



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

JOEDES MATOS VAZ

EFICIÊNCIA ELÉTRICA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO E TOMADA
DE DECISÃO PARA A OTIMIZAÇÃO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL DE
REFINO DE COBRE PELO PROCESSO DE ELETRÓLISE

Salvador/BA
2018

JOEDES MATOS VAZ

EFICIÊNCIA ELÉTRICA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO E TOMADA
DE DECISÃO PARA A OTIMIZAÇÃO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL DE
REFINO DE COBRE PELO PROCESSO DE ELETRÓLISE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu do Centro Universitário SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos.

Salvador/BA
2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

V393e Vaz, Joedes Matos

Eficiência elétrica como ferramenta de gestão e tomada de decisão para a otimização de uma planta industrial de refino de cobre pelo processo de eletrólise / Joedes Matos Vaz. – Salvador, 2018.

87 f. : il., color.

Orientador: Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos.

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2018.

Inclui referências.

1. Eficiência energética. 2. Energia elétrica. 3. Refino de cobre. 4. Utilidades – Energia elétrica. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Santos, Alex Álisson Bandeira. III. Título.

CDD: 621.042

JOEDES MATOS VAZ

EFICIÊNCIA ELÉTRICA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO E TOMADA
DE DECISÃO PARA A OTIMIZAÇÃO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL DE
REFINO DE COBRE PELO PROCESSO DE ELETRÓLISE

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em
Gestão e Tecnologia Industrial, pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC.

Aprovada em 04 de abril de 2018.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos – Orientador _____
Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil
Centro Universitário SENAI CIMATEC, SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Antônio Gabriel Souza Almeida _____
Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil
Instituto Federal da Bahia, IFBA

Profa. Dra. Josiane Dantas Viana Barbosa _____
Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina
Grande, Campina Grande, Brasil
Centro Universitário SENAI CIMATEC, SENAI CIMATEC

Dedico este trabalho à minha avó, Carmem Vaz, por ter me convencido que a educação é a única ferramenta de transformação social, e a Joedes Filho, que a 10 anos me ensina a aprender e a ensinar.

AGRADECIMENTOS

São tantos...

Mas em primeiro lugar a Jeová Deus, que na sua infinita bondade me deu saúde física, mental e social para superar todos obstáculos e concretizar este trabalho.

Ao meu orientador Alex Álisson, pelo direcionamento dado a esta pesquisa e pela paciência nas diversas correções.

À Ana Maria Maia, minha companheira e parceira nesta pesquisa.

À minha família, que sempre me teve como referência, aumentando minha responsabilidade em seguir firme com esta pesquisa.

A José Edson, gerente da planta estudada, pelo desafio me dado, pela confiança depositada e pelo suporte na coleta de informações internas.

Ao meu gestor, Washington Pereira, que sempre incentiva a qualificação como ferramenta de crescimento profissional.

A todos da companhia que dedicaram seu precioso tempo respondendo a pesquisa de campo.

A toda liderança da planta eletrólise que sempre esteve disponível e atenciosa, no fornecimento de informações e explicações sobre o processo.

À minha equipe de trabalho, que me motivou a transformar dificuldades em energia, nunca me permitindo recuar deste desafio.

Finalmente, a todos os amigos que me motivaram seguir em frente e entenderam que um breve afastamento do seu convívio era necessário.

RESUMO

Diante de um mercado de competitividade global, no qual as organizações necessitam de diferenciais para manterem suas operações e gerarem lucros, a eficiência energética se constitui uma importante ferramenta para as empresas com característica de intensidade energética, podendo torná-las mais competitivas e sustentáveis. À luz disso, este trabalho abrange o estudo da eficiência elétrica em uma planta de metalurgia e refinaria de cobre, localizada no estado da Bahia, tendo como objetivo geral identificar oportunidades de eficiência energética demonstrando a respectiva viabilidade como ferramenta na tomada de decisão no processo de refinamento de cobre por eletrólise, com foco no insumo de energia elétrica. Os objetivos específicos são voltados para o levantamento das oportunidades de eficiência energética, as possíveis ações de eliminação das perdas e a realização de uma avaliação econômica das oportunidades identificadas. Em relação à metodologia, tem-se a revisão teórica do tema, a pesquisa em documentos internos e a condução de entrevistas com colaboradores de diversas especialidades proficientes nos temas: operação, mecânica, elétrica e instrumentação. O resultado do estudo aponta que as principais oportunidades e ações a serem implantadas são relacionadas aos maquinários e à iluminação.

Palavras-chave: eficiência energética, energia elétrica, refino de cobre, utilitários.

ABSTRACT

Due to the global competitive market, in which organizations need to find differentials to maintain their operations and to be profitable, energy efficiency is an important tool for high energy-consuming industries, helping them to become more competitive and sustainable. This thesis presents a study of the electrical efficiency aspects in a copper refinery plant, located in the state of Bahia, Brazil. The main purpose of this study is to identify potentials of energy efficiency and demonstrate their viability to support decision making about the process of copper refinement by electrolysis, focusing on electrical energy consumption. We conducted a survey to identify possible actions to eliminate or reduce electricity losses and carried out an economic evaluation of the opportunities identified. In relation to the methods, we conducted a literature review, a document analysis and interviews with employees from different areas of expertise, such as: operation, mechanics, electrical and instrumentation. The results indicate that the main opportunities and actions to be implemented in the plant are related to the machines and lighting.

Keywords: energy efficiency, electrical energy, copper refining, utilities.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo do Sistema de Gestão de Energia da norma NBR/ISO.....	22
Figura 2 – Espaçamento uniforme entre o cátodo e o ânodo.....	39
Figura 3 – Formato de contato das placas: (a) Contato convencional; (b) Contato proposto.....	40
Figura 4 – Fluxo da metodologia empregada no trabalho.....	42
Figura 5 – Placa de cobre ânodo.....	43
Figura 6 – Área do processo de transformação do cobre ânodo em cátodo.....	45
Figura 7 – Fluxo do processo eletrolítico.....	45
Figura 8 – Placa de cobre cátodo.....	46
Figura 9 – Iluminação em área aberta acesa durante dia.....	49
Figura 10 – Galpão totalmente iluminado por lâmpadas durante o dia.....	50
Figura 11 – Gráfico tempo de empresa dos entrevistados.....	52
Figura 12 – Gráfico do nível de escolaridade dos entrevistados.....	53
Figura 13 – Gráfico da especialidade dos entrevistados.....	53
Figura 14 – Gráfico das fontes de possíveis perdas de energia elétrica.....	54
Figura 15 – Gráfico das possíveis perdas de energia elétrica no maquinário.....	54
Figura 16 – Gráfico das possíveis perdas de energia elétrica nas instalações.....	55
Figura 17 – Gráfico das possíveis perdas de energia elétrica no processo.....	55
Figura 18 – Gráfico das fontes de ações para perdas de energia elétrica.....	56
Figura 19 – Gráfico das ações para perdas de energia elétrica em maquinários.....	56
Figura 20 – Gráfico das ações para perdas de energia elétrica no processo.....	57
Figura 21 – Gráfico das ações para perdas de energia elétrica nas instalações.....	57
Figura 22 – Gráfico da eficiência elétrica no processo eletrólise.....	59
Figura 23 – Matriz SWOT do consumo de energia da eletrólise	60
Figura 24 – Gráfico de acompanhamento dos curtos circuitos.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Inventário de motores da área 560 – eletrólise.....	61
Tabela 2 – Resultado de simulação de substituição de motores na área 560.....	62
Tabela 3 – <i>Payback</i> descontado da substituição de motores na área 560.....	63
Tabela 4 - Economia na conta de energia em 11 anos em função da eficiência da lâmpada.....	64
Tabela 5 – Preço das luminárias utilizadas na Companhia.....	64
Tabela 6 – Investimento inicial para os dois tipos de lâmpadas em análise.....	65
Tabela 7 – Economia na substituição de luminárias por LED em função da vida útil	65
Tabela 8 – Economia na substituição de luminárias por LED e conta de energia em 11 anos.....	66
Tabela 9 – <i>Payback</i> descontado da substituição das luminárias na área 560.....	66

LISTAS DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CH₄ – Metano

CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CO₂ – Dióxido de carbono

CV – Cavalo-Vapor (unidade de potência)

EE – Eficiência energética

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IEA – International Energy Agency

IPCC – Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas

ISO – International Organization for Standardization

LED – Light Emitting Diode

NBR – Norma Brasileira

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

P.O. – Procedimento Operacional

PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PDCA – Plan (planejar), Do (executar), Check (verificar) e Action (atuar)

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

QSMS – Qualidade, segurança, meio ambiente e saúde

SAP – Systeme Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung.

