais, proporcionando um incentivo ao cumprimento de regulamentos.

Por fim, a diferenciação entre os períodos de ponta e fora de ponta destaca a variação da demanda ao longo do dia. Tarifas diferenciadas visam incentivar o consumo fora do horário de pico, alinhando-se com estratégias de gestão de carga e distribuição equitativa na rede elétrica.

4.2. REVISÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS

Como preconiza a ISO 50006, a revisão energética permite analisar o uso, eficiência e consumo de energia elétrica com base em medições, sendo avaliado o uso e consumo da energia passado e atual. Estas providências têm por objetivo identificar as áreas de USE e avaliar as oportunidades de melhoria.

O processo de revisão energética nas organizações permite sistemas e processos buscarem a melhoria contínua no desempenho energético, as normas ISO 50001, 50004 e 50006, apresentam requisitos para um processo sistêmico e uso de ferramentas como linhas de base de energia, linhas de metas e indicadores de desempenho energético.

Por meio da Figura 12 são listadas as atividades de revisão energética a serem desenvolvidas com base nas diretrizes da ISO 50006 que servirá de orientação inicial e planejamento do projeto. A revisão energética constitui a determinação do desempenho energético da organização com em dados ou outras informações que conduzam a identificação de oportunidades de melhoria (GEDRA et al., 2015)

Seguindo o princípio da norma ISO 50001, sobre como realizar uma revisão energética, a sequência abaixo complementarará o modelo da Figura 12, devendo ser explorada com intuito de geração de dados para análises de causas e efeitos.

- Determinação de parâmetros do consumo, demanda de ponta e fora de ponta, Fator de Carga (FC), modulação, penalidades;
- Segmentação do consumo por períodos ativos e inativos da produção e obtenção da curva de carga característica;
- Estudo do uso passado e atual da energia;
- Determinação de critérios na priorização na escolha das áreas a serem observadas.

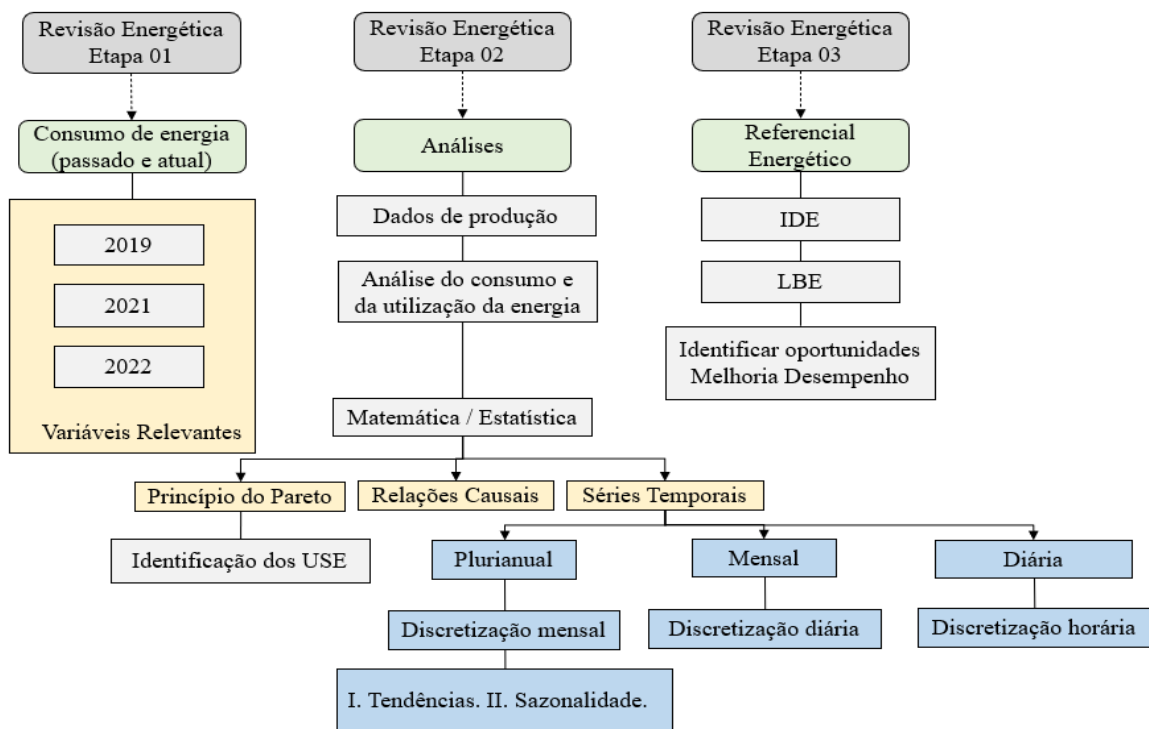
Como parte do planejamento estratégico e complemento as tarefas da Figura 12, foram desenvolvidas três etapas que auxiliaram no desenvolvimento da revisão energética, vide Figura 13.

Figura 12 - Requisitos da revisão energética

REVISÃO ENERGÉTICA	
TAREFAS	REQUISITOS
a) Analisar o uso, eficiência e consumo de energia com base em medições e outros dados. b) Com base na análise do uso, eficiência e consumo de energia, identificar as áreas do USE.	a1) avaliar o uso e consumo de energia passados e presente b1) identificar as instalações, equipamentos, sistema, processos e pessoal que trabalham para a organização, ou em nome dela, que afetam significativamente o uso e consumo de energia. b2) identificar outras variáveis relevantes que afetam os USE. b3) determinar o desempenho energético atual de instalações, equipamentos, sistemas e processos relacionados aos USE identificados. b4) estimar o uso e consumo de energia futuro.

Fonte: Adaptada de ISO 50006 (2016)

Figura 13 - Atividades da revisão energética



Fonte: Adaptada de ISO 50006 (2016)

O método é estruturado em 03 três etapas iniciais. Para cada etapa há um conjunto de fases sequenciadas e para cada fase há uma sequência de atividades, cujo objetivo é explorar ao máximo os dados a serem coletados.

A etapa 01 retrata o perfil energético da empresa com base no consumo de energia passado e atual, tendo como principal fronteira toda a unidade industrial, para isso é preciso

que se tenha um histórico de medições. Os anos que foram avaliados são apresentados na Figura 13 e são tratados em base mensal. Ainda na etapa 01, foi feita uma análise nos termos de conexão e uso do sistema de distribuição de energia, segundo a resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 1000/2021.

Em seguida, na etapa 02, foram definidas fronteiras internas como processos, equipamentos, sistemas e até mesmo edificações, com o objetivo principal de identificar USE. Nessa fase também foram gerados dados que advêm de um histórico de medições, que somados aos dados coletados na etapa 01 foram processados de forma analítica e estatística com objetivo de estabelecer IDE.

Na etapa 3, fazendo uma analogia a estrutura de trabalho da revisão energética, se tem as saídas, onde foi analisado o desempenho energético da unidade industrial como um todo e dos USE. As análises tiveram como sustentação os IDE e suas respectivas LBE. Foram dessas análises que hipóteses de trabalhos futuros para a melhoria do desempenho energético saíram, bem como a identificação de variáveis relevantes que afetam o uso e consumo da energia elétrica.

A definição de Uso Significativo de Energia é uma parte essencial da etapa de revisão energética. Utilização de energia que representa uma parte significativa do consumo de energia e/ou oferece um potencial considerável para melhoria do desempenho energético (EL MAJATY et al., 2023).

Trata-se de um uso final responsável por substancial consumo de energia e/ou que apresente considerável potencial para melhoria de desempenho energético.

Para a identificação dos USE foram estabelecidas fronteiras funcionais, para fins de avaliação do USO e CONSUMO de energia. O fluxo de energia pelas fronteiras irá exigir medição direta (contínua ou temporária), através de medidores de energia elétrica.

As fronteiras fixas podem ser das seguintes naturezas: sistemas / utilidades (produção de ar comprimido, água gelada, vapor, ar-condicionado, vapor etc.), equipamentos (motor elétrico, compressor, caldeira etc.) ou processos. Também podendo ter a planta industrial inteira como uma única fronteira. Fernandes Filho (2018), afirma que o consumo de energia é influenciado por diversas variáveis, sendo necessário identificá-las e realizar um tratamento estatístico.

Integrando as etapas prescritas, os resultados expostos na próxima seção foram alinhados com o referencial energético, sendo impulsionados conforme a sequência estabelecida:

- Trienal com discretização mensal;
- Mensal com discretização diária;
- Diária com discretização horária.

A análise anual com discretizações mensais têm como objetivo observar a presença do componente sazonal nos dados observados. Já as análises as mensais em base diária possuem a característica de identificar o padrão do uso da energia elétrica, sendo relevantes para algumas finalidades, tais como: gestão de custos, planejamento de recursos, eficiência energética e previsão de demanda. Por último, uma análise com a discretização horária permite observar a modulação das cargas elétricas pertencentes a uma instalação, isso permite um nível de granularidade ainda mais detalhado, contribuindo para uma melhor gestão de picos de demanda, gestão da energia em tempo real, previsão de demanda a curto prazo e o monitoramento de eventos anômalos.

O estudo das discretizações são dados importantes que auxiliam no planejamento energético para fazer com que a sazonalização funcione dentro da empresa. O entendimento da sazonalização tem função importante dentro do contexto energético, possibilitando a alocação de energia em pontos e períodos estratégicos ao longo do ano, fazendo com que períodos do ano com maior consumo de energia receba o maior volume e, em contrapartida, onde há baixa consumação, funcionará com menos energia.

O resultado desta análise evita com que a companhia tenha que lidar com faltas ou desperdícios de energia elétrica.

O objetivo principal do referencial energético é apresentar uma base de comparação e/ou um padrão para medir e avaliar características relacionadas a energia elétrica, fornecendo um ponto de referência para análise e tomada de decisão. Portanto, essa visão extremamente detalhada é valiosa para o sistema de gestão de energia.

O referencial energético foi aplicado na apuração do IDE, que de modo geral, podem ser utilizados em intervalos de tempo do interesse do gestor energético. Fillipo, Filho (2018) afirma que para alta direção da organização os dados sejam organizados de forma mensal e de forma horária ou diária para o pessoal da operação.

O modelo proposto pretende fornecer, de forma clara e eficiente, a aplicação do método de revisão energética integrando recursos técnicos e análises de engenharia, permitindo em longo prazo a melhoria contínua de eficiência energética, merecendo mais pesquisas e discussões em trabalhos futuros.

Para auxiliar no planejamento e parte integrante da revisão energética, foi realizado um diagnóstico preliminar no departamento de Instalações de uma empresa do setor metal mecânico, onde as perguntas foram elaboradas com base na ISO 50001 e disponibilizadas no Quadro 6. Foi realizado com um total de quatro participantes de cargos de liderança, um gerente de manutenção e três supervisores de manutenção.

Foi verificado que embora a gestão esteja comprometida com a redução do custo de energia, não há abordagens suficientes da importância do tema que contribuam para a disseminação interna do assunto.

Quadro 6 - Questionário energético

ITEM	PERGUNTAS	STATUS
I	A alta direção/administração está comprometida com a redução de custos de energia	Sim
II	Existe uma política energética aprovada em vigor?	Não
III	As funções, responsabilidades e autoridades foram identificadas para todas as pessoas que influenciam o uso significativo de energia e isso está documentado?	Não
IV	Os usos significativos de energia foram quantificados e documentados?	Não
V	Foi estabelecida uma linha de base de desempenho energético em relação à qual o progresso pode ser medido?	Não
VI	Os indicadores ou métricas foram identificados para usar na medição do progresso em relação à sua linha de base?	Não
VII	Os objetivos e metas de energia da organização foram identificados e documentados?	Não
VIII	Planos de ação de energia foram estabelecidos?	Não
IX	Existem planos de ação para implementação de uma revisão energética?	Não

Fonte: Adaptado de ISO 50001 (2018)

Com base no resultado obtido na autoavaliação, ficou entendida a necessidade de fomentar uma revisão energética, sendo considerada a fonte de energia elétrica como base deste estudo e a mais significativa. Assim, foram considerados os meses dos anos 2019 a 2022 como os períodos a serem observados, tendo como exclusão o ano de 2020 devido a pandemia do COVID-19.

Enfatiza-se que, como proposta de melhoria do uso e consumo da energia elétrica, a utilização do conceito revisão energética também pode ser aplicada a outras fontes de energia, como por exemplo o gás natural, pois leva em consideração a economia direta, a eficácia da conversão de energia e os critérios de custo-benefício.

4.3. COLETA DE DADOS

O consumo de energia elétrica normalmente é feito por medidores instalados de forma permanente ou temporária. Nessa dissertação foram utilizados os medidores como fonte de

dados para observar a grandezas investigadas pertencentes as instalações que serão apresentadas no capítulo seguinte.

Foram coletados dados em dois perfis diferentes de medidores e método de instalação. Para a obtenção dos dados do consumo de energia elétrica geral da unidade industrial foram coletadas grandezas de três medidores, ambos instalados nos alimentadores principais da fábrica e em 13,2kV, média tensão.

Para a coleta de dados no âmbito setorial foram utilizados medidores de energia instalados nas subestações internas conectados em baixa tensão, que quando associados devem medir uma grandeza de consumo com uma precisão de até 95% em comparação aos medidores dos alimentadores principais. A razão principal são as perdas nos transformadores de média e baixa tensão, além das perdas nos circuitos de distribuição e medidores de diferentes fabricantes.

Todas as subestações são equipadas com medidores, responsáveis por monitorar diversas grandezas elétricas que contribuem para um sistema de gerenciamento de energia, são instalados por transformador e por equipamentos com o consumo de energia expressivo, como por exemplo, os compressores de ar.

Os medidores utilizados são do modelo Konect, do fabricante Kron. Existem 63 parâmetros programáveis para realização de leitura, incluindo corrente, tensão, frequência, consumo, potência e outros. Todas as medições são True RMS, que significa valor eficaz verdadeiro. A fim de obter os dados para essa dissertação foi realizada a configuração dos parâmetros para esses medidores conforme segue Quadro 07.

Ainda sobre o medidor de energia escolhido, ele pode ser aplicado em baixa, média ou alta tensão, mediante a programação de esquemas de ligação e das relações dos transformadores de potencial e de corrente, nessa pesquisa os medidores são instalados em baixa e média tensão.

Como parte para o levantamento de dados para a dissertação, as grandezas elétricas foram coletadas e avaliadas, tendo seus registros a cada 15 minutos igualmente a base de medição da concessionária de energia aplicada em seu medidor principal. O intervalo de integração do medidor pode ser alterado conforme necessidade do pesquisador, pois a ferramenta de coleta permite esta modulação.

Os medidores operam em conjunto com um software de gestão de energia, onde as informações são coletadas em tempo real possibilitando a criação de diversos dashboard interativos e ainda são armazenadas através do recurso de memória de massa, permitindo o observador realizar a coleta de um banco de dados em formato XLSX e TXT.

Quadro 7 - Parâmetros programados

Grandeza	Unidade	Tipo de Medição
Tensão	Vc.a.	Trifásica/Bifásico
Corrente	Ac.a.	Trifásica ou Bifásico
Potência Aparente	VA	Trifásica ou Bifásico
Potência Ativa	W	Trifásica ou Bifásico
Potência Reativa	VAr	Trifásica ou Bifásico
Fator de Potência	-	Trifásica ou Bifásico
Energia Ativa	kWh	Trifásica ou Bifásico
Demanda Média Ativa	kW	Trifásica ou Bifásico
Demanda Média Aparente	kVA	Trifásica ou Bifásico

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

As informações são extraídas através de duas plataformas, sendo a primeira o software *RedembTCPIP* utilizado de forma pontual em possíveis falhas e tornando-se um meio redundante da principal plataforma e sempre que necessário o gestor consegue realizar as leituras das grandezas elétricas através deste software. A plataforma *DemandaWEB* é a responsável por concatenar todas as informações de forma a gerar relatórios interativos de fácil interpretação, além de possuir recursos de geração de alertas e o indicador de CO_2 , com base no consumo de energia.

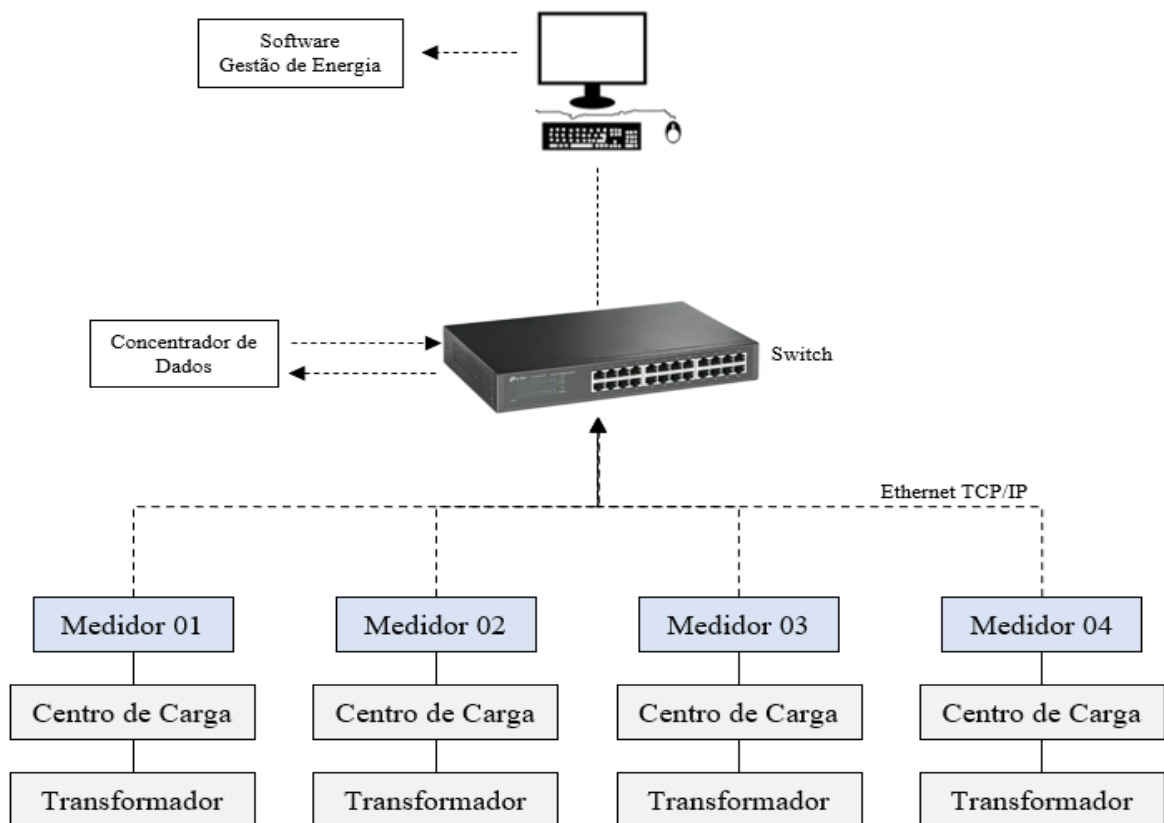
A interface de comunicação utilizada é a Ethernet, com protocolo de comunicação *Modbus TCP/IP*. Todos os medidores se comunicam com uma porta exclusiva de um Switch, configurada em VLAN (Virtual Local Area Network) que possibilita a segmentação em uma rede física em redes lógicas separadas, proporcionando benefícios em termos de segurança, gerenciamento e eficiência da rede.

Como proposta de melhoria que foi explorado em virtude dessa pesquisa, o protocolo de comunicação *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) passou a ser uma opção, em vistas de ser frequentemente usado em cenários de comunicação em tempo real, garantido uma melhor performance para sistema de monitoramento e controle.

Em sequência será retratado as características do sistema de medição utilizado nessa unidade industrial, assim apresentada na Figura 14. Nesse sistema estão presentes componentes com capacidade de comunicação bidirecional, garantindo obtenção de dados em tempo real e a realizar ajustes instantâneos.

Foram observados 73 medidores de energia elétrica instalados nas subestações de distribuição de energia interna e 03 medidores principais locados dentro da subestação de entrada. Como informado anteriormente, os medidores de energia utilizados possuem a função memória de massa, a qual é responsável por salvar as leituras parametrizadas. A Figura 14 à título de exemplo, transmite o diagrama funcional de como o medidor é instalado.

Figura 14 - Configuração do sistema de aquisição de dados



Fonte: Elaborada pelo Autor (2023)

Assim, os dados coletados passam por filtragem e preparação antes de serem processados em planilhas do Excel. A base de dados contém centenas de milhares de registros que precisam passar por uma autêntica mineração.

São apresentados os dados de 2019, 2021 e 2022 para as leituras de consumo geral de energia. Os dados de 2020 foram anômalos em razão da pandemia da COVID19 e seus impactos no setor produtivo. Em razão disso, sob o ponto de vista da estatística de consumo energético, o ano de 2020 foi tratado como se não existisse. Para os dados das unidades consumidoras de maior expressão foi considerado o ano de 2022.

Nesse tópico foi apresentado uma síntese do conceito funcional desenvolvido para a coleta de dados e a estrutura de todo o sistema de medição bem como configurações, equipamentos e hipóteses de melhoria no sistema de coleta.

4.3.1. Coleta de dados Processo Produtivo

Os dados fundamentais para a análise do processo produtivo foram selecionados com base nas informações obtidas por meio do *Enterprise Resource Planning* (ERP), especificamente do *System Analysis Program* (SAP). Este sistema possibilita a extração de relatórios diários, mensais e anuais relacionados aos insumos produtivos.

A utilização deste recurso confere ao gestor energético, em colaboração com os setores produtivos, acesso a informações críticas fundamentais para a elaboração dos IDE e LBE abrangendo aspectos como horas trabalhadas, produção quantitativa, e consumo de matéria-prima, entre outros.

A principal matéria-prima da unidade industrial em questão é o aço, cujo consumo médio expressivo anual atinge a marca de 257.982,59 toneladas. Esse volume representa não apenas uma medida quantitativa, mas sim a quantidade de aço efetivamente processada, ou seja, aquilo que é transformado no produto final. Esse dado é de extrema importância, não apenas como indicador de produção, mas também como ponto de partida para análises mais aprofundadas sobre eficiência, gestão de recursos e potenciais áreas de melhoria.

Nesse contexto, a coleta de dados através do ERP, em particular do SAP, não apenas fornece uma base robusta para avaliações de desempenho, mas também serve como um alicerce sólido para estratégias de gestão proativas. A interação entre gestores energéticos e setores produtivos, potencializada por esse sistema, é um exemplo concreto de como a tecnologia pode ser aliada na busca por eficiência e sustentabilidade no processo produtivo.

5. RESULTADOS

5.1. ETAPA 1 - PERFIL ENERGÉTICO

O sistema de distribuição de energia elétrica estudado foi o da empresa líder mundial de fabricação de rodas e umas das maiores fornecedoras de componentes estruturais. Essa companhia está em um constante processo de desenvolvimento, buscando acompanhar a inovação proposta pelo mercado automobilístico, trata-se da Iochpe Maxion localizada na cidade de Cruzeiro – SP.

Caracterizada como uma instalação de grande porte, a subestação principal tem o fornecimento de energia elétrica em 88 kV, alimentada por uma rede de distribuição em alta tensão, a Maxion enquadra-se no Grupo Tarifário A, subgrupo 2 e tarifação binomial.

A subestação principal é utilizada em conjunto com a sua parceira AmstedMaxion, com capacidade total de até 50 MVA. É composta por cinco transformadores a óleo de 88/13,2 kV e potência de 10/12,5 MVA, dos quais dois destes são responsáveis pelo fornecimento direto da planta industrial.

No ambiente interno da empresa, a planta industrial possui um total de 21 subestações secundárias de distribuição de energia elétrica, responsáveis por abaixar a tensão para os níveis de 440 V, 380 V e 220 V. A empresa opta por compra de transformadores a seco em potência de 1000kVA, sendo equipamentos alinhados com o pacto de sustentabilidade ambiental.

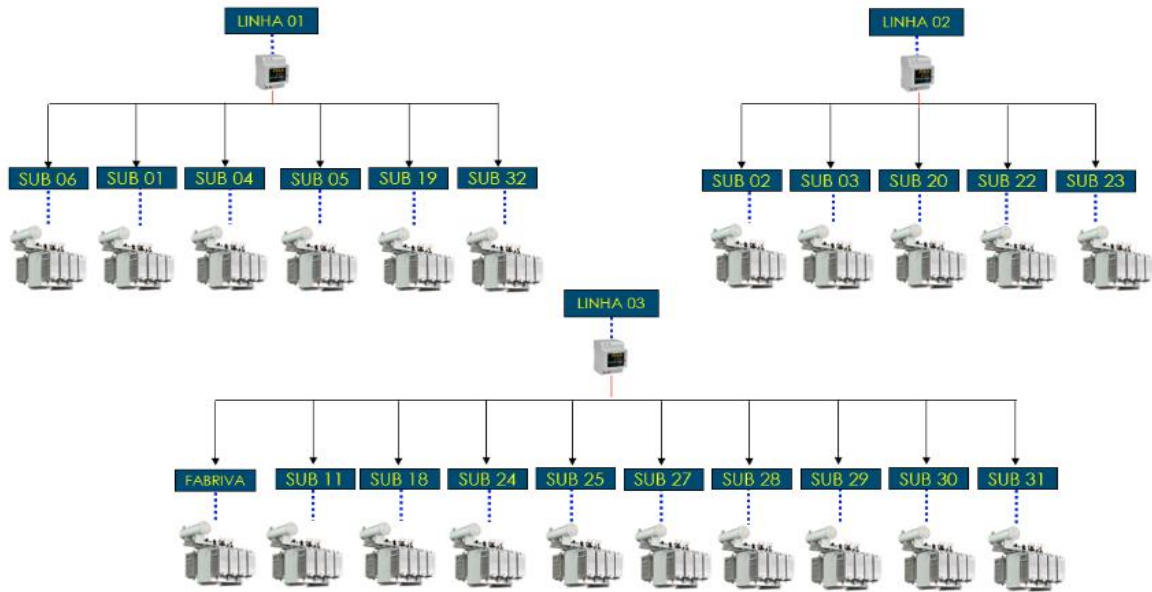
A Figura 15 apresenta um diagrama das subestações da unidade. Existem 3 medidores principais instalados nos alimentadores 01, 02 e 03, responsáveis pelo monitoramento das grandezas elétricas e pela geração de dados.

