

PAULO SÉRGIO ROSA MELONI

Proposta para melhoria da eficiência energética em uma indústria metalúrgica

Paulo Sérgio Rosa Meloni

Proposta para melhoria da eficiência energética em uma indústria metalúrgica

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho

Guaratinguetá - SP
2020


M528	<p>Meloni, Paulo Sérgio Rosa</p> <p>Proposta para melhoria da eficiência energética em uma indústria metalúrgica / Paulo Sérgio Rosa Meloni – Guaratinguetá, 2020. 66 f : il. Bibliografia: f. 61-66</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020. Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho</p> <p>1. Energia elétrica - Consumo. 2. Sustentabilidade. 3. Serviços de eletricidade. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 620.92(043)</p>
------	---

PAULO SÉRGIO ROSA MELONI


ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: MESTRADO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Ivonete Ávila
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador / UNESP/FEG


Prof. Dr. OSIRIS CANCELIERI JUNIOR
PUC/PR


Prof. Dr. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN
UNESP/FEG

DADOS CURRICULARES

PAULO SÉRGIO ROSA MELONI

NASCIMENTO	25.07.1961 – Itajubá / MG
FILIAÇÃO	Paulo Meloni Maria de Lourdes Rosa Meloni
1979/1987	Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
1995/1996	Especialização em Tecnologia da Energia Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP
2004/2006	Especialização em Administração Escola de Administração de Empresas de São Paulo - FGV
2018/2020	Mestrado em Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá - UNESP

Dedico este trabalho, de modo especial, aos meus pais Paulo e Maria de Lourdes, à minha esposa Érica e aos meus filhos Matheus e Thiago.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade e disposição para realizar este trabalho.

Aos meus pais, Paulo e Maria de Lourdes, pela dedicação ao longo da minha vida e pela enorme contribuição à minha formação.

À minha esposa, Érica, companheira em todos os momentos, pelo apoio, incentivo, compreensão e paciência.

Aos meus filhos, Matheus e Thiago, presentes de Deus, por me incentivarem a seguir em frente.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza, exemplo de professor e pesquisador, pela atenção, incentivo e condução do processo de elaboração deste trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho, pelo apoio e transmissão de conhecimentos e experiências.

À Fabração Indústria de Arames e Molas, em especial ao Sr. Adriano Merkx, pela oportunidade e apoio.

E a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Não se pode criar experiência. É preciso passar por ela”.

Albert Camus

RESUMO

O setor industrial é responsável pela maior demanda de energia no Brasil e no mundo e, portanto, estudos sobre eficiência energética neste setor são importantes para a economia e para a sustentabilidade. No Brasil, existem mais de 100.000 indústrias de pequeno porte (de 10 a 49 funcionários), que representam aproximadamente 23% do total de estabelecimentos industriais, porém ações de eficiência energética em indústrias de pequeno porte não são tão incentivadas e implementadas se comparadas as indústrias de médio e grande porte. Este trabalho analisou as instalações de força motriz e iluminação de uma empresa de pequeno porte do ramo metalúrgico, localizada no interior do Estado de São Paulo, com o objetivo de identificar oportunidades de otimização da eficiência energética e redução do consumo de energia elétrica. Após levantamento de dados, medições em campo e análise, os resultados indicaram que a substituição dos motores elétricos por outros de alto rendimento, pode reduzir o consumo de energia elétrica em 9,7% e que a substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED tubulares, pode reduzir o consumo em 55,0%. Outras medidas, que envolvem pequenos investimentos, podem contribuir para a eficiência energética na empresa, tais como: treinamentos para conscientização e motivação dos funcionários, limpeza e pintura com cores claras do teto, paredes e janelas e a substituição de telhas translúcidas envelhecidas. Este estudo evidenciou que a aplicação de medidas de eficiência energética em uma indústria de pequeno porte propicia economia de energia elétrica, e, conseqüentemente, aumenta a disponibilidade de energia, melhora a segurança no fornecimento, diminui a necessidade de investimentos e reduz os impactos ambientais. A aplicação de medidas que visam aumentar a eficiência energética em indústrias de pequeno porte representa um potencial enorme de economia de energia para o país, cujos valores podem ultrapassar 1 bilhão de reais/ano.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo energético. Energia na indústria. Economia de energia elétrica. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The industrial sector has the highest demand for electricity in Brazil and the whole world, therefore, studies on energy efficiency in this sector are important for the economy and for sustainability. In Brazil, there are more than 100,000 small industries (between 10 and 49 employees), which represent approximately 23% of the total industries, however, energy efficiency actions in small companies are not as encouraged and implemented as in the medium and large ones. This paper analyzed the electric motors and the lighting installations of a small metallurgical company, located in the State of São Paulo, with the goal of identifying opportunities to optimize energy efficiency and reduce electricity consumption. After data collection, measurements and analysis, the results indicated that the replacement of the electric motors with high-efficiency ones, can reduce electricity consumption by 9.7% and that the replacement of fluorescent lamps with LED tube lamps, can reduce consumption by 55.0%. Other measures, which involves small investments, can also contribute to energy efficiency in the company, such as: employee's awareness and motivation training, cleaning and painting the ceiling, walls and windows with light colors and the replacement of aged translucent roof tiles. This study showed that the application of energy efficiency measures in a small industry provides savings in electricity, and consequently, increases the availability of energy, ensures a better supply, reduces the need for investments and reduces impacts environmental issues. The application of measures to increase energy efficiency in small industries represents a great potential for energy savings in Brazil, with values that can exceed BRL 1 Bi/year.

KEYWORDS: Energy consumption. Energy in the industrial sector. Electric energy savings. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participação das fontes de energia primária utilizadas no mundo em 2016	18
Figura 2 – Países maiores consumidores de energia em 2018	19
Figura 3 – Países com leis de eficiência energética implementadas até o ano de 2016.....	23
Figura 4 – Os múltiplos benefícios das melhorias em eficiência energética.....	26
Figura 5 – Participação setorial no consumo de energia elétrica no Brasil em 2018	28
Figura 6 – Utilização da energia elétrica no setor industrial brasileiro	30
Figura 7 – Evolução do motor de indução com relação ao rendimento e à massa por potência	31
Figura 8 – Motor de indução trifásico com rotor em gaiola.....	32
Figura 9 – Comparativo entre rendimentos nominais dos motores padrão (IR1), de alto rendimento (IR2) e premium (IR3), 4polos	36
Figura 10 – Lâmpada fluorescente tubular.....	38
Figura 11 – Lâmpadas LED: (a) bulbo; (b) tubular	39
Figura 12 – Layout da empresa metalúrgica estudada.....	42
Figura 13 – Exemplos de motores elétricos instalados na empresa.....	43
Figura 14 – Luminária tipo calha aberta instalada na empresa	44
Figura 15 – Tela inicial do programa BDMotor versão 4.3	46
Figura 16 – Exemplo de tela do banco de dados de motores do Programa BDMotor versão 4.3	46
Figura 17 – Exemplo da determinação do carregamento de um motor através do Programa BDMotor	47
Figura 18 – Curva de desempenho de um motor elétrico WEG de 3 cv, 4 polos.....	47
Figura 19 – Localização dos pontos de medição de iluminância na empresa estudada	48
Figura 20 – Alicata wattímetro Minipa ET-4080.....	49
Figura 21 – Tacômetro digital Icel TC-5005	49
Figura 22 – Termômetro infravermelho Homis 507	50
Figura 23 – Medidor de distância a laser Instrutherm TR-180.....	50
Figura 24 – Luxímetro digital Instrutherm LD-400.....	51
Figura 25 – Valores de iluminância (lux) medidos no interior do prédio	55
Figura 26 – Iluminação natural no galpão da empresa	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Barreiras à melhoria da eficiência energética	27
Quadro 2 – Desempenho de motores de indução em função da tensão aplicada	33
Quadro 3 – Valores mínimos de rendimento para motores de indução trifásicos, conforme Portaria Interministerial N° 1 de 29/06/2017	35
Quadro 4 – Especificações técnicas das lâmpadas fluorescentes instaladas na empresa.....	44
Quadro 5 – Resumo dos resultados obtidos com a substituição dos motores elétricos	54
Quadro 6 – Especificações técnicas de uma lâmpada LED tubular	56
Quadro 7 – Resumo dos resultados obtidos com a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LEDs tubulares	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de estabelecimentos industriais existentes no Brasil em 2018.....	15
Tabela 2 – Níveis mínimos de iluminância para as atividades de trabalho e processamento em metal e trabalhos em ferro e aço, conforme a NBR ISO/CIE 8995-1:2013.....	40
Tabela 3 – Dados dos motores elétricos de indução trifásicos em operação na empresa	43
Tabela 4 – Carregamento, rendimento e potência elétrica dos motores instalados	52
Tabela 5 – Carregamento, rendimento e potência elétrica dos motores de alto rendimento....	53
Tabela 6 – Consumo de energia do sistema de iluminação instalado	56
Tabela 7 – Consumo de energia do sistema de iluminação com lâmpadas LEDs tubulares....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACEEE	American Council for an Energy-Efficient Economy
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CNI	Confederação Nacional da Indústria
COP21	21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	Empresa de Serviços de Conservação de Energia
IEA	International Energy Agency
ISO	International Organization for Standardization
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LED	Light Emitting Diode
MIT	Motor de Indução Trifásico
MME	Ministério de Minas e Energia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONG	Organização Não Governamental
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEE	Programa de Eficiência Energética
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
UE	União Europeia
WEC	World Energy Council

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	19
3.2	POLÍTICAS E PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	20
3.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO MUNDO	21
3.4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	24
3.5	BENEFÍCIOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	25
3.6	DESAFIOS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	26
3.7	OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	28
3.7.1	Força Motriz	30
3.7.2	Iluminação	36
4	MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	41
4.2	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1	MOTORES ELÉTRICOS	52
5.2	ILUMINAÇÃO	54
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
6	CONCLUSÕES	60
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

A energia não deve ser consumida de forma indiscriminada, deve ser utilizada de forma sustentável para garantir que as futuras gerações possam utilizar desse recurso.

A energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna, sendo necessária para a produção de bens de consumo e para fornecer muitos dos serviços com os quais temos nos beneficiado (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2015).

Desde os primórdios da humanidade, ferramentas são desenvolvidas com o objetivo de facilitar tarefas do dia a dia, auxiliar na sobrevivência e prover um maior conforto às pessoas. Sejam essas ferramentas voltadas para o trabalho ou para o lazer, a evolução tecnológica em paralelo com a evolução da capacidade humana, tem feito tarefas complexas e demoradas serem simplificadas e facilitadas. O uso dos recursos tecnológicos diminuiu os esforços manuais e otimizou os processos e toda essa evolução está intimamente ligada ao uso da energia (FERNANDES, 2015).

Desde a Revolução Industrial, a competitividade econômica dos países e a qualidade de vida de seus cidadãos são intensamente influenciadas pela energia. Em um mercado global e em face das crescentes preocupações com o meio ambiente, essa influência se mostra cada vez mais decisiva. Nesse contexto, as economias que melhor se posicionam quanto ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e de baixo impacto ambiental obtêm importantes vantagens comparativas (SAVAZZI, 2017).

De acordo com Bimestre (2015), a preocupação crescente com a menor abundância, em um futuro próximo, das fontes energéticas primárias, principalmente petróleo e gás natural, bem como a preocupação com a preservação do meio ambiente, têm levado os planejadores a considerar outros recursos para assegurar o pleno atendimento da demanda futura de energia. Esses recursos incluem uma maior diversificação da matriz energética, com participação mais significativa de fontes renováveis e a eficiência energética.

Usar com eficiência os recursos disponíveis deve ser uma aspiração de todas as sociedades e organizações que buscam o progresso. Isso se dá especialmente no caso de recursos energéticos, não só pelos valores despendidos, mas também pelos impactos ambientais necessários para a produção de energia (ELETROBRAS, 2018).

A energia é fator-chave de produção em muitos setores e, com o crescente ritmo da globalização, a competitividade internacional exige a redução dos custos de produção, incluindo aqueles relacionados à energia (CHAN et al., 2014).

A energia elétrica é uma das modalidades de energia mais consumida no país. Do ponto de vista do setor elétrico, o uso eficiente de energia diminui a necessidade de expansão do sistema, postergando investimentos necessários ao atendimento do mercado de energia elétrica. Para os consumidores, as principais vantagens são: redução do gasto com energia elétrica, otimização dos sistemas presentes na instalação e marketing associado às ideias de preservação ambiental (NATURESA, 2011).

Os projetos de eficiência energética desempenham um papel fundamental na melhoria da segurança energética, da sustentabilidade ambiental e do desenvolvimento econômico.

Como o setor industrial é responsável por uma parcela considerável da demanda de energia, tanto no Brasil, como no mundo, torna-se essencial que se desenvolvam ações de eficiência energética neste setor.

A Tabela 1 apresenta o número de estabelecimentos industriais existentes no Brasil em 2018 (CNI, 2019).

Tabela 1 – Número de estabelecimentos industriais existentes no Brasil em 2018

Tamanho da empresa	Número de funcionários	Quantidade	Participação
Micro	Até 9	330.385	71,2%
Pequena	10 a 49	105.333	22,7%
Média	50 a 249	22.737	5,0%
Grande	250 ou mais	5.568	1,2%

Fonte: Adaptado de CNI (2019).

Ações de eficiência energética em indústrias de pequeno porte (de 10 a 49 empregados) não são tão incentivadas e implementadas no Brasil se comparadas as indústrias de médio e grande porte, porém representam um potencial enorme de economia de energia elétrica, considerando que existiam mais de 100.000 indústrias de pequeno porte no país no ano de 2018, conforme apresentado na Tabela 1.

A geração de informações que auxiliem as indústrias de pequeno porte a reduzirem o consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, os custos de produção, contribuindo para a sustentabilidade e a competitividade, foi o que motivou a realização deste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um estudo sobre a eficiência energética em indústria de pequeno porte, com foco em ações de racionalização do consumo de energia elétrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- analisar as instalações de força motriz e de iluminação em uma indústria metalúrgica de pequeno porte;
- identificar ineficiências energéticas;
- propor ações para a redução do consumo de energia elétrica

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A energia permeia todos os setores da sociedade - economia, trabalho, ambiente, relações internacionais - assim como nossas próprias vidas - moradia, alimentação, saúde, transporte, lazer e muito mais (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2015).