SO₂ – Dióxido de Enxofre

SWOT – Strengths (Forças), Weaknesses (Fraquezas), Opportunities (Oportunidades)

e Threats (Ameaças)

TIR – Taxa Interna de Retorno

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Definição do problema.....	14
1.2	Objetivos.....	15
	1.2.1 Objetivo geral.....	15
	1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3	Relevância da pesquisa.....	16
1.4	Limites e limitações.....	16
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1	O setor industrial como grande consumidor de energia.....	18
2.2	Histórico da eficiência energética.....	19
2.3	Conceitos e práticas relevantes para a eficiência energética.....	22
	2.3.1 Gestão de Energia.....	22
	2.3.2 Política energética.....	23
	2.3.3 Auditoria energética.....	24
	2.3.4 Investimentos em eficiência energética.....	26
	2.3.5 Benefícios da eficiência energética.....	28
	2.3.6 Instituições e programas de fomento à eficiência energética.....	29
	2.3.6.1 Agência Nacional de Energia Elétrica.....	30
	2.3.6.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.....	30
	2.3.6.3 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica..	31
	2.3.7 Conhecendo as barreiras para eficiência energética.....	31
	2.3.8 Eficiência energética e o meio ambiente.....	33
	2.3.9 Motores elétricos como potenciais de eficiência energética.....	34
	2.3.9.1 Ferramentas para gestão energética em motores.....	35
	2.3.9.2 Tecnologias e práticas para evitar perdas energéticas em motores..	36
	2.3.10 Potenciais de redução de energia em instalações industriais.....	37
	2.3.11 Processo de eletrólise e perdas de energia elétrica.....	38

3	MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA	41
3.1	Abordagem metodológica	41
3.2	Técnicas da pesquisa	41
3.3	Instrumento de investigação	42
3.4	Espaço empírico	43
3.5	Etapas da pesquisa	46
3.5.1	Pesquisa bibliográfica	46
3.5.2	Consulta a documentos internos	46
3.5.3	Pesquisa de campo	47
3.5.3.1	Escolha dos participantes da entrevista	47
3.5.3.2	Reuniões em grupo	47
3.5.3.3	Distribuição do formulário	48
3.5.3.4	Suporte para preenchimento do formulário	48
3.5.3.5	Formação de banco de dados	48
3.5.4	Observação de campo	49
3.5.5	Validando a amostra	50
3.5.6	Análise quantitativa	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO DA PESQUISA	52
4.1	Apresentação dos resultados da pesquisa	52
4.1.1	Matriz SWOT do consumo de energia na planta de eletrólise	58
4.1.2	Resultados quantitativos da pesquisa	60
4.2	Discussão dos resultados	66
5	CONCLUSÕES	72
5.1	Contribuições	73
5.2	Impactos da pesquisa	73
5.3	Atividades futuras de pesquisa	74
	REFERÊNCIAS	75

APÊNDICES.....	83
Apêndice 1 – Formulário aplicado nas entrevistas.....	83
Apêndice 2 – Relatório de viabilidade econômica da substituição de motores.....	84

ANEXO

Anexo 1 – Certificado de calibração de multímetro utilizado.....	85
--	----

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, onde as questões econômicas, ambientais e sociais têm se apresentado no topo das principais discussões mundiais, o segmento industrial aparece como um dos principais fomentadores desses debates, visto que ele gera impactos significativos nesses três aspectos e deve atuar de forma que os seus impactos negativos sejam mínimos, buscando eficiência e sustentabilidade com vistas a melhorar o meio ambiente e a qualidade de vida das pessoas (BUNSE *et al.*, 2011).

Um dos tópicos relevantes nessas discussões mundiais está relacionado à energia, que se apresenta como um dos principais insumos das indústrias e requer uma grande quantidade de matéria-prima extraída da natureza para sua geração. A matéria-prima abordada neste trabalho se refere aos insumos necessários para a produção de energia, sendo estes recursos naturais esgotáveis, tais como: água, ar, combustíveis fósseis, dentre outros (FERREIRA *et al.*, 2014).

A energia é definida por Soares (2015) como algo que tem a capacidade de gerar movimentação, comunicação e outros, sendo aplicada pela indústria em seus processos e equipamentos para transformar matéria-prima em produtos que atendam aos desejos e às necessidades da sociedade. Uma sociedade com um perfil voltado para consumo tende a ser bem desenvolvida e, de acordo com Hasanbeigi *et al.* (2013), também deverá ter como preocupação a sustentabilidade, de forma que possa ser beneficiada por todos os recursos disponíveis na natureza, preservando-os para que gerações futuras também possam utilizá-los sem grandes limitações.

De acordo com Ruby (2015), na década de 70 alguns países com grandes desenvolvimentos econômicos e produtivos se viram ameaçados pela crise energética instalada na época, em função da escassez do petróleo. Diante da possibilidade da falta de energia, a qual poderia desacelerar o desenvolvimento econômico e os níveis de consumo da sociedade contemporânea, estes países passaram a pressionar o setor público e as organizações privadas para a implantação de ações voltadas para uso sustentável dessas energias e desses recursos naturais.

As pressões sociais foram consideradas pertinentes, motivando os poderes públicos e as instituições privadas a desenvolverem e implementarem práticas e ações voltadas à redução do consumo de energia nos segmentos industriais e nos serviços públicos e domésticos. Como consequência, surgiram instituições, programas, regulações, políticas, rotulagens e investimentos voltados para a criação de produtos com baixo consumo de energia. Tais práticas e ações almejam levar a empresa ou o segmento a uma condição de eficiência energética que tem como premissa manter os mesmos níveis de produção com um menor consumo de energia e seus derivados.

Com o passar do tempo, observa-se que a eficiência energética vai além da economia de energia, incluindo também a redução dos custos da produção, visto que o preço da energia representa um valor considerável por cada unidade produzida. Percebe-se ainda a redução dos impactos ambientais e a melhoria da qualidade de vida das pessoas. Nehler e Rasmussen (2016) ressaltam também uma melhoria significativa no desempenho das máquinas e dos equipamentos.

1.1 Definição do problema

A indústria contemporânea tem buscado se adaptar a um mercado de competitividade acirrada e global, no qual todo tipo de eficiência pode se tornar uma estratégia relevante para manter a sustentabilidade das organizações. No contexto industrial, um dos insumos que se destaca em função do seu custo é a energia utilizada (POSCH *et al.*, 2015). Assim, considerando que o contexto de aplicação desse estudo (planta de refino de cobre pelo processo de eletrólise) consome uma quantidade elevada de energia elétrica, emerge a preocupação com a questão energética em função do seu custo e do impacto na sustentabilidade da organização.

Em relação ao segmento industrial, é salutar abordar as questões ambientais e, principalmente, os impactos negativos causados pelas atividades industriais, tais como: poluição do solo, dos afluentes e da atmosfera. Estes impactos atualmente são tratados como problemas mundiais e interferem diretamente na saúde das pessoas, a exemplo dos particulados de pequena granulometria, emitidos por algumas indústrias e absorvidos pelos pulmões (NIU *et al.*, 2017).

Yushchenko e Patel (2016) ressaltam que a minimização desses impactos ambientais e suas consequências aos seres humanos seria possível por meio do uso racional da energia e dos recursos naturais.