A unidade industrial possui um contrato de demanda regular de 12.000 kW na ponta e os mesmos 12.000 kW fora de ponta, que somados ao consumo de energia elétrica médio de 6.500.000,00 kWh/mês e demais componentes tarifárias, apresentam um custo mensal de R\$ 2.500.000,00, aproximadamente.

Fato é que a energia elétrica é a principal fonte energética, tendo também forte contribuição o gás natural, relevante para os processos de soldagem e pintura.

Ainda sobre a contrato de demanda, a forma correta de se verificar se as demandas contratadas estão dentro de realidade é através de tabelas e gráficos que mostram os perfis mensais, diários e horários das demandas. Dessas análises podem ser identificados períodos críticos que implicarão em possível rearranjo de cargas instaladas em termos de horário de funcionamento ou negociar um novo contrato de demanda (SUPPA, 2022).

Figura 15 - Diagrama esquemático do sistema de distribuição de energia elétrica

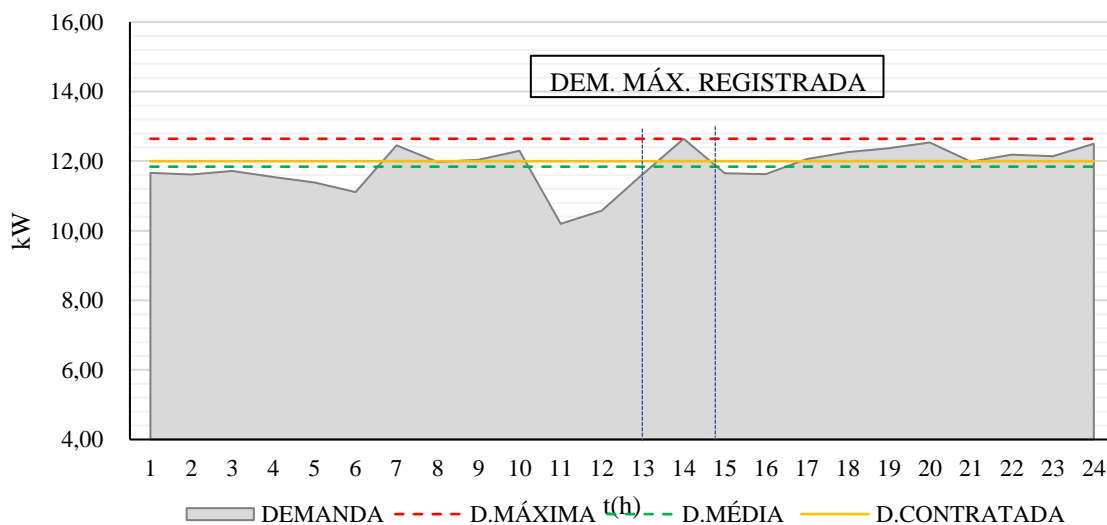


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Assim, para visualizar a curva de carga dessa unidade industrial foi considerado um dia típico, onde é possível identificar a demanda registrada a cada intervalo de 15 minutos, e as demandas contratada, média e máxima.

O dia típico escolhido foi 19 de outubro de 2022. Através da Figura 16 se observa entre o período das 13:00h às 15:00h um pico de demanda, horário em que há sobreposição das jornadas de trabalho do 1º e 2º turno. Outra variável a destacar é o aumento de temperatura após o almoço, implicando em uma maior utilização de aparelhos de ar-condicionado.

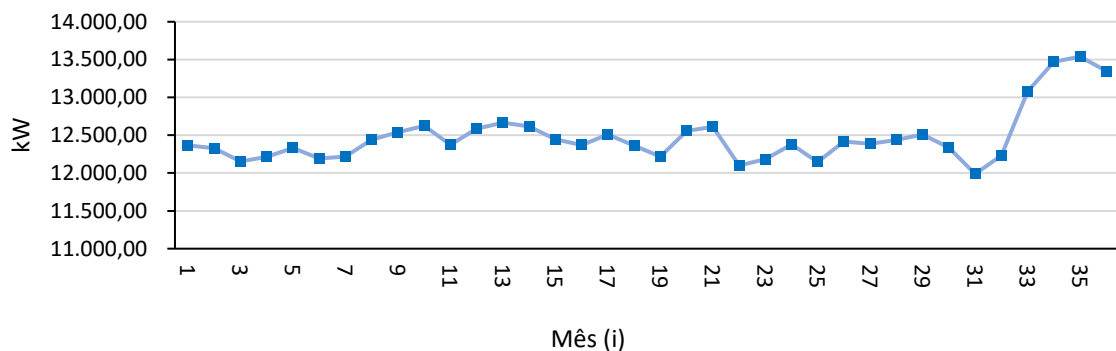
Figura 16 - Curva de carga do dia típico



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

A Figura 17 ilustra a série temporal da demanda máxima registrada para cada mês (i), sendo (i) = 1 JAN/2019 e (i) = 36 DEZ/2022. Demanda é um IDE de métrica simples. A demanda máxima sempre foi registrada em períodos de fora de ponta. Nota-se uma variação aleatória da demanda em 32 meses da série, sem qualquer componente notável de tendência ou sazonalidade. Entretanto, a demanda cresce até cerca de 8% nos quatros últimos meses da série.

Figura 17 - Série temporal da demanda máxima mensal



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

A leitura obtida a partir do IDE do gráfico da Figura 17 é de importância para o planejamento energético a fim de evitar penalidades por ultrapassagem de demanda na fatura de energia elétrica. De acordo com as informações de contrato apresentadas na Tabela 02, a empresa em estudo extrapolou os 5% da tolerância contratual, chegando a valores de 13.539 MW. Durante o período dos meses 33, 34, 35 e 36 foi evidenciada a introdução de novas cargas elétricas na produção, as quais poderiam ter sido simuladas com antecedência e definido um plano de entrada de novas cargas.

5.1.1. Critérios Relevantes no Perfil Energético

Os resumos dos históricos energéticos estão contidos na Tabela 01 e as informações de contratação de demanda estão contidas na Tabela 02, discriminadas como demanda na ponta e fora de ponta, extraídas dos pontos de medição existentes do alimentador 01, alimentador 02 e alimentador 03, conforme Figura 15. Elas permitem a realização do cálculo para o FC das instalações com características da modalidade horosazonal por meio das equações (3) e (4).

O FC é um índice adimensional que varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, representa uma alta intensidade do consumo e um preço médio do R\$/kWh mais baixo.

$$FC (na\ ponta) = \frac{\text{Consumo de Energia Ativa na Ponta (kWh)}}{\text{Demanda Máxima na ponta (kW)} * N \text{ de horas na Ponta}} \quad (3)$$

$$FC (fora\ ponta) = \frac{\text{Consumo de Energia Ativa na Ponta (kWh)}}{\text{Demanda Máxima Fora Ponta (kW)} * N \text{ de horas Fora Ponta}} \quad (4)$$

Tabela 1 - Histórico energético

CONSUMO DE ENERGIA (MWh)	2019		2021		2022	
	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA
C. ANUAL	8.029,44	70.711,94	8.588,18	81.978,53	8.531,03	79.875,75
C. MÉD. MENSAL	669,12	5.892,66	715,68	6.831,03	710,92	6.656,31
FC	0,86	0,72	0,92	0,83	0,89	0,79

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Vale notar que o valor médio do FC obtido entre os anos da Tabela 01 é elevado, sendo utilizada a demanda média máxima de cada ano aplicada na fórmula (3) e (4). A média do FC fora de ponta no triênio foi de 0,89, característica de uma unidade industrial eletrointensiva.

O gerenciamento da conta de energia elétrica deve ser realizado por um profissional qualificado, que seja capaz de evitar penalidades que consumidores cativos e livres do grupo A estão expostos.

As penalidades sobre o uso do sistema de distribuição de energia são referentes a ultrapassagem da demanda contratada, não podendo ultrapassar em qualquer posto tarifário 5% do valor contratado e fator de potência e energia inferior a 0,92. Além disso, a empresa em estudo está passiva a receber outras penalidades por fazer parte do Ambiente de Contração Livre (ACL) de energia elétrica.

Se observado os valores registrados na Tabela 02 é possível notar a exposição de penalidades que empresa sofreu no triênio, sendo em 2019 no mês de outubro, 2021 o mês de janeiro e 2022 na ponta e fora de ponta o mês de novembro.

Tabela 2 - Informações de contrato

CONTRATO DE DEMANDA Horário de Ponta: 18:30 às 21:30h	2019		2021		2022	
	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA
DEMANDA CONTRA.	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00
DEMANDA MÁX. UTI.	12.215,96	12.624,25	12.112,66	12.665,43	13.247,77	13.539,09

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

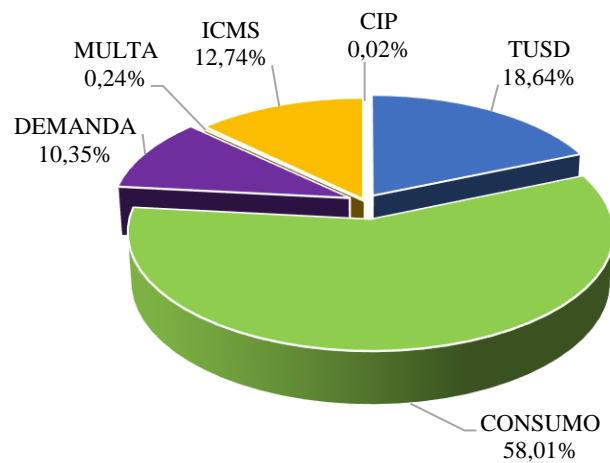
5.1.1.1. Análise Tarifária

A estrutura tarifária para o subgrupo A2 é única, sendo a Horossazonal Azul. A estrutura tarifária Horossazonal Azul é mais adequada para as instalações em que não há diminuição da carga nos horários de ponta, apresentando um consumo significativo na ponta.

A verificação da composição dos custos de uma fatura de energia elétrica é necessária para uma visão geral do perfil elétrico da empresa. O gráfico da Figura 18 apresenta a composição do custo anual (2022) da fatura de energia elétrica em termos percentuais.

Em verdade, o consumo da energia elétrica foi a parte de maior custo na fatura de energia, seguidas da Tarifa de Uso Sistema Distribuição (TUSD), Imposto sobre Circulação de Mercadorias e prestação de Serviços (ICMS). O código CIP corresponde a Contribuição de Iluminação Pública.

Figura 18 - Distribuição dos custos na fatura de energia elétrica



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

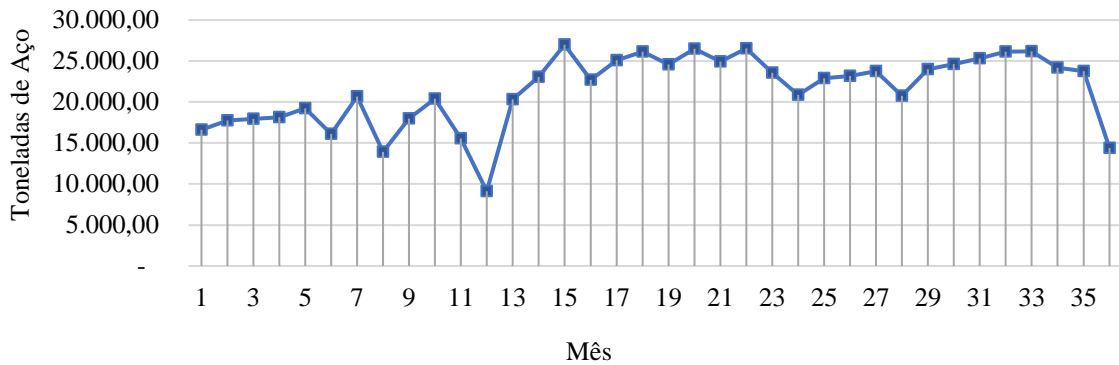
5.2. ETAPA 2 – ANÁLISE DO PERFIL ENERGÉTICO

5.2.1. Dados trienais com Discretização Mensal

Em 2020, devido à mudança significativa da utilização dos recursos energéticos, causado pela crise sanitária do COVID-19, houve a exclusão dos dados desse ano por ser considerado como atípico, já sendo possível observar a recuperação nos padrões de consumo de matéria

prima no ano de 2021. Para elucidar essa afirmação a Figura 19 representa o consumo de matéria prima de toda a empresa durante os anos de 2019, 2021 e 2022.

Figura 19 - Processamento de aço



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

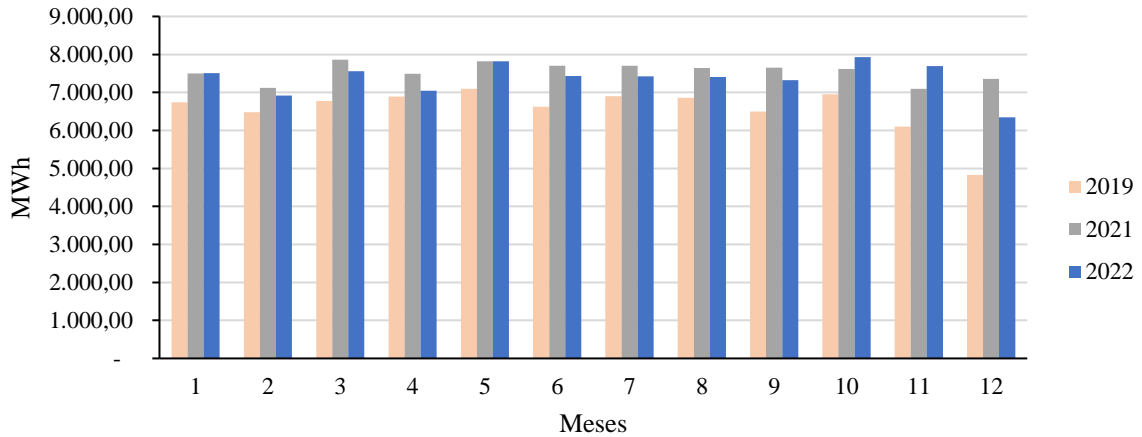
O consumo médio observado ao longo desse triênio de aço foi de 21.498,55 toneladas com afundamentos pontuais em períodos próximos ao final de ano. No primeiro ano do triênio de 2019, 2021 e 2022 o consumo médio foi de 16.951,17 toneladas de aço contra uma média de 23.772,24 nos demais anos. Um aumento considerável de aproximadamente 40,25%, podendo concluir um aumento efetivo da produção.

O gráfico da Figura 20 irá retratar o consumo trienal de energia elétrica, sendo observados os anos de 2019, 2021 e 2022. O objetivo desta plotagem é compreender o comportamento do consumo de energia, sendo observado o comportamento do consumo ao longo dos anos.

Na Figura 20 observa-se um pequeno nível de variação para o período esboçado, no qual há um menor consumo nos meses 11 e 12, final de ano, afetados diretamente por um período de férias coletivas das montadoras e o desligamento de equipamentos. Em verdade, a série apresenta pequenas variações e irregularidades, sendo o comportamento estável considerado em longo prazo.

Ainda assim, pode-se observar uma regularidade do consumo de energia elétrica entre os valores de 6.000 MWh a 7.500 MWh, no qual não se observa comportamentos abrupto ao longo dos meses. Dessa forma o consumo mensal total de energia elétrica é um IDE de métrica simples, e seu histórico de três anos é uma LBE.

Figura 20 - Consumo mensal de energia – MWh



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Uma outra análise é apresentada na Tabela 03 sendo em função do consumo de energia elétrica trimestral. Essa análise permite confirmar que as variações sofridas no consumo de energia estão relacionadas aos períodos de início/fim de ano.

Tabela 3 - Consumo trimestral de energia elétrica em MWh

PERÍODO	2019	2021	2022	MÉDIA
1º trimestre	6.663,57	7.494,23	7.325,97	7.161,25
2º trimestre	6.868,53	7.672,80	7.432,94	7.324,76
3º trimestre	6.754,66	7.666,28	7.384,65	7.268,53
4º trimestre	5.960,36	7.355,60	7.325,37	6.880,45

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Ainda observando o consumo trienal, o gráfico da Figura 21 representa a série temporal do consumo mensal de energia elétrica (MWh) ao longo de 36 meses, contemplando os seguimentos de produção de *Structural e Wheels* da unidade industrial em estudo.

Visivelmente no gráfico da Figura 21 se observa que o consumo é pouco variável no tempo, e como também observado na Figura 19, não é clara a existência do componente sazonal nesta série. Existe uma leve tendência de crescimento linear. A equação que representa a regressão linear deste componente é dada em (5):

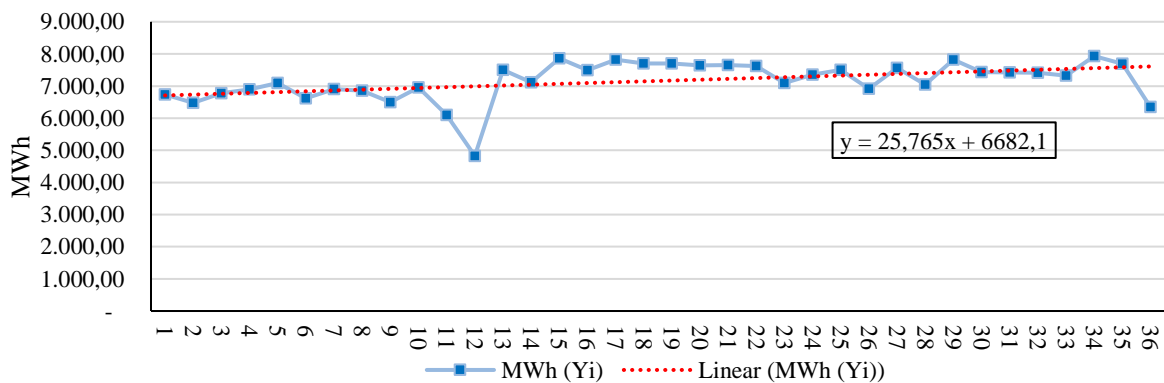
$$T(i) = 6682 + 25,765 * i \quad (5),$$

em que (i) representa dado mês da série.

A equação (5) permite o gestor de energia a fazer previsões do consumo do futuro. Exemplo: consumo estimado para março de 2023 ($i=39$) seria de 7.686,94MWh +/-10%.

Como validação de dados, consistência e precisão de tendência, na sequência é feita a comparação entre o consumo estimado para o primeiro trimestre de 2023 com o efetivamente medido.

Figura 21 - Série temporal com consumo mensal de energia elétrica - MWh



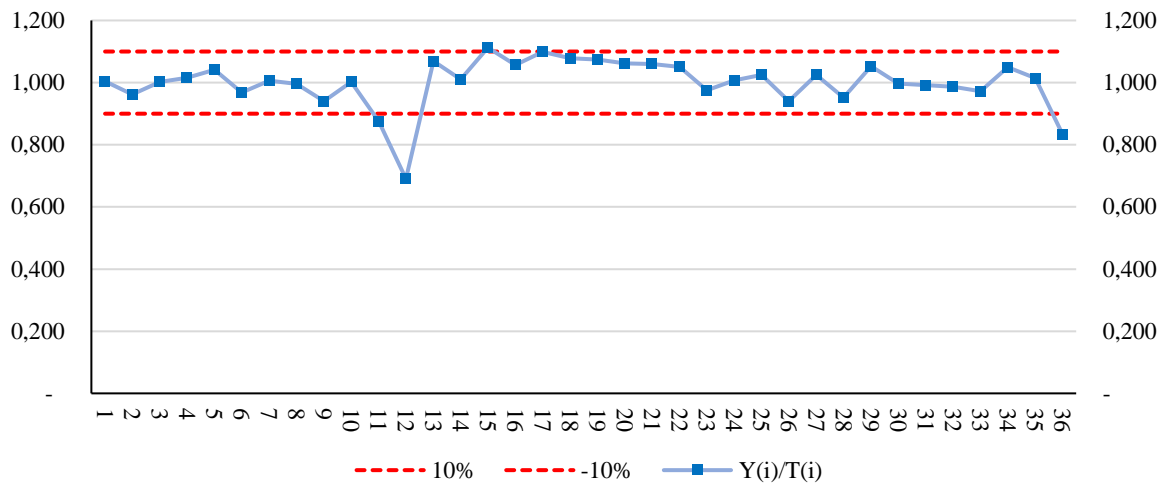
Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Na equação (6), $Y(i)$ é o valor da série temporal no período i , $T(i)$ é o valor da tendência da série temporal no período i e $S(i)$ é o valor do componente sazonal da série temporal no período i . Na ausência do componente sazonal, como também da componente secular em razão do curto intervalo (3 anos), a série do consumo mensal $Y(i)$ pode ser decomposta apenas nos componentes da tendência e da aleatoriedade $E(i)$.

$$Y(i) = T(i) * S(i) * \varepsilon(i) \quad (6)$$

A partir da decomposição, é possível identificar a magnitude e o padrão dos componentes de tendência e sazonalidade da série temporal, bem como outros componentes, como o componente de erro aleatório. A Figura 22 mostra a série da componente aleatória, ou seja, a componente não explicada. Em verdade, o valor médio de $E(i)$ é igual a 1 e o desvio padrão é de 0,07. As linhas em vermelho no gráfico da Figura 22 destacamos pontos de $E(i)$ igual a 0,9 e 1,1, ou seja +/- 10%, essa variação está relacionada o quanto a previsão de consumo pela equação da reta $y = 25,765x + 6682,1$ está variando em relação ao consumo real. Em apenas três meses este componente superou o intervalo de +/-10%.

Figura 22 - Componente aleatória da série temporal do consumo de energia



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Com os dados organizados e processada a análise gráfica do cenário trienal, se faz necessário avaliar a estatística descritiva dos dados, referente ao período de consumo de energia elétrica. A Tabela 04 apresenta os principais resultados da análise feita para o período.

Tabela 4 - Análise descritiva do consumo de energia elétrica

CONSUMO	TOTAL	UN.
Média (s)	7.158,75	MWh
Mediana	7.338,35	MWh
Variância	372.221,28	MWh
Desvio Padrão	618,75	MWh
Coeficiente de Variação	8,64%	-
Amplitude	3.103,79	MWh
1º quartil (Q1)	6.867,26	MWh
2º quartil (Q2)	7.338,35	MWh
3º quartil (Q3)	7.637,28	MWh

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

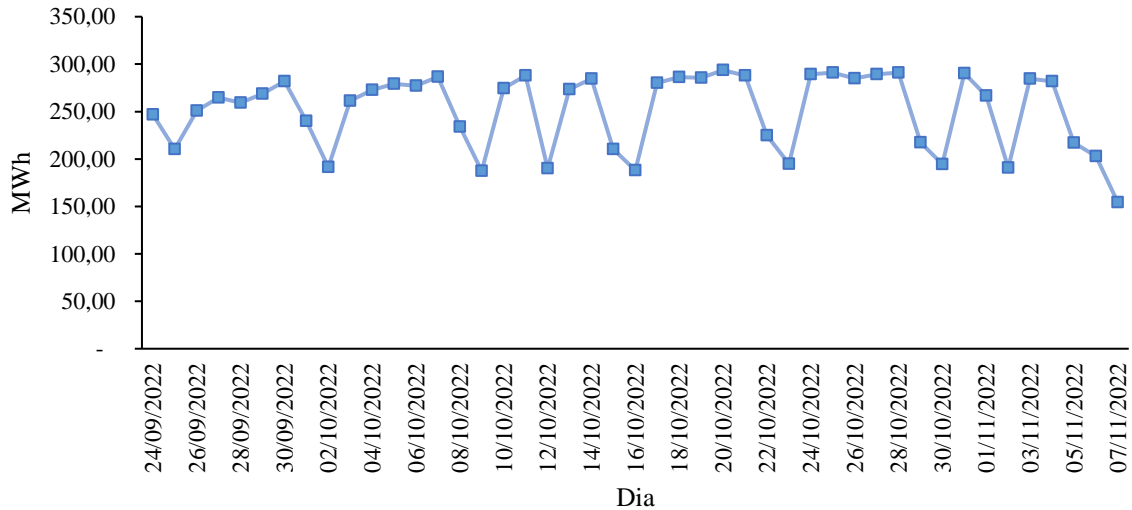
Quando se observa o coeficiente de variação de 8,64%, percebe-se que a variabilidade dos dados entorno da média é baixa, podendo concluir que a média é representativa.

5.2.2. Dados Mensais com Discretização Diária

Escolhe-se um mês típico da série, quanto mais atual melhor. Neste caso o mês típico foi outubro de 2022. Caso houvesse componente sazonal seriam escolhidos pelos dois meses típicos, para verão e inverno (FILIPPO FILHO, 2018). O mês típico estendido leva em conta uma semana antes do mês e uma depois. Isso permite uma análise mais precisa levando em conta a transição entre os meses. É importante destacar que o mês típico (outubro) estendido foram registrados dois feriados, 12/10 e 02/11. A discretização diária é ilustrada de acordo com a Figura 23.

De posse das informações do consumo de energia elétrica em base diária, é possível identificar irregularidades pontuais ao longo dos dias do mês típico. A Figura 23 exibe a série temporal do consumo diário ao longo do mês típico. As oscilações associam-se aos dias de finais de semana e feriados, nos quais o volume de produção é reduzido e não há presença de todo o setor administrativo da empresa.

Figura 23 - Consumo com discretização diária - MWh



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Observa-se claramente uma queda do consumo aos sábados, domingo e feriados. Através dos dados da Tabela 05, é possível analisar o consumo médio para os dias de semana (2ª a 6ª feiras), sábados, domingos e feriado (12/10) para todo o mês de outubro de 2022 (sem extensão). Também é exposto o consumo total de cada um desses segmentos diários para o mês em questão.