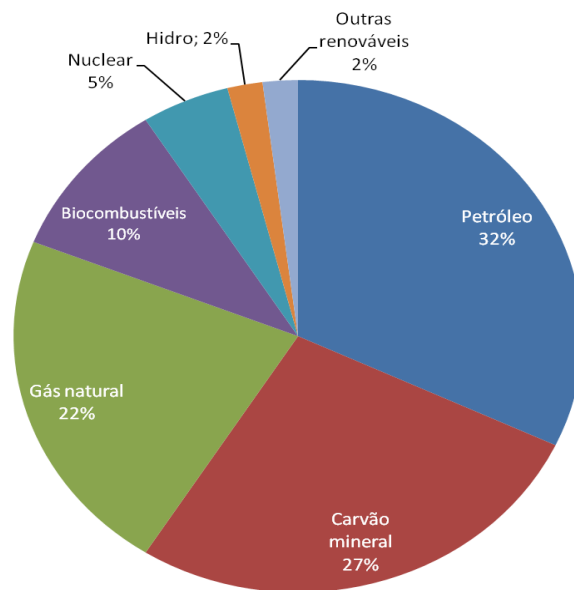
Para Fernandes (2015) a energia faz parte do cotidiano e da vida das pessoas das mais diversas formas, como por exemplo, ao dirigir um carro, ao realizar exercícios físicos, no preparo de alimentos e na alimentação em si e nos equipamentos que fazem parte de grande parte dos lares.

A energia é a força motriz para o desenvolvimento da economia mundial. Com o aumento da população e do consumo mundial, esforços adicionais devem ser feitos para garantir a disponibilidade de energia para todas as economias e, conseqüentemente, evitar uma série de problemas sérios relacionados à sua escassez. Portanto, medidas para garantir a eficiência energética tornou-se uma prioridade para qualquer nação disposta a desenvolver sua economia (CAMIOTO et al., 2016).

Durante as últimas décadas o mundo está testemunhando uma importante transição da energia proveniente de combustíveis fósseis para uma energia mais “limpa”. No entanto, os combustíveis fósseis, na forma de carvão, gás natural e petróleo, ainda representam 80% do consumo mundial de energia. Cada vez mais, o público em geral, as pesquisas e os governos estão preocupados com a eficiência energética, especialmente nos países em desenvolvimento (LI; TAO, 2017).

A participação das fontes de energia primária utilizadas no mundo em 2016 são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Participação das fontes de energia primária utilizadas no mundo em 2016



Fonte: IEA (2018).

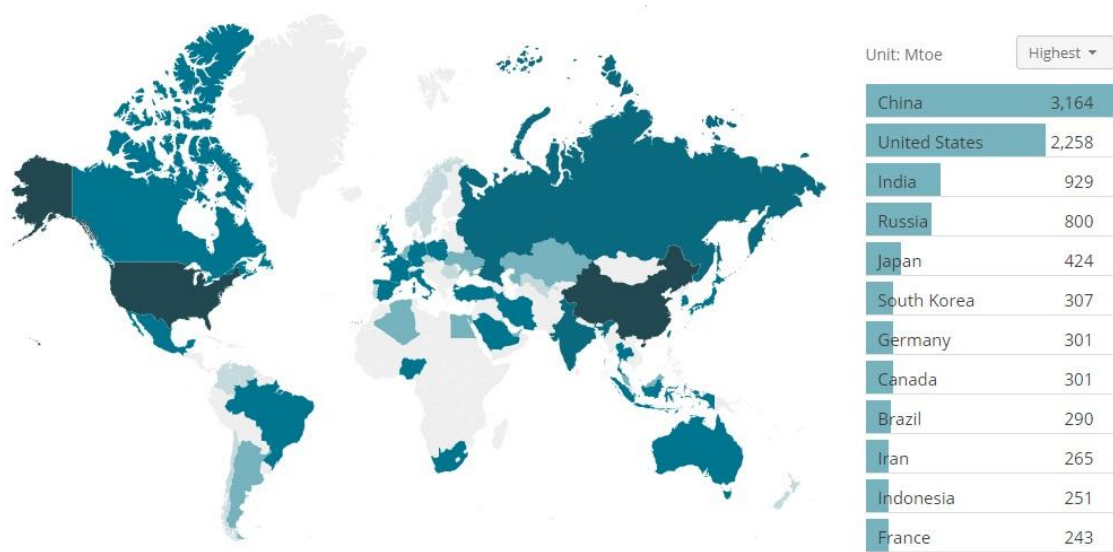
Nesta figura verifica-se que os combustíveis fósseis forneceram 81% da energia primária consumida no mundo em 2016.

A gestão dos recursos energéticos é hoje um dos principais desafios que a sociedade moderna enfrenta. O desenvolvimento econômico prevalente nas últimas décadas caracterizou-se pela utilização muito intensa de energia gerada a partir de recursos de origem fóssil. No entanto, a natureza finita desses recursos naturais, e o impacto ambiental da sua produção e consumo, alertaram o mundo para a necessidade de mudança dessas premissas de suporte ao modelo de desenvolvimento (TASSINI, 2012).

De acordo com PUCRS (2010), após a Revolução Industrial, o impacto da atividade humana sobre o meio ambiente, acompanhado do desenvolvimento econômico, tornou-se expressivo. A busca de soluções sustentáveis que visam a causar o mínimo impacto ambiental tornou-se prioridade mundial. O futuro depende de atitudes ambientalmente corretas, socialmente justas e economicamente viáveis, assim como da utilização eficiente dos recursos naturais integrando novas soluções energéticas.

Na Figura 2 podem ser observados os doze países maiores consumidores de energia no ano de 2018, com destaque para a China por ocupar a primeira posição, seguida dos Estados Unidos, enquanto o Brasil ocupa a nona posição.

Figura 2 – Países maiores consumidores de energia em 2018



Fonte: Enerdata (2019).

3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Por definição, a eficiência energética consiste na relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento, mantendo-se as condições de conforto e segurança dos usuários, a produtividade e a qualidade dos produtos e serviços, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a mitigação dos impactos ambientais (PINTO, 2016).

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 (MME, 2010), eficiência energética é definida como sendo a relação entre um bem produzido ou serviço realizado e a quantidade de energia final utilizada.

A eficiência energética pode ser definida como um conjunto de atividades sistêmicas que têm como objetivo principal otimizar ao máximo o uso de energia e de suas fontes, principalmente as fontes de energia não renováveis, ao mesmo tempo que atenta para a utilização econômica das energias renováveis como forma de reduzir o grande consumo dos combustíveis de fontes não renováveis (PEREIRA, 2009)

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2011), eficiência energética refere-se a ações de diversas naturezas que culminam na redução da energia

necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em processos. Objetiva, em síntese, atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto da natureza.

O crescente papel da eficiência energética como importante vetor no atendimento à demanda futura de energia da sociedade brasileira e mundial, recorrentemente tem sido apontado em diversos estudos internacionais e também no âmbito nacional. Em comum, estes estudos destacam que a sociedade não poderá prescindir de montantes crescentes de eficiência energética, como parte da estratégia de atendimento à demanda de energia e combate às mudanças do clima (EPE, 2017).

3.2 POLÍTICAS E PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As necessidades de se prover energia de forma adequada, sustentável e ambientalmente aceitável, têm criado o imperativo de se aumentar a eficiência no uso da energia, sendo o aumento da produtividade energética uma tendência no mundo. Praticamente todos os países desenvolvidos, e um número crescente de países em desenvolvimento, tem implementado políticas de eficiência energética devidamente adaptadas às suas circunstâncias tais como: acordos voluntários, etiquetagem, informação e medidas regulatórias (MAGINADOR, 2017).

Para promover o uso eficiente de energia e o crescimento econômico, os governos devem adotar políticas de eficiência energética como uma de suas principais estratégias, pois este fator tem o potencial de melhorar o desenvolvimento social, promover a sustentabilidade ambiental e garantir a segurança energética (PADRE et al., 2018).

Políticas bem projetadas podem resultar em economias substanciais de energia, conforme demonstrado nos Estados Unidos, no Japão e em alguns países da Europa (GELLER et al., 2006).

A eficiência energética é uma resposta crítica aos desafios urgentes da mudança climática, do desenvolvimento econômico e da segurança energética enfrentados por muitos países. Conseguir melhorias pode ser difícil e requer uma combinação de fatores, entre eles, o desenvolvimento de políticas governamentais que possam influenciar as ações de milhões de consumidores de energia, de grandes fábricas a domicílios individuais (IEA, 2010).

De acordo com o Conselho Americano para uma Economia Eficiente de Energia (ACEEE, 2019), as políticas nacionais norte-americanas para melhorar a eficiência energética são fundamentais para a criação de empregos e o desenvolvimento econômico, reduzindo as

importações de petróleo, melhorando a confiabilidade da rede elétrica, diminuindo os preços da energia e abordando as mudanças climáticas e a poluição do ar.

As políticas de eficiência energética têm implicações de longo alcance para a segurança energética, as mudanças climáticas, a competitividade econômica, a poluição e a subsistência humana e por estas razões, tornou-se uma prioridade nacional para o governo chinês, particularmente desde 2005 (LO, 2014).

A adoção de leis de eficiência energética ou leis energéticas com um forte componente relacionado à eficiência energética está se tornando uma abordagem comum em todo o mundo. Uma lei confere um status mais duradouro às políticas de eficiência energética, já que mudar uma lei existente pode ser um processo complexo e, desta maneira, podem evitar, até certo ponto, interrupções ou descontinuidade devido a mudanças políticas (WEC, 2016).

Ainda segundo WEC (2016), leis de eficiência energética fornecem, muitas vezes, uma estrutura legal para a adoção de metas ou outras regulamentações, como etiquetagem, padrões mínimos de desempenho energético, obrigações para grandes consumidores, economia de energia para serviços públicos ou auditorias energéticas. Podem também fornecer uma estrutura legal para a criação de um fundo de eficiência energética.

De acordo com Maginador (2017), os programas de eficiência energética foram criados com o objetivo de combater as diversas barreiras enfrentadas pelas medidas de eficiência energética, tais como, falta de conscientização da população, restrições financeiras, avaliação dos resultados, custos de transição, baixa disponibilidade de equipamentos eficientes e de serviços adequados. A elaboração e aplicação de medidas relacionadas à eficiência energética, muitas vezes é responsabilidade de agências, sendo que estas devem possuir autonomia e poder de mobilização das partes envolvidas, tais como empresas, autoridades locais e ONGs, e ter liberdade para discutir e coordenar sobre as ações de governos de todos os níveis.

3.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO MUNDO

A eficiência energética começou a atrair a atenção de formuladores de políticas e pesquisadores durante a crise do petróleo na década de 1970, quando o preço do barril subiu repentinamente, causando preocupações relevantes em relação ao suprimento de energia (TRIANNI; MERIGÓ; BERTOLDI, 2018).

A introdução de políticas e medidas de eficiência energética tem crescido rapidamente em todo o mundo. O número de países com uma lei de eficiência energética tem crescido, indicando o fortalecimento e a consolidação do compromisso institucional com relação a este

tema. As medidas de política implementadas incluem uma combinação de regulamentos, instrumentos financeiros e fiscais e informações que são geralmente adaptadas para atender às circunstâncias de cada país (WEC, 2016).

Quase todos os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e um número crescente de países não membros estão implementando uma ampla gama de medidas políticas sobre eficiência energética (WEC, 2013).

Os Estados Unidos desenvolvem uma série de programas em matéria de eficiência energética, tanto no nível federal como em governos estaduais e em algumas concessionárias de eletricidade e gás natural. No âmbito federal, um dos mais importantes é o Programa de Tecnologias Industriais, que tem como objetivo melhorar a eficiência energética da indústria e diminuir os impactos da atividade industrial sobre o meio ambiente (BAJAY; SANTANA, 2010). Outros programas incluem padrões mínimos de eficiência para produtos que utilizam eletricidade e gás, um programa nacional de rotulagem de eficiência (Energy Star®), créditos tributários e programas baseados em incentivos para os consumidores, financiados principalmente por clientes de serviços públicos de eletricidade e gás natural (BARBOSE et al., 2013).

De acordo com Yang; Hu; Yuan (2016), o governo chinês aplicou uma série de regulamentações políticas para aumentar a eficiência energética da China, de maneira a reduzir o conflito entre a escassez de energia e a demanda por meio do crescimento econômico.

A União Europeia (UE) introduziu uma legislação para reduzir as emissões, melhorar a eficiência energética e incentivar as energias renováveis. As principais metas foram estabelecidas inicialmente para 2020, conhecidas como metas “20-20-20” e compreendem: 20% de corte nas emissões de gases de efeito estufa a partir dos níveis de 1990; 20% da quota de consumo de energia da UE produzida a partir de recursos renováveis; melhoria de 20% da eficiência energética no consumo de energia primária na União Europeia (MALINAUSKAITE et al., 2019).

O governo da Rússia, no período de 2008 a 2010, publicou uma série de documentos importantes sobre o aumento da eficiência energética, estabelecendo metas ambiciosas e planejando uma série de ações em muitos setores da economia. As principais medidas para melhorar a eficiência energética no setor industrial, de acordo com o Programa de Estado de 2010, incluíam a realização de auditorias energéticas voluntárias e obrigatórias, treinamento e desenvolvimento de gerentes e especialistas no campo da eficiência energética e o

3.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

No Brasil, as primeiras preocupações relacionadas à economia de energia e eficiência energética, decorreram principalmente devido à crise do petróleo nos anos de 1970, mais precisamente em 1973 e 1979. Nessa época, o Brasil importava cerca de 80% do petróleo consumido, sendo que, com a crise o preço do barril aumentou cerca de 4 vezes de 1973 para 1974 (KAWANO, 2013).