Considerando que a planta industrial em estudo é uma consumidora intensa de energia elétrica e esta característica gera impactos econômicos para a organização e impactos ambientais para sociedade, este estudo busca identificar os principais gargalos de energia elétrica na planta de refino de cobre e, a partir dos resultados, propor práticas e tecnologias adequadas para reduzir o consumo de energia da planta. Em adição, busca-se demonstrar a viabilidade econômica da implantação das ações potenciais, contribuindo com os pilares da sustentabilidade: economia, meio ambiente e sociedade.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Identificar potenciais de eficiência energética demonstrando a respectiva viabilidade como ferramenta na tomada de decisão no processo de refinamento de cobre por eletrólise, com foco no insumo de energia elétrica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as possíveis perdas de energia elétrica nas instalações prediais e galpões da planta;
- Identificar as possíveis perdas de energia elétrica nos maquinários da planta;
- Identificar as possíveis perdas de energia elétrica no processo de refino de cobre;
- Levantar as possíveis ações para eliminar as perdas de energia elétrica identificadas; e
- Realizar uma avaliação econômica das principais oportunidades de redução de energia identificadas.

1.3 Relevância da pesquisa

A relevância deste trabalho está relacionada às propostas de redução do consumo de energia elétrica em uma da planta da metalurgia. Ao serem implantadas e geridas, estas propostas podem trazer benefícios ligados à sustentabilidade, sendo estes econômicos, ambientais e sociais. Por exemplo, o benefício econômico para organização no aspecto de redução de custos com energia elétrica, o insumo mais consumido e com maior custo por tonelada de cobre refinado. Conseqüentemente, a redução das despesas com energia elétrica implicará em um menor custo de fabricação do produto, tornando a empresa mais competitiva e gerando mais empregos para sociedade, além de melhores benefícios para os seus colaboradores. Para esta abordagem cabe ressaltar que a redução do consumo de energia elétrica também tem relação direta com o benefício ambiental, otimizando um dos mais relevantes recursos naturais: o hídrico; que é responsável pela principal matriz energética do Brasil e atualmente se encontra em estado de alerta devido à escassez. Este trabalho apresenta ainda uma contribuição para o âmbito acadêmico por abordar estudos e experiências em uma planta com processo único no Brasil e bem limitado a nível internacional, em relação a outros processos fabris.

1.4 Limites e limitações

Além da revisão do estado da arte, que apontou algumas práticas e tecnologias possíveis de serem aplicadas na planta industrial em estudo, esta pesquisa contou também com a contribuição de profissionais multidisciplinares que apresentaram várias fontes e possibilidades de eliminação das perdas energéticas. No entanto, a falta de dados e ações relevantes na construção deste trabalho acabou limitando-o sob os seguintes aspectos:

- a) O respectivo trabalho se limitou a buscar as práticas e tecnologias atuais que visem a redução de energia elétrica da planta, não abrangendo o acompanhamento das implantações e as possíveis reduções de energia elétrica.

- b) O fato da planta não possuir um inventário dos seus equipamentos com os respectivos históricos de consumo de energia impossibilitou a criação de um parâmetro para futuras comparações e verificações dos padrões de consumo de energia elétrica.

- c) Outra limitação deste trabalho foi realizar cálculo de viabilidade econômica, contemplando apenas as luminárias e motores a partir de 01 Cv de potência da área 560.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O setor industrial como grande consumidor de energia

A indústria contemporânea vem sendo cada vez mais pressionada e impulsionada pelo desafio de servir a uma sociedade altamente exigente no atendimento de suas necessidades e desejos, sendo que grande parte desses desejos pode se apresentar tanto como o usufruto de bens produzidos quanto no de serviços prestados. Dessa maneira, para atender essas necessidades, as empresas utilizam uma série de recursos como entrada, denominados de insumos, tais como: carvão, petróleo, água e energia (LI; TAO, 2017).

A literatura aborda algumas definições para o termo “energia”. Segundo Soares (2015), a energia está relacionada à capacidade de um sistema gerar uma atividade externa, como movimentações, transportes, comunicação, processamentos e uma gama de tarefas consideradas difíceis de serem realizadas por seres humanos. O autor acrescenta que energia pode ser configurada de várias formas, tais como: mecânica, química, térmica, física, eletromagnética ou elétrica. Cabe salientar que uma forma de energia pode se transformar em outra, até se atingir a ação desejada (SOARES, 2015).

Na maioria dos segmentos a energia se tornou um recurso indispensável para a produção de bens e serviços, oscilando constantemente a sua forma e quantidade utilizada. De acordo com Hilliard e Jamieson (2015), as empresas consomem energia para satisfazer necessidades e substituir trabalhos pesados e demorados que ora seriam realizados por pessoas, gerando grandes ganhos de tempo e controle. Seu uso também é constante na indústria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento (LI; TAO, 2017).

De acordo com Kang e Lee (2016), as empresas que se apresentam como as maiores consumidoras de energia estão concentradas no segmento industrial, e esse consumo tende a aumentar gradativamente. À luz disso, é oportuno ressaltar que com o passar dos anos algumas matérias-primas para a geração de energia, a exemplo do petróleo e da água, vêm se tornando escassas em determinados lugares.

Para atender a uma sociedade altamente exigente, as indústrias devem levar em consideração que a excelência nos produtos e nos serviços prestados está relacionada aos altos padrões de qualidade, aos baixos preços e à responsabilidade social, inclusive nos aspectos ambientais. Atender a esses requisitos significa ser uma empresa sustentável, que, para Pinto (2014), tem como tripé a economia, o meio ambiente e a sociedade. Bunse *et al.* (2011) também corroboram com esse conceito de sustentabilidade.

As organizações que possuem essas características são consideradas também competitivas, tendo como premissas um processo enxuto, uma baixa geração de resíduos e reprocessamento, assim como recursos humanos, materiais e insumos otimizados. Considerando esses recursos, este trabalho aborda um insumo altamente relevante e oneroso ao processo produtivo industrial: a energia (POSCH *et al.*, 2015).

2.2 Histórico da eficiência energética

O Brasil, pela sua biodiversidade natural, riqueza em combustíveis fósseis, clima e localização geográfica, apresenta-se como um país favorecido diante das várias possibilidades de matérias-primas para conversão de energia, como a hidrelétrica, a eólica, a fóssil, a fotovoltaica, dentre outras. De acordo com Demirbas *et al.* (2015), os recursos energéticos existentes são limitados, precisando então serem utilizados de forma racional e sustentável.

Apesar do grande potencial energético brasileiro, o país apresenta atualmente a matriz energética predominante na produção de energia elétrica por meio de hidrelétricas, na proporção de uma larga escala de 74,0%, concentrando nessa matriz a maior parte dos investimentos aplicados (CUNHA; ANJOS, 2015). De acordo com Cunha e Anjos (2015), o Brasil alcançou em 2015, a geração de 2,7% em energia nuclear à base de urânio, produzida na usina de Angra dos Reis. Enquanto isso, países desenvolvidos (ex.: Estados Unidos) chegavam a uma proporção de 34,0% na geração e utilização dessa matriz energética. Conforme Ballantyne e Powell (2014), cabe ressaltar que os Estados Unidos é um dos maiores consumidores de energia elétrica do mundo.

Em uma matriz energética que tem como matéria-prima o uso de água, é esperada a produção de pouca poluição ambiental para sua geração e

transmissão em relação às matrizes que utilizam outros recursos como combustíveis fósseis. De acordo com Li e Tao (2017), a matéria-prima carvão é altamente poluidora, sendo a principal causadora do efeito estufa e causando uma grande geração de particulados lançados na atmosfera, responsáveis por doenças pulmonares para a população, tanto dentro da respectiva indústria quanto na sua circunvizinhança.

A questão da escassez de matéria-prima para produção energética tem sido uma realidade no Brasil, se tratando da questão da água, e para muitos outros países se tratando do petróleo. Nos últimos anos a realidade da crise hídrica no Brasil tem se apresentado mais preocupante. Por outro lado, a crise do petróleo vem sendo discutida há algumas décadas, especificamente a partir dos anos 70. De acordo com Ruby (2015), esta crise foi um grande marco para alertar a sociedade e as partes interessadas sobre a necessidade da criação de políticas e programas que fomentassem a eficiência energética.