O estudo da Tabela 05 permitiu observar que o consumo médio dos sábados e feriado é cerca de 83% do consumo dos dias de semana. Nos domingos esse montante é reduzido para cerca de 62%. Ao longo do mês, 71% do consumo ocorreu em dias úteis e 29% aos sábados, domingos e feriado. Tendo em conta o intervalo de tempo entre os dias 01/10 a 31/10, verificou-se que a demanda máxima média nos dias de semana é de 13.470 kW (100%), aos sábados de 12.392 kW (92%) e domingos de 9.344 kW (69,4%). As demandas máximas se reduzem menos que o consumo, ou seja, o FC piora aos sábados e domingos.

Tabela 5 - Consumo (MWh) por categorias de outubro de 2022

CONSUMO	MWh/mês	%	MWh/dia
Dia de Semana	5.534,47	69,8%	251,57
Domingo	939,11	11,8%	187,82
Sábado	1.247,55	15,7%	249,51
Feriado	210,21	2,7%	210,21
TOTAL OUTUBRO	7.931,34		

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

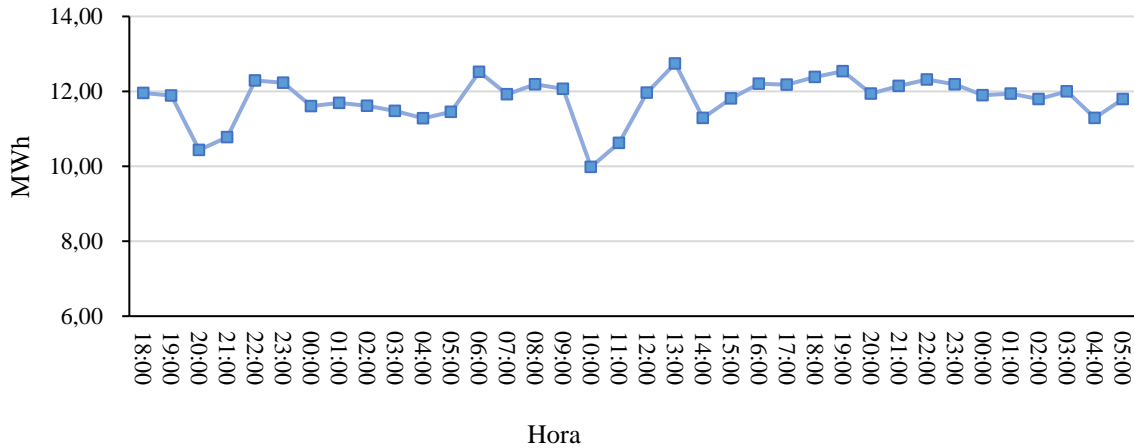
Contudo, as leituras de energia elétrica referentes ao perfil diário permitem uma maior assertividade no planejamento de longo prazo, isto inclui uma melhor gestão de oferta e demanda, que é o controle preciso dos contratos de compra de energia e exposição a multas. De grande importância operacional, a discretização diária fornece informações do desempenho do sistema, possibilitando a detecção de anomalias e auxílio na gestão nas tomadas de decisões.

5.2.3. Dados Diários com Discretização Horária

Com a discretização horária é possível identificar horários do dia em que o consumo de energia é maior, o que pode indicar a necessidade de ajustes na produção ou na programação de introdução de equipamentos. Dentro do mês típico se escolhe um dia típico, que geralmente recai sobre uma quarta-feira, por ser meio da semana. Procura-se a quarta-feira mais próxima do dia 15, não devendo haver feriado na semana. O dia típico estendido considera as 6 últimas horas do dia anterior e as 6 primeiras horas do dia seguintes ao dia escolhido.

O perfil da carga diária é do tipo flat, o qual o consumo de energia elétrica é relativamente constante ao longo do tempo, ou seja, não apresenta variações significativas ao longo do dia, conforme mostra a Figura 24.

Figura 24 - Consumo com discretização horária – MWh/h



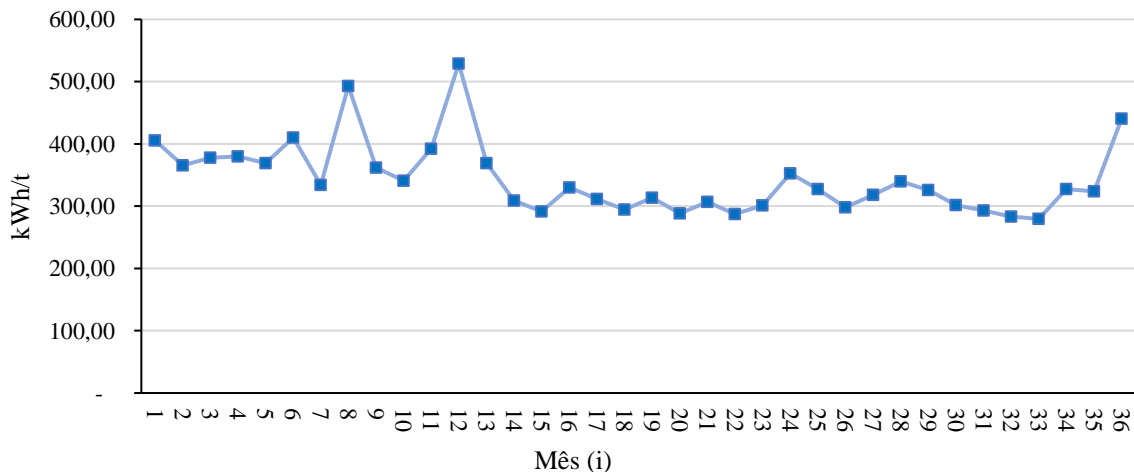
Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

5.2.4. Análise do Desempenho Energético

Identificado o consumo de energia passado e atual, o gestor de energia precisa quantificar quais as variáveis relevantes que influenciam no desempenho energético. Essas variáveis devem ser capazes de destacar tendências e desvios. Para detectar se a variável escolhida é relevante é preciso plotar ao longo do tempo e analisar se ela afeta a tendência do consumo de energia (FICHERA et al., 2020).

Um IDE de razão de valores que leve em conta indicadores de produção é indispensável. No presente caso a Figura 25 traz o indicador de produção que é dado pela quantidade (t) de aço processado no mês. Com isso é possível obter um IDE de intensidade energética (kWh/t).

Figura 25 - Série temporal da intensidade energética – kWh/t



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

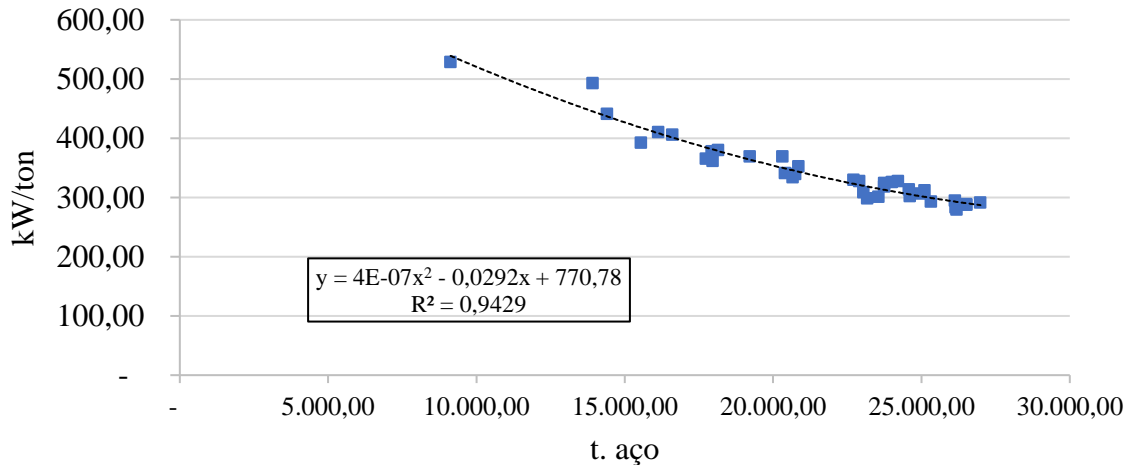
Por cerca de 20 meses ($i = 14$ a 34) a intensidade energética oscila muito pouco em torno de 300 kWh/t. Antes disso a intensidade ficava em média de 380 kWh/t, com picos de até 500 kWh/t. Pico superior a 400 kWh/t volta a ser registrado no último mês da série. Essas variações encontram explicação clássica, conforme evidenciado na Figura 25. A intensidade energética aumenta com a redução da produção. A Figura 26 mostra claramente essa situação, onde é preciso desenvolver estratégias para melhoria do desempenho energético para volumes de produção inferiores a 20.000 t/mês.

Ainda explorando oportunidades do gráfico da Figura 26, a regressão polinomial de 2º ordem é apresentada por meio da equação (7). Sendo (y) a intensidade energética.

$$y = 4E - 07x^2 - 0,0292x + 770,78 \quad (7)$$

A equação (7) permite realizar previsões do consumo de energia, sendo necessário ter em os dados da previsão de consumo de matéria-prima (x).

Figura 26 – Intensidade energética em função do volume de produção



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

A título de exemplo será apresentada a Tabela 6 com o consumo de energia previsto para o ano de 2023 com base na equação polinomial de 2º da Figura 26 em comparação com o consumo real, no qual (i) 37 é mês de janeiro de 2023 e (i) 45 o mês de setembro de 2023

Esse modelo de previsão de energia se comprovou satisfatório, tendo em média um erro de 8,56%. Por tanto, esse modelo de predição mostrou-se satisfatório em auxílio ao planejamento energético estratégico.

Tabela 6 - Previsão do consumo de energia elétrica

i	T.	kWh/t	Estimado (MWh)	Real (MWh)	Erro
37	16.188,00	407,6	6.598,0	6.128,0	7,67%
38	18.027,00	380,1	6.852,5	6.151,5	11,40%
39	20.038,00	353,3	7.079,9	6.492,2	9,05%
40	15.822,00	413,4	6.540,6	6.194,2	5,59%
41	17.414,00	389,0	6.773,4	6.470,0	4,69%
42	12.313,00	474,7	5.844,8	5.330,7	9,64%
43	13.596,00	451,1	6.132,9	5.456,8	12,39%
44	17.959,00	381,1	6.844,0	6.272,4	9,11%
45	16.990,00	395,3	6.715,5	6.246,6	7,51%

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

A fim de confirmar a presença de outras variáveis relevantes, foi plotado também consumo de energia elétrica em relação a área construída e horas trabalhadas. Ambos demonstraram ser variáveis pouco relevantes.

A Tabela 07 apresenta o consumo de energia elétrica em relação área construída da unidade industrial, cujo não sofreu alterações de metragem no triênio analisado.

Embora os dados obtidos da Tabela 07 não sejam um dos principais indicadores no que tange o desempenho da unidade industrial, ele permite estimar o custo do consumo de energia para a construção de novas áreas produtivas, levando em conta a similaridade dos processos. Outro fator importante a ser considerado nesse indicador é o tempo de vida do prédio, sendo que aproximadamente 50% da área construída tem 80 anos de existência, isso implica em uma edificação que apresenta dificuldades para adaptação às metodologias de eficiência energética. Para efeito de comparação, trabalhos futuros podem realizar a comparação entre unidades industriais da companhia, a fim de obter troca informações sobre eficiência e conservação de energia praticados.

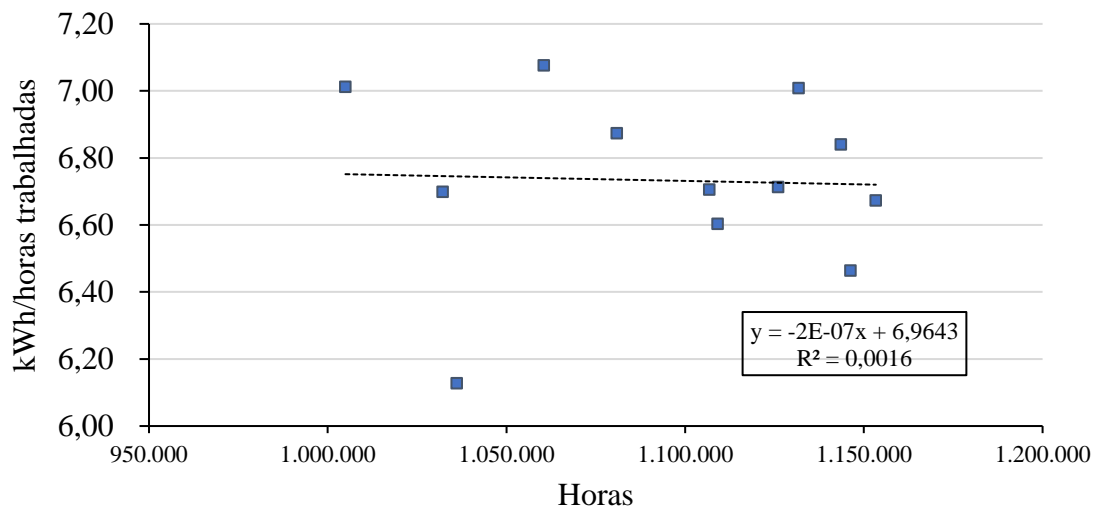
Ainda explorando as variáveis que na literatura se destacam, como por exemplo, a quantidade horas trabalhadas, a Figura 27 permite observar a influência da quantidade de horas trabalhadas no ano de 2022 em relação ao consumo de energia elétrica. Mostrando-se uma variável não significativa para o consumo de energia elétrica, tendo o R^2 de 0,0016, que para fins de análise de desempenho energético o coeficiente de determinação deve ser maior ou igual a 0,8 (FILIPPO FILHO, 2018). Abaixo disso a correlação é considerada insignificante.

Tabela 7 - IDE kWh/m²

Mês	Total (kWh)	Área (m ²)	kWh/m ²	Mês	Total (kWh)	Área (m ²)	kWh/m ²
1	6.738.050,00	132.115,26	51,0	19	7.702.906,79	132.115,26	58,3
2	6.479.564,70	132.115,26	49,0	20	7.643.396,28	132.115,26	57,9
3	6.773.100,15	132.115,26	51,3	21	7.652.525,70	132.115,26	57,9
4	6.891.384,32	132.115,26	52,2	22	7.618.947,07	132.115,26	57,7
5	7.094.597,89	132.115,26	53,7	23	7.094.798,71	132.115,26	53,7
6	6.619.609,32	132.115,26	50,1	24	7.353.048,79	132.115,26	55,7
7	6.904.555,94	132.115,26	52,3	25	7.504.480,12	132.115,26	56,8
8	6.859.218,64	132.115,26	51,9	26	6.914.339,17	132.115,26	52,3
9	6.500.207,88	132.115,26	49,2	27	7.559.075,91	132.115,26	57,2
10	6.955.091,62	132.115,26	52,6	28	7.046.604,55	132.115,26	53,3
11	6.098.449,76	132.115,26	46,2	29	7.822.616,83	132.115,26	59,2
12	4.827.546,88	132.115,26	36,5	30	7.429.591,47	132.115,26	56,2
13	7.500.617,48	132.115,26	56,8	31	7.421.378,88	132.115,26	56,2
14	7.118.431,26	132.115,26	53,9	32	7.408.916,24	132.115,26	56,1
15	7.863.629,68	132.115,26	59,5	33	7.323.649,89	132.115,26	55,4
16	7.493.246,87	132.115,26	56,7	34	7.931.335,93	132.115,26	60,0
17	7.822.616,83	132.115,26	59,2	35	7.695.950,54	132.115,26	58,3
18	7.702.540,18	132.115,26	58,3	36	6.348.837,54	132.115,26	48,1

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Figura 27 - Variável não significativa

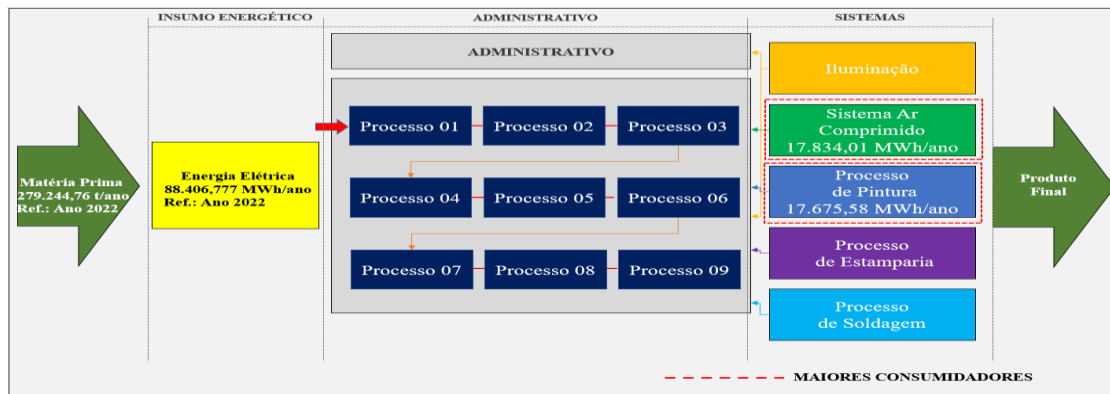


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

5.3. ETAPA 3 - IDENTIFICAÇÃO DOS USOS SIGNIFICATIVOS DE ENERGIA (USE)

A Figura 28 representa o mapa de processo dessa organização onde foi utilizado a caráter de exemplo o insumo energético referente ao acumulado de consumo de energia elétrica no ano de 2022 e a forma macro de como os sistemas se interagem com o processo para a obtenção do produto final.

Figura 28 - Mapa de processo macro de uma indústria de autopeças



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Dentro da fronteira principal escolhida para a análise do consumo de energia elétrica passado e atual, que é a unidade industrial como um todo, na sequência serão separadas o consumo de energia elétrica por fronteiras setoriais para se cumprir o objetivo principal da revisão energética. O método que foi utilizado para a identificação dos USE já foi apresentado no tópico de coleta de dados.

Por meio dos medidores de energia que, parametrizados com as grandezas elétricas do Quadro 07, foram obtidos os dados de consumo e demanda para realização de análises estatísticas e energéticas.

Foi observado um total de 32 áreas produtivas, dispostas no Quadro 08, que juntas são responsáveis pelo consumo de energia elétrica de toda a empresa. Os USE são identificados a partir do acompanhamento do consumo de energia setorial. Cada área é delimitada por uma fronteira na qual existe medição de grandezas elétricas. É possível sobreposição de fronteiras, bem como agrupamento de fronteiras de áreas não contíguas.

Para a composição do consumo por tipo de sistema e processo, os 71 medidores são divididos em 37 centros de custos, dos quais cinco destes são feitos em forma de associação (adição) para compor os sistemas de pinturas do *E-coat* Rodas e *E-coat* Chassis, resultando em 32 fronteiras como sistemas, processos e edifícios a serem explorados.

Quadro 8 - Processos manufatureiros medidos

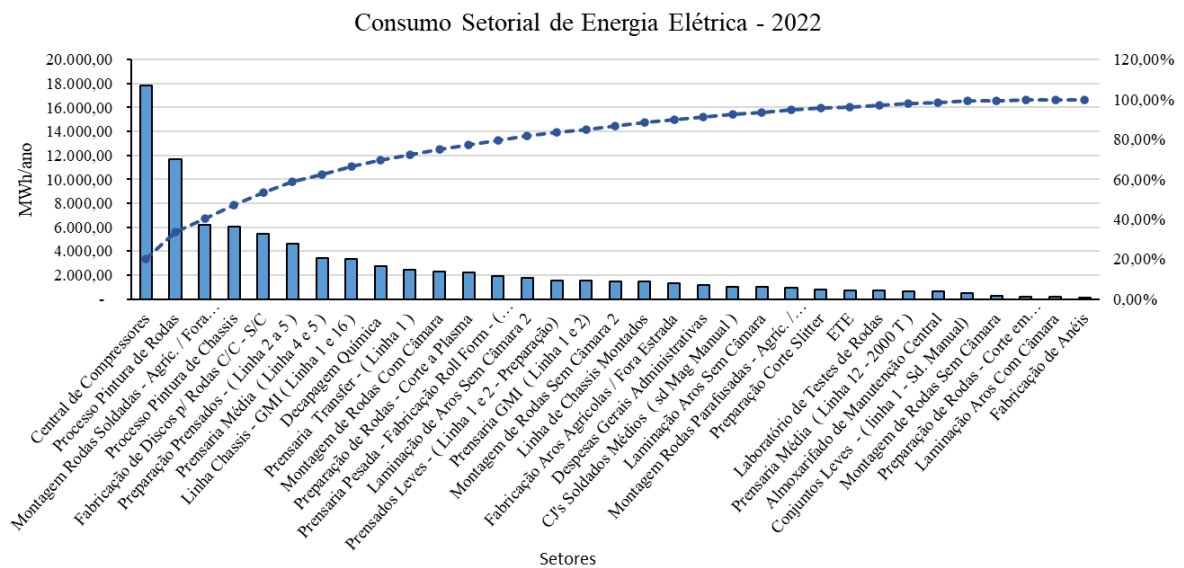
Sistema	Descrição
1	Central de Compressores
2	Sistema Pintura - Ecoat Rodas
3	Montagem de Rodas Soldadas
4	Sistema Pintura - Ecoat Chassis
5	Fabricação de Discos para Rodas
6	Preparação Prensados e Prensaria Pesada
7	Prensaria Média
8	Linha Chassis - GMI
9	Decapagem Química
10	Prensaria <i>Transfer</i>
11	Montagem de Rodas Com Câmara
12	Preparação de Rodas - Corte a Plasma
13	Prensaria Pesada - Fabricação <i>Roll Form</i>
14	Laminação de Aros Sem Câmara 2
15	Prensados Leves
16	Prensaria GMI
17	Montagem de Rodas Sem Câmara 2
18	Linha de Chassis Montados
19	Fabricação Aros Agrícolas
20	Prédio Administrativo
21	Conjuntos Soldados Médios
22	Laminação Aros Sem Câmara
23	Montagem Rodas Parafusadas
24	Preparação Corte <i>Slitter</i>
25	Estação de Tratamento de Efluentes
26	Laboratório de Testes de Rodas
27	Almoxarifado de Manutenção Central
28	Conjuntos Soldados Leves
29	Montagem de Rodas Sem Câmara
30	Preparação de Rodas - Corte em Blanqueadeira
31	Laminação Aros Com Câmara
32	Fabricação de Anéis

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Com base no consumo acumulado do ano de 2022 de energia elétrica para cada setor da fábrica apresentado na Quadro 08, a lista foi reorganizada do uso máximo para o mínimo. A partir desta lista, foi aplicado o conceito formalizado por Vilfredo Pareto em *Manual of Political Economy*, a partir do qual ele afirma que 20% da população detém 80% da riqueza, chegando assim à relação 80/20. Este método contribui para identificar quais são os fatores, nesse caso, o usuário de energia, mais significativo. Em específico para essa organização em virtude das 32 fronteiras obtém-se um Pareto 70/30, ou seja, 30% das fronteiras respondem a 70% do consumo de energia elétrica.

Com a disposição do diagrama de Pareto da Figura 29 e com a investigação do uso e consumo da energia dos sistemas energéticos existentes e dos seus potenciais de eficiência energética, observa-se que se destacam os USE central de compressores e o processo de pintura. Os USE estarão dentro das fronteiras de sistema e processos, que serão identificados por meio dos maiores consumos.

Figura 29 - Consumo de energia elétrica setorial - 2022



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

A Tabela 08 complementa o método aplicado, apresentado uma síntese da distribuição de 70/30. Cada uma dessas 9 fronteiras possui participação superior a 3% do consumo de energia elétrica anual total.

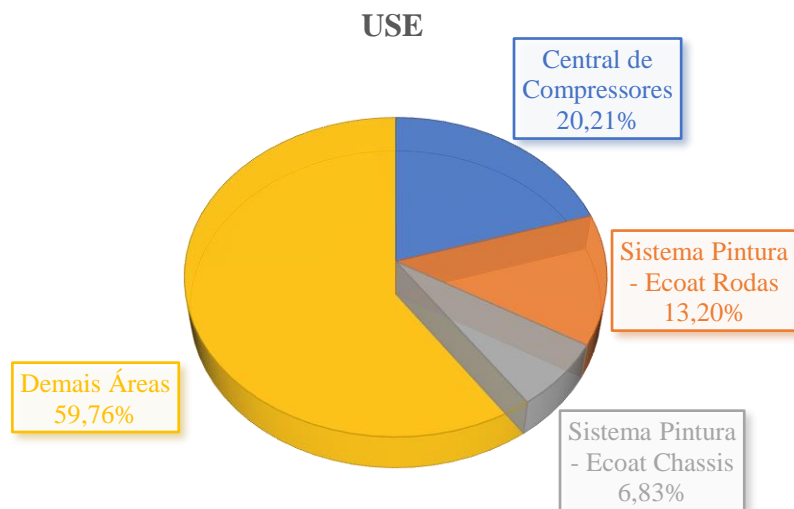
Tabela 8 - Fronteiras do USE

Fronteira	Consumo (MWh)	% Cons. Total	% Cons. Acumulado
Sistema ar comprimido	17.834,0	20,2%	20,2%
Pintura de Rodas	11.646,6	13,2%	33,4%
Montagem de rodas	6.208,4	7,0%	40,4%
Pintura Chassis	6.028,7	6,8%	47,3%
Fab. discos p/ rodas	5.433,2	6,2%	53,4%
Prensaria Pesada	4.634,7	5,3%	58,7%
Prensaria Média	4.051,0	4,6%	63,3%
Linha Chassis	3.339,3	3,8%	67,1%
Decapagem Química	2.779,5	3,1%	70,2%

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

O gráfico da Figura 30 ilustra o cenário energético de consumo do ano de 2022.

Figura 30 - Representação gráfica dos USE



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

O monitoramento e análise do consumo de energia, segundo May (2017), são fatores-chave para a identificação dos USE, pois auxiliam na fase analítica de identificação dos consumidores, como também em potenciais oportunidades de melhoria no desempenho energético em diferentes níveis de uma instalação.

5.3.1. Variáveis relevantes para USE

Ao investigar o uso significativo de energia em um determinado contexto, várias variáveis podem ser relevantes para uma análise abrangente. Essas variáveis podem ser agrupadas em diferentes categorias. A combinação e interação dessas variáveis determinarão o desempenho energético global de uma indústria.