A responsabilidade pelas ações sobre eficiência energética, no Brasil, é distribuída entre algumas instituições, tais como Ministério das Minas e Energia (MME), as Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRAS), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Tecnologia (INMETRO) (VIANA et al., 2012).

O primeiro programa governamental para eficiência energética foi criado em 1984 e denominado Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), sendo coordenado pelo Inmetro. Através de etiquetas comparativas de desempenho energético, fornece informações sobre o consumo específico dos produtos, a fim de influenciar a escolha dos consumidores, além de estimular a fabricação de produtos com maior nível de eficiência energética (EPE, 2017).

Em 1985 foi criado o Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobras. O Procel foi instituído para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício e suas ações contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços e para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia (PROCEL, 2006). Os objetivos do programa industrial do Procel são: o apoio aos vários ramos industriais na melhoria de seu desempenho energético, a seleção de plantas industriais para a realização de novos projetos com eficiência energética e a divulgação de informações sobre projetos bem-sucedidos, visando sua multiplicação (MELLO SANTANA; BAJAY, 2016).

Uma iniciativa em termos de legislação foi a aprovação da Lei N° 9.991 do ano de 2000, que obriga as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 0,5% de sua receita operacional líquida em programas de eficiência energética no uso final. Por meio desta lei foi consolidada a destinação de recursos para as ações de eficiência, criando o chamado Programa de Eficiência Energética das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica (PEE) da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (VIEIRA, 2016).

Em 2001 foi criada a Lei de Eficiência Energética (Lei Nº 10.295/2001), que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Entre elas, determina a existência de níveis mínimos de eficiência energética (ou máximos de consumo específico de energia) de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, bem como de edificações construídas, com base em indicadores técnicos pertinentes e de forma compulsória. Esta lei estimula o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional (ELETROBRAS, 2018).

Em 2011 foi lançado o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que estabelece meta de redução de 10% do consumo de energia elétrica até 2030, com relação ao ano-base de 2010.

A Lei 13.280, de 3 de maio de 2016, alterou a Lei nº 9.991/2000, para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética. Com isso, o Procel poderá investir até 0,1% da receita operacional líquida das distribuidoras de energia elétrica em ações estruturantes de eficiência energética, em grande escala (ELETROBRAS, 2017).

3.5 BENEFÍCIOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética tem múltiplos benefícios, como contribuir para a segurança energética, modicidade tarifária, postergação de investimentos em geração elétrica, maior competitividade e produtividade, geração de empregos, mais bem estar para a população, menores gastos com saúde pública e redução de impactos ambientais (EPE, 2017).

Segundo Thema et al. (2019), a implementação de ações de melhoria da eficiência energética não só reduz o consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa, mas também conduz a outros múltiplos impactos como redução da poluição do ar e subsequentes efeitos na saúde e no ecossistema, economia de recursos materiais, efeitos econômicos nos mercados de trabalho, alteração nos preços da energia e melhoria da segurança energética.

Para Mathias (2014), programas de eficiência energética propiciam os seguintes benefícios: maior segurança no fornecimento de energia; ganhos econômicos associados a um aumento de produtividade e de competitividade; maior acesso a serviços de energia; redução nos impactos ambientais devido à diminuição das emissões de gases poluentes e de efeito estufa; além de poder gerar um retorno melhor e mais rápido do que o investimento em suprimento de energia.

Dentre os aspectos econômicos envolvidos nas atividades de racionalização do uso de energia, deve-se destacar a valorização da imagem e a visão estratégica da empresa. Hoje, o mercado exige produtos de empresas comprometidas com ações de proteção ao meio ambiente (TASSINI, 2012).

Conforme dados do IEA (2014), pesquisas recentes reconhecem o enorme potencial da eficiência energética. Além da redução da demanda de energia e menores emissões de gases de efeito estufa, os especialistas reconhecem cada vez mais seu importante papel na geração de medidas para melhorar a prosperidade e o bem-estar, objetivos que tanto a população quanto os formuladores de políticas desejam alcançar. Na Figura 4 são identificados quinze classes de benefícios das melhorias em eficiência energética.

Figura 4 – Os múltiplos benefícios das melhorias em eficiência energética



Fonte: Adaptado de IEA (2014).

3.6 DESAFIOS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Apesar de todos os benefícios, ainda há desafios para a difusão da eficiência energética, como: a baixa priorização dos projetos de eficiência pelas empresas e consumidores, falta de conhecimento sobre o potencial e medidas de eficiência, falta de confiança sobre os reais

custos e benefícios das ações, modelos de negócio para realização de investimentos em eficiência, resistência à mudança, dentre outros (EPE, 2017).

De acordo com Fabbriani e Calili (2018), políticas brasileiras de eficiência energética não são implementadas devido, em grande parte, à falta de ações governamentais primárias, como incentivos fiscais e tributários, ou mesmo taxas de juros especiais para investimentos da troca de equipamentos antigos por mais eficientes. Além disso, existem poucas ações para inserir no mercado a cultura de gerenciamento de energia, treinamento em auditoria e avaliação de projetos, entre outras.

Estudos evidenciam a existência de desafios para a eficiência energética na indústria, que ocorrem dentro e fora de uma empresa e de natureza diversa, tais como, econômica, organizacional; comportamental; de competência; tecnológica e de conscientização. Além disso, destacaram a relevância das características da empresa (por exemplo, setor de atuação, tamanho) que desafiam a implementação de medidas de eficiência energética (TRIANNI; CAGNO; FARNÉ, 2016).

A melhoria da eficiência energética é frequentemente dificultada por barreiras de mercado, financeiras, informativas, institucionais e técnicas. Essas barreiras existem em todas as partes e a maioria das políticas de eficiência energética visa superá-las. As principais barreiras à melhoria da eficiência energética estão resumidas no Quadro 1 (IEA, 2010).

Quadro 1 – Barreiras à melhoria da eficiência energética

Barreira	Exemplos
Mercado	<ul style="list-style-type: none"> • A organização do mercado e as distorções de preços impedem os clientes de avaliarem o verdadeiro valor da eficiência energética. • Problemas de incentivo criados quando os investidores não conseguem captar os benefícios de melhorar a eficiência. • Custos de transação (os custos de desenvolvimento do projeto são altos em relação à economia de energia).
Financeiras	<ul style="list-style-type: none"> • Custos iniciais e benefícios dispersos desestimulam os investidores. • Percepção de que investimentos em EE são complicados e arriscados, com altos custos de transação. • Falta de consciência dos benefícios financeiros por parte das instituições financeiras.
Informação e conscientização	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de informação e compreensão suficientes, por parte dos consumidores, para tomar decisões racionais de consumo e investimento.
Regulatórias e institucionais	<ul style="list-style-type: none"> • Tarifas de energia que desestimulam o investimento em EE. • Estruturas de incentivo que encorajam os fornecedores a vender energia em vez de investir em eficiência energética. • Tendência institucional para investimentos no lado da oferta.
Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de tecnologias de eficiência energética acessíveis e adequadas às condições locais. • Capacidade insuficiente para identificar, desenvolver, implementar e manter investimentos em EE.

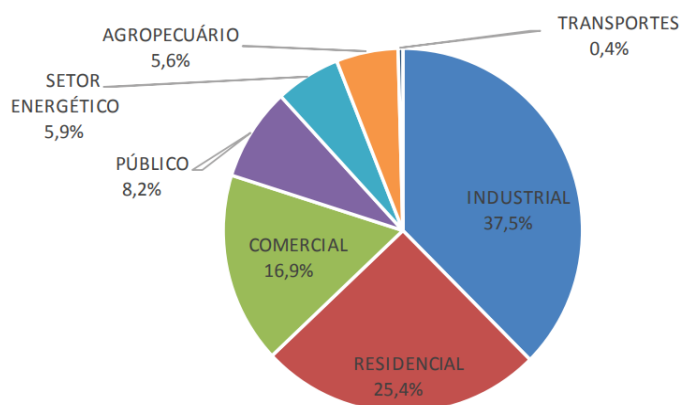
Fonte: IEA (2010).

3.7 OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

O setor industrial é responsável por 36% do consumo mundial de energia (CHOI; EOM; MCCLORY, 2018). No Brasil, o consumo de energia no setor industrial em 2018 foi de 80,9 Mtep, representando 31,6% do consumo final (EPE, 2019).

Com relação à energia elétrica, neste mesmo ano, o setor industrial consumiu um total de 200,9 TWh, correspondendo à 37,5% do total de energia elétrica consumida no país (EPE, 2019). Na Figura 5 pode ser observada a participação dos setores no consumo de energia elétrica no Brasil em 2018.

Figura 5 – Participação setorial no consumo de energia elétrica no Brasil em 2018



Fonte: EPE (2019).

Dentre os insumos utilizados na indústria, a energia elétrica insere-se como um recurso essencial em quase todas as atividades de um sistema produtivo. Sendo assim, o investimento no uso eficiente de energia elétrica traz uma série de benefícios tanto para a empresa, como para o país e para seu cliente final (CASTRO, 2015).

Reduções no consumo de energia podem ser conseguidas pela eliminação de consumos supérfluos, recuperação de perdas, implementação de melhorias funcionais em equipamentos existentes e utilização de equipamentos de melhor rendimento (SÁ, 2010).

Procurar ganhos de eficiência energética em uma determinada instalação ou processo significa procurar reduzir as perdas e o consumo de energia mantendo os mesmos resultados na produção e/ou serviços, através da utilização racional dos recursos humanos, materiais e

econômicos, com ações de combate ao desperdício de energia e modernização das instalações ou processos (CAPELLI, 2013).

De acordo com Mathias (2014), cada vez mais as disputas entre as indústrias por melhor competitividade e lucratividade têm sido acirradas e neste cenário é imprescindível o desenvolvimento de metodologias para reduzir as ineficiências e desperdícios existentes nos processos industriais.

A eficiência energética foi reconhecida como um dos principais meios para aumentar a competitividade do setor industrial e, em especial, das pequenas e médias empresas, onde as medidas de eficiência energética são pouco implementadas (TRIANNI; CAGNO; FARNÉ, 2016).

De acordo com Johansson e Thollander (2018), a base para a melhoria contínua da eficiência energética no setor industrial é a realização de auditorias energéticas recorrentes. Uma auditoria energética deve consistir em uma investigação e análise sistemática do uso de energia da empresa, com o objetivo de identificar o potencial de eficiência energética e sugerir medidas para melhoria.

Bajay e Santana (2010) avaliaram programas de eficiência energética, orientados para o setor industrial, em treze países e na União Europeia. Dentre as medidas adotadas, as mencionadas abaixo mereceram destaque dos autores:

- Divulgação de informações técnicas, econômicas e financeiras sobre equipamentos eficientes, para consumidores industriais, através de panfletos, livros, manuais, bases de dados e softwares;
- Capacitação de pessoal em medidas de conservação de energia na indústria;
- Custeio, total ou parcial, de diagnósticos energéticos e estudos de otimização energética de instalações industriais;
- Incentivos creditícios para equipamentos industriais eficientes;
- Padrões mínimos obrigatórios de eficiência energética para alguns equipamentos de uso geral na indústria;
- Imposição de metas de conservação de energia, envolvendo medição e verificação, para supridores de energia ou para concessionárias de serviços públicos de energia, em instalações de seus clientes, inclusive industriais;
- Fomento à participação de Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ESCOs) e os seus contratos de desempenho em programas de eficiência energética na indústria;

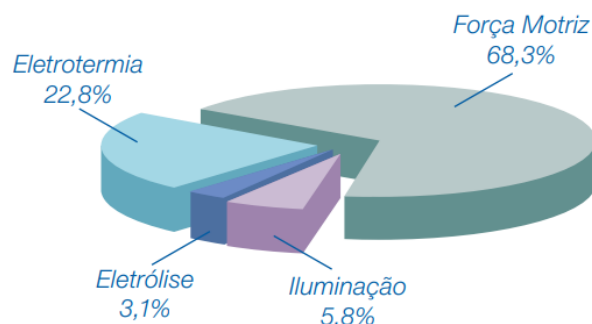
- Credenciamento das ESCOs e a possibilidade de emissão, por essas companhias, de certificados reconhecidos pelos governos e comprobatórios da economia de energia efetivamente concretizada em seus contratos de desempenho;
- Incentivos fiscais para equipamentos industriais eficientes;
- Divulgação de informações técnicas, econômicas e financeiras sobre processos industriais eficientes para a fabricação de determinados produtos (benchmarking);
- Acordos voluntários entre governos e associações patronais na implementação de programas de eficiência energética na indústria, sobretudo em segmentos energo-intensivos;
- Financiamento de projetos de pesquisa e desenvolvimento de equipamentos e processos industriais eficientes;
- Adoção de normas de gestão otimizada de energia na indústria, compatíveis com a ISO 9000 e a ISO 14000;
- Legislação e a regulação de caráter obrigatório envolvendo programas de eficiência energética na indústria.

A seguir são apresentadas algumas oportunidades de efficientização energética em sistemas industriais.

3.7.1 Força Motriz

No Brasil, os sistemas motrizes representam aproximadamente dois terços da energia elétrica consumida no setor industrial. Desta maneira, se tornam o principal alvo de atuação dos programas de eficiência energética neste setor (PROCEL, 2006). A Figura 6 apresenta como a energia elétrica é utilizada no setor industrial brasileiro.

Figura 6 – Utilização da energia elétrica no setor industrial brasileiro



Fonte: WEG (2019a).

Apesar dos avanços tecnológicos verificados no projeto de motores elétricos, ainda há muitos motores antigos, ineficientes e/ou mal dimensionados operando na indústria nacional (MEJIA, 2015).

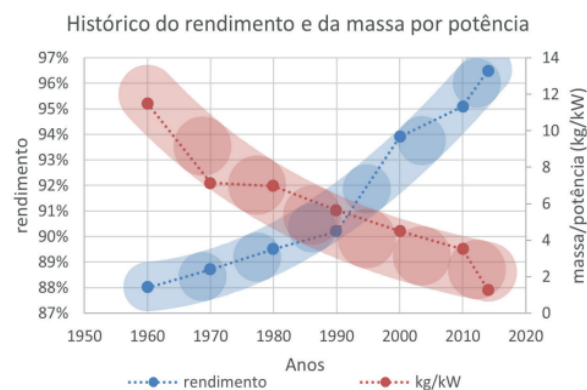
De acordo com Pinto (2016), dos diversos tipos de motores existentes, os motores de indução trifásicos são os mais significativos, quer em número, quer em consumo de energia.