Apesar das potenciais possibilidades energéticas, percebe-se um alto custo para geração destas energias. Na visão de Posch *et al.* (2015), este custo pode ser atribuído à falta de políticas que incentivem investimentos em desenvolvimento e uso de tecnologias específicas, dado que o alto custo na geração acarreta altos preços na cobrança das tarifas.

Foram apresentados como fatos que as matérias-primas para geração de energia estão cada vez mais escassas. Que a geração de energia tem um alto custo, impactando no valor das suas tarifas e no preço dos bens produzidos e serviços prestados. Também que as indústrias são grandes consumidoras do insumo energia e que, de acordo com os autores Davis *et al.* (2012 *apud* SHROUF; MIRAGLIOTTA, 2015), tais energias chegam a representar o segundo maior custo operacional em muitas indústrias.

Nesse contexto, é notável a necessidade de implantação de políticas e programas de eficiência energética no segmento industrial, desde que façam parte da estratégia da organização e visem se perpetuar de forma competitiva e sustentável. Estes fatores impulsionam as indústrias a serem cada vez mais eficientes no uso das suas fontes de energia. Para Ruby (2015), a eficiência energética deve ser vista também como estratégia de sustentabilidade e competitividade para vários segmentos, como nos ramos industriais, hospitalares, prediais, serviços, dentre outros.

O tema eficiência energética está relacionado à capacidade de manter ou aumentar uma determinada produção de bens e prestação de serviços com uma quantidade reduzida de energia, seguindo um determinado parâmetro. Em outras palavras, a FGV Energia (2016) define eficiência energética como a capacidade de usar menos energia ofertando os mesmos serviços.

A literatura remete a outras definições para o termo “eficiência energética”, sendo relevante citar o conceito técnico trazido pela norma NBR/ISO 50001:2011, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o qual preconiza que a eficiência energética é um desempenho obtido por meio da relação de uma determinada quantidade de energia investida pela quantidade de bens produzidos e ou serviços prestados. Na abordagem de Bunse *et al.* (2011), o conceito de eficiência energética é desdobrado como produção eficiente. Perroni *et al.* (2016) tratam desse conceito como sendo uma produção com menor entrada de energia, agregada a uma constante saída de unidades produzidas.

Conseguir êxito na busca pela eficiência energética, especificamente dentro de uma indústria, é uma tarefa possível, contudo, desafiadora. Esta tarefa requer uma série de ações a serem seguidas e fatores a serem entendidos, não devendo ser buscada de forma isolada, pois terá mais chance de ser efetiva se tratada com o envolvimento de várias partes, a citar os poderes públicos, as instituições privadas e a sociedade (KANG; LEE, 2016).

Para alcançar um nível de eficiência energética ao ponto de poder usufruir dos seus benefícios é necessário implantar e cumprir várias etapas, como por exemplo: instalar uma gestão das principais energias utilizadas, ter uma política energética disseminada e entendida por todos da organização, identificar oportunidades por meio de auditorias, realizar investimentos, acompanhar a evolução das medidas implantadas por meio de indicadores, dentre outras ações. Para Posch *et al.* (2015), três processos são fundamentais para se chegar à eficiência energética, sendo eles: gestão, regulamentação e tecnologia.

2.3 Conceitos e práticas relevantes para a eficiência energética

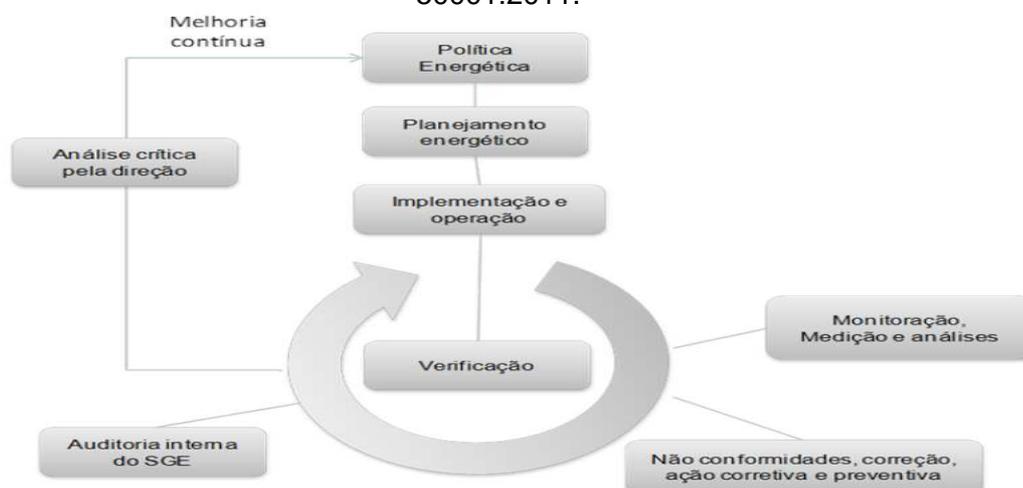
2.3.1 Gestão de energia

A importância e os custos da energia demonstram que este insumo tem uma grande relevância na indústria e na sociedade. Tal relevância desperta a necessidade de estudos sobre o tema. Para Ballantyne e Powell (2014), a gestão energética deve ser encarada pelas empresas como um diferencial de competitividade e sustentabilidade, o que tornará ainda mais factível e motivador o alcance da eficiência energética.

De acordo com Pinto (2014), a gestão da energia se refere a uma série de procedimentos, práticas e processos administrativos que permitem à empresa controlar o uso e o consumo da energia de forma organizada. As organizações que têm buscado essa gestão têm obtido como resultados ganhos significativos por meio da redução do seu consumo de energia.

Os conceitos e fluxos para uma boa gestão estão bem definidos dentro do ciclo PDCA, sendo esta uma ferramenta utilizada dentro de vários processos e aplicável também para eficiência energética. Bunse *et al.* (2011) abordam a gestão da energia relacionada ao conceito do ciclo PDCA, nos aspectos de controlar, monitorar, analisar criticamente e retroalimentar o sistema (ABNT, 2011; PINTO, 2014). A Figura 1 ilustra a relação entre os componentes do ciclo PDCA e a eficiência energética, conforme a NBR/ISO 50001:2011.

Figura 1 – Modelo do Sistema de Gestão de Energia da norma NBR/ISO 50001:2011.



Fonte: ABNT (2011).

O tema energia e suas práticas de gestão se tornam ainda mais relevantes com a criação da NBR/ISO 50001:2011, que aborda a sistemática de como as organizações podem gerir a energia e sua eficiência, dentro dos seus respectivos negócios. Esta norma segue um padrão internacional com formato e diretrizes similares às series das normas NBR/ISO 9001 e NBR/ISO 14001, fundamentadas na melhoria contínua do processo.

De acordo com Pinto (2014), durante o processo de implantação e acompanhamento do programa de eficiência energética algumas variáveis, tais como: equipamentos obsoletos; mudança na legislação; substituição da empresa responsável pelo fornecimento da energia ou até mesmo o desligamento ou aposentadoria de pessoas, podem fazer com que os procedimentos e práticas deixem de existir, impactando nos resultados do programa de eficiência energética. Dentro de um programa com gestão, a eficiência energética não sofreria impactos, pois teria uma cultura sólida que garantiria práticas e benefícios mais longos e duradouros.

2.3.2 Política energética

Esta subseção se propõe a explicar sobre a política energética, trazendo a necessidade de uma melhor abordagem assunto, desde o aspecto de uma política energética pública quanto a política energética de uma organização privada. No estudo de Buracica e Tomšić (2016), os autores orientam como iniciar uma política energética ao citar que, uma análise crítica do mercado de geração e distribuição de energia é o ponto de partida para a formulação de política de eficiência energética.