De maneira geral, duas variáveis principais costumam afetar os USE, sendo elas condições climáticas que, por exemplo, em dias quentes, a produção de ar frio para processos e condicionamento ambiental podem solicitar mais energia e o consumo efetivo de matéria prima. Outros fatores como a idade e condições de manutenção das máquinas utilizadas ou a forma como elas são operadas, podem influenciar o comportamento dos USE.

Para os USE serão testadas variáveis pelo método de análise regressão linear quadrática para entender a significância e a influência ou não sobre os dados. Inicialmente já foram evidenciadas variáveis como o consumo de matéria prima, quantidade peças produzidas e vazão. Ambas serão testadas.

5.3.2. Ar Comprimido

Em uma unidade industrial, o ar comprimido é um recurso para facilitar um processo indispensável, sendo aplicado de diversas formas que contribui para alta eficiência dos processos produtivos. Em contrapartida, no que tange a eficiência do próprio sistema, o ar comprimido é considerado um dos transportadores de energia mais caros, acompanhado de ineficiências e perdas muita altas em seus percurso (TAHERI; GADOW, 2017). Filippo Filho (2015) cita em seu livro “Bombas, Ventiladores e Compressores”, que de forma geral o rendimento do sistema de ar comprimido é de 10% a 15%. Esse rendimento é a relação entre a potência pneumática desenvolvida em seu uso final e a potência elétrica necessária para acionar o motor.

A geração pode ser feita através de máquinas centrífugas que contam com impulsores próprios, que resultam em várias velocidades para obter a velocidade ideal em cada estágio. Outra tecnologia para a geração de ar comprimido são os compressores de parafuso rotativo. Embora todos esses modelos forneçam ar sob pressão, eles diferem consideravelmente com relação à sua eficiência.

No processo de manufatura, o ar comprimido é comumente utilizado para executar uma ampla variedade de tarefas, como limpeza, operação de equipamentos pneumáticos, teste de produtos fabricados etc. Durante a alta demanda por vazão do uso do ar comprimido pode

ocorrer queda de pressão, fazendo com que os sistemas de ar comprimido estejam associados a grandes quantidades de consumo de energia elétrica e perdas de qualidade que geram custos altos a empresa (ÇENGEL; BOLES, 2015).

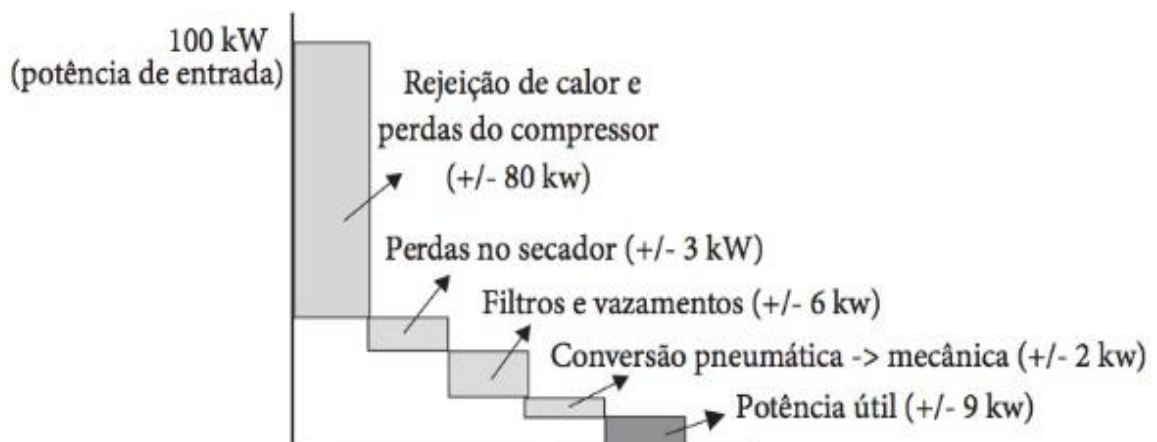
Filippo Filho (2018) afirma que as instalações de ar comprimido apresentam baixa eficiência de transformação energética, especialmente por conta do processo de compressão. Nehler (2018) também confirma que a eficiência em um sistema de ar comprimido costuma ser muito baixa, por exemplo, em um acionamento de ferramenta de estamparia, apenas de 10 a 15% da entrada de energia em um sistema de ar comprimido é utilizada como trabalho útil.

Um sistema de ar comprimido requer uma gama de equipamentos que, em conjunto fornecem a geração de ar. O compressor geralmente é acionado por um motor elétrico, que pode ser integrado na unidade compressora ou instalado separadamente. A compressão do ar gerar calor, logo, a exigência do ar resfriado através de secadores que contribui para um processo energeticamente eficiente, condensando o vapor de água (NEHLER, 2018).

A análise do uso da energia elétrica combinada ao estudo do sistema de ar comprimido proporciona o dimensionamento adequado de compressores prevenindo perdas no sistema e redução de custos. Para um correto dimensionamento fatores como a condição ambiental, tipo de lubrificação e tipo de refrigeração devem ser priorizadas na análise. Tais fatores terão influência significativa na quantidade de energia elétrica consumida pelos equipamentos.

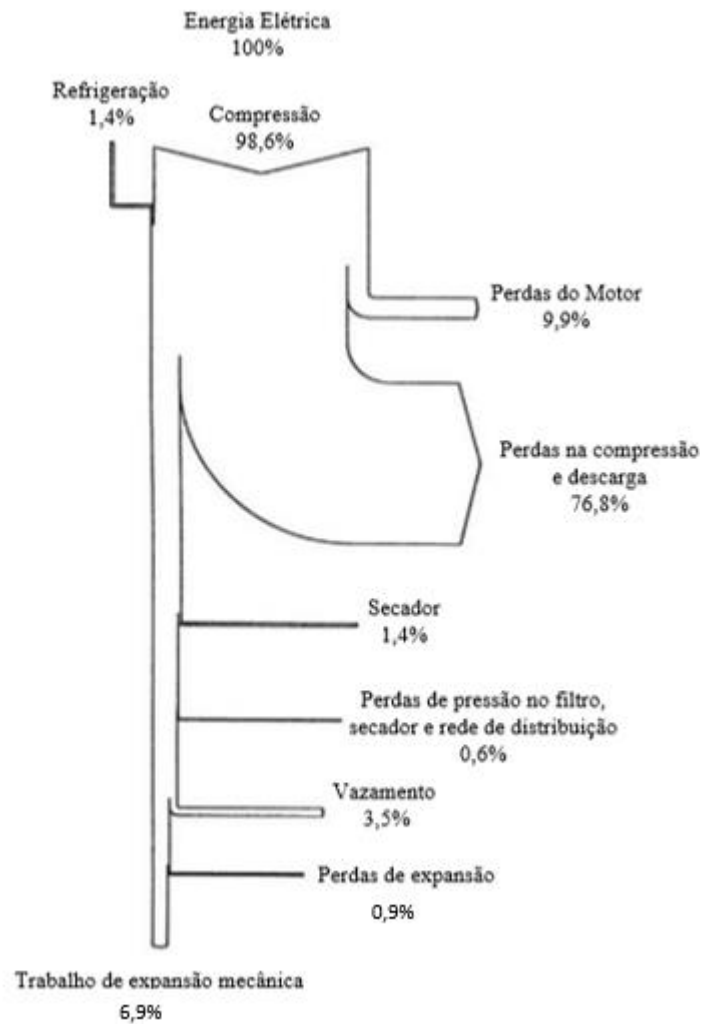
Na Figura 31 e na Figura 32 é compartilhado o diagrama do fluxo de energia de numa instalação de ar comprimido por pontos de vistas diferentes. Importante observar que para ambos os diagramas o ciclo de compressão é o mais significativo na cadeia de perdas.

Figura 31 - Fluxo de energia de um compressor modelo I



Fonte: Filippo Filho (2015)

Figura 32 - Fluxo de energia de um compressor modelo II



Fonte: Adaptada de Nehler (2018)

5.3.2.1. Empresa em estudo

Os dados que serão explorados pertencentes ao sistema de ar comprimido em estudo são referentes ao primeiro semestre ano de 2022 e escolhido o mês de outubro como mês típico para uma análise mais valiosa do seu comportamento. Para este projeto, a empresa em questão, emprega apenas compressores do tipo parafuso rotativo. O compressor em análise é uma máquina rotativa com um propulsor em formato de parafuso, sendo assim referido como compressor tipo parafuso pelos envolvidos. Desenvolvido em 1930, ele pode trabalhar em alta velocidade sobre seu eixo e combinar uma grande vazão de ar.

Como parte desse projeto foi necessário realizar um levantamento de campo a fim de coletar informações técnicas sobre os compressores que são apresentados na Tabela 09. Esta tabela nos permite identificar o quantitativo de equipamentos que fazem parte desse sistema.

Tabela 9 - Levantamento de dados dos compressores instalados na unidade industrial

ITEM	DESCRIÇÃO	POTÊNCIA [HP]	VAZÃO	UNI.	m ³ /h	MÉDIA MÊS HORAS TRABALHADAS
1	Compressor Ingersoll Rand	200	993	cfm	1.687,31	575
2	Compressor Ingersoll Rand	200	996	cfm	1.692,40	591
3	Compressor Ingersoll Rand – R1601-A-110	200	985	cfm	1.673,71	230
4	Compressor Ingersoll Rand – XF 200 A/C	200	993	cfm	1.687,31	439
5	Compressor Ingersoll Rand – SSR-XF 200	200	993	cfm	1.687,31	491
6	Compressor Ingersoll Rand – R1601-A-110	200	985	cfm	1.673,71	719
7	Compressor Ingersoll Rand – R1601-A-110	200	985	cfm	1.673,71	353
8	Compressor Ingersoll Rand – R1601-A-110	200	985	cfm	1.673,71	269
9	Compressor Kaeser – DSD 200	200	992	pcm	1.685,61	509
10	Compressor Kaeser – DSD 200	200	995	pcm	1.690,70	512
11	Compressor Kaeser – DSD 200	200	990	pcm	1.682,21	719
12	Compressor Kaeser – DSD 200	200	992	pcm	1.685,61	716
13	Compressor Kaeser – DSD 200	200	992	pcm	1.685,61	235
14	Compressor Atlas Copco – GA160	200	1677	m ³ /h	1.677,00	504
15	Compressor Chicago CPF 200	200	1605	m ³ /h	1.605,00	462
16	Compressor Atlas Copco – GA160	200	1677	m ³ /h	1.677,00	719
17	Compressor Atlas Copco – GA160	200	1677	m ³ /h	1.677,00	677
18	Compressor Atlas Copco – GA1110	200	850	m ³ /h	850,00	485

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

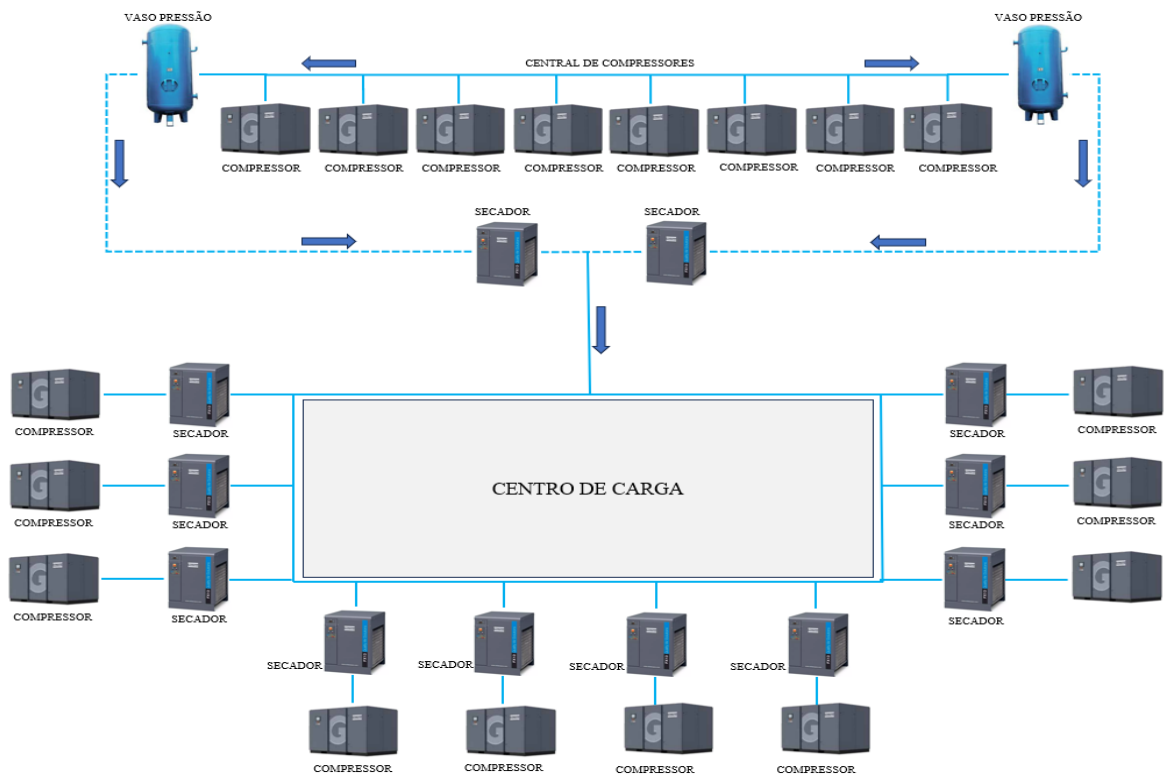
Atualmente essa unidade industrial possui em funcionamento dezoito compressores, todos refrigerados a ar. Foi observado que não existe uma padronização de fabricantes e nem mesmo procedimentos que restrinja ou aprove novas aquisições destes equipamentos. Além dos compressores, o sistema contempla secadores refrigerados a ar, todos instalados conforme diagrama esquemático da Figura 33. É importante enfatizar que a média de horas trabalhadas na Tabela 09 é referente horas em cargas e os demais dados são oriundos da placa dos equipamentos. Outras informações podem ser encontradas na folha de dados do compressor em consulta a *Compressed Air & Gas Institute (CAGI)*.

O sistema de controle atual dos compressores no que se refere o seu modo de operação é feito através do método de carga/alívio, sendo sua principal característica o não desligamento do motor. Quando a pressão máxima é atingida, o compressor é aliviado, deixando de comprimir ar. Essa ação ocorre quando a válvula de alívio fica na condição de aberta. Os ganhos

energéticos esperados através dessa forma de controle é de que quando o motor do compressor está em alívio, o consumo de energia seja de 10% a 35% do consumo a plena capacidade (FILIPPO FILHO, 2018).

Os compressores são distribuídos ao longo de uma área construída de 131.514,00 m², com conceito de instalação de sua rede de tubulação principal em anel. Esse tipo de topologia corretamente dimensionada contribui para a equalização da pressão do ar comprimido, no entanto, em pesquisa de campo, foi identificado divergências ao longo da rede de ar principal com tubulações de diâmetros diferentes que contribuem para o aumento da perda de carga. A característica da configuração atual também sofre perda por conta do crescimento desorganizado das instalações industriais, configurando em diversas ramificações e anéis secundários.

Figura 33 - Diagrama esquemático do sistema de ar comprimido



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Em termos de análise do sistema em funcionamento, se observa uma quantidade significativa de máquinas. Em verdade, o atual sistema precisa ser investigado categoricamente, o que seria desde a integridade física das instalações como tubulações e centrais de geração mais como também o usuário final. Os IDE de ar comprimido pretendem contribuir com essa

análise inicial, em vistas que o sistema é mantido a uma pressão de 6 bar para carga e 7 bar para descarga, que possui uma vazão teórica calculada de aproximadamente 28.787,90 m³/h.

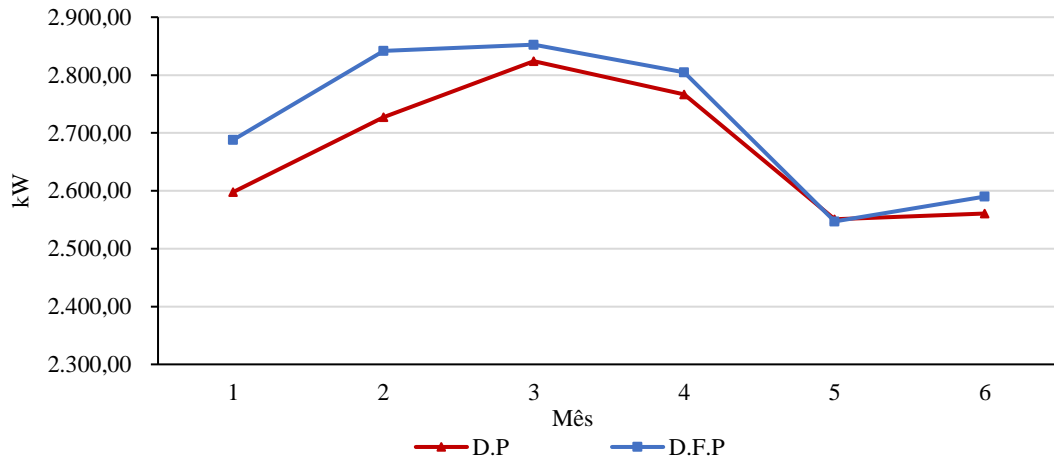
5.3.2.2. Indicadores de Desempenho Energético – Ar Comprimido

Será implementada uma discretização mensal no contexto do sistema de ar comprimido, com o propósito de elucidar o comportamento da demanda e do consumo, bem como compreender a influência das variáveis sobre os dados, visando determinar o consumo específico dos compressores e a eficiência global do sistema. A efetividade desta abordagem seria melhor aplicada caso o processo de coleta de dados dos compressores fosse plenamente automatizado e organizado. Dados pertinentes aos equipamentos, como horas operacionais e vazão, apresentam lacunas devido à limitação de investimentos em tecnologias de controle e automação.

Nesse contexto, foi restringido os dados destinados à discretização mensal ao primeiro semestre do ano de 2022. Já para a discretização diária, foi utilizado apenas o mês típico, que foi outubro de 2022. Esses períodos foram selecionados devido à disponibilidade completa de todas as grandezas elétricas parametrizadas nos arquivos, conforme detalhado no Quadro 07. As análises foram conduzidas exclusivamente com base nesses conjuntos de dados. Nos demais meses, a obtenção do consumo de energia elétrica para o sistema de ar comprimido restringiu-se a valores acumulados mensais.

Posteriormente, com base na análise do primeiro semestre de 2022, são apresentados os Indicadores de Desempenho Energético (IDE) para métricas simples da demanda e consumo, respectivamente. Os dados podem ser visualizados por meio das Figuras 34 e 35.

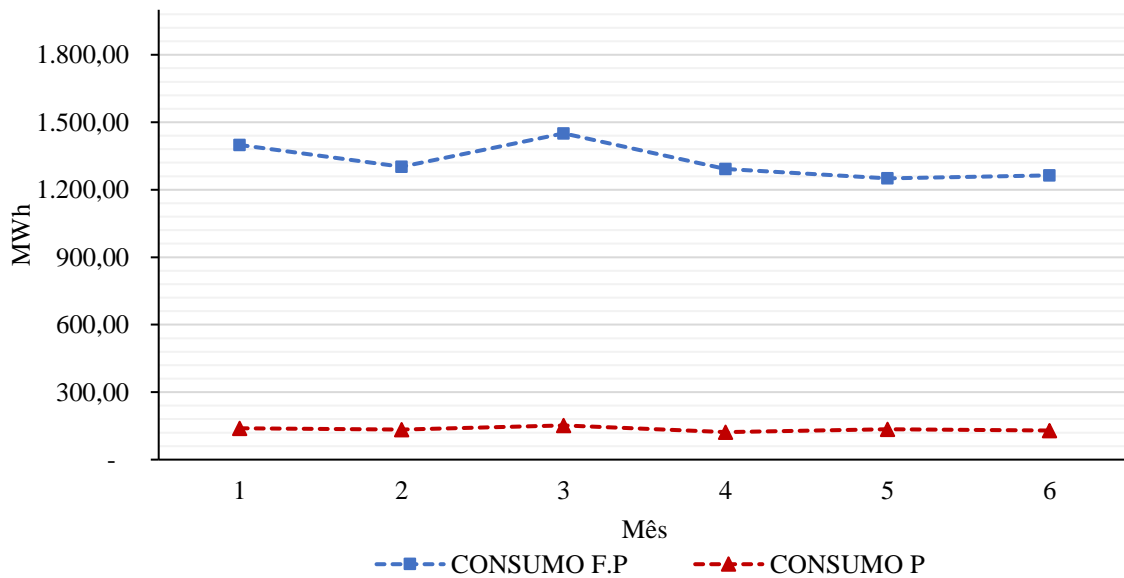
Figura 34 - Demanda máxima ar comprimido nos horários de ponta e fora de ponta



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Diante dos dados processados é possível observar na Figura 34 uma variação máxima de 2,24% entre os horários de ponta e fora de ponta da demanda, concluindo que o uso da energia é praticamente constante independente da segmentação. Já para o consumo de energia elétrica a média para o primeiro semestre de 2022 foi de 1.461 MWh com um desvio padrão de 80,66 MWh.

Figura 35 - Consumo de energia na ponta e fora de ponta

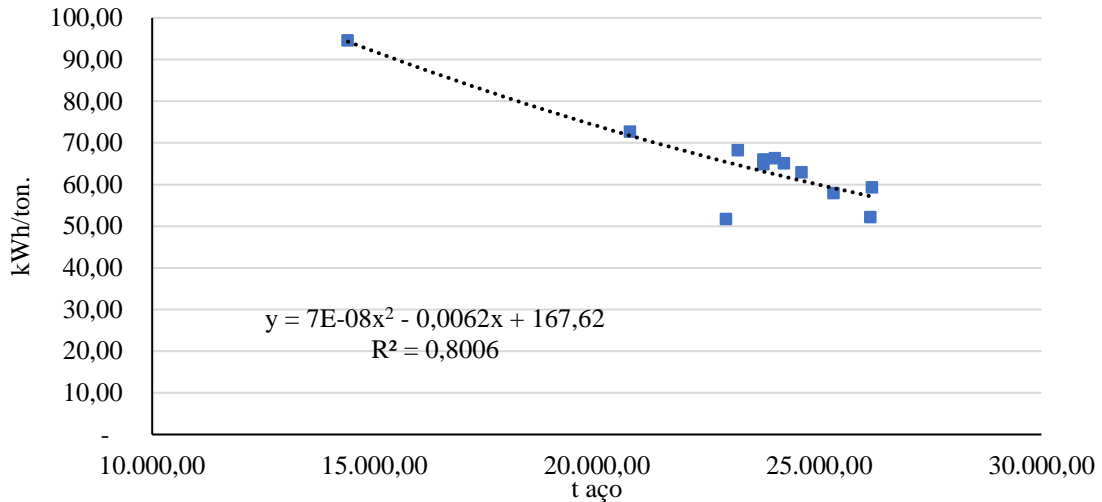


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Em verdade, é sabido que o consumo de matéria prima tem alta influência no consumo de energia elétrica conforme já comprovado através da Figura 26. O gráfico da Figura 36

permite avaliar a influência do consumo de matéria prima em relação ao consumo de energia elétrica do sistema de ar comprimido. Os dados analisados fazem referência ao ano de 2022.

Figura 36 - Eficiência do sistema de ar comprimido



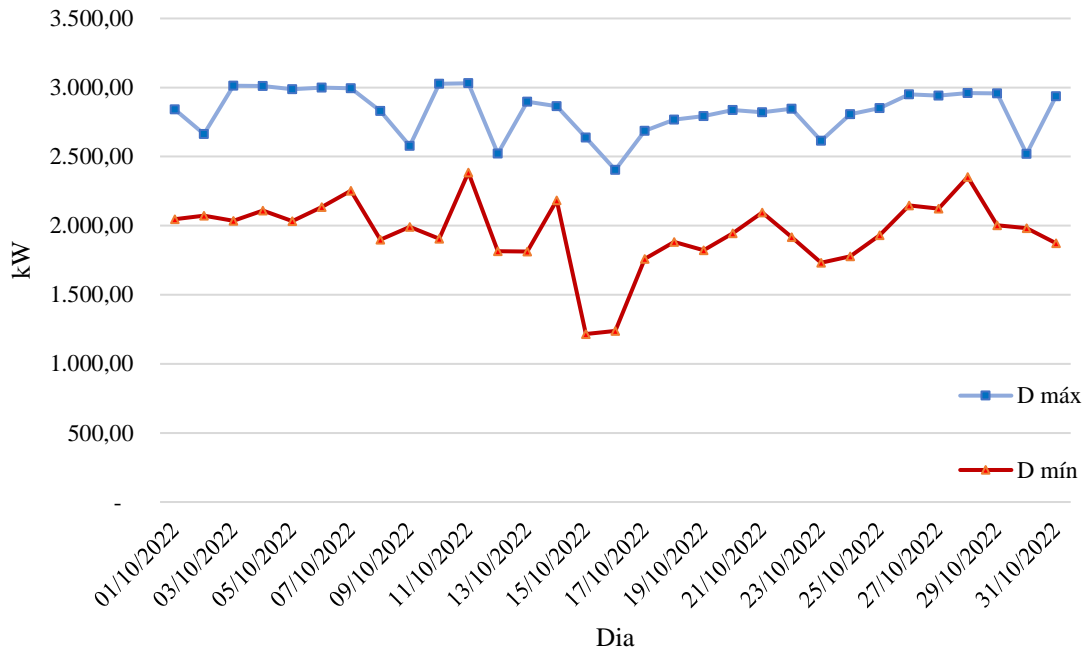
Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

A referida análise permite concluir que o consumo de energia elétrica do sistema de ar comprimido possui uma relação significativa com o consumo de matéria prima, mesmo que o R^2 esteja em 0,80. Para níveis de produção entre 15.000 e 20.000 toneladas de aço, estratégias de conservação de energia como caça vazamentos e desligamento dos equipamentos em horários não produtivos podem contribuir para a melhoria do indicador.

A Figura 37 exibe o IDE da série temporal da demanda máxima e mínima registrada para o mês típico, outubro de 2022, em forma de discretização diária.