Para Santos et al. (2006), os motores de indução trifásicos (MIT) se constituem como um grande potencial de conservação de energia devido duas razões principais: a grande quantidade de motores instalados e a aplicação ineficiente dos mesmos em muitos casos.

O motor de indução é basicamente um conversor eletromecânico de energia, ou seja, converte energia elétrica em energia mecânica e é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor. O que caracteriza o motor de indução é que só o estator é ligado à rede de alimentação. O rotor não é alimentado externamente e as correntes que circulam nele, são induzidas eletromagneticamente pelo estator, de onde provém o seu nome: motor de indução (WEG, 2017).

O motor de indução vem sofrendo uma série de desenvolvimentos e melhorias desde sua invenção, tanto nos materiais utilizados, como nos projetos e processos de manufatura. Um exemplo de desenvolvimento é a relação massa-potência (SANTOS et al., 2006), o outro é com relação ao rendimento. Na Figura 7 podem ser observadas estas evoluções.

Figura 7 – Evolução do motor de indução com relação ao rendimento e à massa por potência

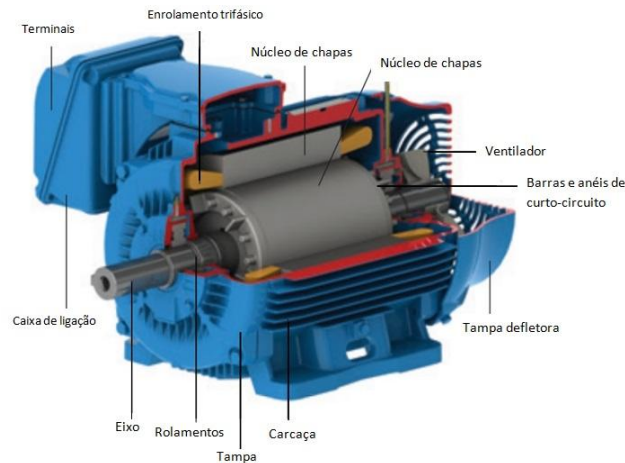


Fabricação	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2014
Rendimento	88 %	88,7 %	90 %	90,2 %	93,9 %	95,1 %	96,5 %
Peso/potência	11,5 kg/kW	7,15 kg/kW	6,97 kg/kW	5,65 kg/kW	4,5 kg/kW	3,5 kg/kW	1,3 kg/kW

Fonte: Souza et al. (2019).

Na indústria, os motores de indução trifásicos são os mais utilizados. Os mesmos são classificados, dependendo da construção do rotor, em: motores de rotor bobinado e motores do tipo gaiola de esquilo. A Figura 8 ilustra um motor de indução trifásico com rotor em gaiola, o mais utilizado dentre eles.

Figura 8 – Motor de indução trifásico com rotor em gaiola



Fonte: Adaptado de WEG (2017).

O motor de indução trifásico é muito utilizado devido a uma série de fatores, dentre os quais se destacam:

- a) Baixo custo de aquisição e manutenção em relação aos demais tipos de motores;
- b) Características construtivas mais simples;
- c) Possibilita o controle de velocidade através da utilização de inversores de frequência;
- d) Robustez;
- e) Não produz faiscamento, possibilitando mais facilmente a sua aplicação em áreas classificadas;
- f) Elevada vida útil.

Os motores elétricos são projetados para apresentar melhor desempenho em sua tensão nominal. Se o motor opera com uma tensão inferior à nominal, a corrente absorvida aumentará para manter o torque necessário, elevando as perdas por efeito Joule no estator e no rotor e causando uma elevação de temperatura no motor. Se a tensão aplicada é superior à nominal, ocorre um aumento das perdas no ferro, diminuindo o rendimento e o fator de potência (SANTOS et al., 2006). O Quadro 2 apresenta mais dados a esse respeito.

Quadro 2 – Desempenho de motores de indução em função da tensão aplicada

Característica	Variação da tensão nominal	
	110%	90%
Torque - De partida, máximo e de operação.	Aumenta 21%	Diminui 19%
Rotação - Síncrona - Plena carga - Escorregamento	Não se altera Aumenta 1% Diminui 17%	Não se altera Diminui 1,5% Aumenta 23%
Rendimento - Plena carga - $\frac{3}{4}$ de carga - $\frac{1}{2}$ carga	Aumenta 0,5 a 1 ponto Pequena mudança Diminui 1 a 2 pontos	Decresce 2 pontos Pequena mudança Aumenta 1 a 2 pontos
Fator de potência - Plena carga - $\frac{3}{4}$ de carga - $\frac{1}{2}$ carga	Diminui 3 pontos Diminui 4 pontos Diminui 5 a 6 pontos	Aumenta 1 ponto Aumenta 2 a 3 pontos Aumenta 4 a 5 pontos
Corrente - Partida - Plena carga	Aumenta 10 a 12% Diminui 7%	Diminui 10 a 12% Aumenta 11%
Temperatura	Diminui 3 a 4 °C	Aumenta 6 a 7 °C
Capacidade de sobrecarga	Aumenta 21%	Diminui 19%
Ruído de origem magnética	Pequeno aumento	Pequena redução

Fonte: Santos et al. (2006).

A importância dos motores de indução trifásicos na matriz energética do país induziu o governo brasileiro, através do PROCEL, a realizar uma avaliação dos motores de indução trifásicos nacionais no período de 1988 a 1990. Os resultados evidenciaram a necessidade de abertura de uma linha de pesquisa de aperfeiçoamento de projetos de motores de indução trifásicos, dentro do contexto tecnológico brasileiro. Após vários estudos, surgiram os motores de alto rendimento (classe ou índice de rendimento IR2), cuja característica é a melhoria em pontos vitais onde se concentram a maioria das perdas (BELINOVSKI, 2011). Estas características específicas do motor de alto rendimento fazem com que acionem a mesma carga, porém absorvendo uma potência elétrica menor da rede, se comparado ao motor standard.

A princípio, qualquer substituição de um motor elétrico standard por um de alto rendimento traz economia de energia. Quanto maior o tempo de utilização e a potência do motor, mais rápido será o retorno dos investimentos. Entretanto, há casos em que este retorno acontece em um tempo muito grande, sendo necessária uma avaliação mais detalhada.

Posteriormente ao motor de alto rendimento, surgiu o motor elétrico premium (classe ou índice de rendimento IR3), que possui perdas reduzidas comparadas com o motor padrão (IR1) e de alto rendimento (IR2) e, conseqüentemente, rendimento superior. A redução das perdas é obtida através de mudanças no projeto, utilização de processos de fabricação mais complexos e modificações em materiais utilizados, implicando evidentemente em aumento dos custos de fabricação. Assim, os motores premium são mais caros comparados aos motores da classe IR2,

no entanto, por serem mais eficientes gastam menos energia para a mesma aplicação. Logo, este custo (ou investimento) adicional de aquisição é retornado pelo menor custo operacional (FERREIRA, 2016)

De acordo com Ferreira (2016), as principais vantagens do motor premium (IR3), quando comparados com os motores da linha alto rendimento (IR2) são:

- Reduzem o consumo e a demanda de energia elétrica (acarretando em redução de custos);
- Menores temperaturas de operação, acarretando em maior confiabilidade e vida útil, com menores custos com manutenção e postergação de investimentos nas trocas;
- Rendimentos permanecem superiores para baixas cargas;
- Minimizam os efeitos dos baixos rendimentos encontrados em motores superdimensionados (em situações que não se possa redimensioná-los).

No Brasil, a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, conhecida como Lei de Eficiência Energética, dispôs que o Poder Executivo estabeleceria níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, com base em indicadores técnicos pertinentes.

Em 2002, através do Decreto nº. 4.508 de 11 de dezembro, o governo brasileiro dispôs sobre a regulamentação específica para definir os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor de gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importada, para comercialização ou uso no território nacional.

Em 2005, a Portaria Interministerial nº 553 de 08 de dezembro, aprovou o programa de metas para motores elétricos de indução trifásicos e estabeleceu níveis mínimos de rendimentos.

Em 2013, foi revisada a Norma NBR 17094-1, que especificava valores mínimos de rendimento para as classes de motores IR2 (motor de alto rendimento) e IR3 (motor premium). Desta forma, fabricantes de máquinas e consumidores finais deveriam utilizar produtos que atendiam, ao menos, a este nível de rendimento (WEG, 2019b).

Em 2017, a Portaria Interministerial Nº 1 de 29 de junho, determinou que os níveis mínimos de rendimento dos motores de indução trifásicos, a partir de agosto de 2019, devem ser iguais aos da classe IR3, estabelecidos pela NBR 17094-1:2013, além da ampliação da

faixa de potência, que passa a incluir os motores de 0,16 a 500 cv, de 2 a 8 polos (WEG, 2019b). O Quadro 3 apresenta os valores mínimos de rendimento estabelecidos por esta Portaria.

Quadro 3 – Valores mínimos de rendimento para motores de indução trifásicos, conforme Portaria Interministerial N° 1 de 29/06/2017.

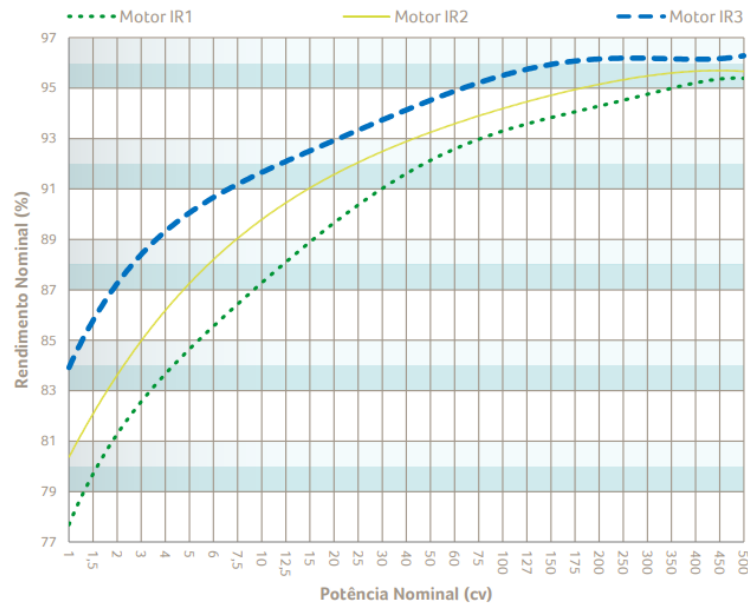
Potência nominal		Número de polos			
kW	cv	2	4	6	8
		Rendimento nominal			
0,12	0,16	62,0	66,0	64,0	59,5
0,18	0,25	65,6	69,5	67,5	64,0
0,25	0,33	69,5	73,4	69,0	68,0
0,37	0,50	73,4	78,2	75,3	72,0
0,55	0,75	76,8	79,0	79,5	74,0
0,75	1,0	80,5	83,5 ^a	82,5	75,5
1,1	1,5	84,0	86,5 ^b	87,5 ^c	78,5
1,5	2,0	85,5	86,5	88,5 ^d	84,0
2,2	3,0	86,5	89,5 ^e	89,5 ^f	85,5
3,0	4,0	88,5	89,5	89,5	86,5
3,7	5,0	88,5	89,5	89,5	86,5
4,4	6,0	88,5	89,5	89,5	86,5
5,5	7,5	89,5	91,7 ^g	91,0	86,5
7,5	10,0	90,2	91,7	91,0	89,5
9,2	12,5	91,0	92,4	91,7	89,5
11,0	15,0	91,0	92,4	91,7	89,5
15,0	20,0	91,0	93,0	91,7	90,2
18,5	25,0	91,7	93,6	93,0	90,2
22,0	30,0	91,7	93,6	93,0	91,7
30,0	40,0	92,4	94,1	94,1	91,7
37,0	50,0	93,0	94,5	94,1	92,4
45,0	60,0	93,6	95,0	94,5	92,4
55,0	75,0	93,6	95,4	94,5	93,6
75,0	100	94,1	95,4	95,0	93,6
90,0	125	95,0	95,4	95,0	94,1
110	150	95,0	95,8	95,8	94,1
132	175	95,4	96,2	95,8	94,5
150	200	95,4	96,2	95,8	94,5
185	250	95,8	96,2	95,8	95,0
220	300	95,8	96,2	95,8	95,0
260	350	95,8	96,2	95,8	95,0
300	400	95,8	96,2	95,8	95,0
330	450	95,8	96,2	95,8	95,0
370	500	95,8	96,2	95,8	95,0

^a Para motores na carcaça 80, o valor mínimo de rendimento é 83,0 %.
^b Para motores na carcaça 80, o valor mínimo de rendimento é 84,0 %.
^c Para motores na carcaça 90, o valor mínimo de rendimento é 85,5 %.
^d Para motores na carcaça 90, o valor mínimo de rendimento é 86,5 %.
^e Para motores na carcaça 90, o valor mínimo de rendimento é 87,5 %.
^f Para motores na carcaça 100, o valor mínimo de rendimento é 87,0 %.
^g Para motores na carcaça 112, o valor mínimo de rendimento é 91,0 %.

Fonte: Brasil (2017).

Na Figura 9 é apresentada uma comparação entre os rendimentos nominais mínimos de motores elétricos de 4 polos (os mais utilizados) dos tipos padrão (IR1), de alto rendimento (IR2) e premium (IR3). Observa-se que a eficiência energética do motor premium é maior para todas as potências.

Figura 9 – Comparativo entre rendimentos nominais dos motores padrão (IR1), de alto rendimento (IR2) e premium (IR3), 4polos



Fonte: Ferreira (2016).