As políticas energéticas públicas e privadas têm uma forte ligação entre si. A FGV Energia (2016) frisa que em quase todos os países as políticas energéticas são elaboradas e propostas pelo poder público, sendo estas implementadas pelas geradoras que realizaram a distribuição para as indústrias (instituições privadas e partes interessadas).

Uma política energética quer seja ela pública ou privada, deve ser uma combinação de regulamentos e práticas dentro de um processo dinâmico, criando condições e recursos para que se alcancem índices consideráveis de

eficiência energética, de modo que as instituições envolvidas consigam obter e usufruir de benefícios econômicos, ambientais e sociais (BURACICA; TOMŠIĆ, 2016).

A política energética é de grande relevância para as instituições públicas e privadas, entretanto, ela necessita estar alinhada com outras políticas, sendo a partir dela que será definida a estratégia de eficiência energética do segmento, os papéis das partes interessadas e as metas de redução de consumo. Esta política também é vista por Buracica e Tomšić (2016) como uma ferramenta de estímulo à demanda de projetos em eficiência energética, visando conduzi-los da ideia inicial até a conclusão e implantação.

Os países mais desenvolvidos têm conseguido melhores taxas de eficiência energética. À luz disso, Soares (2015) afirma que as políticas energéticas que apresentaram os melhores resultados foram desenvolvidas na Itália e na Alemanha. De acordo com Sola e Mota (2015), a Confederação Nacional da Indústria (CNI) afirma que falta no Brasil, por parte do poder público, uma política de eficiência energética específica para o segmento da indústria, e que este setor não tem sido prioridade nos esforços de incentivo à eficiência energética por parte do governo.

2.3.3 Auditoria energética

A auditoria energética é uma fase relevante e até mesmo considerada como uma ferramenta para as organizações que almejam possuir um sistema de gestão de eficiência energética. De acordo com Soares (2015), a realização de auditorias energéticas é uma das principais práticas de eficiência dos países desenvolvidos e beneficiados com o consumo de energia, sendo estes: Inglaterra, França, Espanha, Canadá, Estados Unidos, Japão, Noruega, Dinamarca, Suécia, Nova Zelândia e Austrália.

Nesse contexto, Boharb *et al.* (2017) mencionam que a auditoria energética se apresenta como uma das mais eficazes ferramentas para conhecer e diagnosticar o uso de energia na indústria, subsidiando os gestores na tomada de decisões e na concentração dos esforços para a redução do consumo de energia.

Realizar uma auditoria é fazer um diagnóstico energético de determinada organização, buscando conhecer quem consome, como é consumido e a eficiência desse consumo. Esse mapeamento visa explicitar potencialidades de redução de consumo de energia por meio de investigações nas instalações prediais, nos maquinários, nos processos, na aquisição da energia e até mesmo no comportamento dos seus colaboradores (BOHARB *et al.*, 2017).

Diante dessas considerações, nota-se uma grande contribuição da auditoria energética para o sistema de gestão de energia e sua eficiência, logo, esta deverá ser realizada de forma sistemática e por pessoas capacitadas. A par disso, ressalta-se que a implantação de um programa de eficiência energética pode gerar custos expressivos para a organização.

Ferreira e Almeida (2012) destacam três tipos de auditorias energéticas: (1) auditoria preliminar, caracterizada como simples e rápida, checando onde se encontram os principais consumidores de energia na planta por meio de entrevistas rápidas e verificações de históricos de consumo disponíveis; (2) auditoria orientada ou focada, que consiste em uma análise mais completa de um consumidor dentro do sistema de gerenciamento de energia (ex.: consumo elétrico por motores); e (3) auditoria detalhada, com foco o consumo racional de energia, embasado não somente em dados disponíveis como também em medições instrumentadas dos principais consumidores de energia do sistema.

Alguns passos foram abordados por Noro e Lazzarin (2016) para se chegar a uma auditoria eficiente, sendo eles: estabelecer um período (geralmente de 12 a 24 meses) para mapear e analisar os principais consumidores de energia da planta; realizar um levantamento de dados sobre a respectiva organização, tais como: localização geográfica, tempo de operação, leiaute das instalações, modelo de produção e lista dos equipamentos que consomem energia, com suas especificações técnicas e modelos. Após levantamento do maior número possível de informações, recomenda-se identificar as melhores oportunidades de redução de consumo de energia, sem reduzir a qualidade e a quantidade de dos produtos da planta.

De acordo com Boharb *et al.* (2017), uma auditoria eficaz deve ter como saída do seu processo um relatório com um plano de ação propondo medidas tecnicamente factíveis e economicamente viáveis que demonstre uma redução significativa no consumo de energia no menor período de tempo possível, além

de justificar novos investimentos nesses tipos de ações. Os autores ressaltam também a necessidade de uma pós-auditoria como forma de mensurar e acompanhar a eficácia das medidas propostas e implantadas para obtenção da eficiência energética (BOHARB *et al.*, 2017).

Na abordagem de Aldona e Olszewski (2017), todos os dados e informações resultantes de uma auditoria energética são altamente relevantes e necessários para se alcançar a diminuição e conseqüentemente a otimização do consumo de energia.

2.3.4 Investimentos em eficiência energética

Os gestores empresariais ainda são resistentes em relação aos investimentos na área de eficiência energética. O assunto “investimento em eficiência energética” ainda é relativamente novo e pouco difundido, nesses termos, conforme Ruby (2015), esse tema passou a ser visto como necessário a partir da década de 70, junto com a crise energética que surgiu devido à escassez do petróleo.

Esse marco serviu como alerta para despertar a sociedade e os poderes públicos e privados em relação à necessidade de investimentos com relevância compatível ao problema que se instalava naquela época. Conforme Kang e Lee (2016), o principal responsável por esses investimentos deveria ser o segmento industrial, por ele ser o maior consumidor de energia do mundo.

Cada indústria tem suas peculiaridades em consumo de energia e políticas de investimentos, que na maioria das vezes não são focadas, especificamente, na eficiência energética. Diante das suas adversidades de processos, as indústrias podem reduzir o consumo energético por meio de ações simples, desde o incremento de pequenas modificações no processo, equipamentos ou procedimentos. Na visão de Aragón *et al.* (2013), se a companhia identificar a necessidade e optar pela substituição da tecnologia tradicional pela convencional, certamente terá de arcar com maiores investimentos e uma maior demanda de tempo para implementação dessa tecnologia.

A partir do grau de investimento, as empresas podem alcançar índices satisfatórios de eficiência energética e usufruir dos seus benefícios, sejam eles classificados como energéticos e não energéticos. As indústrias ainda não

reconhecem devidamente os benefícios não energéticos porque eles não estão diretamente ligados à redução de consumo de energia, estando voltados para as questões de desempenho dos equipamentos e para a imagem da empresa. Ainda assim, cabe ressaltar que benefícios não energéticos devem ser contabilizados, pois, podem aumentar a motivação dos gestores na aprovação dos investimentos (NEHLER; RASMUSSEN, 2016).

Nehler e Rasmussen (2016) preconizam que para realizar investimento em eficiência energética é necessário caracterizá-la e estruturá-la como um processo, com início, meio e fim. Tendo em mente que esses investimentos devem seguir, no mínimo, as fases de identificação, análise e seleção das oportunidades, seguir estes passos pode reduzir o risco de investimento em um projeto inviável para alcance da eficiência energética.

Como fase final desse processo, após o resultado positivo de uma análise de viabilidade técnica e econômica, os investimentos são alocados para implantação de ações nas respectivas oportunidades selecionadas. Nehler e Rasmussen (2016) destacam avaliação financeira como sendo a fase crucial para aprovação do investimento em eficiência energética. Em adição, esses autores citam como ferramentas comuns e apropriadas para orçamento de capital o uso do *payback*, do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR) (NEHLER; RASMUSSEN, 2016).

Gestores com poderes de decisão, ao se depararem com a missão de aprovar um investimento em eficiência energética, buscam avaliar o máximo de informações, análises e ferramentas com vistas a aumentar a garantia do sucesso do projeto, normalmente atrelando-o a baixos investimentos, maiores ganhos monetários e ao menor tempo de retorno possível (BURACICA; TOMŠIĆ, 2016).

