

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta dissertação
será disponibilizado somente a partir
de 27/09/2024.

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.

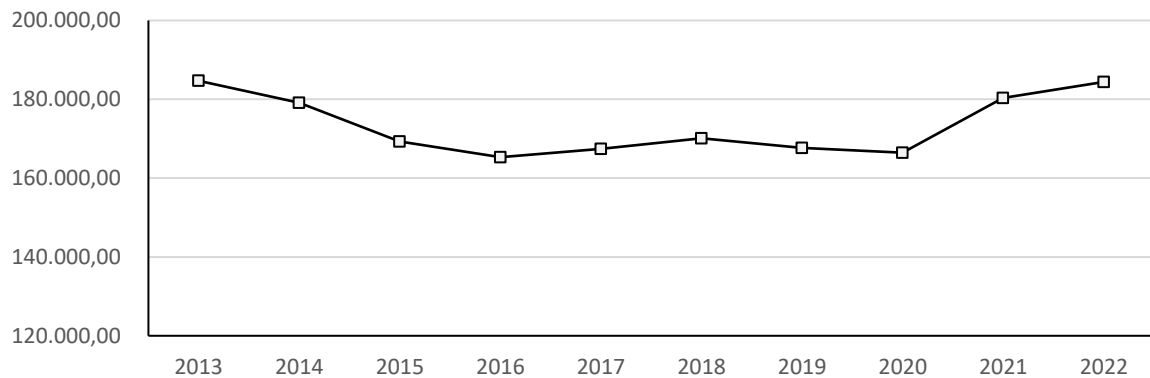
Além disso, autores como Bunse (2011) e Schulze (2016) enfatizam a importância da integração da gestão de energia elétrica à gestão da produção para garantir a posição de liderança no mercado e alcançar efetividade em um ambiente industrial competitivo.

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%.

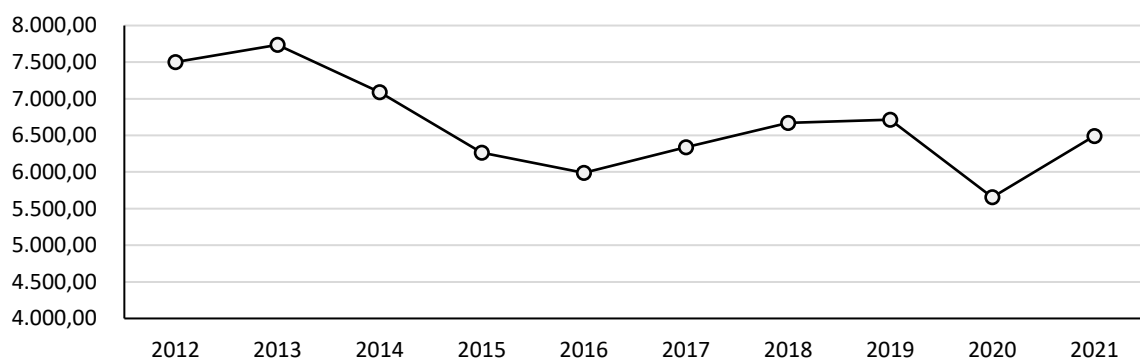
Figura 1 - Consumo industrial de energia elétrica no Brasil - GWh



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



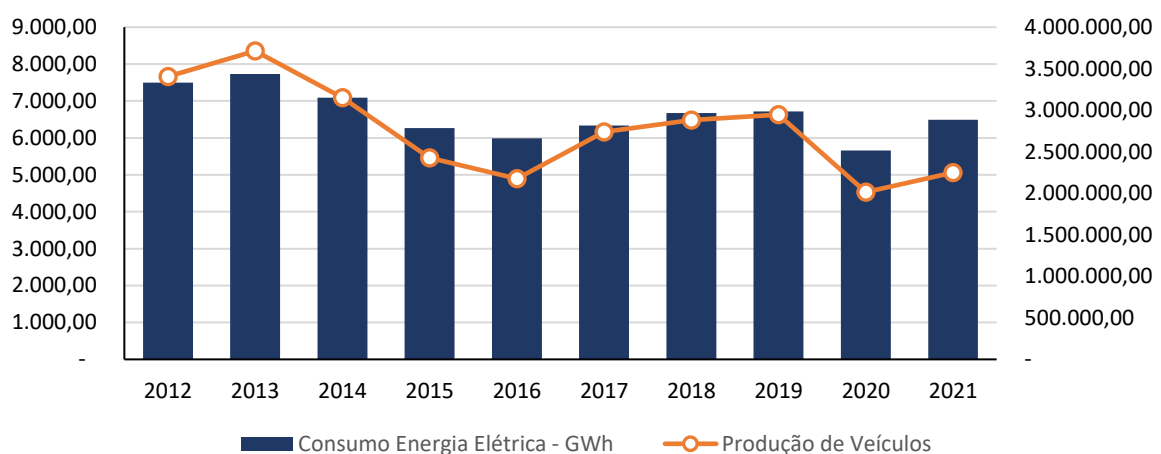
Fonte – Adaptada de <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-bertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 06 mar. 2023

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.