Sob o ponto de vista da eficiência energética, o principal parâmetro a ser observado no motor é a sua potência nominal, que deve ser a adequada para o serviço a que se destina. Potências nominais superiores à realmente necessária resultam em desperdícios de energia, redução do fator de potência da instalação elétrica da indústria e maiores perdas nas redes de distribuição de energia e nos transformadores. Deve-se, sempre que possível, escolher o motor de modo que seu carregamento seja no mínimo superior a 50%, dando preferência a que ele seja maior que 75 % (COPEL, 2005).

3.7.2 Iluminação

A iluminação é um elemento importante nos ambientes de trabalho, podendo ser natural, artificial ou uma combinação de ambas. De acordo com a Norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ABNT, 2013), uma boa iluminação propicia a visualização do ambiente, permitindo que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto.

A Norma Regulamentadora 17 (NR 17) do Ministério do Trabalho e Emprego determina que, em todos os locais de trabalho, deve haver iluminação adequada, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade.

Eficiência energética em sistemas de iluminação é a capacidade de utilização da menor quantidade de energia possível para a geração da maior quantidade de luz necessária. Porém, este princípio não deve, em hipótese alguma, prejudicar o conforto e a satisfação do usuário, assim como o desenvolvimento da tarefa visual exigida (SALOMÃO, 2010).

Para Costa (2006), economia em iluminação não significa não ter iluminação ou que esta seja deficiente, é apenas a utilização correta das tecnologias disponíveis produzindo mais luz com menor consumo de energia.

A iluminação é responsável por, aproximadamente, 6% do consumo de energia elétrica do setor industrial, conforme demonstrado na Figura 6.

O bom desempenho de um sistema de iluminação depende de cuidados que se iniciam no projeto elétrico, envolvendo informações sobre lâmpadas, luminárias, perfil de utilização, tipo de atividade a ser exercida no local e outras. É recomendável que os novos projetos de iluminação considerem os seguintes pontos para obtenção de maior eficiência (COPEL, 2005):

- Máximo aproveitamento da luz natural;
- Nível de iluminação adequado ao trabalho solicitado, conforme recomendado pela Norma Brasileira;
- Circuitos independentes para utilização de iluminação parcial e por setores;
- Iluminação localizada e pontos especiais como: máquinas operatrizes, pranchetas de desenho, etc.;
- Seleção cuidadosa de lâmpadas e luminárias, buscando conforto visual com mínima carga térmica ambiental;
- Utilização de relés fotoelétricos para controlar o número de lâmpadas acesas, em função da luz natural no local.

São vários os tipos de lâmpadas utilizadas na iluminação do setor industrial. As mais usuais são:

- Fluorescente
- Vapor de mercúrio
- Vapor de sódio
- Vapor metálico
- Mista
- LED

Segue uma breve descrição das lâmpadas fluorescentes e LEDs, tratadas nesta pesquisa.

A lâmpada fluorescente é constituída de um tubo de descarga de vidro transparente, revestido internamente com uma camada de pó branco, genericamente conhecido com fósforo. Esse material atua como um conversor de radiação, ou seja, absorve um comprimento de onda específico de radiação ultravioleta, produzida por uma descarga de vapor de mercúrio a baixa pressão, para emitir luz visível. Para seu funcionamento, necessita de um reator que pode ser do tipo eletromagnético ou eletrônico (SILVA, 2015). Segue abaixo algumas de suas características (SOBREIRA, 2017).

- Vida útil: aproximadamente 7500 horas;
- Eficiência luminosa: em média 70 lm/W;
- Geração de calor: baixa;

Na indústria é bastante utilizada em escritórios administrativos. A Figura 10 ilustra uma lâmpada fluorescente tubular.

Figura 10 –Lâmpada fluorescente tubular



Fonte: Viana (2012).

O diodo emissor de luz, mais conhecido pela sigla em inglês LED (Light Emitting Diode) são dispositivos semicondutores que emitem luz por eletroluminescência (passagem de corrente elétrica).

As principais características das lâmpadas LEDs são o baixo consumo de energia, vida útil mais longa e menor impacto ambiental. De acordo com Sobreira (2017), as principais características são:

- Vida útil: de 25.000 horas a 60.000 horas;
- Eficiência luminosa: em média 100 lm/W;
- Geração de calor: baixa;

As lâmpadas LED são produzidas em diversos modelos, sendo os principais os de bulbo e os tubulares. A Figura 11 ilustra uma lâmpada LED de bulbo e outra de LED tubular.

Figura 11 – Lâmpadas LED: (a) bulbo; (b) tubular



Fonte: Intral (2019).

Nos últimos anos a eficiência e a durabilidade dos LEDs tiveram um aumento significativo possibilitando que as lâmpadas LED se tornassem uma alternativa às lâmpadas convencionais. Por outro lado, os custos desta tecnologia vêm caindo graças às melhorias no processo produtivo e à popularização deste tipo de lâmpada (SOBREIRA, 2017).

De acordo com Madias et al. (2019), as luminárias LED são consideradas a solução de iluminação dominante no futuro devido às suas vantagens como flexibilidade, eficiência energética e vida útil mais longa em comparação com as fontes de luz tradicionais.

Para que as pessoas possam desempenhar tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança, a norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ABNT, 2013) estabelece níveis de iluminância adequados conforme a atividade executada em locais específicos. A Tabela 2 apresenta os valores mínimos de iluminância mantida para as atividades de trabalho e processamento em metal e trabalhos em ferro e aço.

Tabela 2 – Níveis mínimos de iluminância para as atividades de trabalho e processamento em metal e trabalhos em ferro e aço, conforme a NBR ISO/CIE 8995-1:2013

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	\bar{E}_m (lux)
14. Trabalho e processamento em metal	
Forjamento de molde aberto	200
Forjamento por derramamento, soldagem, moldagem a frio	300
Usinagem grosseira e média Tolerâncias > 0,1 mm	300
Usinagem de precisão: retificação Tolerâncias < 0,1 mm	500
Gravação: inspeção	750
Desenho de formas de fio e tubo	300
Usinagem de placa ≥ 5 mm	200
Trabalho em folha de metal < 5 mm	300
Ferramentaria; fabricação de equipamento de corte	750
Montagem:	
— bruta	200
— média	300
— fina	500
— de precisão	750
Galvanoplastia	300
Pintura e preparação de superfícies	750
Confeção de ferramenta, modelo e dispositivo, mecânica de precisão, micromecânica	1000
18. Trabalhos em ferro e aço	
Instalações de produção sem intervenção manual	50
Instalações de produção com operação manual ocasional	150
Instalações de produção com operação manual contínua	200
Depósito de chapas	50
Fornos	200
Usinagem, bobinadeira, linha de corte	300
Plataformas de controle, painéis de controle	300
Ensaio, medição e inspeção	500
Túneis do tamanho de um homem sob o piso, porões, etc.	50

Fonte: Adaptado de ABNT (2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em uma indústria metalúrgica de pequeno porte, fabricante de molas, grampos, travas e outros artefatos de arames e fitas, localizada na cidade de Igaratá/SP.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa foi fundada em 1952 e está instalada no endereço atual há mais de 35 anos. A instalação é composta de dois galpões interligados, com área total construída de 3.000 m², sendo 75 m de comprimento, 40 m de largura e altura do pé direito de 6 m em média. As paredes internas do prédio são pintadas de branco gelo e o piso é de concreto, sem pintura. O telhado é composto de telhas metálicas com telhas translúcidas em algumas áreas.

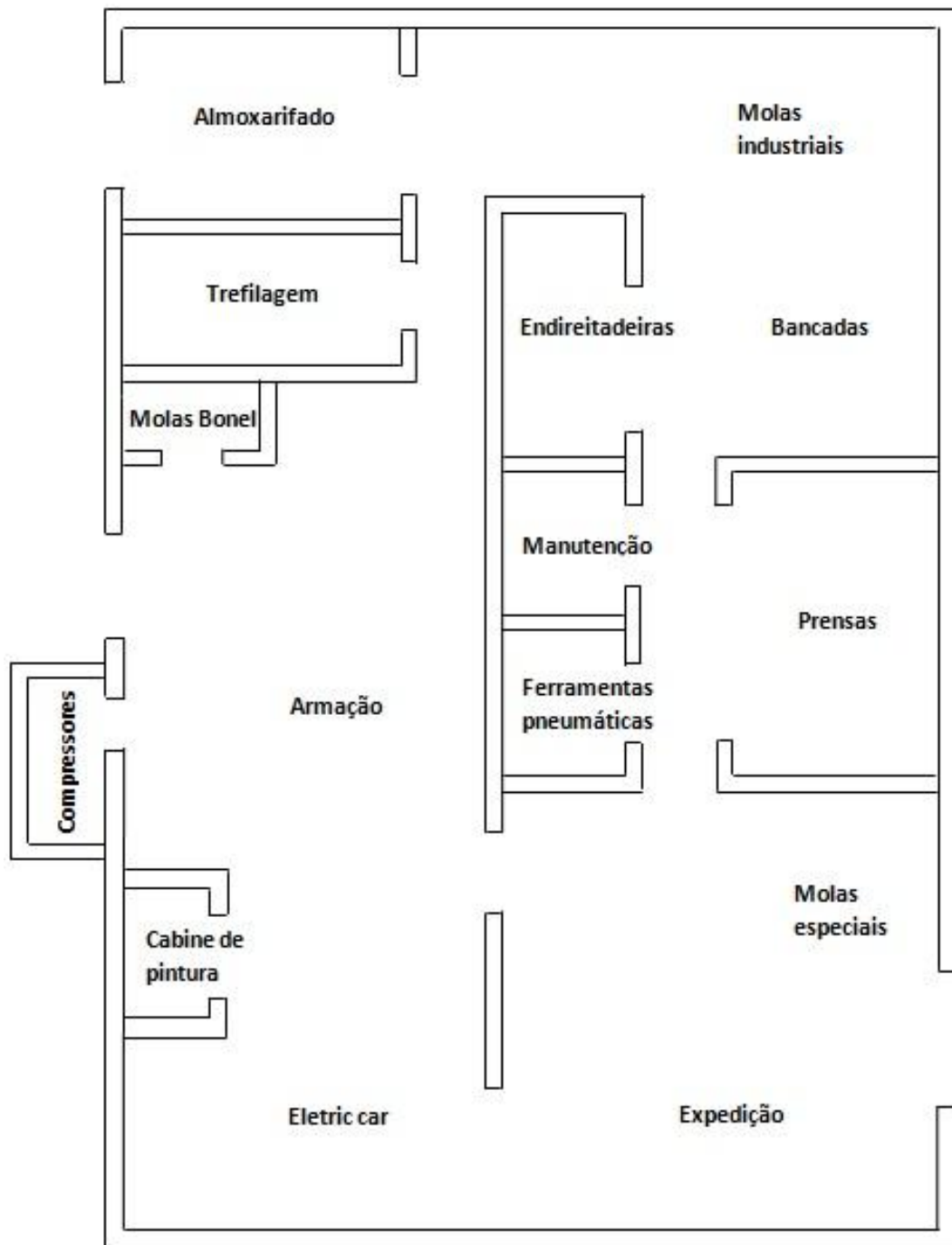
O horário de trabalho é de segunda à sexta-feira, das 07:00 às 16:48 hs., com intervalo de 01:00 h. para o almoço (das 11:30 às 12:30 hs.), sendo que neste período os equipamentos da produção, os compressores de ar e parte da iluminação são desligados. O número de horas trabalhadas por ano é de cerca de 2000 horas.

A energia elétrica é suprida pela concessionária Elektro em 13,8 kV. A empresa está enquadrada na tarifa horo-sazonal verde, subgrupo A4, classe industrial, com uma demanda contratada de 90 kW.

Os equipamentos utilizados na produção são: prensas, retíficas, máquinas de mola, dobradeiras e endireitadeiras.

A Figura 12 ilustra o layout da empresa metalúrgica estudada.

Figura 12 – Layout da empresa metalúrgica estudada



Fonte: Autor.

A empresa utiliza, até o momento, motores elétricos de indução trifásicos nas tensões de 380 e 440 V e frequência de 60 Hz e não dispõe de uma relação completa. Estes motores foram instalados, em grande parte, na década de 1980 e são do tipo padrão, com baixo fator de potência e baixo rendimento, comparados aos motores do ano de 2019. A prática de recondicionamento dos motores elétricos é comum na empresa. A Tabela 3 apresenta os dados dos motores elétricos em operação durante o período de execução deste trabalho.

Tabela 3 - Dados dos motores elétricos de indução trifásicos em operação na empresa

Ítem	Equipamento	Potência nominal (cv)	Potência nominal (kW)	Fabricante	Tensão nominal (V)	Corrente nominal (A)	Rotação nominal (rpm)
1	Armação	1,5	1,1	Motores Brasil	380	3,0	1745
2	Armação	1,5	1,1	WEG	380	2,7	1740
3	Compressor de ar nº 1	30	22	WEG	380	42,7	1765
4	Compressor de ar nº 4	5	3,7	Eberle	380	7,7	3470
5	Endireitadeira	4	3	WEG	380	7,0	1730
6	Endireitadeira	0,5	0,37	WEG	380	1,5	1150
7	Endireitadeira	5	3,7	Kolbach	380	8,7	1738
8	Exaustor	15	11	WEG	380	22,0	1750
9	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	Motores Brasil	380	3,4	1735
10	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	General Electric	380	3,4	1730
11	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	Arno	380	3,5	1720
12	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	Motores Brasil	380	3,4	1735
13	Máquina de Mola Compressão	3	2,2	WEG	380	5,0	1710
14	Máquina de Torção	1	0,75	Arno	380	2,0	1700
15	Prensa	2	1,5	Arno	380	3,9	1100
16	Prensa	0,5	0,37	WEG	380	1,3	1735
17	Prensa	1,5	1,1	Arno	380	3,1	1120
18	Prensa	1	0,75	Líder	380	2,1	1725
19	Prensa	0,75	0,55	Arno	380	2,2	1740
20	Prensa	1	0,75	WEG	440	2,0	1140
21	Prensa	1	0,75	Bufalo	380	1,8	3450
22	Retífica	2	1,5	Porter	380	3,8	1740
23	Retífica	3	2,2	WEG	440	4,3	1710

Fonte: Autor.