A demanda máxima ao longo do mês foi registrada tanto em horários de ponta como em horários fora de ponta, confirmando o perfil de comportamento sem grandes oscilações. Nota-se uma pequena variação de demanda máxima aos domingos, que tem valores representativos médio de 2.555,75 kW, ou seja, carregamento de aproximadamente três transformadores de 1000kVA de distribuição de energia. A série não apresenta nenhum componente notável de tendência ou sazonalidade. Entretanto, a demanda elétrica em dias de semana é cerca de 13% maior que aos domingos conforme segue Tabela 10 e corresponde a cerca de 21% da demanda média máxima da unidade industrial como um todo.

Figura 37 - Demanda dos compressores em outubro de 2022 – [kW]



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

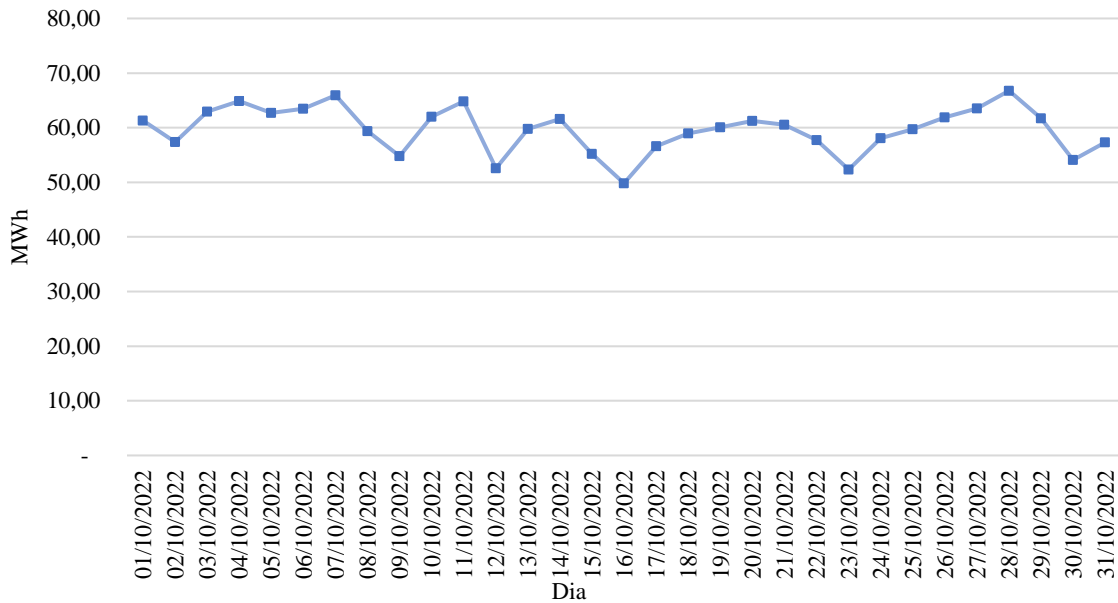
Tabela 10 - Registro de demanda

Demanda Média Máxima [kW]			
Referência	Compressores	Planta	Relação
Dias de Semana	2.890,09	12.408,10	23,3%
Domingo	2.555,75	12.033,83	21,2%
Feriado	2.522,20	9.113,25	27,7%

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

A série temporal da Figura 38 representa o consumo de energia elétrica com discretização diária do mês típico, que analisado permite a confirmação de um sistema de ar comprimido com funcionamento contínuo, independente de horários de ponta ou fora de ponta, como também finais de semana e dias de semana, garantindo assim uma representatividade de cerca de 25% do consumo de energia elétrica de toda a unidade industrial, conforme a última coluna de relação da Tabela 10. Valor expressivo por vários fatores, porém, mais em evidência pelo fato que o ar comprimido não é o único *facility* no processo manufatureiro.

Figura 38 - Consumo dos compressores no mês típico em base diária outubro de 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A Tabela 11 fornece os dados de consumo do sistema de ar comprimido do mês típico em relação ao consumo global da planta industrial consolidados.

Tabela 11 - Registro de consumo

Referência	Consumo Geral [MWh]	Consumo Ar Com. [MWh]	Relação
Dias de Semana	61,21	273,56	22,4%
Domingo	53,68	187,82	28,6%
Feriado	52,56	210,21	25,0%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Em dias de domingo o consumo da unidade tende a ser menor devido ao baixo volume de produção, logo, com base na relação feita pela Tabela 11 tem-se a confirmação que os compressores de ar permanecem em funcionamento independente do volume de produção. A mesma característica se desprende para o feriado.

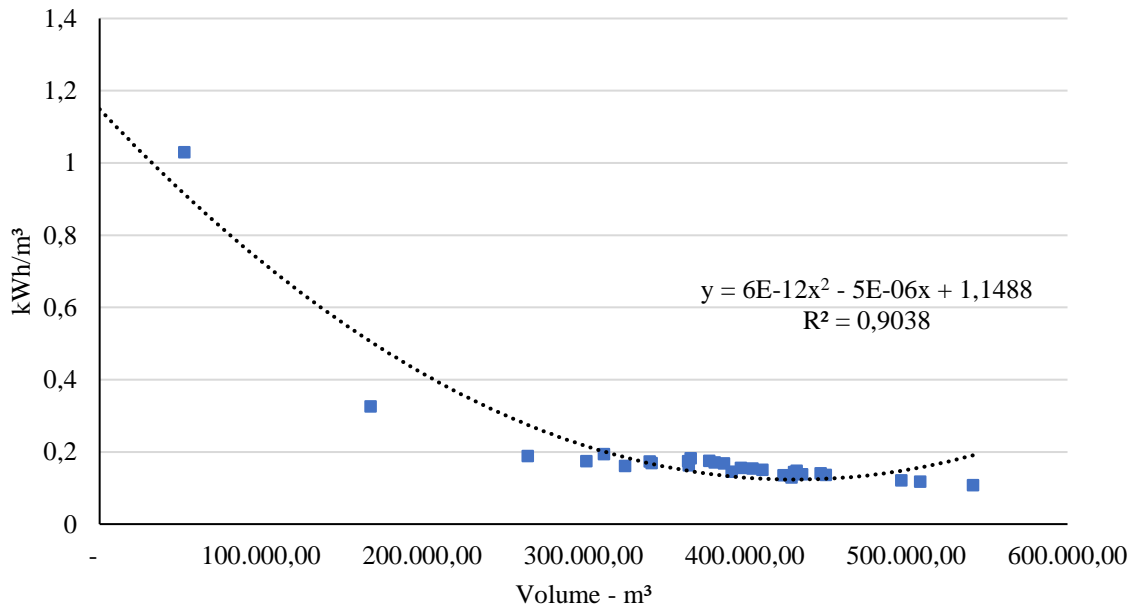
De fato, um arranjo de sistema de ar comprimido com diversos equipamentos requer um controle sobre a eficiência deles. O Consumo Específico (CE) dos compressores é um método que auxilia na forma de controle desses equipamentos. A relação entre energia elétrica e o volume de ar comprimido é definida como CE kWh/m³. Exceto para uma alta quantidade de vazamentos e com uma alta vazão, o ar comprimido nunca é consumido de forma constante.

O gráfico da Figura 39 contém os dados do mês típico outubro com a relação causal entre o consumo de energia elétrica em kWh e a vazão m³/dia. Ele nos permite interpretar uma forte relação entre o consumo de ar comprimido com a energia elétrica. O consumo de ar comprimido não se limita a máquinas e equipamentos, tendo um dos principais vilões o vazamento, que a título de exemplo podem representar até dois compressores de 200 HP do sistema em estudo.

Ainda explorando os resultados obtidos pela regressão polinomial, é possível identificar que a vazão é elevada muito por conta do alto período dos compressores em regime de carga. Cabe um estudo dedicado para identificar os principais consumidores de ar e qual a contribuição dos vazamentos face ao longo período de permanência em carga dos compressores.

A análise sobre o consumo específico dos compressores sendo eles analisados como um único sistema de geração, se mostra um sistema ineficiente com o CE maior que 0,15. É relevante observar que a afirmação sobre a ineficiência do sistema de ar comprimido é baseada na métrica de 0,15, conforme evidenciado pela interpretação da Figura 39.

Figura 39 - Consumo específico do mês típico de energia elétrica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 40 - Consumo específico médio de compressores de ar para $r=7,0$

Compressor	Capacidade (m ³ /h)	CE (kWh/m ³)
Pistão	< 70	0,133
	70 a 700	0,095
	700 a 7000	0,072
Palheta	< 70	0,125
	70 a 700	0,100
Parafuso	< 70	0,116
	70 a 700	0,100
	700 a 3500	0,092
Centrífugo	1400 a 3500	0,091
	3500 a 7000	0,083

Fonte: Filippo Filho (2015)

Ainda sobre a eficiência das máquinas rotativas, um compressor tem como o princípio de funcionamento realizar a captação do ar do próprio ambiente que junto a ele está presente o vapor da água. A instalação desses equipamentos deve acontecer de forma planejada para que o fator ambiente não comprometa a eficiência e a vida útil do equipamento.

Temperaturas mais elevadas na admissão do ar apresenta desafios significativos, potencialmente afetando a eficiência energética e fazendo com que o trabalho exercido pelo compressor seja maior e conseqüentemente o consumo de energia também.

5.3.3. Sistema de Pintura

A unidade industrial objeto deste estudo alberga dois sistemas distintos de pintura, os quais compartilham similaridades em seus estágios operacionais e se caracterizam por uma considerável quantidade de equipamentos implementados e consumo de energia elétrica.

Estes sistemas encontram-se fisicamente alocados em locais distintos dentro da unidade industrial em questão. Um deles é dedicado à pintura de chassis e componentes estruturais destinados a veículos pesados, enquanto o outro se destina à pintura de rodas para veículos de uso rodoviário e *off-road*.

Será dissertado de forma sumária o princípio de funcionamento de ambos os sistemas e suas contribuições para o uso e consumo de energia elétrica. Os IDE serão desmembrados em intervalos temporais mensais e diários, com uma discretização diária e horária,

respectivamente. Vale destacar que a análise do consumo de energia elétrica abrangerá a totalidade do processo produtivo, excluindo-se os subsistemas inerentes ao processo de pintura. Pois, uma investigação dos subsistemas que compõem o processo de pintura, conduzido com uma abordagem detalhada, requer o uso de um sistema preciso de medição de energia em todas as etapas, tais como o retificador de eletroforese, a recirculação e a filtração do banho.

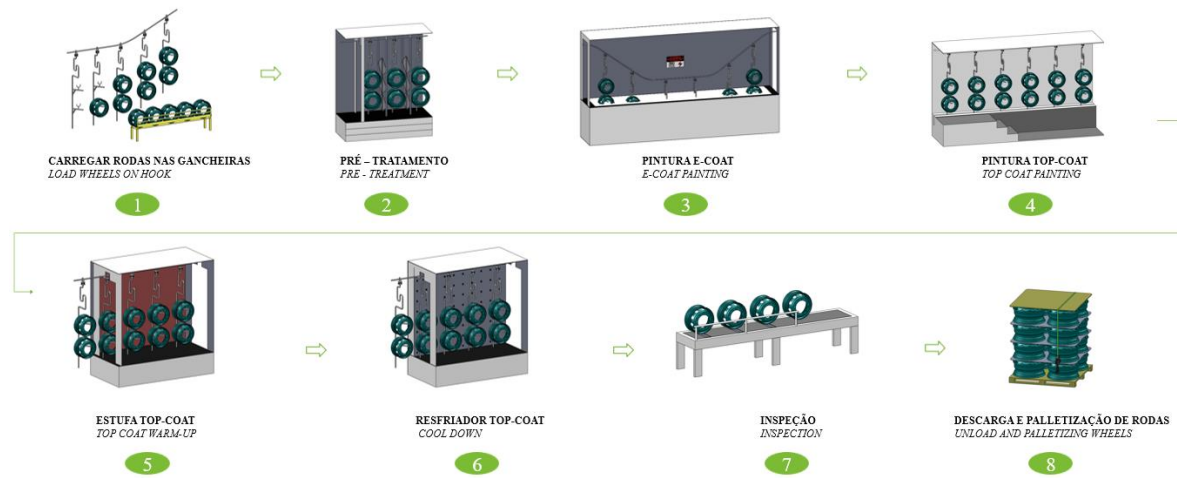
O *Eletrocoating*, conhecido por diversas denominações como *E-Coat*, *Elpo* ou *Kathodische Tauchlackierung* (KTL), representa um método sofisticado de revestimento de superfícies metálicas condutivas por meio de um procedimento eletroquímico. Este processo é realizado mediante a imersão de um objeto condutivo metálico em um banho de tinta, no qual a aplicação da camada de revestimento é conduzida por meio de uma corrente elétrica. Nesse contexto, o objeto em questão é eletricamente interligado a um dos polos, enquanto o tanque ou eletrodo assume a polaridade oposta.

Os sistemas dedicados a essa técnica são caracterizados pela presença de tanques específicos destinados à imersão das peças a serem revestidas, bem como por um sistema de movimentação concebido para transferir os cestos contendo as peças ao longo do processo. Em linhas gerais, o processo de pintura compreende uma série de etapas coordenadas e interdependentes, culminando na obtenção de um revestimento uniforme e durável. As principais fases desse processo da unidade industrial em estudo incluem:

- Pré-tratamento;
- Filtração;
- Ultrafiltração;
- Pintura *E-Coat*;
- Secagem;
- Resfriamento.

A título de exemplo, a Figura 41 representa a sequência de pintura do E-coat rodas.

Figura 41 - Diagrama esquemático



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Em síntese, o *electrocoating* representa uma abordagem técnica avançada no âmbito da proteção de superfícies metálicas, incorporando diversas etapas meticulosamente coordenadas para assegurar a eficácia e a uniformidade do revestimento aplicado.

5.3.3.1. Empresa em estudo

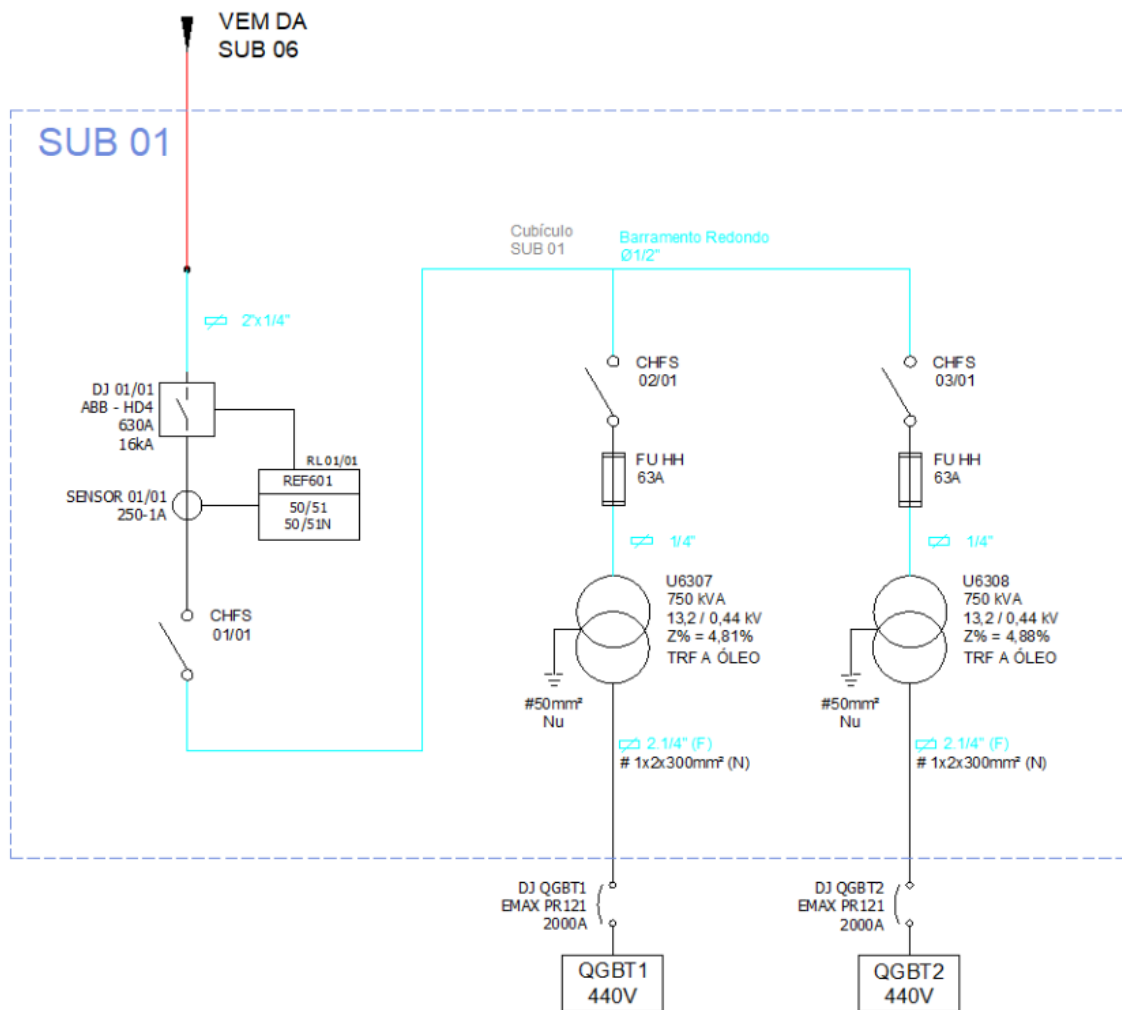
O sistema de distribuição de energia elétrica, inerente aos sistemas de pintura *E-coat*, se delinea mediante a implementação de duas subestações distintas. Parte da subestação 01 é especialmente alocada para atender às demandas associadas ao processo de *E-coat* rodas, enquanto a Subestação 06 assume a responsabilidade pela alimentação elétrica destinada ao *E-coat* chassis e componentes estruturais. Estas instâncias de subestações são explicitamente delineadas e representadas no diagrama apresentado nas Figuras 42 e 43.

A Figura 42 apresenta uma delineação específica do cenário na Subestação 01, destacando exclusivamente os transformadores designados para o processo de *E-coat* rodas. Este segmento da instalação compreende de maneira integral dois transformadores de 750 kVA, cujas características técnicas incluem uma tensão de operação de 13,2 kV na entrada e 0,44 kV na saída. A alocação de dois transformadores de 750 kVA, em consonância com as especificações técnicas de tensão mencionadas, destaca a capacidade substancial e a precisão necessária para garantir a demanda elétrica do processo.

Além do sistema elétrico evidenciado na Figura 42, o sistema de pintura de rodas conta com uma segunda linha de pintura no processo. Esta linha é alimentada por uma subestação

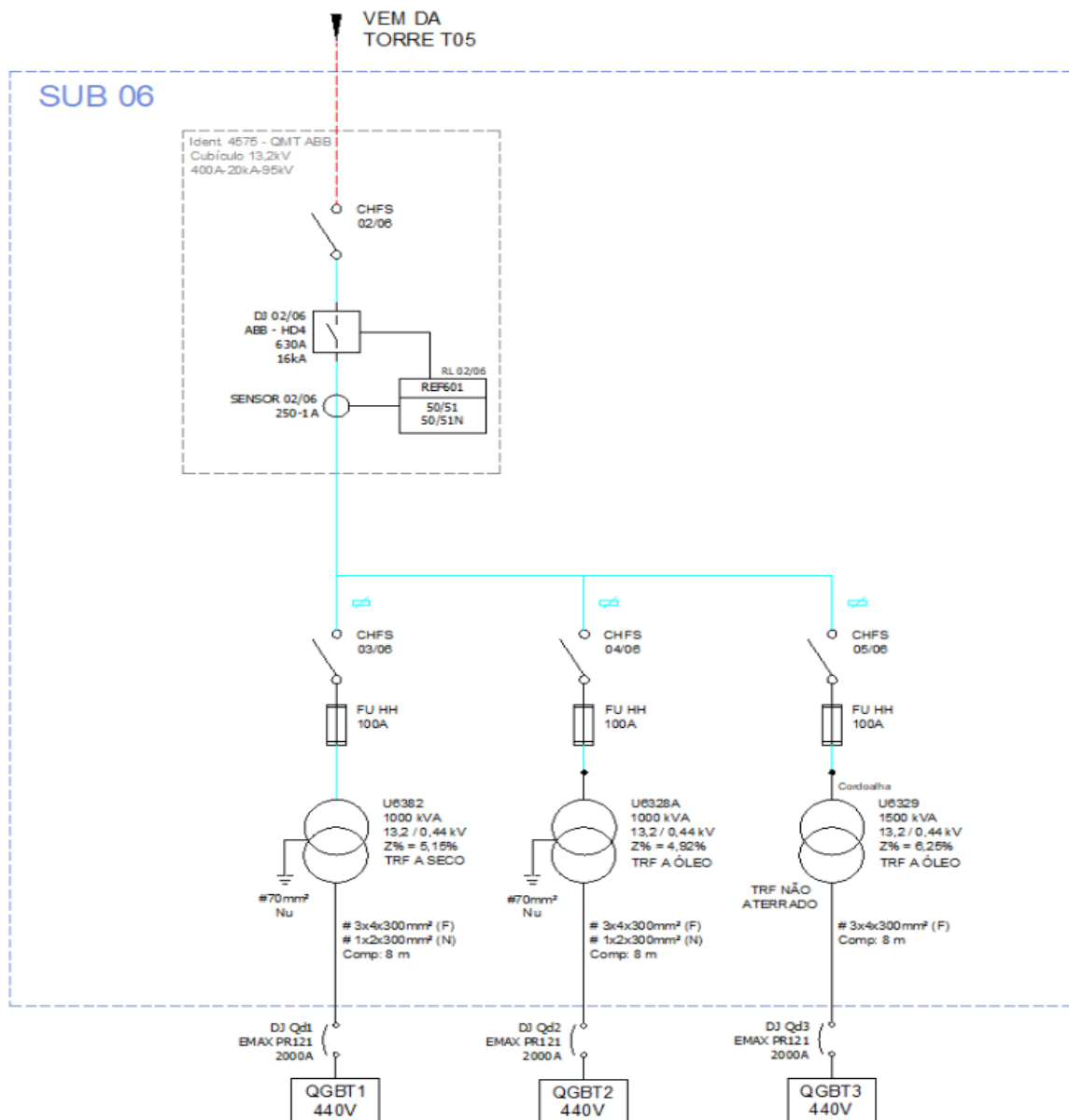
equipada com dois transformadores de 1000 kVA, contribuindo diretamente para um notável consumo de energia elétrica.

Figura 42 - Subestação 01 *E-coat* rodas linha 1



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Quanto as instalações do processo de pintura dos componentes estruturais, a representação visual na Figura 43 proporciona uma análise das instalações voltadas especificamente para o processo de pintura do *E-coat* chassis. A inclusão de dois transformadores de 1000 kVA, aliados ao transformador de 1500 kVA destinado ao retificador, destaca a significativa capacidade e precisão exigidas para assegurar uma distribuição elétrica e atender a alta demanda de energia do processo.

Figura 43 - Subestação 06 *E-coat* chassis

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

O conjunto de transformadores abrangendo as subestações anteriormente mencionadas totaliza uma potência instalada superior a 5MVA. Ao longo do ano de 2022, esses transformadores registraram um consumo acumulado de 17.675,5 MWh.

5.3.3.2. Indicadores de desempenho energético – Processo de Pintura

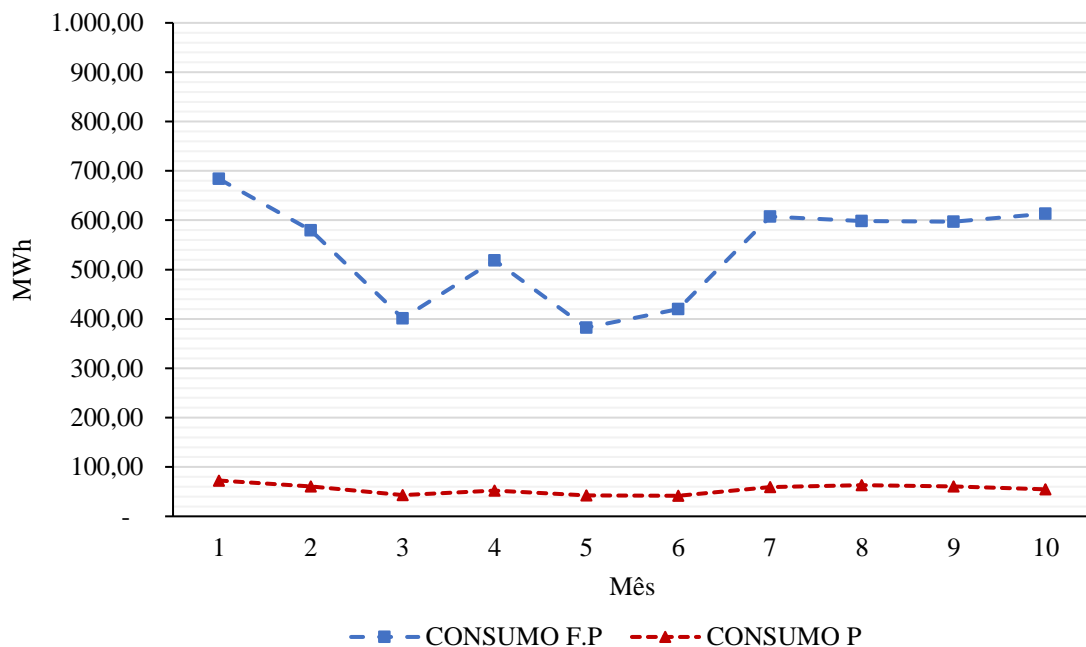
Da mesma forma que foram conduzidas análises para o sistema de ar comprimido, também é preciso à realização dos IDE para o processo de pintura. Entretanto, a série temporal com discretização mensal será estendida ao longo de dez meses, abrangendo o período de

janeiro a outubro de 2022. Isso se deve, em grande parte, à consolidação do sistema de medição de energia elétrica setorial durante o ano de 2022.