2.3.5 Benefícios da eficiência energética

A literatura ressalta que a implantação de um sistema de gestão de eficiência energética, assim como tantos outros, precisa demonstrar benefícios para se manter sustentável. De acordo com Aldona e Olszewski (2017), alguns gestores ao menos compreendem os potenciais ou reais benefícios trazidos para organização, além da economia de energia.

Dentre os vários estudos realizados com foco nos benefícios da eficiência energética, o de Davis *et al.* (2000 *apud* HASANBEIGI *et al.*, 2014) é considerado relevante porque aponta como principal benefício a sustentabilidade, fundamentada nos três pilares: sociedade, economia e meio ambiente.

Nehler e Rasmussen (2016) e Aldona e Olszewski (2017) propõem uma classificação dos benefícios em energéticos e não energéticos. Sendo energéticos aqueles que são facilmente identificados, como o aumento da produtividade e/ou a real redução no consumo de energia, podendo imediatamente ser revertidos em valor monetário e tendo esse valor aumentado nas indústrias que são grandes consumidoras de energia, a exemplo da metalurgia

Os benefícios não-energéticos são aqueles que não estão diretamente relacionados com a redução do consumo de energia, incluindo a melhoria no desempenho dos equipamentos (NEHLER; RASMUSSEN, 2016). Esses benefícios também podem ser revertidos em valores monetários e, algumas vezes, superam os valores gerados pelos benefícios energéticos.

Outros benefícios abordados na literatura são: redução de custos ambientais, por minimizar a produção de resíduos; otimização dos processos; melhoria da qualidade dos produtos; redução de emissões atmosféricas tipo SO₂ (dióxido de enxofre) e CO₂ (dióxido de carbono); redução das alterações climáticas; melhoria da qualidade do ar; e melhoria da qualidade do ambiente de trabalho e da comunidade ao redor (HASANBEIGI *et al.*, 2013).

Todos estes possíveis benefícios trazidos para as organizações que buscam e implantam a eficiência energética podem ser resumidos com a palavra sustentabilidade. O estudo de Pan *et al.* (2016) relata o caso de uma siderúrgica com um alto índice de desenvolvimento produtivo, mas apontando

algumas problemáticas que em médio prazo podem inviabilizar o negócio, sendo situações típicas de organizações insustentáveis. Essa siderúrgica possui um alto índice de consumo de energia, que normalmente remete a impactos econômicos no seu sistema produtivo devido ao alto preço pago pela energia. Quanto às questões ambientais, fica evidente a grande emissão de gases na atmosfera, acarretando em poluição do ar e acidificação do solo e dos recursos hídricos. Os impactos sociais se apresentam mais visíveis nas questões relacionadas à saúde e à qualidade de vida das pessoas, que acabam se expondo a toda poluição, estando inseridas em um ambiente insalubre e degradado.

2.3.6 Instituições e programas de fomento à eficiência energética

Com o despertar da necessidade de obtenção de práticas e tecnologias para otimização do consumo de energia, iniciaram-se as pressões nos poderes públicos para realização de investimentos em programas e políticas de eficiência energética. Diante disso, estes poderes passaram a se organizar por meio de diversas instituições com atuação no Brasil e no mundo, com missões distintas e objetivo único. Algumas dessas instituições são voltadas à pesquisa na área, enquanto outras são direcionadas ao fomento de capital e até mesmo à educação, difusão do tema e criação campanhas de conscientização.

Para responder aos questionamentos da sociedade, os poderes públicos brasileiros acabaram se mobilizando e criando instituições voltadas para eficiência energética, a exemplo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia e criada em 2014 com a missão de: “conciliar estrategicamente pesquisa, exploração, uso e desenvolvimento dos insumos e recursos energéticos, dentro de uma política nacional ajustada às diretrizes do governo e às necessidades da sociedade” (EPE, 2017). Outros exemplos de organizações são: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA).

2.3.6.1 Agência Nacional de Energia Elétrica

Surgiu a partir da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, com a missão de: mediar e fomentar uma relação balanceada entre o Governo, os agentes do setor elétrico – empresas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia – e os consumidores. Esta missão é desdobrada em algumas atividades, tais como: implementar políticas, leiloar concessões do setor, fazer a gestão dos contratos de fornecimento, estabelecer as regras para o serviço de energia, delinear metas para o equilíbrio e o bom funcionamento do mercado, criar uma metodologia de cálculo de tarifas, mediar conflitos, pesquisa e desenvolvimento, gestão e fomento de programas (BRASIL, 1996; ANEEL, 2017).

2.3.6.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Programa criado em dezembro de 1985 para promover o uso eficiente da energia elétrica. Suas ações vêm colaborando com o aumento da eficiência dos bens e serviços, promovendo melhores hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia. As ações que suportam a missão do PROCEL se destacam em alguns serviços, cabendo ressaltar aqueles voltados para área industrial, tais como: criação de treinamentos e elaboração de manuais e programas computacionais que suportem a prática da redução do consumo de energia. Outra ação do PROCEL é a difusão do conhecimento sobre o tema eficiência energética (PROCEL, 2017).

2.3.6.3 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

O PROINFA foi instituído pela Lei nº 10.438, de 26 de abril 2002, e é considerado o maior do mundo em incentivo às fontes alternativas de energia elétrica, carregando um sólido histórico de 119 empreendimentos realizados, sendo 41 eólicas, 59 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e 19 térmicas a biomassa. A energia elétrica anualmente gerada por estes empreendimentos equivale à autossuficiência de abastecimento de aproximadamente 4,5 milhões de pessoas, equivalente à três cidades do porte de Recife. (BRASIL, 2002; PROINFA, 2017).

O programa pode ser considerado como fim sustentável, pois atingiu seu impacto social ao ter gerado cerca de 150 mil empregos diretos e indiretos por todo o país, proporcionando ainda os desenvolvimentos industrial e tecnológico e se destacando nos quesitos ambientais, pois se estima que suas ações possibilitam a redução de emissões de gases de efeito estufa equivalentes a aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de CO₂equivalente/ano (PROINFA, 2017).

2.3.7 Conhecendo as barreiras para eficiência energética

Uma pesquisa realizada por Trianni *et al.* (2013a) mostra que algumas empresas afirmam ter interesse e se preocupar com sua eficiência energética, quando na realidade esta é uma política secundária e com pouca prioridade.

A falta de conhecimento e estudos sobre o assunto, inclusive sobre os custos necessários e os benefícios trazidos pela eficiência energética, acabam sendo uma das principais barreiras para que uma grande quantidade de empresas, com muitas oportunidades de economia de energia, ainda não busque efetivamente ter uma eficiente política energética como estratégia de competitividade (ALDONA; OLSZEWSKI, 2017).

A falta de conhecimento do assunto se caracteriza como uma barreira e é compartilhada por vários autores, citando-se, inicialmente, que o acompanhamento contábil com os custos de energia tende a conduzir as empresas para uma gestão energética mais eficaz. Assim, não conhecer e entender os obstáculos e desafios a serem percorridos na obtenção da

eficiência energética direcionam a empresa a possuir uma política energética ineficaz e não realizar os preparativos ideais para superação das possíveis barreiras (TRIANNI *et al.*, 2013b).

As barreiras, os custos e a falta de conhecimento também são mencionados por Cagno *et al.* (2013), que citam os custos iniciais como onerosos para implementação de tecnologias energeticamente eficientes. No mais, salienta-se que o baixo custo com a energia empregada na produção faz com que a empresa ignore a necessidade de redução do consumo de energia. Cagno *et al.* (2013) também mencionam como barreira para eficiência elétrica a falta de conhecimento e de competência para identificar possíveis perdas de energia dentro da empresa, sendo estas passíveis de identificação por meio do processo de auditoria energética. Ainda sobre a falta de conhecimento, os autores destacam a falta de competência para propor as mais viáveis práticas e tecnologias em eficiência elétrica, assim como viabilizar sua implementação. Nesse sentido, muitas vezes essas ações acabam necessitando de consultorias externas, remetendo-se novamente à barreira dos custos. (CAGNO *et al.*, 2013).