Verificou-se que a maioria dos motores elétricos possui potência na faixa de 0,5 a 3 cv. O motor do compressor de ar nº 1 (30 cv) é o de maior potência. A Figura 13 ilustra alguns dos motores elétricos instalados na empresa.

Figura 13 – Exemplos de motores elétricos instalados na empresa



Fonte: Autor

O sistema de iluminação é composto por luminárias do tipo calha aberta, com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W e reatores eletrônicos, alimentadas em 220 V e instaladas a uma altura de três metros do piso (Figura 14).

Figura 14 – Luminária tipo calha aberta instalada na empresa



Fonte: Autor

O Quadro 4 apresenta as especificações técnicas das lâmpadas fluorescentes instaladas na empresa.

Quadro 4 – Especificações técnicas das lâmpadas fluorescentes instaladas na empresa

Lâmpada fluorescente	
Fabricante	Osram
Modelo	T10
Potência (W)	40
Fluxo luminoso (lm)	2.700
Eficiência (lm/W)	67
IRC	70-79
Temperatura de cor (K)	5.250
Comprimento (mm)	1.200
Vida mediana (horas)	10.000

Fonte: Autor

4.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Inicialmente, foi realizada uma visita à empresa para reconhecimento das instalações e realização de uma entrevista com o proprietário. O objetivo foi identificar quais os processos produtivos, os aspectos operacionais, as instalações elétricas e os principais equipamentos utilizados.

Posteriormente, foram realizadas outras visitas para obtenção de dados e realização de medições.

As avaliações foram realizadas nos motores elétricos de indução trifásicos, no sistema de iluminação e nas condições do ambiente interno, como o estado de conservação e pintura do teto, paredes e piso.

Inicialmente, foram identificados os dados de placa dos motores. Na sequência foram realizadas medições de grandezas elétricas, além de medições de rotação e temperatura. Muitos destes motores, devido ao longo tempo de fabricação, não continham nas placas de identificação parâmetros como rendimento e fator de potência, dados importantes para a avaliação do motor.

Foram efetuadas medições de corrente em todos os motores em carga. Devido ao fato das instalações serem antigas, por motivos de segurança, não foi possível a utilização do alicate wattímetro para a medição de potência elétrica na maioria dos motores. Após a medição da corrente elétrica em carga, utilizou-se do programa BD Motor versão 4.3 (ELETROBRAS, 2011) para a determinação do carregamento dos motores. Conhecido o carregamento, através das curvas de desempenho determinava-se o rendimento dos motores e, na sequência, a potência elétrica consumida da rede pelos mesmos.

O programa BDMotor é composto de um banco de dados e módulos que realizam a análise econômica e o cálculo da carga do motor, auxiliando o usuário na aquisição, substituição e reparo de motores elétricos. Este programa abrange motores de indução trifásicos nas tensões de 220, 380 e 440 V, nas potências de 0,25 a 250 cv. As condições do carregamento são verificadas através da medição de uma das três seguintes grandezas: corrente, potência e escorregamento (ELETROBRAS, 2011). A Figura 15 apresenta a tela inicial do programa BDMotor versão 4.3.

Figura 15 – Tela inicial do programa BDMotor versão 4.3



Fonte: Eletrobras (2011).

A Figura 16 apresenta um exemplo de tela do banco de dados de motores elétricos deste programa.

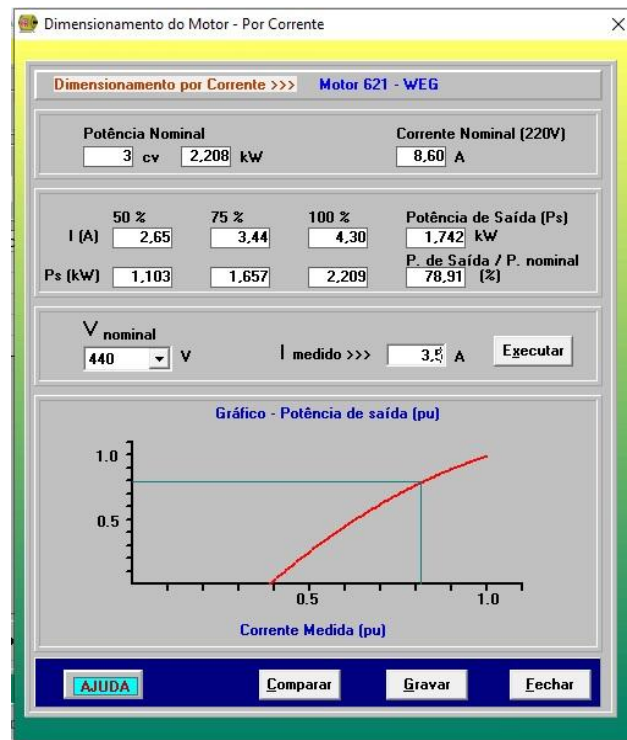
Figura 16 – Exemplo de tela do banco de dados de motores do Programa BDMotor versão 4.3

Num	Fabrica	Tipo	Gr. Prot.	rpm	cv	Carcaça	rpm Assinc.	In(A)	Icc(A)
138	EBERLE	Alto Rend.	IP54	1800	3	90 L	1740	9,7	8,2
139	EBERLE	Alto Rend.	IP54	1800	3	90 L	1740	9,7	8,2
140	EBERLE	Alto Rend.	IP54	1800	3	90 L	1740	9,7	8,2
329	EBERLE	Padrão	IP54	1800	3	90 L	1710	9,2	6,6
429	KOHLBACH	Padrão	IP54	1800	3	90 L	1715	9	6,7
517	WEG	Alto Rend.	IP54	1800	3	90 L	1710	8,1	6,7
621	WEG	Padrão	IP54	1800	3	90 L	1710	8,6	6,8
675	KOHLBACH	Alto Rend.	IP54	1800	3	90 L	1730	9,5	7,6
753	KOHLBACH	Padrão	IP56	1800	3	90L	1720	8,5	6,5
861	KOHLBACH	Alto Rend.	IP56	1800	3	90L	1735	8,6	8,2
973	WEG	Padrão	IP55	1800	3	90L	1720	8,9	6,8
1085	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	3	90L	1730	8,3	7
1202	EBERLE	Padrão	IP55	1800	3	90L	1720	8,8	6,4
1303	EBERLE	Alto Rend.	IP55	1800	3	90L	1725	9	7,8
1383	WEG	Padrão	IP55	1800	3	90L	1730	8,7	6,8
1491	WEG	Alto Rend.	IP55	1800	3	90L	1730	8,28	7
1599	KOHLBACH	Padrão	IP56	1800	3	90L	1720	8,5	6,5

Fonte: Eletrobras (2011).

A Figura 17 apresenta um exemplo da determinação do carregamento de um motor elétrico, através da medição de corrente, utilizando-se deste programa.

Figura 17 – Exemplo da determinação do carregamento de um motor utilizando-se do Programa BDMotor versão 4.3

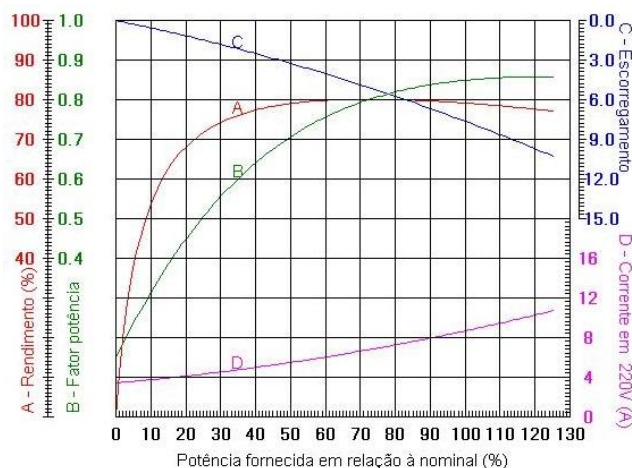


Fonte: Eletrobras (2011).

Na Figura 17, observa-se que um motor elétrico de potência nominal de 3 cv, tensão nominal de 440 V e corrente nominal de 4,3 A, de fabricação WEG, operando com uma corrente de carga de 3,5 A, tem um carregamento de 78,91%.

Conhecido o carregamento, através das curvas de desempenho do motor determina-se o rendimento do mesmo. A Figura 18 ilustra a curva de desempenho deste motor.

Figura 18 - Curva de desempenho de um motor elétrico WEG de 3 cv, 4 polos

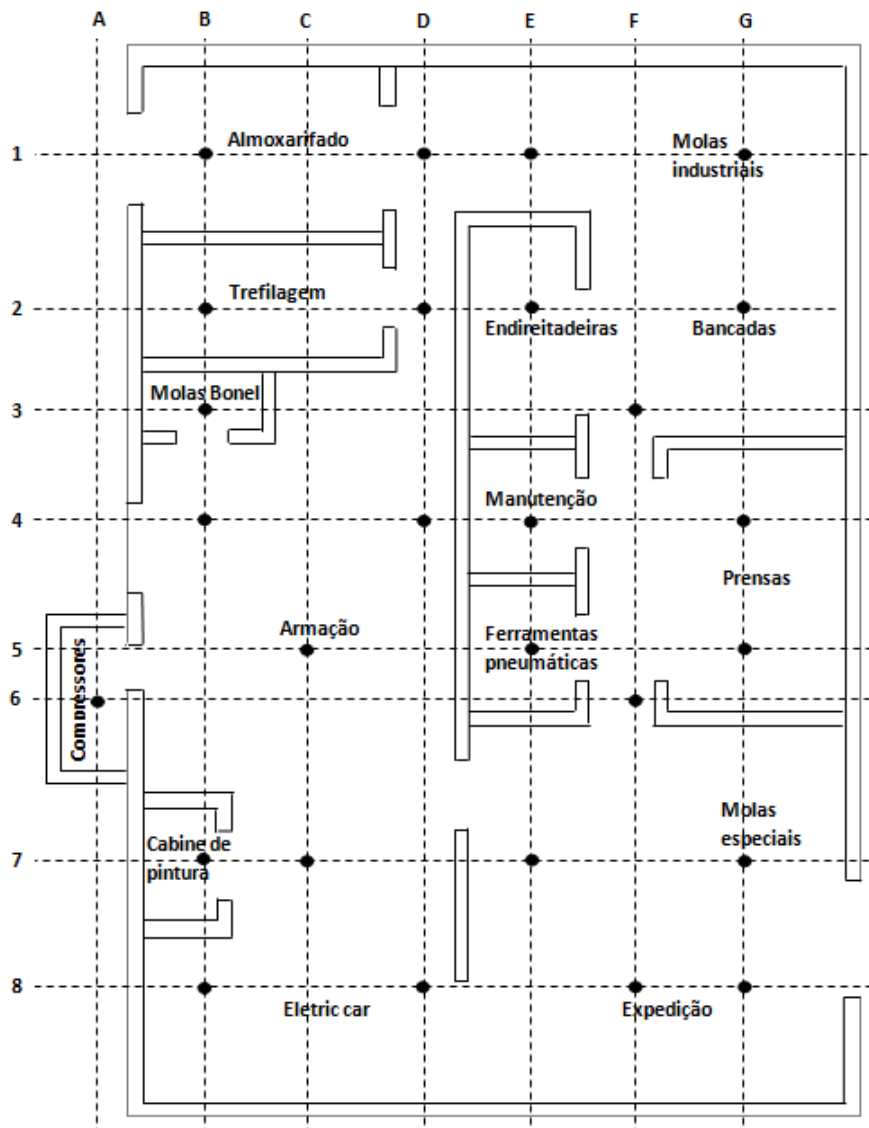


Fonte: WEG (2019c).

Na Figura 18 pode ser observado que o rendimento deste motor, para um carregamento de 78,91%, é de 80%.

Durante a avaliação realizada na empresa, foram obtidas informações sobre o tipo e o número de lâmpadas instaladas, o tempo que permanecem acesas, a existência de aproveitamento de iluminação natural e as características das luminárias, incluindo altura de instalação e estado de conservação. Também foram realizadas medições dos níveis de iluminância dos locais de trabalho, utilizando-se de um luxímetro digital. Os pontos de medição foram escolhidos baseados nas áreas com maior movimentação e utilização dos usuários. O plano de trabalho considerado foi de 1,0 m. Na Figura 19 pode ser observada a localização dos pontos de medição.

Figura 19 – Localização dos pontos de medição de iluminância na empresa estudada



Fonte: Autor

Os registros de grandezas elétricas tais como tensão, corrente, potência e fator de potência foram realizados com o uso de um alicate wattímetro digital da marca Minipa, modelo ET-4080 (Figura 20).

Figura 20 – Alicate wattímetro Minipa ET-4080



Fonte: Autor

Para a medição da velocidade de rotação do eixo dos motores, foi utilizado um tacômetro digital infravermelho da marca Icel, modelo TC-5005 (Figura 21). Para tal, foi necessário a colocação de uma fita refletiva no eixo do motor a ser monitorado.

Figura 21 – Tacômetro digital Icel TC-5005



Fonte: Autor

Para a medição de temperatura, foi utilizado um termômetro infravermelho da marca Homis, modelo 507 (Figura 22).

Figura 22 – Termômetro infravermelho Homis 507



Fonte: Autor

Para a medição de distâncias, foi utilizado um medidor a laser da marca Instrutherm, modelo TR-180 (Figura23).

Figura 23 – Medidor de distância a laser Instrutherm TR-180



Fonte: Autor

Para a medição do nível de iluminância, foi utilizado um luxímetro digital da marca Instrutherm, modelo LD-400 (Figura 24).

Figura 24 – Luxímetro digital Instrutherm LD-400



Fonte: Autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MOTORES ELÉTRICOS

A Tabela 4 ilustra os valores de carregamento, rendimento e potência elétrica dos motores instalados.