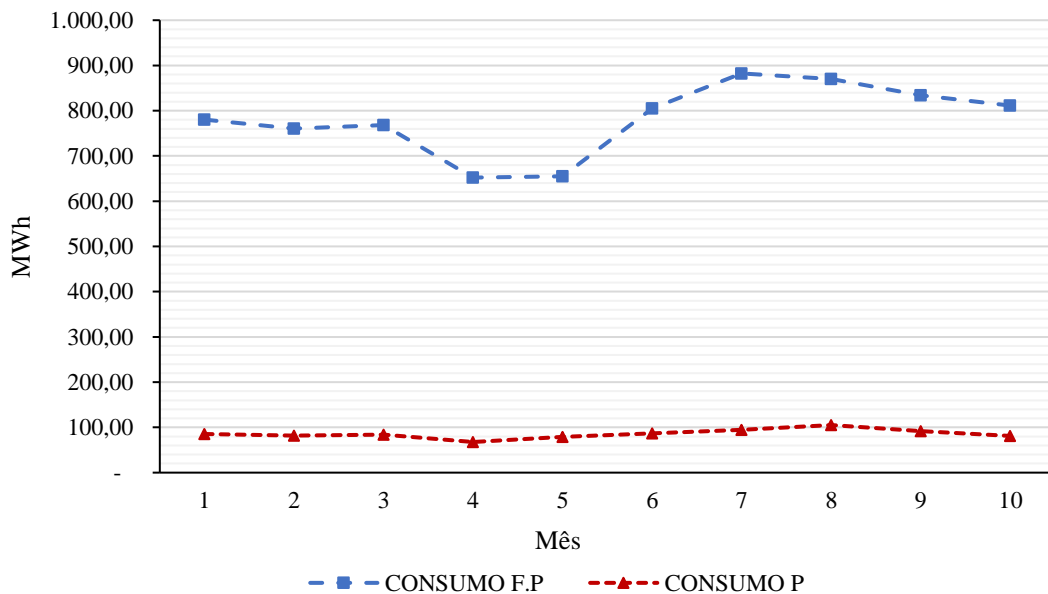
Adicionalmente à discretização mensal, serão disponibilizados dados em base diária, relativos ao mês típico de outubro de 2022. O dia específico sujeito à análise é o dia 19 de outubro de 2022, englobando um intervalo de seis horas anteriores e seis horas subsequentes. Essa estratégia é adotada com o intuito de mitigar variações abruptas nas tendências dos dados.

Realizou-se a estratificação do consumo de energia elétrica no contexto do processo de pintura de chassis e rodas, com o intuito de compreender os períodos de ponto e fora de ponta. Os gráficos exibidos nas Figuras 44 e 45 oferecem uma base conclusiva para essa análise.

Figura 44 - Consumo de energia elétrica *E-coat* chassis



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

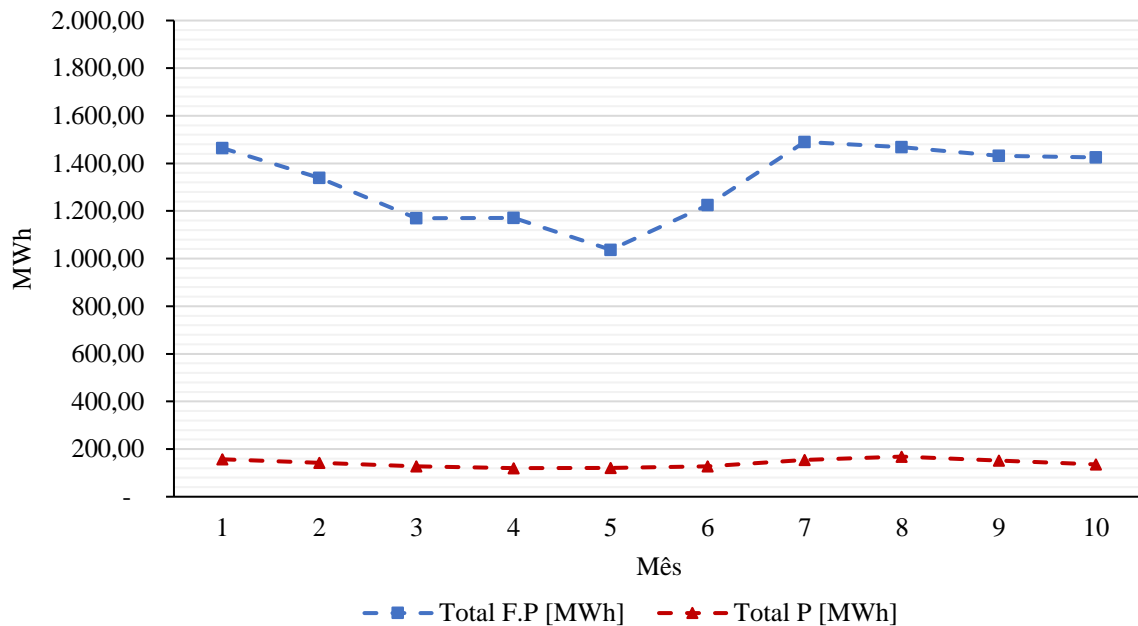
Figura 45 - Consumo de energia elétrica *E-coat* rodas

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O consumo médio durante os períodos de fora de ponta para o processo de pintura de chassis foi registrado em 540,27 MWh, em contraste com os 781,76 MWh observados para a pintura de rodas. Esta disparidade pode ser atribuída à presença de dois *E-coats* no processo de pintura de rodas, justificando a diferença nos níveis de consumo. No que diz respeito aos períodos de ponta, o consumo de energia para a pintura de rodas demonstrou-se quase duas vezes maior do que o correspondente à pintura de chassis, atingindo uma média de 85,70 MWh. Os resultados indicam uma variação significativa nos padrões de consumo de energia entre os processos de pintura de chassis e rodas. A presença de dois *E-coats* no processo de pintura de rodas contribuiu para um consumo mais elevado, especialmente durante os períodos de ponta.

Após a estratificação do consumo de energia elétrica com base nas categorias de pintura, é preciso consolidar os processos e analisar o padrão de consumo de maneira abrangente. A representação gráfica apresentada na Figura 46 possibilita a observação desse consumo ao longo de um período temporal determinado. Evidencia-se uma variação insignificante no consumo durante os períodos de ponta, mantendo, em média, o valor de 141,32 MWh. Para o consumo fora de ponta existe uma variação moderada, muito embora o gráfico apresente um afundamento de janeiro a maio, os dados se dispersam da média com um valor de desvio padrão de 159,67 MWh.

Figura 46 - Consumo de energia elétrica processo de pintura



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Analisar a demanda do processo de pintura integral irá complementar o entendimento do perfil de consumo, identificando os horários de pico e de menor demanda, além de observar os padrões diários. Essa análise fornece informações valiosas para o gestor de energia e produção, ajudando a propor estratégias e melhorar a eficiência operacional.

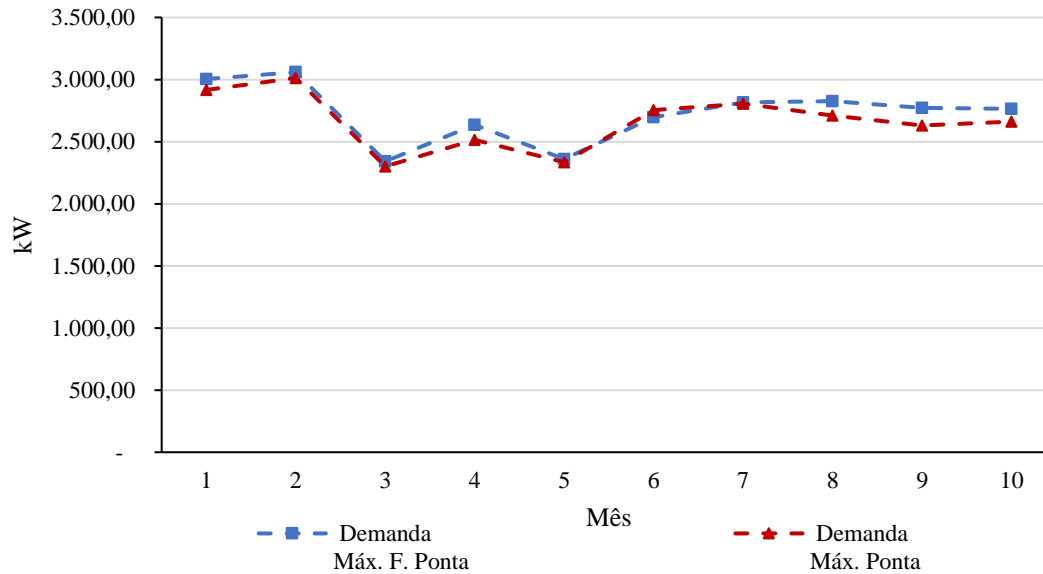
Os gráficos na sequência apresentam os dados de demanda máxima no segmento de ponta e fora de ponta dos dez primeiros meses de outubro. É possível observar que nos meses de janeiro e fevereiro foram os meses com maior demanda máxima registrada da série, valor médio de 2.964,93 kW. Após o mês seis o comportamento da demanda máxima passou a ser menor nos períodos de ponta, em torno de 3,5%.

Durante a extensão da série temporal analisada, a demanda média máxima registrada durante os períodos de ponta foi de 2.664,15 kW, em contraposição aos 2.727,98 kW observados nos períodos fora de ponta. É válido destacar que a ausência de uma comparação com dados de anos anteriores dificulta a análise da presença de padrões sazonais. Observa-se uma estabilidade na demanda a partir do primeiro semestre do ano de 2022, acompanhada por uma sutil inclinação de redução ao longo do período subsequente.

A Tabela 12 fornece de maneira sumária os resultados apresentados até o presente momento, englobando uma análise minuciosa da demanda e consumo. No contexto deste estudo, destaca-se a observação do fator de carga das instalações de pintura. Esta medida, derivada da relação entre a carga real e a carga máxima possível, oferece perspectivas

fundamentais sobre a eficiência e utilização efetiva das instalações, proporcionando uma compreensão mais profunda dos padrões de demanda de energia elétrica no contexto específico das operações de pintura analisadas.

Figura 47 - Demanda máxima por segmentação



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

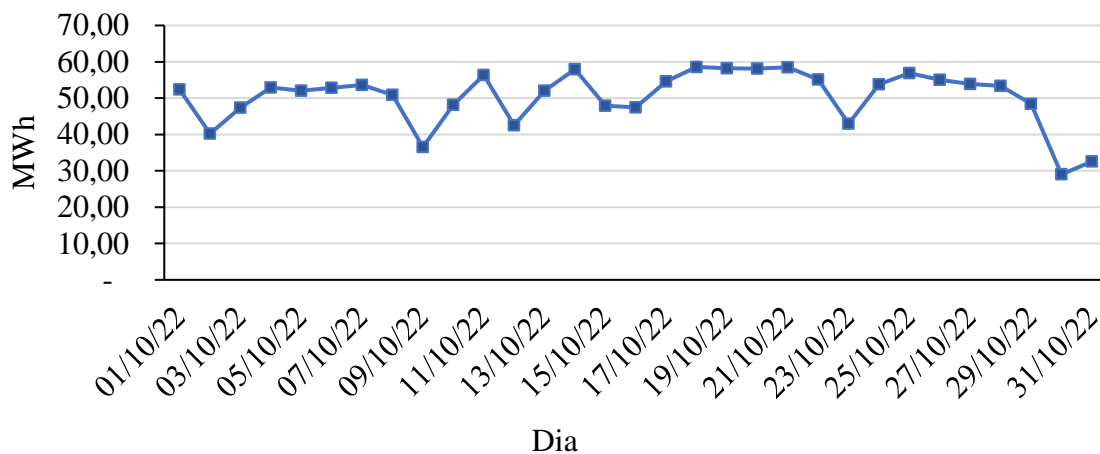
Tabela 12 - Análise sumária

Mês	Demanda Máx. Ponta [kW]	Demanda Máx. F. Ponta [kW]	Consumo Ponta [MWh]	Consumo F. Ponta [MWh]	FC Ponta	FC F. Ponta
1	2.917,55	3.004,87	157,81	1.463,94	0,83	0,73
2	3.012,32	3.059,46	142,49	1.339,65	0,73	0,66
3	2.300,85	2.341,27	126,99	1.169,36	0,85	0,75
4	2.514,35	2.634,57	120,13	1.170,71	0,74	0,67
5	2.334,89	2.361,02	121,22	1.037,19	0,80	0,66
6	2.754,75	2.697,37	128,23	1.224,77	0,72	0,68
7	2.805,24	2.816,30	154,38	1.490,07	0,85	0,80
8	2.709,63	2.826,66	168,56	1.468,52	0,96	0,78
9	2.630,47	2.772,87	151,87	1.431,54	0,89	0,78
10	2.661,47	2.765,39	135,98	1.424,58	0,79	0,77
Média					0,81	0,73

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A série temporal com discretização diária irá auxiliar identificar padrões e tendências. Isso inclui padrões sazonais, variações diárias e semanais que podem revelar o comportamento cíclico ou periódico da variável. A fim de obter essas conclusões o gráfico da Figura 48 exibe o consumo de energia elétrica para o mês típico do processo de pintura e o gráfico da Figura 49 demonstrará a demanda máxima e mínima diária.

Figura 48 - Consumo de energia elétrica diário



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O consumo de energia aos domingos revela-se inferior em comparação aos dias úteis e sábados. Todavia, destaca-se que o consumo de energia se mantém dentro dos limites estabelecidos entre 40 e 60 MWh, com exceção dos dias 09 e 30/10/2022, que correspondem a fins de semana, e 31/10/2022, uma segunda-feira atípica dentro do intervalo temporal analisado. É discernível a presença de um padrão cíclico durante os dias úteis, acompanhado por reduções pontuais aos finais de semana, influenciadas em função da diminuição no volume de produção.

O consumo médio diário, aferido em 50,34 MWh, suscita a necessidade de uma análise mais aprofundada quanto à influência dos valores observados nos finais de semana sobre esta média. Detalhes mais específicos relativos ao consumo encontram-se resumidos na Tabela 13, proporcionando uma compreensão mais abrangente e detalhada dos padrões de consumo ao longo do período em questão.

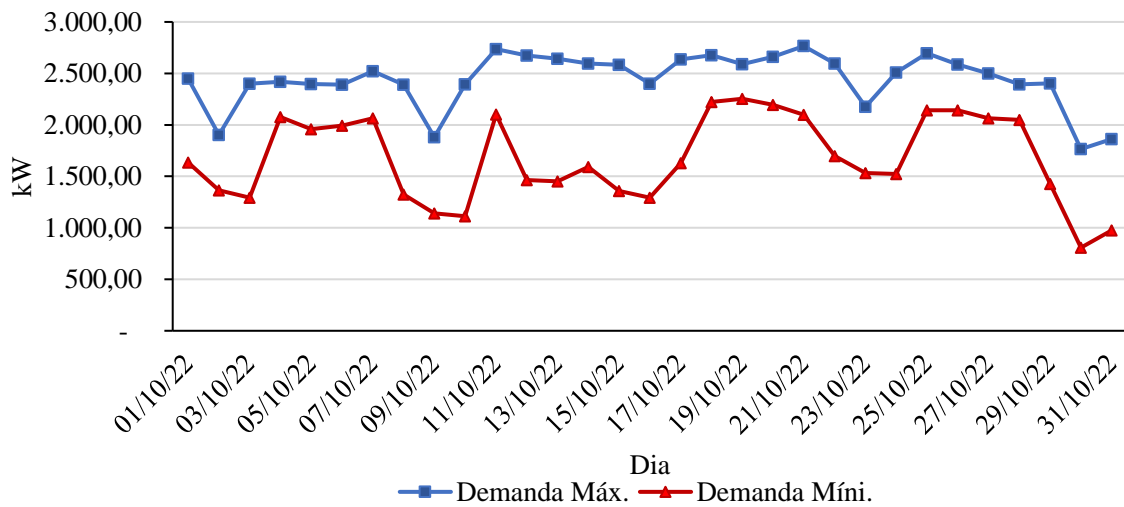
Tabela 13 – Síntese dos resultados de consumo

Consumo médio diário [MWh]		
Referência	Consumo [MWh]	Relação [%]
Dias de semana	52,83	
Domingo	39,25	74,29%
Feriado	42,52	80,49%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Portanto, o consumo médio em dias de domingo e feriado apresentam uma relação atrativa sobre a média geral, que confirma um desvio padrão de 7.605,04 MWh. Outra análise que recai sobre a Tabela é a contribuição do consumo de energia do processo de pintura em relação consumo global da unidade industrial. Essa análise permite mais uma vez confirmar a significância do consumo de energia deste processo, sendo que para dias de semana o consumo diário da pintura representa 0,95% e aos domingos feriado 4,18% e 20,23% respectivamente.

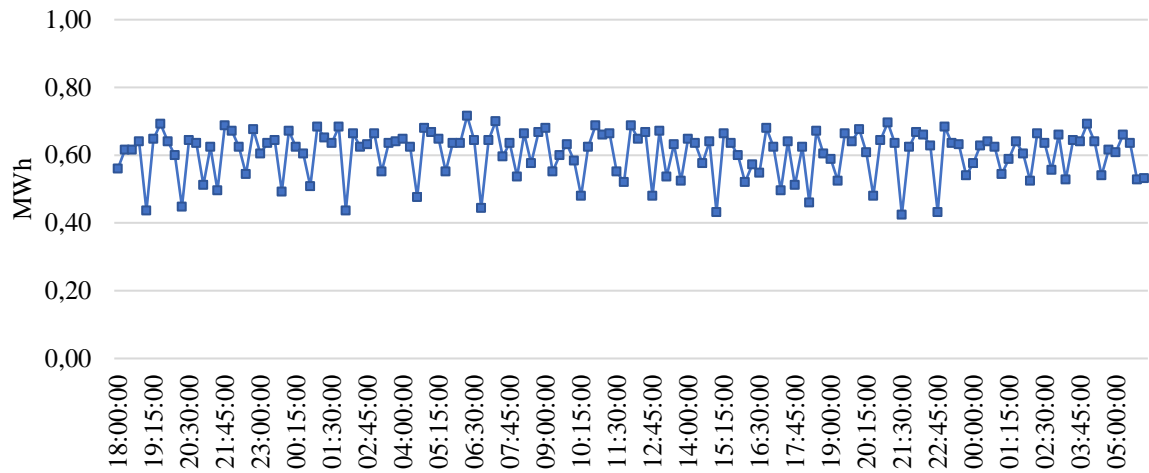
Figura 49 - Demanda máxima e mínima processo de pintura



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Após as análises, o gráfico referente ao dia típico expõe-se na Figura 50, evidenciando um consumo de energia elétrica constante, com variações regulares e medidos em um intervalo de 15 minutos. Não são observadas características distintivas durante as transições de turno, horários de almoço e jantar. Não se evidencia, também, um comportamento crescente ou decrescente em função das horas. O consumo médio em um dia típico é de 0,61 MWh.

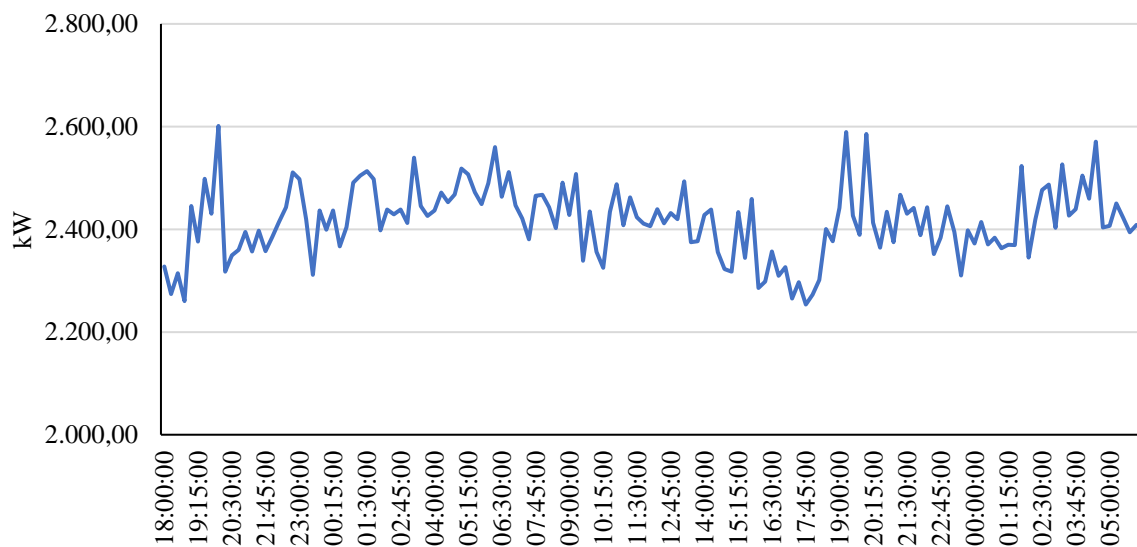
Figura 50 - Consumo de energia elétrica dia típico em MWh



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Em relação ao comportamento da demanda, os dados não evidenciam uma regularidade específica, manifestando-se por aumentos repentinos nos horários das 19:00h, seguidos de um ligeiro acréscimo após as 00:00h. A demanda atingiu seu valor máximo às 20:00h, situando-se em aproximadamente 2.600,00 kW, enquanto o valor mínimo foi registrado às 17:45h, totalizando 2.253,00 kW. Dessa forma, o gráfico retratado na Figura 51 ilustra de maneira visual essas oscilações.

Figura 51 - Demanda do dia típico em kW



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Com o propósito de consolidar os resultados referentes ao dia típico, a Tabela 14 é apresentada, contendo a média de consumo e demanda por período. Esta tabela auxilia na compreensão das ligeiras variações entre os distintos períodos do dia.

Tabela 14 - Síntese dos resultados do dia típico

Período	Consumo médio [MWh]	Demanda média [kW]
0 - 6h	612,56	2.442,31
7 - 17h	606,83	2.403,99
18 - 24h	600,67	2.402,03

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

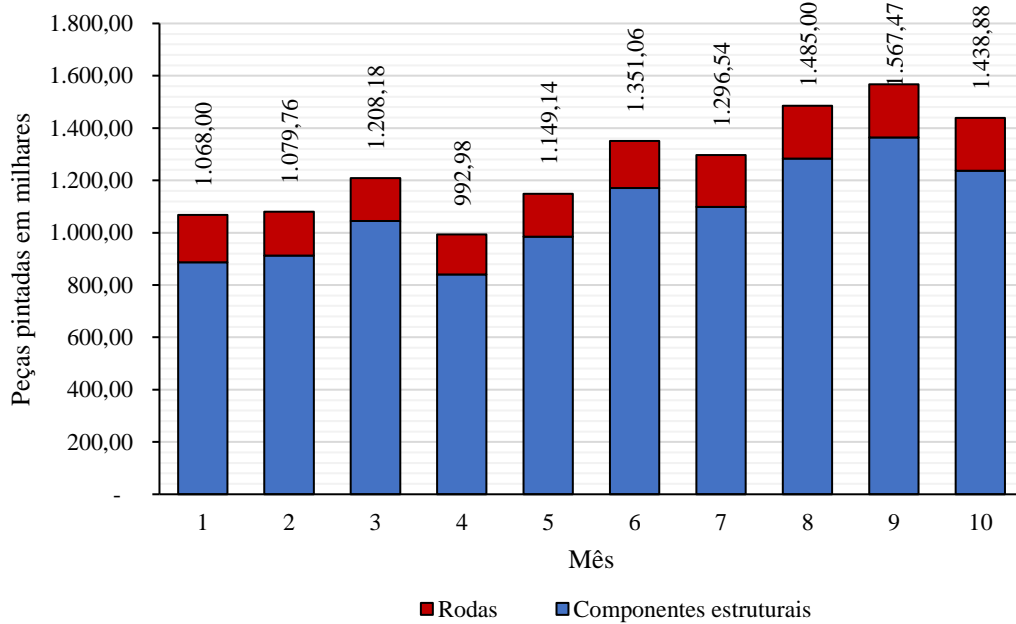
O mês e o dia típico proporcionaram informações valiosas sobre o consumo no processo de pintura, apresentando potencial para contribuir no estabelecimento de metas de conservação e eficiência energética. Isso se revela crucial, especialmente ao planejar despesas para anos subsequentes, no que concerne ao consumo de energia elétrica.

Portanto, é indispensável compreender o nível de significância das variáveis inerentes ao processo de pintura e como essas variáveis impactam o desempenho energético. Conforme mencionado anteriormente, a análise se restringiu ao processo global de pintura, ou seja, ao consumo total do processo em função das variáveis identificadas.

Recomenda-se, para futuros estudos, especialmente para sistemas de pintura, como os de eletroforese, a segregação do consumo para dois propósitos distintos: força motriz (ventiladores, sopradores e bombas) e cubas eletrolíticas. Para a força motriz, os indicadores de desempenho energético (IDE) incluiriam o consumo específico (kWh/m³) e a intensidade energética (kWh/peça). Da mesma forma, para compressores, o consumo específico reflete a eficiência do sistema de acionamento. No caso das cubas, seria suficiente considerar a intensidade energética (kWh/peça).

A seguir, serão apresentados os IDE. A Figura 52 possibilita a visualização da quantidade de peças pintadas em ambos os processos, abrangendo componentes estruturais e rodas. Vale ressaltar que o volume de peças pintadas no processo *E-coat* chassis difere significativamente devido à ampla variedade de componentes estruturais fabricados na unidade industrial, em contraste com o *E-coat* rodas, cuja aplicação se limita exclusivamente às rodas.