Além da falta de conhecimento e dos custos elevados, a literatura descreve uma série de outros obstáculos para se alcançar uma política eficaz no que se diz respeito à eficiência energética. Trianni *et al.* (2013a) categorizam algumas barreiras como internas e externas em relação à organização, podendo citar como interna a falta de conhecimento sobre o assunto, os custos e os benefícios; a pouca disponibilidade de capital; outras prioridades; o medo de arriscar neste tipo de investimento; dentre outras. Como barreiras externas à organização, sendo consideradas mais difíceis de serem superadas, pois fogem do seu campo de gestão da organização, são citadas: tecnologias inadequadas ou indisponíveis ao negócio, dificuldade de encontrar consultores externos capazes de realizar as implantações tecnológicas e financiamentos com altas taxas de juros. Trianni *et al.* (2013a) destacam ainda que tanto as barreiras internas quanto as externas estão diretamente ligadas às características da companhia, como o seu tamanho, a complexidade do seu sistema produtivo, a variabilidade de sua demanda e o posicionamento dos seus concorrentes no mercado.

2.3.8 Eficiência energética e o meio ambiente

A economia moderna, movida pelo desenvolvimento industrial, impacta diretamente o papel sustentável das organizações, cujas questões ambientais e econômicas implicam diretamente nos aspectos sociais. Nesse contexto, Pan *et al.* (2016) apontam problemas na indústria de aço da China que contribuíram para uma restrição do desenvolvimento sustentável deste segmento industrial e acarretaram impactos negativos para sua economia. Estes problemas estão relacionados à poluição do ar, das águas, e às agressões à saúde e segurança dos trabalhadores. Casos como esses contribuíram com a ampliação do debate sobre esse tema nas últimas décadas, incluindo assuntos como alterações climáticas, escassez de recursos naturais e alterações na saúde e na qualidade de vida dos seres humanos. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), grande parte destas alterações está associada às emissões de poluentes atmosféricos como CO₂, metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x) e fluorocarbonetos (IEA, 2009 *apud* SHAO *et al.*, 2014).

Grande parte dos poluentes supracitados se origina dos processos industriais de transformação de metais não ferrosos, no qual se inclui o cobre. De acordo com Ingarao (2016), este segmento é responsável pelo consumo de 35,0% da eletricidade do mundo e um quarto dos países em desenvolvimento são os principais responsáveis por essas emissões, chegando a superar os países considerados industrializados. Para Bunse *et al.* (2011), foram justamente as mudanças climáticas, os altos preços cobrados pela energia e o despertar da consciência ecológica na sociedade que levaram o tema eficiência energética para o topo da agenda de debates no cenário mundial.

Esta pesquisa foi realizada em uma transformadora de metal não ferroso (cobre), caracterizada pela realização de processos com elevado consumo de energia e emissão de CO₂ (SHAO *et al.*, 2014). Especificamente, a planta analisada foi a de refino de cobre, que tem como principal processo o eletrolítico que, por sua vez, possui propriedades físico-químicas que elevam significativamente o consumo de energia da planta (KALLIOMAKI *et al.*, 2016). De acordo com Niu *et al.* (2017), a energia elétrica é uma das fontes energéticas mais limpa e isenta de emissões poluidoras. No entanto, a principal matriz energética brasileira para geração de energia elétrica – hídrica – se

apresenta como uma fonte preocupante para este país, não somente devido às frequentes crises hídricas no Brasil e no mundo, como também porque sua geração é realizada por hidrelétricas; empreendimentos que trazem junto às suas construções impactos negativos ambientais e sociais (CANDIANI *et al.*, 2013). Em adição, salienta-se que as grandes oportunidades para esses empreendimentos se encontram na Amazônia, local propenso a impactos negativos (sociais e ambientais) grandes e complexos.

Diversos autores apontam a eficiência energética como uma excelente ferramenta para mitigar dos vários problemas ambientais causados pela geração e utilização de energia nas indústrias. Perroni *et al.* (2016) afirmam que essa possibilidade por ter como resultados a redução da poluição, dos resíduos e do consumo dos recursos naturais. Blass *et al.* (2014 *apud* Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas [IPCC], 2007) também acreditam na eficiência energética como forma de redução das emissões de CO₂ e particulados na atmosfera, aumentando a saúde e a qualidade de vida das pessoas.

2.3.9 Motores elétricos como potenciais de eficiência energética

Ferreira e Almeida (2012) afirmam que em países considerados desenvolvidos e industrializados mais de 70,0% da sua energia convertida são aplicados na utilização de motores elétricos durante os processos de transformações fabris. Esta condição é reforçada por Saidur (2010), que relata que os motores elétricos são responsáveis pelo consumo de 40,0% da energia elétrica mundial. De acordo com Ferreira e Almeida (2012), os motores considerados eficientes energeticamente correspondem a um percentual de mais de 90,0%, enquanto que os convencionais podem chegar ao máximo a 80,0% em sua eficiência. A par disso, percebe-se uma excelente oportunidade de obtenção de eficiência energética nos segmentos que utilizam esses equipamentos. Por meio de uma combinação de ações, facilmente é possível se chegar a uma economia de 30,0% a 35,0% (FERREIRA; ALMEIDA, 2012).

Para que sejam feitas propostas para reduções de consumo de energia em motores elétricos, certamente se faz necessário identificar onde se encontram as perdas dos respectivos motores. Para Saidur (2010), algumas perdas estão

diretamente relacionadas com o sobredimensionamento dos motores em relação à carga de trabalho necessária, muitas vezes por falta de conhecimento. Em adição, Saidur (2010) menciona que a perda de energia elétrica em motores também pode ocorrer devido à manutenção, à lubrificação ou ao rebobinamento realizados de forma inadequada.

Na mesma linha de raciocínio, Ferreira e Almeida (2012) esclarecem que essas perdas também podem estar relacionadas às sujeiras e às lubrificações inadequadas. As sujeiras acumuladas nas aberturas do motor e nas paletas dos seus ventiladores fazem com que eles trabalhem superaquecidos. Quanto à questão da lubrificação, o uso de lubrificantes inadequados ou misturados, pode ocasionar o seu enrijecimento, aumentando a resistência das partes internas. Como resultado, esses fatores diminuem a eficiência do motor e aumentam o consumo de energia.

2.3.9.1 Ferramentas para gestão energética em motores

Vários *softwares* estão disponíveis no mercado para auxiliar as indústrias que identificaram em seus negócios oportunidades de economia de energia por meio da gestão dos seus motores. Algumas destas ferramentas são: o MotorMaster's, desenvolvido em Washington, Estados Unidos; o ProMot-Europa, bastante utilizado na Europa, e o CanMOST, também desenvolvido em uma universidade de Washington, porém mais utilizado no Canadá (SAIDUR, 2010).

Estas ferramentas ajudam a identificar as perdas de eficiência nos motores, inclusive por sobredimensionamento. Indo além desta função, elas realizam o cálculo de uma possível economia energética, preveem o tempo de retorno nos investimentos realizados nas substituições de motores, entre outras funcionalidades. Um fator relevante no uso desses *softwares* é o vasto banco de dados, que garante o suporte necessário aos gestores na tomada de decisão, caso optem em substituir os motores como estratégia para redução de consumo de energia em plantas industriais.

Conforme Ferreira e Almeida (2012), a escolha do motor adequado para cada necessidade gera uma redução considerável no consumo de energia,

possibilitando ganhos como o aumento de produtividade e a redução de custos com manutenção, por aumentar a disponibilidade do equipamento.