Tabela 4 – Carregamento, rendimento e potência elétrica dos motores instalados

Ítem	Equipamento	Potência nominal (cv)	Potência nominal (kW)	Tensão nominal (V)	Corrente nominal (A)	Rotação nominal (rpm)	Corrente medida (A)	Carregam. (%)	Potência mec. eixo (kW)	Rendimento com carga (%)	Potência elét. consum. (kW)
1	Armação	1,5	1,1	380	3,0	1745	2,2	70,2	0,8	77,0	1,0
2	Armação	1,5	1,1	380	2,7	1740	2,7	96,9	1,1	79,5	1,3
3	Compressor de ar n°1	30	22	380	42,7	1765	34,3	74,3	16,3	80,2	20,4
4	Compressor de ar n°4	5	3,7	380	7,7	3470	6,6	74,6	2,8	83,0	3,3
5	Endreitadeira	4	3	380	7,0	1730	5,1	64,9	1,9	80,0	2,4
6	Endreitadeira	0,5	0,37	380	1,5	1150	1,4	72,2	0,3	55,0	0,5
7	Endreitadeira	5	3,7	380	8,7	1738	6,5	76,8	2,8	84,5	3,4
8	Exaustor	15	11	380	22,0	1750	16,1	66,2	7,3	87,5	8,3
9	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	380	3,4	1735	2,6	64,5	1,0	80,0	1,2
10	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	380	3,4	1730	3,2	89,5	1,3	82,0	1,6
11	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	380	3,5	1720	2,6	64,5	1,0	80,0	1,2
12	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	380	3,4	1735	3,1	85,3	1,3	81,5	1,6
13	Máquina de Mola Compressão	3	2,2	380	5,0	1710	3,5	62,8	1,4	80,0	1,7
14	Máquina de Torção	1	0,75	380	2,0	1700	1,7	64,7	0,5	77,0	0,6
15	Prensa	2	1,5	380	3,9	1100	3,3	60,1	0,9	77,0	1,2
16	Prensa	0,5	0,37	380	1,3	1735	1,2	73,6	0,3	65,0	0,4
17	Prensa	1,5	1,1	380	3,1	1120	2,7	81,8	0,9	74,0	1,2
18	Prensa	1	0,75	380	2,1	1725	1,9	79,8	0,6	78,0	0,8
19	Prensa	0,75	0,55	380	2,2	1740	1,6	61,7	0,3	72,0	0,5
20	Prensa	1	0,75	440	2,0	1140	1,6	83,5	0,6	74,0	0,8
21	Prensa	1	0,75	380	1,8	3450	1,4	63,1	0,5	74,0	0,6
22	Retífica	2	1,5	380	3,8	1740	3,2	78,8	1,2	76,0	1,6
23	Retífica	3	2,2	440	4,3	1710	3,5	78,9	1,7	80,0	2,2
TOTAL									46,7		57,9

Fonte: Autor

Com base nestes resultados, verificou-se que a potência elétrica total dos motores era de 57,9 kW. Considerando que o número de horas trabalhadas por ano é de 2.000 horas, a energia consumida correspondia a 115.800 kWh/ano.

A substituição destes motores por outros de alto rendimento representou um potencial de aumento da eficiência energética. Por serem muito antigos, estes motores possuem fator de potência e rendimento relativamente baixos, comparados aos motores fabricados em 2019. Além disto, vários destes motores haviam passado por recondicionamento devido à queima e, portanto, poderiam apresentar rendimento ainda mais baixo do que originalmente. Outro fator é que a tensão aplicada aos motores ultrapassava 10% do valor da tensão nominal, na grande maioria dos casos, visto que a tensão aplicada era superior a 420 V e a tensão nominal dos motores era de 380 V (com exceção de dois motores de 440 V). Quando a tensão aplicada ao

motor é superior à nominal, o fator de potência e o rendimento diminuem devido ao aumento das perdas no ferro.

Diante destes fatos, foi proposta a substituição dos motores de indução trifásicos por outros de alto rendimento. Optou-se por modelos W22 IR3 Premium, da marca WEG, fabricados no ano de 2019, considerando-se os mesmos valores de carregamento e de potência mecânica dos motores instalados. A Tabela 5 apresenta os valores de rendimento dos motores em carga, obtidos através das curvas de desempenho contidas no catálogo eletrônico do fabricante (WEG, 2019c) e da potência elétrica consumida pelos mesmos, calculados após a obtenção dos valores de rendimento.

Tabela 5 – Carregamento, rendimento e potência elétrica dos motores de alto rendimento

Ítem	Equipamento	Potência nominal (cv)	Potência nominal (kW)	Tensão nominal (V)	Corrente nominal (A)	Rotação nominal (rpm)	Carregam. (%)	Potência mec. eixo (kW)	Rendimento com carga (%)	Potência eléct. consum. (kW)	Preço do motor novo (R\$)
1	Armação	1,5	1,1	440	2,2	1725	70,2	0,8	82,2	0,9	1.181,00
2	Armação	1,5	1,1	440	2,2	1725	96,9	1,1	83,9	1,3	1.181,00
3	Compressor de ar n°1	30	22	440	37,9	1770	74,3	16,3	93,9	17,4	11.067,00
4	Compressor de ar n°4	5	3,7	440	6,4	3505	74,6	2,8	88,2	3,1	2.155,00
5	Endireitadeira	4	3	440	5,7	1745	64,9	1,9	88,4	2,2	2.123,00
6	Endireitadeira	0,5	0,37	440	0,9	1125	72,2	0,3	67,5	0,4	1.040,00
7	Endireitadeira	5	3,7	440	7,0	1740	76,8	2,8	89,1	3,2	2.276,00
8	Exaustor	15	11	440	18,8	1760	66,2	7,3	91,4	8,0	4.743,00
9	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	440	2,9	1750	64,5	1,0	85,6	1,1	1.489,00
10	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	440	2,9	1750	89,5	1,3	86,5	1,6	1.489,00
11	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	440	2,9	1750	64,5	1,0	85,6	1,1	1.489,00
12	Máquina de Mola Bonel	2	1,5	440	2,9	1750	85,3	1,3	86,4	1,5	1.489,00
13	Máquina de Mola Compressão	3	2,2	440	4,1	1745	62,8	1,4	86,6	1,6	1.713,00
14	Máquina de Torção	1	0,75	440	1,5	1715	64,7	0,5	83,3	0,6	1.061,00
15	Prensa	2	1,5	440	3,2	1155	60,1	0,9	85,7	1,1	1.973,00
16	Prensa	0,5	0,37	440	0,9	1690	73,6	0,3	77,8	0,4	807,00
17	Prensa	1,5	1,1	440	2,4	1165	81,8	0,9	86,4	1,0	1.525,00
18	Prensa	1	0,75	440	1,5	1715	79,8	0,6	83,6	0,7	1.061,00
19	Prensa	0,75	0,55	440	1,4	1680	61,7	0,3	75,9	0,4	951,00
20	Prensa	1	0,75	440	1,7	1150	83,5	0,6	82,3	0,8	1.467,00
21	Prensa	1	0,75	440	1,5	3420	63,1	0,5	79,0	0,6	909,00
22	Retífica	2	1,5	440	2,9	1750	78,8	1,2	86,3	1,4	1.489,00
23	Retífica	3	2,2	440	4,1	1745	78,9	1,7	87,2	2,0	1.713,00
TOTAL								46,7		52,3	46.391,00

Fonte: Autor

Os resultados apresentados na Tabela 5 indicam que a substituição dos motores de indução trifásicos por outros de alto rendimento pode reduzir a potência elétrica total de 57,9 para 52,3 kW. A energia consumida passará de 115.800 para 104.600 kWh/ano, o que corresponde a uma redução de 11.200 kWh/ano, representando 9,7% de redução no consumo. Considerando o valor de R\$ 0,63/kWh (ELEKTRO, 2019), a economia é de R\$ 7.056,00/ano.

O custo total de aquisição dos motores de alto rendimento corresponde a R\$ 46.391,00, (WEG, 2019d). Considerando que a economia de energia é de R\$ 7.056,00/ano, o tempo de retorno deste investimento será de 6 anos e 7 meses.

O Quadro 5 apresenta um resumo dos resultados obtidos com a substituição dos motores elétricos por outros de alto rendimento.

Quadro 5 - Resumo dos resultados obtidos com a substituição dos motores elétricos

Motores elétricos de alto rendimento	
Redução de consumo	11.200 kWh/ano
Percentual de redução	9,7%
Valor economizado	R\$ 7.056,00/ano
Valor do investimento	R\$ 46.391,00
Tempo de retorno	6 anos e 7 meses

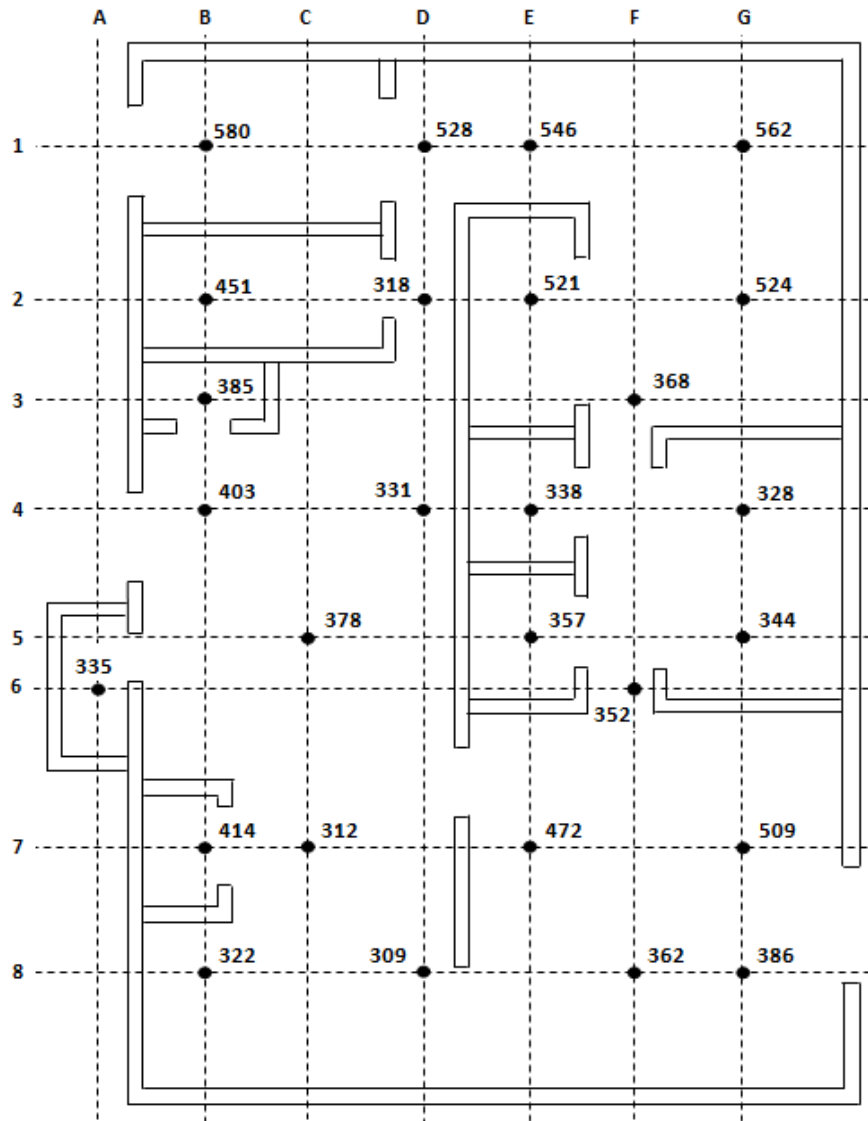
Fonte: Autor

A princípio, este tempo pode parecer longo, porém considerando que a vida útil de um motor de indução trifásico é de aproximadamente 15 anos, este investimento torna-se atraente.

5.2 ILUMINAÇÃO

A Figura 25 apresenta os resultados obtidos nas medições de iluminância efetuadas no interior do prédio da empresa.

Figura 25 - Valores de iluminância (lux) medidos no interior do prédio.



Fonte: Autor

De acordo com a norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ABNT, 2013), os valores mínimos de iluminância para as atividades desenvolvidas nesta empresa é de 200 a 300 lux. Os resultados apresentados na Figura 25 indicam que estes valores atendem às especificações da norma.

A alternativa proposta foi a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LEDs tubulares de 18 W, reaproveitando as luminárias e mantendo as instalações elétricas existentes. O Quadro 6 apresenta as especificações técnicas de uma lâmpada LED tubular de 18 W, modelo BL-108 HF, do fabricante Intral (INTRAL, 2019).

Quadro 6 – Especificações técnicas de uma lâmpada LED tubular

Lâmpada LED tubular	
Fabricante	Intral
Modelo	BL-108 HF
Potência (W)	18
Fluxo luminoso (lm)	2.100
Eficiência (lm/W)	116
IRC	> 80
Temperatura de cor (K)	6.000
Comprimento (mm)	1.200
Vida mediana (horas)	25.000

Fonte: Autor

A energia anual consumida pelo sistema de iluminação corresponde à potência de cada luminária, multiplicada pelo número de luminárias e pelo número de horas trabalhadas. O tempo que as luminárias permanecem acesas é de cerca de 1.000 horas/ano. A Tabela 6 apresenta o consumo de energia do sistema de iluminação instalado na empresa.

Tabela 6 – Consumo de energia do sistema de iluminação instalado

Potência das lâmpadas (W)	Potência por luminária (W)	Quantidade de luminárias (unid.)	Potência Total (kW)	Energia Anual (kWh)
40	80	120	9,6	9.600

Fonte: Autor

Verifica-se na Tabela 6 que a energia total consumida pelo sistema de iluminação corresponde a 9.600 kWh/ano. Considerando o valor de R\$ 0,63/kWh (ELEKTRO, 2019), o total gasto é de R\$ 6.048,00/ano.

A Tabela 7 apresenta os resultados esperados com a substituição das lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas LEDs tubulares.

Tabela 7 – Consumo de energia do sistema de iluminação com lâmpadas LEDs tubulares

Potência das lâmpadas (W)	Potência por luminária (W)	Quantidade de luminárias (unid.)	Potência Total (kW)	Energia Anual (kWh)
18	36	120	4,3	4.320

Fonte: Autor

Com base nos resultados apresentados na Tabela 7, verifica-se que a energia consumida passa de 9.600 para 4.320 kWh/ano, correspondendo a uma redução de 5.280 kWh/ano, representando 55% de redução no consumo. Considerando o valor de R\$ 0,63/kWh (ELEKTRO, 2019), a economia é de R\$ 3.326,00/ano.