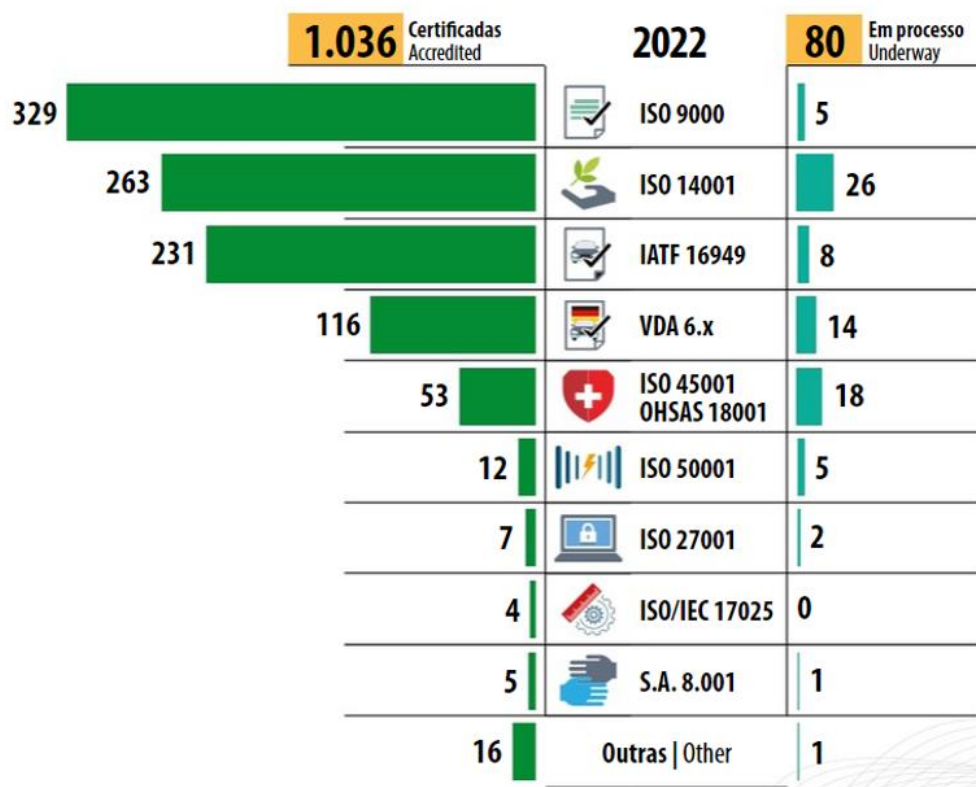
Ações governamentais têm sido mais intensas no quesito sustentabilidade energética, com o objetivo de conter o esgotamento de recursos naturais, sendo destaque a energia elétrica, umas das principais fontes de energia.

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.

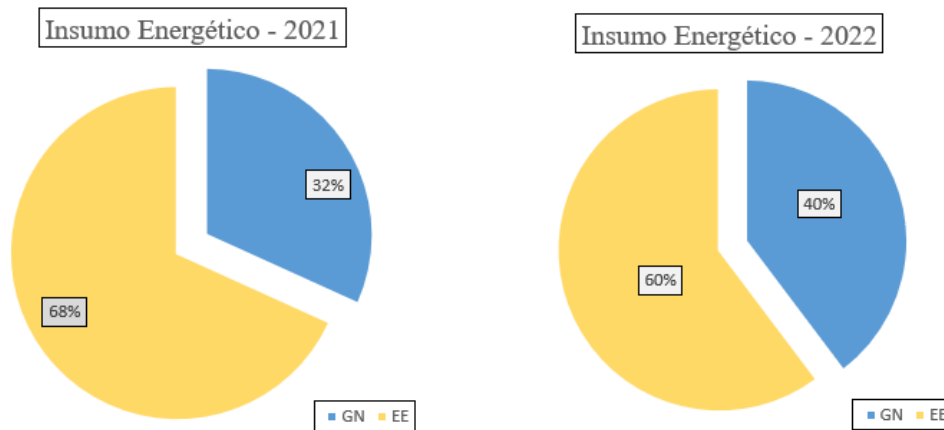
Figura 4 - Certificações das empresas do segmento de autopeças no Brasil



Fonte: Sindipeças (2023)

Em maior parte dos seus processos, as indústrias automotivas emitem CO_2 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.

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.