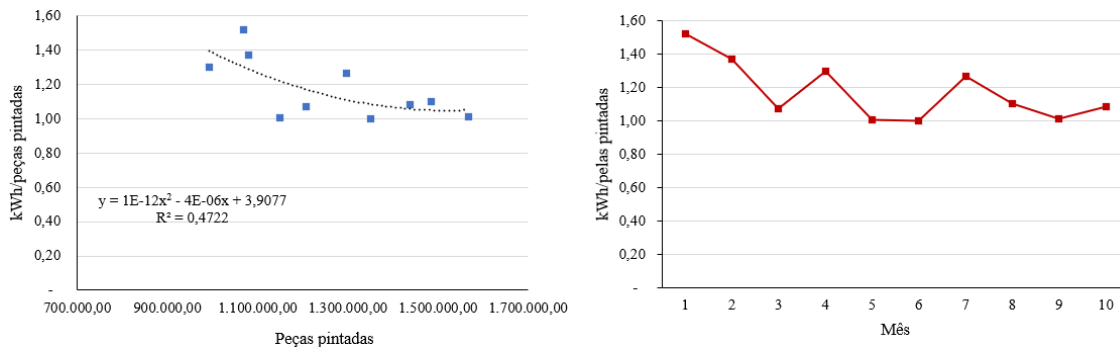
Figura 52 - Peças pintadas processo de pintura



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Com os dados referentes às peças pintadas em mãos, torna-se viável a realização do IDE para a eficiência do processo de pintura como um todo. Nesse contexto, empregou-se uma análise de regressão polinomial quadrática por meio dos gráficos apresentados na Figura 53, visando identificar se o volume de peças pintadas exerce influência na eficiência do processo. O gráfico à direita ilustra o indicador de intensidade energética para produção de rodas pintadas no mês. Essa abordagem possibilita a obtenção do IDE de intensidade energética (kWh/peças pintadas).

Figura 53 - Desempenho energético kWh/peças pintadas



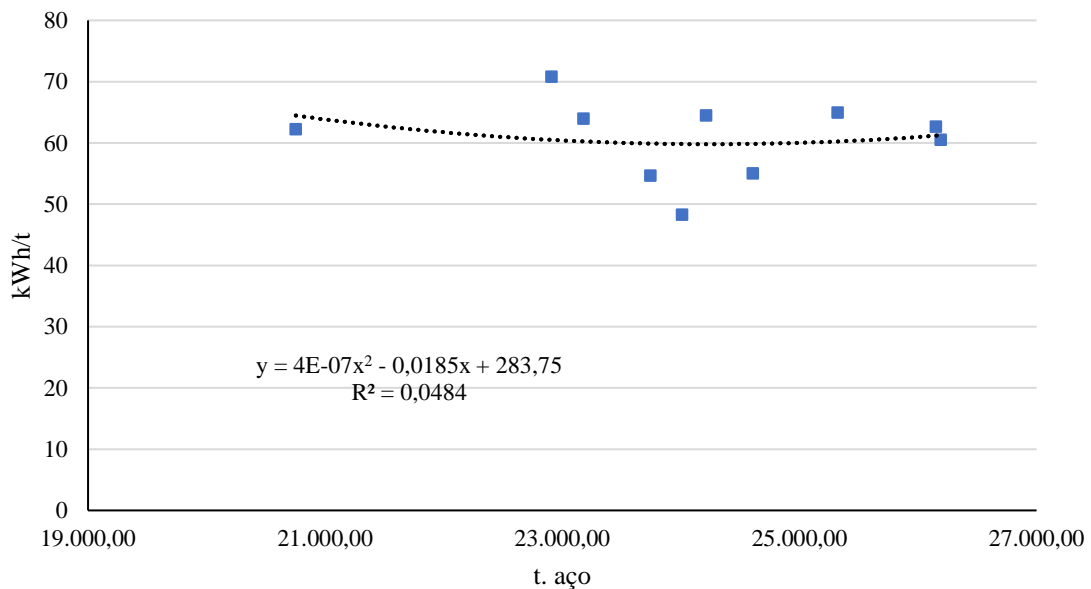
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Na série analisada, a intensidade energética apresenta oscilações de forma irregular, possivelmente correlacionadas a eventos de programação de produção. Isso sugere que o

consumo de energia durante períodos de não produção pode impactar o desempenho energético. Nota-se que, para manter o processo independentemente da produção, foi registrado um consumo de 34,25 MWh. Esse valor representa a média dos dez primeiros meses, medidos de sábado para domingo, no intervalo das 23:00h às 05:00h. Conseqüentemente, a variável relacionada à pintura de peças demonstrou ter baixa significância.

Adicionalmente, a variável relacionada ao volume de aço processado também se revelou de pouca significância para o desempenho energético, como evidenciado na análise de regressão apresentada no gráfico da Figura 54.

Figura 54 - Desempenho energético kWh específico da pintura em razão da t. de aço

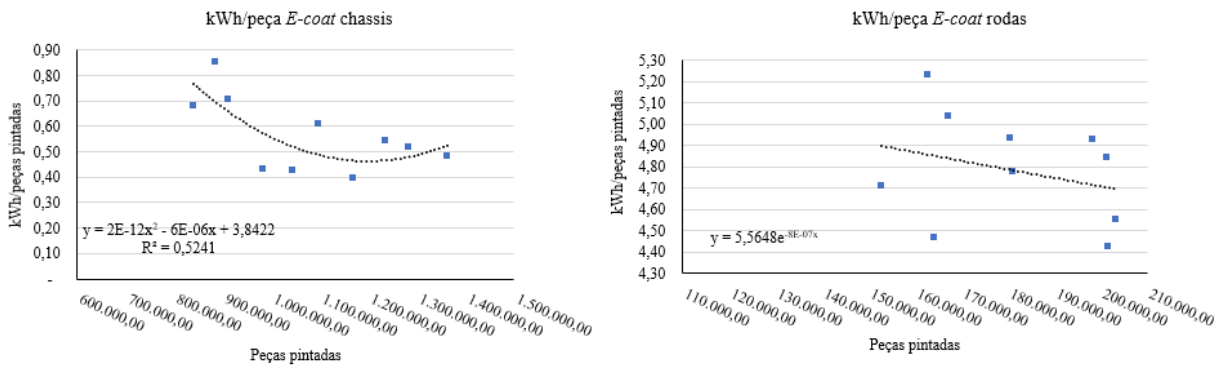


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A fim de compreender qual dos processos de pintura interfere no desempenho energético global, foi realizada uma análise com base no volume de peças pintadas nos *E-coats* de componentes estruturais e de rodas. A análise do gráfico representado na Figura 55 permite concluir que, para ambos os processos em questão, o volume de peças pintadas não se manifesta como uma variável de relevância substancial. Isto é evidenciado pela observação do gráfico à direita, onde se verifica um declínio na relação entre kWh/peças pintadas. Tal declínio sugere que, para volumes superiores a 210 mil peças, há uma melhoria no desempenho. No entanto, uma análise mais aprofundada da Figura 56, como exemplificação, revela uma correlação estabelecida entre o volume de rodas pintadas e o consumo de energia elétrica do processo de revestimento eletrostático (*E-coat*) aplicado às rodas ao longo de um mês típico, com valores

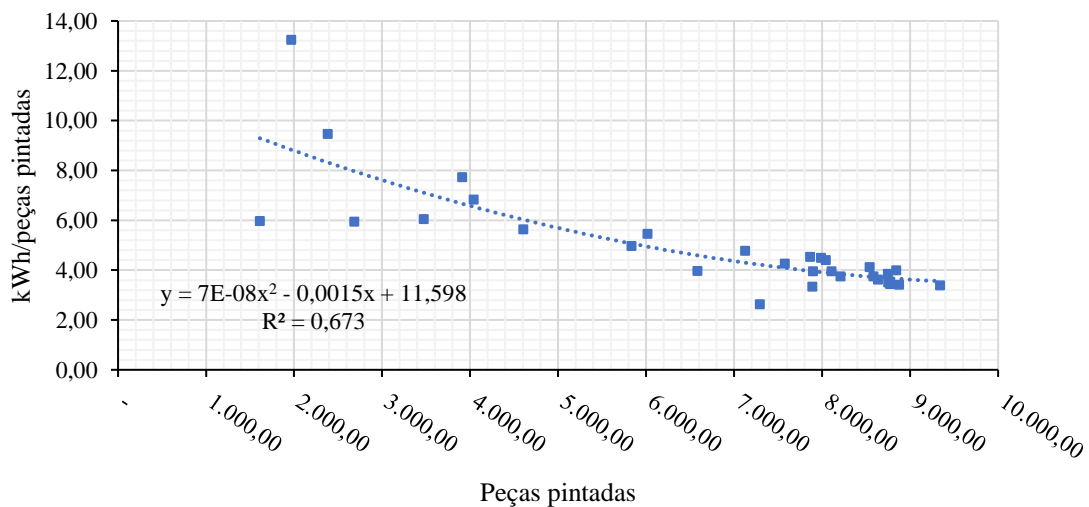
de coeficiente de determinação (R^2) aproximadamente iguais a 0,7. É importante destacar que, para o processo *E-coat* chassis, a análise não foi realizada devido à dificuldade em obter o volume pintado diariamente.

Figura 55 - Análise de variável por tipo de pintura



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 56 - Consumo específico diário do mês típico



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Ainda sobre o gráfico da Figura 56 é possível notar que para os valores de peças pintadas abaixo de 6 mil unidades a intensidade energética se eleva consideravelmente.

Por fim, o estudo se mostrou uma análise detalhada do consumo e da demanda de energia elétrica no processo de pintura ao longo de um período de dez meses, de janeiro a outubro de 2022. A discretização mensal da série temporal foi realizada para o sistema de ar comprimido e, posteriormente, para o processo de pintura, sendo estendida devido à consolidação do sistema de medição de energia elétrica setorial em 2022.

Os resultados revelam padrões distintos no consumo e na demanda entre os processos de pintura de chassis e rodas. A estratificação do consumo com base nos períodos de ponta e fora de ponta destaca diferenças significativas nos níveis de consumo, especialmente evidenciados pela presença de dois *E-coats* no processo de pintura de rodas. A análise da demanda ao longo dos dez meses mostra variações significativas, com os meses de janeiro e fevereiro registrando os maiores picos de demanda. A estabilidade subsequente na demanda, especialmente nos períodos de ponta, sugere a necessidade de compreender a eficiência e a utilização efetiva das instalações de pintura.

A extensão da série temporal para análise diária oferece percepções adicionais sobre padrões sazonais, variações diárias e semanais. O consumo médio diário revela uma influência significativa dos dias de domingo e feriado sobre a média geral, destacando a importância do consumo de energia no processo de pintura em relação ao consumo global da unidade industrial.

O estudo conclui enfatizando a necessidade de análises mais aprofundadas para compreender a influência de variáveis específicas, como o volume de peças pintadas, na eficiência do processo de pintura. Recomenda-se a segregação do consumo para diferentes propósitos, como força motriz e cubas eletrolíticas, visando uma compreensão mais completa e específica.

Os gráficos e tabelas apresentados proporcionam uma visão abrangente do consumo e da demanda de energia elétrica, permitindo uma avaliação holística do desempenho energético do processo de pintura. Essas informações são valiosas para gestores de energia e produção, possibilitando o desenvolvimento de estratégias para melhorar a eficiência operacional.

6. OPORTUNIDADES DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

A identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético é um processo crucial conduzido por meio da minuciosa análise do consumo de energia elétrica associado a um determinado processo, equipamento ou edifício. Nesse contexto, tornou-se indispensável identificar os USE, a fim de compreender detalhadamente o padrão de consumo da unidade industrial como um todo. Este enfoque analítico abrange uma avaliação meticulosa dos fluxos de energia, permitindo a detecção de áreas passíveis de melhoria.

O método adotado para a análise das oportunidades de aprimoramento do desempenho energético será categorizado em dois cenários, ambos correlacionados aos períodos em que a fábrica permanece conectada, contudo, para o cenário 1 é afirmativo a não produção no período a ser mencionado, mas para o cenário 2 existem atividades isoladas em menor ritmo de produção.

No cenário 1, os dados serão submetidos a tratamento durante os dias de sábado e domingo, compreendendo o intervalo temporal das 23:00 horas de sábado até as 05:00 horas de domingo. Para o cenário 2 os dados serão analisados em dias de domingo, durante o período das 00:00 horas até as 23:59 horas.

Por meio da Tabela 15 é apresentado o consumo integral de energia elétrica da unidade industrial, sendo está vinculada ao Cenário 1 no ano de 2022. Já a Tabela 16 reportará o cenário 2 do consumo de energia elétrica.

Após a análise da Tabela 15, constata-se que a implementação de medidas voltadas à conservação de energia emerge como uma estratégia eficaz para a mitigação do consumo de eletricidade em períodos nos quais não ocorre atividade produtiva. O consumo médio de energia elétrica durante este período é registrado como 196,38 MWh. A análise da Tabela 15 proporciona a fundamentação para a elaboração do gráfico apresentado na Figura 58, delineando tanto o consumo fixo da unidade industrial quanto a relação dinâmica entre o consumo total e os diferentes meses do ano de 2022. Este gráfico oferece uma representação visual esclarecedora das flutuações no consumo de energia ao longo do período analisado.

Embora os dados do cenário 2 da Tabela 16 possuam resquícios de atividades de produção, é importante que faça a mesma análise em dias de domingo do volume de aço processado, pois o consumo médio em dias de domingo é de 820,15 MWh, que, em verdade, o consumo variável em domingos é de 623,77 MWh médio.

Tabela 15 - Cenário 1 consumo de energia elétrica

Consumo de energia elétrica - Cenário 01			
Mês	Sábado [MWh]	Domingo [MWh]	Total [MWh]
jan/22	35,61	194,41	230,02
fev/22	27,65	149,61	177,26
mar/22	28,09	148,32	176,41
abr/22	32,99	143,76	176,75
mai/22	43,75	262,66	306,41
jun/22	29,37	151,62	180,99
jul/22	35,64	188,69	224,33
ago/22	28,51	147,16	175,67
set/22	30,41	160,02	190,43
out/22	31,48	173,97	205,45
nov/22	26,14	132,93	159,06
dez/22	27,83	125,91	153,73

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Tabela 16 - Cenário 2 consumo de energia elétrica

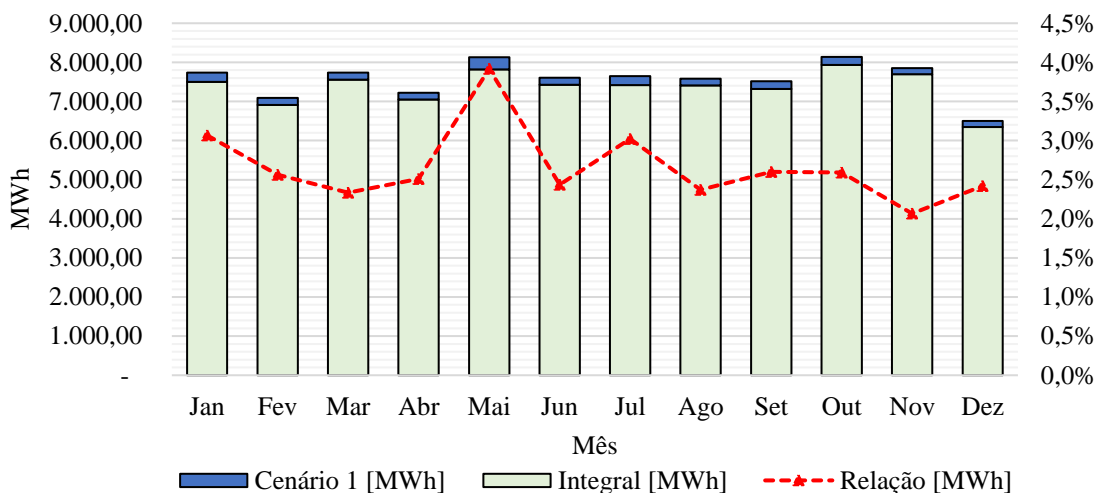
Consumo de energia elétrica - Cenário 02		
Mês	Domingo [MWh]	Total [MWh]
jan/22	959,83	959,83
fev/22	754,77	754,77
mar/22	725,70	725,70
abr/22	690,37	690,37
mai/22	1.241,95	1.241,95
jun/22	784,59	784,59
jul/22	922,27	922,27
ago/22	707,35	707,35
set/22	774,36	774,36
out/22	939,11	939,11
nov/22	726,11	726,11
dez/22	615,37	615,37

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

É relevante destacar que a seleção do período de observação no cenário 01 foi realizada levando em consideração os intervalos de jornadas de trabalho nos turnos de produção.

Observa-se que, em dias de sábado, as atividades encerram-se às 23:00 horas e reiniciam-se aos domingos às 05:00 horas. Portanto, este intervalo é designado como *stand by*.

Figura 57 – Consumo de energia elétrica por cenário



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Em média, o consumo fixo da unidade industrial é cerca de 2,7% do consumo integral. A observação revela que máquinas e equipamentos se mantêm operacionais, notadamente equipamentos de natureza mecânica e hidráulica, alinhados ao contexto do processo produtivo. O sistema de iluminação é uma outra oportunidade de aprimoramento, podendo ser desligada em horários improdutivos e deixando apenas condições de balizamento para equipes de emergência. A luminárias utilizadas, em sua maioria, são em LED, no entanto, ainda são utilizadas luminárias vapor.

Sobre o consumo integral existem outros pontos que foram identificados durante as inspeções no chão de fábrica, como por exemplo: sistema de aquecimento (resistência), sistema de ventiladores/exaustores, central de água de refrigeração e motores obsoletos.

É preciso entender qual a contribuição dos USE eleitos nessa pesquisa, principalmente o sistema de ar comprimido, que permite o fácil manuseio operacional nos termos de ligar e desligar os equipamentos. Assim, são apresentados os dados pertinentes ao consumo de energia elétrica do sistema de ar comprimido para o cenário 01 na Tabela 17.

Perante a Tabela 17 se nota que em termos médio o consumo dos compressores durante o período inativo representa 21,61%, que no acumulado no ano podem gerar uma economia de até 509,22 MWh, trazendo para valores reais de redução de custos este consumo representa R\$ 239.333,40.

Tabela 17 - Consumo de energia elétrica do sistema de ar comprimido no cenário 1

Consumo de energia elétrica USE ar comprimido – Cenário 1			
Mês	Sábado [MWh]	Domingo [MWh]	Total [MWh]
jan/22	8,39	44,69	53,08
fev/22	7,04	37,00	44,04
mar/22	6,96	36,34	43,30
abr/22	7,65	32,40	40,05
mai/22	4,70	33,08	37,78
jun/22	5,59	30,77	36,36

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Na Tabela 18 é possível validar o consumo médio do sistema de ar comprimido para os domingos foi de 175,82 MWh que corresponde a 21,44% do consumo global da unidade.

Tabela 18 – Consumo de energia elétrica do sistema de ar comprimido no cenário 2

Consumo de energia elétrica USE ar comprimido – Cenário 2		
Mês	Domingo [MWh]	Total [MWh]
jan/22	215,11	215,11
fev/22	182,68	182,68
mar/22	180,74	180,74
abr/22	147,89	147,89
mai/22	168,01	168,01
jun/22	160,49	160,49

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Em síntese, é possível afirmar que, para ambos os cenários, a contribuição do sistema de ar comprimido é praticamente equivalente em relação ao total, representando aproximadamente 20%.

Estratégias de eficiência energética, como reconsideração do tipo de fonte geradora de gás e substituição de compressores, são sugeridas, juntamente com a implementação de medidores de vazão e sistemas supervisórios para otimizar o desempenho do sistema.

Essas medidas não apenas reduzem custos, mas também promovem uma operação mais sustentável no âmbito do consumo de energia. Assim como um forte programa de caça vazamentos que ajuda no desempenho do sistema. Todas essas ações contribuem para um consumo específico aceitável.

É crucial conduzir uma investigação relativa à utilização dos compressores durante os períodos de final de semana, feriados e em momentos de menor demanda produtiva. Esta necessidade decorre da condição atual em que, independentemente de processar 1.000 toneladas de aço ou 25.000 toneladas, todos os compressores estão em pleno funcionamento.

Em resumo, medidas para assegurar a melhoria do desempenho energético do sistema de ar comprimido foram identificadas durante a fase de levantamento de dados, a saber:

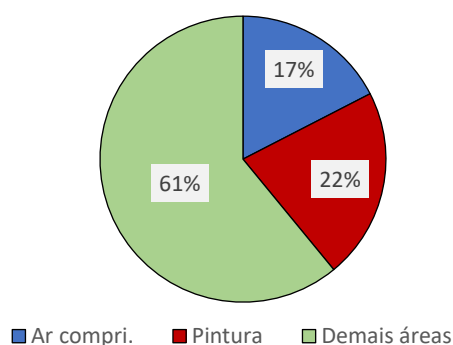
- Elaboração de um plano para a substituição dos motores convencionais por motores de alto rendimento;
- Implementação de um plano de ação para a redução de vazamentos;
- Redimensionamento da rede de ar comprimido;
- Desativação de compressores durante períodos inativos de produção.

Os diversos setores produtivos, as áreas de engenharia e planejamento devem adotar uma perspectiva holística, que consiste na decomposição dos custos associados ao sistema de ar comprimido, quando direcionado exclusivamente para atender a uma única área em domingos, durante períodos de horas extras. Não se alinha com as boas práticas a distribuição proporcional do consumo entre todas as demais áreas do funcionamento integral do sistema de ar comprimido, em virtude de uma ou duas áreas operando em regime de horas extras.

A Figura 58 resume bem a contribuição do consumo de energia elétrica dos USE identificados durante o consumo fixo.

Os dois USE analisados nessa pesquisa, juntos, correspondem a quase 40% do consumo fixo da unidade industrial. Mais uma vez reforçando a importância para realizar a melhoria contínua do desempenho energético conforme preconiza a ABNT NBR ISO 50001.

Figura 58 - Contribuição dos USE para o consumo de energia elétrica fixo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Destaca-se a necessidade de desenvolver programas de conscientização direcionados aos usuários finais da energia, visando assegurar que, ao término das jornadas nos finais de semana, os referidos equipamentos sejam desativados. Esta prática assume relevância, com exceção de processos sensíveis, como aqueles relacionados às temperaturas de banho químico e recirculação de tintas, nos quais a manutenção do funcionamento é justificável. Ademais, ressalta-se que todos os demais equipamentos podem ser desligados, configurando uma abordagem potencial para a otimização do consumo energético.

6.1. APLICAÇÃO DE AÇÕES DE MELHORIA

Com base nos dados gerados e nos resultados analisados neste projeto, o tema adquiriu relevância e captou a atenção da gerência e direção da empresa. Em decorrência disso, foi proposta a elaboração de um projeto dedicado à amplificação do tema dos compressores, o qual é abordado de maneira concisa.

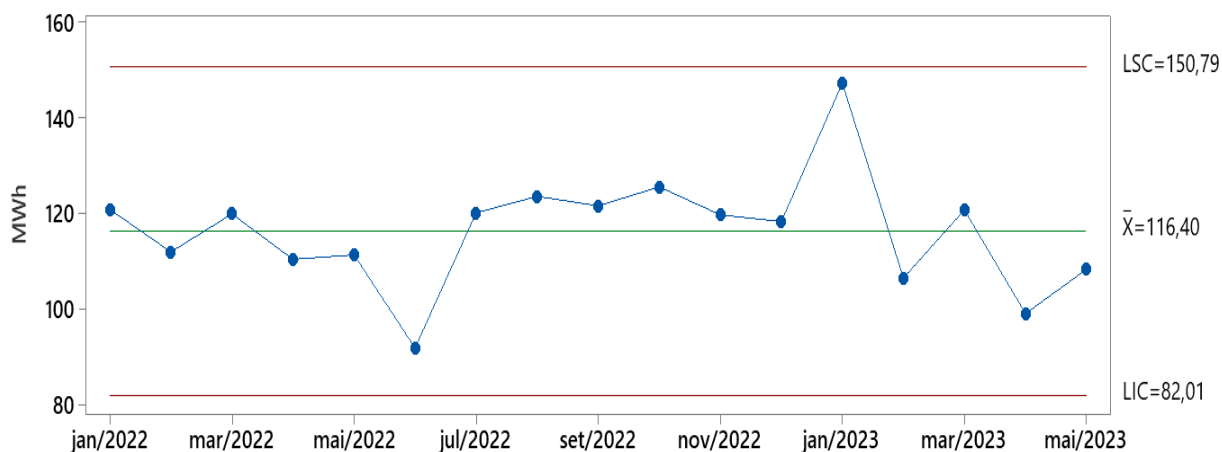
Juntamente com a liderança do setor de instalações e demais colaboradores, está sendo desenvolvido um projeto utilizando a metodologia Lean Six Sigma. Esta metodologia visa alcançar o objetivo de aprimorar a eficiência do sistema de ar comprimido em uma área produtiva específica. O início do projeto ocorreu no mês de julho de 2023.

O ambiente em estudo é constituído por um compressor do modelo GA160, fabricado pela Atlas Copco, com uma potência de 200 HP. Esse ambiente compreende máquinas e equipamentos de corte e estamparia. A área útil pela qual o sistema de ar comprimido é distribuído abrange 7.576,33 m².

O projeto tem como objetivo principal a redução de 10% no consumo médio de energia elétrica do compressor, por meio de iniciativas direcionadas à conservação de energia e eficiência energética.

No período compreendido entre janeiro de 2022 e maio de 2023, foram registrados valores médios mensais de consumo de 116,79 MWh, com um consumo máximo de 150,79 MWh e mínimo de 82,01 MWh. O gráfico apresentado na Figura 59 proporciona a visualização do perfil de consumo anterior às intervenções realizadas no âmbito do projeto *Six Sigma*.