Considerando também que o preço médio de uma lâmpada LED tubular de 18 W é de R\$ 17,00 (conforme pesquisa realizada pelo autor em lojas físicas, no ano de 2019), o custo total de aquisição das 240 lâmpadas é de R\$ 4.080,00. Como a economia de energia estimada foi de R\$ 3.326,00/ano, o tempo de retorno deste investimento será de 15 meses. Na substituição das lâmpadas será utilizada mão de obra interna.

Além dos ganhos diretos obtidos pela utilização das lâmpadas LEDs tubulares, espera-se também uma redução nas despesas de reposição, devido à maior vida mediana das mesmas (estimada em 25.000 horas), além de não haverem reatores eletrônicos.

O Quadro 7 apresenta um resumo dos resultados obtidos com a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LEDs tubulares.

Quadro 7 - Resumo dos resultados obtidos com a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LEDs tubulares

Iluminação com lâmpadas LEDs tubulares	
Redução de consumo	5.280 kWh/ano
Percentual de redução	55,0%
Valor economizado	R\$ 3.326,00/ano
Valor do investimento	R\$ 4.080,00
Tempo de retorno	15 meses

Fonte: Autor

Considerando que a vida mediana de uma lâmpada LED tubular é estimada em 25.000 horas, este investimento é bastante viável.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As telhas translúcidas laterais do prédio foram substituídas durante o período da pesquisa. A Figura 26 ilustra a influência da iluminação natural, antes e após a substituição das mesmas.

Figura 26 – Iluminação natural no galpão da empresa



Fonte: Autor

Recomenda-se que o teto, paredes e janelas sejam mantidos sempre limpos e pintados na cor clara. O piso de concreto, atualmente não é pintado e, devido às condições de trabalho do local, necessita ter uma cor escura.

Outras medidas, que envolvem pequeno investimento, podem contribuir para a eficiência energética na empresa, tais como: treinamentos para conscientização e motivação dos funcionários e a substituição de telhas translúcidas envelhecidas.

Além da economia financeira, as oportunidades identificadas possibilitam à empresa demonstrar o compromisso com o meio ambiente e a sustentabilidade.

Este estudo evidenciou que a aplicação de medidas de eficiência energética em uma indústria de pequeno porte propicia economia de energia elétrica, e, conseqüentemente, aumenta a disponibilidade de energia, melhora a segurança no fornecimento, diminui a necessidade de investimentos e reduz os impactos ambientais.

No ano de 2018 existiam mais de 100.000 indústrias de pequeno porte no Brasil. Considerando que neste estudo a economia é de cerca de R\$ 10.400,00/ano, a aplicação de medidas de eficiência energética em empresas deste porte representa um potencial de economia que pode ultrapassar 1 bilhão de reais/ano.

6 CONCLUSÕES

Após analisar as instalações da empresa com foco em força motriz e iluminação, foram identificadas oportunidades de redução do consumo de energia elétrica, sem comprometer a qualidade do produto, a capacidade de produção, a segurança da operação e a sustentabilidade ambiental.

O estudo de caso mostrou que a substituição dos motores elétricos por outros de alto rendimento e a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED tubulares, podem reduzir o consumo de energia elétrica em 9,7% e 55,0% respectivamente. Outras medidas, que envolvem pequenos investimentos, podem contribuir para a eficiência energética na empresa, tais como: treinamentos para conscientização e motivação dos funcionários, limpeza e pintura com cores claras do teto, paredes e janelas e a substituição de telhas translúcidas envelhecidas.

A aplicação de medidas que visam aumentar a eficiência energética em indústrias de pequeno porte representa um potencial enorme de economia de energia para o país, considerando que existem mais de 100.000 indústrias de pequeno porte em operação no Brasil.

Como sugestão para a continuidade deste trabalho ou pesquisas futuras, recomenda-se avaliar o sistema de ar comprimido da empresa, visando a otimização do consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY-EFFICIENT ECONOMY - ACEEE. **National Policy Program**. Disponível em: <https://aceee.org/program/national-policy>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO/CIE 8995-1: iluminação de ambientes de trabalho - parte 1: interior**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
- BAJAY, S. V.; SANTANA, P. H. M. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: experiências internacionais em eficiência energética para a indústria**. Brasília: CNI, 2010. 88 p.
- BARBOSE, G. L. *et al.* The future of utility customer-funded energy efficiency programs in the USA: Projected spending and savings to 2025. **Energy Efficiency**, v. 6, n. 3, p. 475–493, 2013.
- BELINOVSKI, K. D. **Uma contribuição ao estudo de eficiência energética em sistemas industriais de ventilação**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- BIMESTRE, T. A. **Proposta de metodologia para aplicação de eficiência energética em uma usina hidrelétrica**. 2015. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.
- BOGOVIZ, A. V. *et al.* Russia's energy efficiency policies in the industry sector: critical perspectives. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 8, n. 6, p. 48–58, 2018.
- BRASIL. **Portaria interministerial nº 1, de 29/06/2017**. Disponível em: http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19266787/do1-2017-08-30-portaria-interministerial-n-1-de-29-de-junho-de-2017-19266690. Acesso em: 19 set. 2019.
- CAMIOTO, F. D. C. *et al.* Energy efficiency analysis of G7 and BRICS considering total-factor structure. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 122, p. 67–77, 2016.
- CAPELLI, A. **Energia elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais**. São Paulo: Érica, 2013. 272p.
- CASTRO, A. T. **Gestão energética nos setores transversais para redução do consumo de energia em uma empresa automobilística**. 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.
- CHAN, D. Y. L. *et al.* Energy efficiency benchmarking of energy-intensive industries in Taiwan. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 77, p. 216–220, 2014.

CHOI, J. K.; EOM, J.; MCCLORY, E. Economic and environmental impacts of local utility-delivered industrial energy-efficiency rebate programs. **Energy Policy**, Guildford, v. 123, n. January 2018, p. 289–298, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Perfil da indústria**. Disponível em:

http://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/comparativo_estados?c1=sp&c2=br&c3=mg. Acesso em: 17 out. 2019.

COPEL. **Manual de eficiência energética na indústria**. Curitiba: Copel, 2005. 139 p.

COSTA, G. J. C. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação**. 4. ed. Porto Alegre: EDPU-CRS, 2006. 591 p.

ELEKTRO. **Tarifas de média e alta tensão**. Disponível em:

<https://www.elektro.com.br/Media/Default/Tarifas/Tarifas-Media-e-Alta-Tensao.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2019.

ELETROBRAS. **Programa BD Motor versão 4.3**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2011.

ELETROBRAS. **Resultados Procel 2017 - ano base 2016**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2017. 63 p.

ELETROBRAS. **Resultados Procel 2018 - ano base 2017**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2018. 60 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Estudos de eficiência energética: nota técnica DEA 025/17**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2017. 107 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balço energético nacional 2019: ano base 2018: relatório final**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2019. 292 p.

ENERDATA. **Global energy statistical yearbook 2019**. Disponível em:

<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>. Acesso em: 10 set. 2019.

FABBRIANI, L.; CALILI, R. Proposal of energy efficiency policies for food and beverage industry in Brazil. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 10, n. 6, 2018.

FERNANDES, J. P. O. **Proposta de metodologia para gestão de produção, visando redução no consumo de energia elétrica em uma unidade fabril do setor de bens de consumo**. 2015. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

FERREIRA, C. A. **Motor elétrico premium**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2016. 64 p.

GELLER, H. *et al.* Policies for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries. **Energy Policy**, v. 34, n. 5, p. 556–573, 2006.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. **Energia e meio ambiente**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 764p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Energy efficiency governance**. Paris: International Energy Agency, 2010. 52 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Capturing the multiple benefits of energy efficiency**. Paris: International Energy Agency, 2014. 224 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Energy policies of IEA countries: Japan 2016**. Paris: International Energy Agency, 2016. 180 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **World energy balances: overview 2018**. Paris: International Energy Agency, 2018. 24 p.

INTRAL. **Lâmpadas led**. Disponível em: <https://www.intral.com.br/pt/produtos/lampadas-led>. Acesso em: 11 dez. 2019.

JOHANSSON, M. T.; THOLLANDER, P. A review of barriers to and driving forces for improved energy efficiency in Swedish industry – Recommendations for successful in-house energy management. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. may 2016, p. 618–628, 2018.

KAWANO, B. R. **Otimização na indústria de laticínios: oportunidades de eficiência energética e econômica**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

LI, M. J.; TAO, W. Q. Review of methodologies and policies for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry. **Applied Energy**, London, v. 187, p. 203–215, 2017.

LO, K. A critical review of China's rapidly developing renewable energy and energy efficiency policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 508–516, 2014.

MADIAS, E.-N. D. *et al.* A decision support system for techno-economic evaluation of indoor lighting systems with LED luminaires. **Operational Research**, n. 0123456789, 2019.

MAGINADOR, J. A. G. **Análise dos impactos dos programas de eficiência energética e proposições de melhorias dos programas nacionais**. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2017.

MALINAUSKAITE, J. *et al.* Energy efficiency in industry: EU and national policies in Italy and the UK. **Energy**, v. 172, p. 255–269, 2019.

MATHIAS, F. R. DE C. **Diagnóstico energético e gestão da energia em uma planta petroquímica de primeira geração**. 2014. 144 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

MEJIA, C. S. **Boas práticas e inovações tecnológicas visando ganhos de eficiência energética em alguns segmentos industriais energo- intensivos**. 2015. 199 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

MELLO SANTANA, P. H.; BAJAY, S. V. New approaches for improving energy efficiency in the Brazilian industry. **Energy Reports**, v. 2, p. 62–66, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Plano decenal de expansão de energia 2019**. Brasília: MME/EPE, 2010. 354 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Plano nacional de eficiência energética**. Brasília: MME, 2011. 134 p.

MORAIS, É. O. **Gestão da energia na indústria: estudo de caso na Braskem**. 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

NATURESA, J. S. **Eficiência energética, política industrial e inovação tecnológica**. 2011. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

PADRE, P. *et al.* Meeting the brazilian energy efficiency law : a flexible and interactive multicriteria proposal to replace non-efficient motors. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, n. jun., p. 822–832, 2018.

PEREIRA, M. J. **Energia: eficiências e alternativas**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009. 216 p.

PINTO, L. M. **Desenvolvimento de metodologia para implementação de eficiência energética em sistemas auxiliares de uma planta industrial semi-integrada**. 2016. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL - PUCRS. **Manual de economia de energia**. Disponível em: <http://www.pucrs.br/biblioteca/manualuse.pdf>. Acesso em: 9 out. 2019.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL. **Procel info**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>. Acesso em: 10 jul. 2019.

SÁ, A. F. R. **Guia de aplicações de gestão de energia e eficiência energética**. 3. ed. Porto: Publindústria, 2010. 527 p.

SALOMÃO, T. M. **Eficiência energética: projetos luminotécnicos em plantas industriais**. 2010. 197 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SANTOS, A. H. M. *et al.* **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações.** 3. ed. Itajubá: Fupai, 2006. 597 p.

SAVAZZI, É. R. **Sustentabilidade e otimização de uma planta industrial utilizando a tecnologia de regeneração.** 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

SILVA, C. G. M. **Avaliação da utilização das lâmpadas led em laboratórios de análises: uma visão psicofísica nos laboratórios de química e biologia do Instituto Federal de São Paulo: Câmpus São Paulo.** 2015. 244 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SOBREIRA, S. G. A. **Eficiência energética aplicada a iluminação.** 2017. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SOUZA, R. C. *et al.* **Cartilha de orientação para o usuário de motores reconicionados.** Rio de Janeiro: PUC Rio - International Copper Association Brazil, 2019. 24p.

TASSINI, J. O. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial: estudo de caso.** 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

THEMA, J. *et al.* The multiple benefits of the 2030 EU energy efficiency potential. **Energies**, Paris, v. 12, n. 14, p. 1–19, 2019.

TRIANNI, A.; CAGNO, E.; FARNÉ, S. Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency: a broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises. **Applied Energy**, London, v. 162, p. 1537–1551, 2016.

TRIANNI, A.; MERIGÓ, J. M.; BERTOLDI, P. Ten years of energy efficiency: a bibliometric analysis. **Energy Efficiency**, v. 11, n. 8, p. 1917–1939, 2018.

VIANA, A. N. C. *et al.* **Eficiência energética: fundamentos e aplicações.** Campinas: Elektro, 2012. 314 p.

VIEIRA, N. D. B. **Avaliação dos impactos energéticos na redução das emissões de CO2 associadas aos mecanismos de eficiência energética no Brasil: uma proposta metodológica e estudo de caso.** 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

WORLD ENERGY COUNCIL - WEC. **World energy perspective: energy efficiency policies : what works and what does not.** Londres: World Energy Council, 2013. 125 p.

WORLD ENERGY COUNCIL - WEC. **World energy perspectives: energy efficiency policies 2016.** Londres: World Energy Council, 2016. 152 p.

WEG. **Motores elétricos: guia de especificação.** Jaraguá do Sul: WEG, 2017. 67 p.

WEG. **Gestão eficiente da energia elétrica**. Jaraguá do Sul: WEG, 2019a. 23 p.

WEG. **Eficiência energética**. Disponível em:

<https://www.weg.net/institutional/BR/pt/solutions/energy-efficiency/efficiency-index>. Acesso em: 2 ago. 2019b.

WEG. **Catálogo eletrônico**. Disponível em:

https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-Elétricos/Trifásico---Baixa-Tensão/c/BR_MT_3PHASE_LV. Acesso em: 4 nov. 2019c.

WEG. **Simulador See+**. Disponível em: <https://www.weg.net/see+/pages/regua.jsp>. Acesso em: 6 nov. 2019d.

YANG, M.; HU, Z.; YUAN, J. The recent history and successes of China's energy efficiency policy. **Energy Efficiency**, v. 5, n. 6, p. 715–730, 2016.