Figura 59 - Consumo de energia elétrica compressor GA160

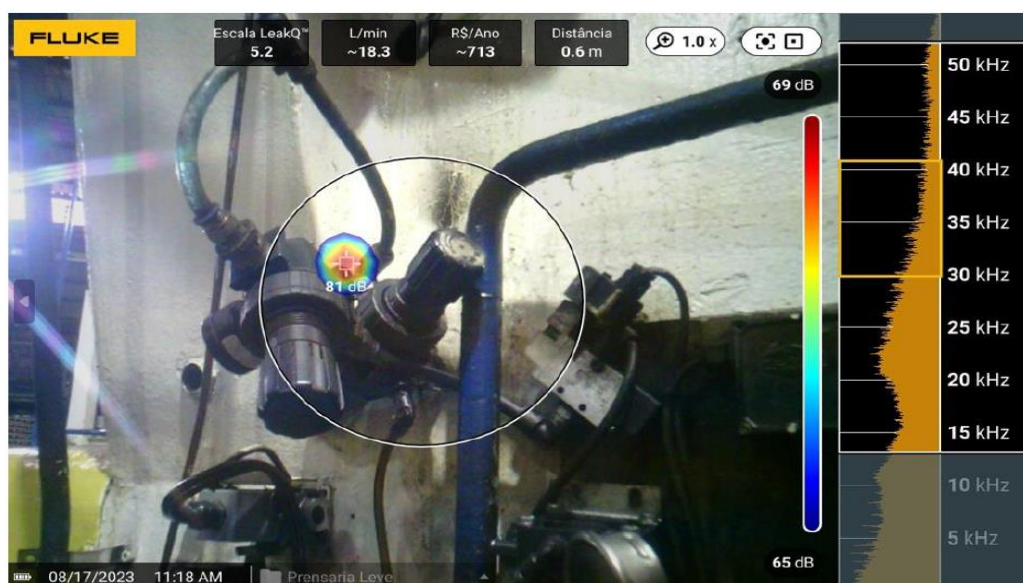


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

6.1.1. Ações de conservação de energia e eficiência energética

Imediatamente, foi implementada a prática de detecção de vazamentos em todo o ambiente de estudo, com o objetivo de quantificar os vazamentos e avaliar sua criticidade. Optou-se pela utilização do método de codificação por cores para classificação dos vazamentos, atribuindo a cor vermelha a pontos com considerável escape de ar e a cor verde a pequenos vazamentos. A identificação desses pontos é realizada com o auxílio do equipamento *Acoustic Imager Fluke ii900/ii910*. A Figura 60 possibilita a visualização do processo de identificação dos pontos de vazamento.

Figura 60 - Identificação de vazamento no lubrificador



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Em uma análise preliminar realizada durante o mês de agosto de 2023, identificaram-se 52 pontos de vazamentos, sendo 19 classificados como severos, com uma vazão superior a 0,6 m³/h, e 33 de pequeno porte. Com base nos dados fornecidos pelo equipamento da *Fluke*, estima-se que esse número total de vazamentos corresponda a 3% da capacidade do compressor, o que equivale a 49,4 m³/h.

No mês de agosto, procedeu-se ao monitoramento do tempo de operação do compressor em carga, conforme apresentado na Tabela 19. A finalidade desse acompanhamento é realizar uma comparação entre as horas em carga anteriores às intervenções para eliminação dos vazamentos e os valores subsequentes às ações corretivas.

A Tabela 19 também é instrumental para a obtenção do consumo de ar, calculado a partir da vazão nominal do modelo GA 160, que é de 1677 m³/h, contrastado com o número de horas efetivamente trabalhadas.

Tabela 19 - Horas em carga compressor GA 160

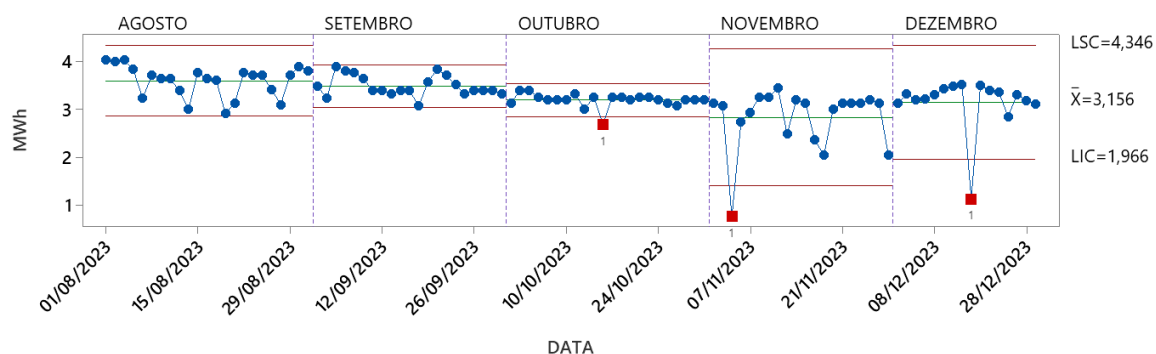
MÊS	HORAS EM CARGA
ago/2023	20,12
set/2023	17,88
out/2023	15,57
nov/2023	15,41
dez/2023	16,71

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Após a implementação das ações corretivas de detecção de vazamentos, foi observada uma significativa redução no tempo de operação do compressor em estudo, atingindo 11,13% de queda, conforme registrado em setembro de 2023, como demonstrado na Tabela 19. Importante ressaltar que tais intervenções perduraram, assegurando uma melhora substancial nos meses subsequentes.

O gráfico apresentado na Figura 61 possibilita a visualização do decréscimo na média móvel do consumo de energia elétrica ao longo dos meses de agosto a dezembro de 2023, resultante principalmente da diminuição nos vazamentos. A média diária, que era de 3,73 MWh no mês de julho de 2023, início do projeto, alcançou valores de 2,83 MWh em novembro de 2023, representando uma redução de aproximadamente 31,73%.

Figura 61 - Média móvel do consumo de energia elétrica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

As estratégias de conservação de energia neste contexto extrapolam a simples identificação de vazamentos, envolvendo considerações adicionais, como a implementação de práticas de manutenção para os equipamentos e a correta instalação destes. Um exemplo relevante é a observância do diâmetro nominal especificado pelo fabricante do compressor.

A presente análise possibilitou a identificação de uma inadequação na instalação da tubulação de saída do compressor, caracterizada pelo uso de um diâmetro inferior ao recomendado, o que resultou na restrição da capacidade de vazão. Tal inadequação é ilustrada de maneira gráfica na Figura 62, evidenciando a redução de 3" para 2" no terminal de saída.

Figura 62 - Instalação inadequada de redução de tubulação



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O atual projeto de aprimoramento de conservação de energia do sistema de ar comprimido, discutido neste subtópico, já alcançou seu objetivo principal de redução do consumo de energia em 10%, conforme pode ser observado nas médias móveis apresentadas na Figura 61. No contexto da otimização da eficiência energética, procedeu-se a uma análise do sistema de geração de ar comprimido, atualmente composto por compressores do tipo parafuso lubrificado a óleo, com o intuito de explorar a viabilidade de substituição por novas tecnologias.

Inicialmente, com base nos dados das placas dos compressores em conformidade com a Tabela 09 e nas informações fornecidas pela CAGI, foi possível realizar uma projeção do volume de ar comprimido produzido no mês ao longo do primeiro semestre de 2022. Posteriormente, a Figura 63 será apresentada, resumindo o volume de ar no referido período. É relevante destacar que, para a análise da Tabela 21, foi considerado um consumo específico médio mensal de 0,10 kW/m³ durante o primeiro semestre de 2022, conforme indicado na Tabela 20.

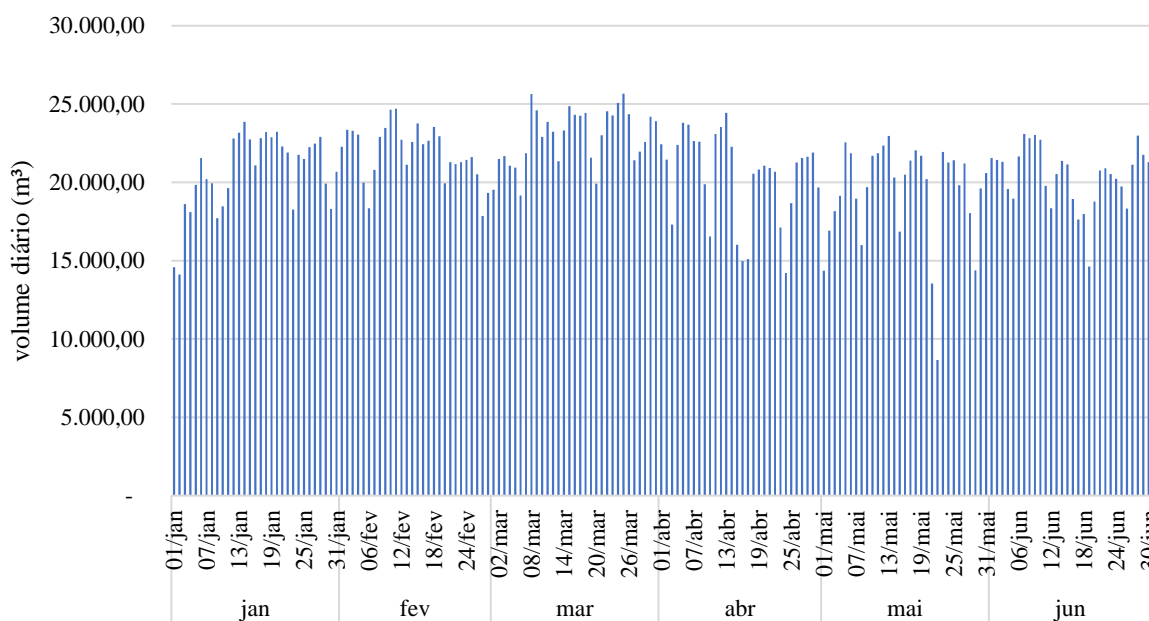
Tabela 20 - Consumo específico 1º semestre de 2022

Descrição	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22
Consumo acumulado de energia elétrica [kWh]	1.538.258,26	1.434.877,57	1.602.555,00	1.415.238,00	1.386.187,40	1.392.716,00
Média de horas em carga com base na Tabela 09 [h]	9205	9205	9205	9205	9205	9205
Vazão média com base na Tabela 09 [m ³ /h]	1631,38	1631,38	1631,38	1631,38	1631,38	1631,38
m ³ /mês	15.016.852,90	15.016.852,90	15.016.852,90	15.016.852,90	15.016.852,90	15.016.852,90
Consumo específico médio [kW/m ³]	0,10	0,10	0,11	0,09	0,09	0,09

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A partir da determinação do coeficiente de consumo específico atual da planta e utilizando dados de demanda dos compressores, foi possível determinar o volume de ar aproximado durante o período de janeiro a junho de 2022, e consequentemente estimar a quantidade de equipamentos necessários para suprir a atual demanda de volume. O consumo de ar médio no período analisado na Figura 63 é de 20.9339,45 m³/h.

Figura 63 - Volume de ar comprimido médio/dia



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Na análise do sistema de geração, sugere-se substituir gradualmente os compressores atuais pelos novos compressores do tipo parafuso, modelo RS32 ie-110, fabricados pela *Ingersoll Rand*. Este modelo apresenta CE teórico de 0,079, valor obtido a partir dos dados do catálogo do fabricante, onde a máquina oferece uma vazão em *Free Air Delivery* (FAD) de 27,6 m³/min e uma potência de 130 kW.

Na mesma análise, comparou-se com um segundo tipo de compressor, isento de óleo. O modelo escolhido foi o ZT 160 – 7,5, fabricado pela *Atlas Copco*. Este modelo possui um CE de 0,096, com uma vazão FAD de 27,9 m³/min e uma potência de 160 kW.

É importante ressaltar que os dados teóricos fornecidos pelos fabricantes foram calculados considerando variáveis padrão, como pressão de entrada absoluta de 1 bar, temperatura do ar de entrada de 20 °C e temperatura média de resfriamento de 20 °C.

Observa-se que o CE, para efeito de comparação entre a situação atual e as propostas, é baseado na média do CE da Tabela 20.

A Tabela 21 apresenta uma síntese dos dados comparativos entre os modelos de compressores, com o objetivo exclusivo de realizar comparações relacionadas à **redução do consumo de energia elétrica**. Destaca-se que, para uma avaliação abrangente, outros detalhes relacionados às instalações, como infraestrutura, secadores, sistema de distribuição e água de refrigeração, demandam consideração.

Tabela 21 - Comparação de custos entre modelo de compressores

Cenários Fabricante Modelo	SITUAÇÃO ATUAL		SITUAÇÃO PROPOSTA 1		SITUAÇÃO PROPOSTA 2	
	PARAFUSO		PARAFUSO		PARAFUSO	
	EXISTENTE		RS132 ie-110		ZT 160-7,5	
Consumo médio do kWh/m ³	0,100	kWh/m ³	0,079	kWh/m ³	0,096	kWh/m ³
Consumo médio atual planta mês	20.939,45	m ³ /h	23.184,00	m ³ /h	23.772,00	m ³ /h
Horas trabalhadas (Mês)	720,00	Horas	720,00	Horas	720,00	Horas
Consumo médio de energia elétrica hora	2.093,94	kWh	1.820,00	kWh	2.240,00	kWh
Custo médio do KWh	R\$ 0,45		R\$ 0,45		R\$ 0,45	
Custo mensal de energia elétrica	R\$ 678.436,56		R\$ 589.680,00		R\$ 725.760,00	
Economia média mensal de energia			R\$ 88.756,56	-13,08%	-R\$ 47.323,44	6,98%
Economia média anual de energia	-		R\$ 1.065.078,72		-R\$ 567.881,28	
Economia média 120 meses			R\$ 10.650.787,20		-R\$ 5.678.812,80	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Esta análise revela áreas passíveis de aprimoramento no sistema de geração de ar comprimido, demandando substituições ou ajustes tecnológicos nos equipamentos. Nesse contexto, torna-se necessário incorporar novos compressores para substituir os 18 atualmente em operação na rede. Um detalhe relevante é que, para ambas as propostas, o número de compressores necessário para atender ao volume atual de ar seria de 14 unidades. Destaque para a proposta 01, da Tabela 21, como uma economia de até 13,08% em relação ao consumo de energia elétrica.

É fundamental destacar que o escopo de modernização dos compressores não se limita à introdução de novos equipamentos. A unidade industrial deve validar variáveis como custos de manutenção, adaptações nas tubulações e alterações nas instalações civis e elétricas. Essa validação é crucial para assegurar a obtenção de um retorno financeiro atrativo para a organização.

7. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um método específico foi de fundamental importância. Com ele foi possível reger a pesquisa com ferramentas da estatística, que serviram com excelência na identificação dos Usos Significativos de Energia (USE), das características singulares de uso e consumo, das variáveis que afetam o desempenho energético, de períodos com uso ineficiente da energia elétrica e de previsão de consumo de energia para futuro imediato (meses) e mediato (ano).

Dos indicadores de consumo e demanda de energia elétrica de toda a planta e dos dois principais USE, ficou evidente que não existe componente sazonal. Portanto, os efeitos do clima ou do calendário, tão comuns em vários setores, não se fazem presentes de maneira notável na Maxion.

A principal variável que afeta o desempenho energético é o volume de produção. Todo evento que afetar a produção terá impacto no consumo total e dos USE. Para além dos fatores de ordem econômica que ditam o volume, outros também podem afetar a produção, entre eles: paradas de quaisquer naturezas (falta de energia elétrica, ou de componentes, ou de matéria-prima, férias coletivas, greves etc.), qualidade da matéria-prima e do produto final (reprocessamento), deficiência de manutenção de equipamentos etc.

No entendimento dessa pesquisa ficou confirmado que a etapa de coleta de dados é a mais importante, pois dela advém as análises, indicadores, informações a todo o pessoal envolvido e condições para que os dados sejam comparados em base diária, semanal, mensal e anual.

O tema deve ser incisivo em todas as pautas que se referem a energia elétrica. É preciso crescer de forma orgânica e realizar adequações para que se tenha um sistema de medição totalmente confiável e operante. É crucial perpetuar as iniciativas de revisão energética devido à sua natureza dinâmica, sendo recomendável realizar essas revisões periodicamente, de preferência a cada seis meses ou trimestralmente, de maneira sistemática.

As ações de conservação de energia não podem depender exclusivamente do gestor energético, é preciso a sensibilização da gerência e alta direção, principalmente dos setores produtivos, quanto ao uso e consumo consciente de energia elétrica. Além do mais, tratativas que busquem a melhoria contínua em cenários que a empresa esteja com um volume de aço processado menor que o de costume.

Novos IDE precisam ser definidos. É preciso obter esse IDE em bases semanal e diária, não só para a planta como para os demais USE. Evidente que o indicador de produção seria

diferenciado para cada fronteira. O sistema de ar comprimido deve ser alvo de pesquisas que tenham como objetivo principal tratar o sistema de geração, distribuição e utilização do ar.

Com relação a gestão energética, é percebido que existem pontos a melhorar na empresa como um todo. O tema ainda não é fórum de discussões nos diversos níveis hierárquicos, é sim pautado, porém sem o devido peso. Metas energéticas precisam ser estabelecidas para os setores e não só para o gestor de energia. É importante enfatizar que a revisão energética é o núcleo central do planejamento tático de um SGE, uma espécie de embrião para implementação da ABNT NBR ISO 50001, tal norma impõe a busca permanente pela melhoria do desempenho energético. Para isso são necessárias ações de conservação de energia e de eficiência energética.

Por fim, a consolidação de todo estudo permitiu informações relevantes ao gestor, contribuindo fortemente para tomadas de decisões no âmbito tático de planejamento energético, sendo elas:

- Perfil de consumo de energia em base anual, mensal e diária, em regime global;
- Perfil do comportamento de demanda em base anual, mensal e diária, em regime global;
- Dados de intensidade energética para avaliação do desempenho energético;
- Identificação dos USE;
- Intensificação na elaboração de um sistema gestão de energia elétrica;
- Intensificação no aprimoramento do sistema de coleta de dados.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, V. A. A.; CAUSIL, E. D. A.; SANTOS, V. S.; ANGARITA, E. N.; SARDUY, J. R. G. Identification of savings opportunities in a steel manufacturing industry. **International journal of energy economics and policy**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 43–50, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.32479/ijeeep.11142>. Acesso em: 03 fev. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 50001**: sistema de gestão de energia. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/30914/abnt-nbriso50001-sistemas-de-gestao-da-energia-requisitos-com-orientacoes-para-uso>. Acesso em: 10 fev. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 50004**: sistema de gestão da energia: guia para implementação, manutenção e melhoria do sistema de gestão da energia da ABNT NBR ISO 50001. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/11585/abnt-nbriso50004-sistema-de-gestao-da-energia-guia-para-implementacao-manutencao-e-melhoria-do-sistema-de-gestao-da-energia-da-abnt-nbr-iso-50001>. Acesso em: 10 fev. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 50006**: sistemas de gestão de energia: medição do desempenho energético utilizando linhas de base energética (LBE) e indicadores de desempenho energético (IDE): princípios gerais e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/11587/abnt-nbriso50006-sistemas-de-gestao-de-energia-medicao-do-desempenho-energetico-utilizando-linhas-de-base-energetica-lbe-e-indicadores-de-desempenho-energetico-ide-principios-gerais-e-orientacoes>. Acesso em: 10 fev. 2024.
- BARROS, B. F.; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Eficiência energética**: técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos. São Paulo: Érica, 2015. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518404/>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- BERMEO-AYERBE, M. A.; OCAMPO-MARTINEZ, C.; DIAZ-ROZO, J. Data-driven energy prediction modeling for both energy efficiency and maintenance in smart manufacturing systems. **Energy**, England, v. 238, p. 121691, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121691>. Acesso em: 10 fev. 2024.
- BOYD, G. A. Comparing the statistical distributions of energy efficiency in manufacturing: meta-analysis of 24 case studies to develop industry-specific energy performance indicators (EPI). **Energy efficiency**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 217–238, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-016-9450-y>. Acesso em: 03 fev. 2024.
- BOYD, G. A. Estimating the changes in the distribution of energy efficiency in the U.S. automobile assembly industry. **Energy economics**, England, v. 42, p. 81–87, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.008>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. [s.l.]: Routledge, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9780203359648>. Acesso em: 03 fev. 2024.
- BUCCIARI, G. P. **Modelagem para identificação de indicadores de eficiência energética**

para edificações e plantas industriais. Orientador: José Antonio Perrella Balestieri. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/121901>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BUNSE, K.; VODICKA, M.; SCHÖNSLEBEN, P.; BRÜLHART, M.; ERNST, F. O. Integrating energy efficiency performance in production management - gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 19, n. 6–7, p. 667–679, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.011>. Acesso em: 03 fev. 2024.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Solutions manual to accompany thermodynamics: an engineering approach**. 8. ed. New York: McGraw-Hill, 2015. Disponível em: <http://books.google.com/books?id=WXFPAACAAAJ>. Acesso em: 10 fev. 2024.

DIAZ C., J. L.; OCAMPO-MARTINEZ, C. Energy efficiency in discrete-manufacturing systems: insights, trends, and control strategies. **Journal of manufacturing systems**, Dearborn, v. 52, n. January, p. 131–145, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.002>. Acesso em: 02 nov. 2023.

EL MAJATY, S.; TOUZANI, A.; KASSEH, Y. Results and perspectives of the application of an energy management system based on ISO 50001 in administrative buildings - case of Morocco. **Materials Today: proceedings**, Cleveland, v. 72, p. 3233–3237, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.094>. Acesso em: 17 set. 2022.

FERREIRA, E. A. **Uma análise sobre a inserção da norma ISO 50001 no setor industrial do estado do Espírito Santo.** Orientador: Carla César Martins Cunha. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/24ea6e9f-20e2-46e1-b4e5-c4c0f00974a4/content>. Acesso em: 23 nov. 2023.

FICHERA, A.; VOLPE, R.; CUTORE, E. Energy performance measurement, monitoring and control for buildings of public organizations: standardized practices compliant with the ISO 50001 and ISO 50006. **Developments in the built environment**, [s.l.], v. 4, p. 100024, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100024>. Acesso em: 23 nov. 2023.

FILIPPO FILHO, G. **Bombas, ventiladores e compressores: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2015. Disponível em: https://unesp.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=alma990008557300206341&context=L&vid=55UNESP_INST:UNESP&lang=pt&search_scope=BEG&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=LIBS&query=any,contains,Guilherme%20Eugênio&offset=0. Acesso em: 15 ago. 2023.

FILIPPO FILHO, G. **Gestão da energia: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2018.

FYSIKOPOULOS, A.; ANAGNOSTAKIS, D.; SALONITIS, K.; CHRYSSOLOURIS, G. An empirical study of the energy consumption in automotive assembly. **Procedia CIRP**, [s.l.], v. 3, n. 1, p. 477–482, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.082>. Acesso em: 02 nov. 2023.

GIAMPIERI, A.; LING-CHIN, J.; MA, Z.; SMALLBONE, A.; ROSKILLY, A. P. A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective. **Applied energy**, London, v. 261, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114074>. Acesso em: 23 nov. 2023.

GONÇALVES, V. A. S.; SANTOS, F. J. M. H. Energy management system ISO 50001:2011 and energy management for sustainable development. **Energy policy**, England, v. 133, p. 110868, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.07.004>. Acesso em: 15 ago. 2023.

JIN, Y.; LONG, Y.; JIN, S.; YANG, Q.; CHEN, B.; LI, Y.; XU, L. An energy management maturity model for China: linking ISO 50001:2018 and domestic practices. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 290, p. 125168, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125168>. Acesso em: 10 fev. 2024.

KANNEGANTI, H.; GOPALAKRISHNAN, B.; CROWE, E.; AL-SHEBEEB, O.; YELAMANCHI, T.; NIMBARTE, A.; CURRIE, K.; ABOLHASSANI, A. Specification of energy assessment methodologies to satisfy ISO 50001 energy management standard. **Sustainable energy technologies and assessments**, [s.l.], v. 23, p. 121–135, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2017.09.003>. Acesso em: 03 fev. 2024.

MAY, G.; STAHL, B.; TAISCH, M.; KIRITSIS, D. Energy management in manufacturing: from literature review to a conceptual framework. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 167, p. 1464–1489, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.191>. Acesso em: 15 ago. 2023.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B.; XAVIER, A. F.; CAMPOS, D. F. Action research in production engineering: a structure proposal for its conduction. **Produção**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 1–13, 2012. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000056>. Acesso em: 02 nov. 2023.

MENGHI, R.; PAPETTI, A.; GERMANI, M.; MARCONI, M. Energy efficiency of manufacturing systems: a review of energy assessment methods and tools. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 240, p. 118276, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118276>. Acesso em: 15 ago. 2023.

NEHLER, T. Linking energy efficiency measures in industrial compressed air systems with non-energy benefits: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, [s. l.], v. 89, 2016, p. 72–87, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.018>. Acesso em: 23 nov. 2023.

NUNES, D. A.; BARBOSA, G. A.; RATZINGER, P. H.; MORAES, J. A. R.; SILVA, A. L. Gestão de energia e a ISO 50001: ações entre duas organizações de setores diferenciados. **The journal of engineering and exact sciences**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 0036–0041, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss1pp0036-0041>. Acesso em: 17 set. 2022.

PARETO, V. **Manual of political economy**. Variorum edition. Edited by Aldo Montesano, Alberto Zanni, Luigino Bruni, John S. Chipman and Michael McLure. Oxford: Oxford University Press, 2014 [1906, 1909]. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-4161201545258roa>. Acesso em: 02 nov. 2023.

RANGEL, M.; RODRIGUES, J.; MOCARZEL, M. Fundamentos e princípios das opções metodológicas: Metodologias quantitativas e procedimentos quali-quantitativos de pesquisa. **OMNIA revista interdisciplinar de ciências e artes**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 5–11, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.23882/OM08-2-2018-A>. Acesso em: 17 set. 2022.

SCHULZE, M.; NEHLER, H.; OTTOSSON, M.; THOLLANDER, P. Energy management in industry: a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 112, p. 3692–3708, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.060>. Acesso em: 21 nov. 2023.

SUPPA, M. R. O controle da energia elétrica na nova economia. **Gestalt**, [s.l.], 2022. Disponível em: <https://www.gestalt.com/files/2314/3075/2699/o-controle-da-energia-eletrica-na-nova-economia.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2024.

SVENSSON, A.; PARAMONOVA, S. An analytical model for identifying and addressing energy efficiency improvement opportunities in industrial production systems – model development and testing experiences from Sweden. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 142, June 2014, p. 2407–2422, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.034>. Acesso em: 17 set. 2022.

TAHERI, K.; GADOW, R. Industrial compressed air system analysis: exergy and thermoeconomic analysis. **CIRP journal of manufacturing science and technology**, [s.l.], v. 18, p. 10–17, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.04.004>. Acesso em: 23 nov. 2023.