2.3.9.2 Tecnologias e práticas para evitar perdas energéticas em motores

Identificadas as perdas, algumas tecnologias e práticas podem ser utilizadas para reduzi-las ou mesmo eliminá-las. Para a condição de superaquecimento dos motores, Ferreira e Almeida (2012) recomendam o uso de um sensor termopar visando identificar imediatamente o aumento da temperatura e a redução da eficiência do motor. No caso de tensão aplicada às cargas variadas, Ferreira e Almeida (2012) indicam a instalação de variadores de frequência, possibilitando o ajuste de velocidade à necessidade do processo.

Como oportunidades para a maximização do desempenho dos equipamentos, Ferreira e Almeida (2012) ressaltam: os treinamentos para utilização e manutenção dos equipamentos; a compra de equipamentos rotulados como eficientes energeticamente; a seleção de motores de acordo com suas respectivas necessidades, evitando o sobredimensionamento; a operação dos motores para uma capacidade a partir de 75% da sua carga; e o desligamento dos motores nos momentos ociosos.

As aplicações dos motores em compressores são bastante usuais para geração de ar comprimido, exigindo uma demanda considerável de energia elétrica. De acordo com Faveri *et al.* (2017), do total de ar comprimido gerado, somente 50,0% são efetivamente utilizados, sendo que a outra metade se perde por meio de vazamentos e subdimensionamento na utilização. Os fatos citados anteriormente caracterizam uma oportunidade de redução do consumo da energia elétrica empregada por meio da gestão de manutenção.

É relevante esclarecer que as práticas e tecnologias aplicadas na obtenção da eficiência elétrica podem ser específicas de cada negócio ou organização. Breukers *et al.* (2011 *apud* SVENSSON; PARAMONOVA, 2017) concordam com essas afirmações, no entanto, são incisivos quando mencionam que somente se chegará a resultados positivos se as ações e as práticas estiverem juntas, sistematizadas, e passem a fazer parte da rotina das companhias.

2.3.10 Potenciais de redução de energia em instalações industriais

Dentre as possibilidades de eficiência energética existentes nas instalações industriais e prediais, destaca-se a iluminação dos ambientes, pois os locais necessitam constantemente estarem iluminados tanto nos segmentos domésticos quanto nos industriais. De acordo com Bogatishchev (2014), a iluminação inadequada de um local de trabalho gera impactos na produtividade, assim como na segurança dos trabalhadores.

Nas indústrias que operam em ritmo contínuo (24 horas por dia) existe uma constante utilização de iluminação, conseqüentemente, as potencialidades de redução de consumo são mais fáceis de serem identificadas. Nesse contexto, Demirbas *et al.* (2015) afirmam que é possível obter eficiência energética otimizando a utilização da iluminação.

Para se atingir resultados satisfatórios na busca pela redução do consumo de energia elétrica por meio do processo de iluminação, alguns fatores precisam ser levados em consideração, a saber: o tipo de construção, a disponibilidade de iluminação natural e o perfil do negócio a ser instalado, pois estes fatores podem favorecer ou não uma maior redução do consumo (PELLEGRINO *et al.*, 2016).

A literatura aborda algumas estratégias para aplicação no sistema de iluminação das instalações industriais, tais como: o uso de iluminação natural, a substituição de lâmpadas comuns pelas eficientes e a implantação de tecnologias na gestão e otimização da iluminação (PELLEGRINO *et al.*, 2016).

Ao pensar em reduzir o consumo por meio da iluminação é comum direcionar a questão para o uso de lâmpadas que possuem diodo emissor de luz (*Light Emitting Diode*, LED), mais conhecidas como lâmpadas LED. Para Bogatishchev (2014), estas lâmpadas são o futuro da iluminação, entretanto, o retorno do investimento ocorre a longo prazo, constituindo assim uma barreira para sua implementação. Polzin *et al.* (2016) reconhecem o uso das lâmpadas LED como um grande potencial para redução do consumo de energia elétrica, todavia, também ressaltam a questão econômica como uma possível barreira na sua implantação.

As empresas, quando conhecedoras das barreiras econômicas para implantação de tecnologias em eficiência energética, buscam alternativas mais

viáveis com menores custos e tempo de retorno. Conforme Pellegrino *et al.* (2016), é possível aplicar tecnologias de baixo custo, tais como: dispositivos que controlem horário de acendimento e desligamento de luzes, sensores de acionamento da iluminação para atuar em momentos de presença de pessoas ou falta destas e utilização de sistemas que controle a iluminação do ambiente, fornecendo iluminação nas quantidades e momentos ideais para usos operacionais.

2.3.11 Processo de eletrólise e perdas de energia elétrica

Dentro das plantas de refino de cobre existe uma subárea denominada de “nave da eletrólise”, onde se localiza o processo de refino desse metal. Conforme Beukes e Badenhorst (2009) e Wiechmann *et al.* (2010), o processo de eletrólise consiste na dissolução do ânodo depositando suas partículas de cobre em uma placa onde será formado cobre refinado de alta pureza (cátodo), por meio da aplicação de corrente elétrica contínua. Observando a descrição desse processo, é perceptível que ele tem como principal insumo a energia elétrica.

Wiechmann *et al.* (2010) salientam que durante o processo de eletrólise ocorrem perdas de energia causadas por: placas de ânodo desalinhas ou com grande espaçamento entre elas; resistência na passagem de corrente por mau contato entre as placas e os barramentos (perfis de cobre por onde são distribuídas as correntes elétricas); e ocorrência frequente de curto-circuito. Para Robinson *et al.* (2013), o bom estado de conservação dos tanques onde ficam depositadas as placas de ânodo para serem eletro refinadas contribui com a maximização do uso de energia elétrica empregada neste processo. O estudo de Mirza *et al.* (2013) reforça que manter um espaçamento uniforme entre as placas de cátodo e ânodo (Figura 2), assim como monitorar e eliminar curtos de imediato, são ações relevantes para reduzir o consumo de energia elétrica no processo.

Figura 2 – Espaçamento uniforme entre o cátodo e o ânodo.

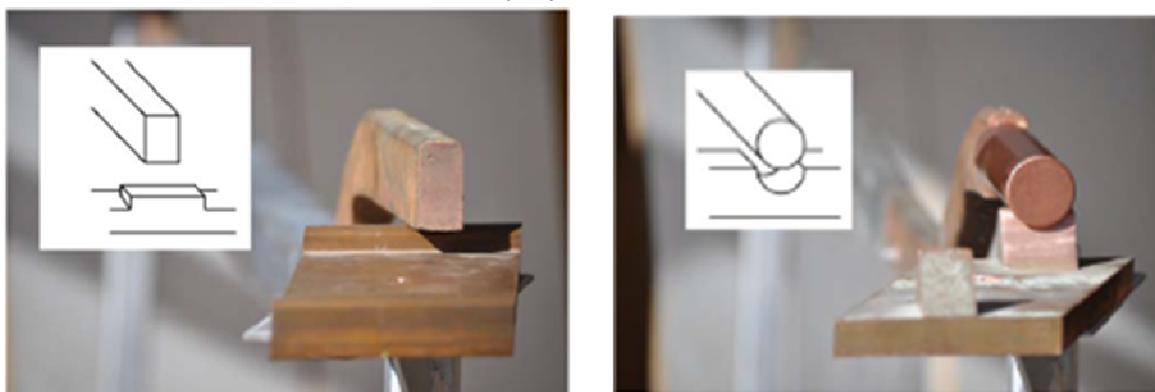


Fonte: Mirza *et al.* (2013).

O curto-circuito ocorre quando a corrente elétrica não se encontra bem distribuída entre as placas de ânodo, fazendo com que o cobre extraído passe a ser depositado em uma área concentrada da placa que virá, posteriormente, a ser o cátodo, formando então um caminho de alta resistência para passagem da corrente entre as placas. Esta anomalia do processo acaba contribuindo com a alta redução da eficiência e com um considerável consumo de corrente elétrica (AQUEVEQUE *et al.*, 2009).

Em relação à resistência na passagem de corrente por mau contato entre as placas e os barramentos, Wiechmann *et al.* (2013) trazem como proposta a mudança no formato do ponto de contato da placa de ânodo (orelha), tornando-a arredondada, de maneira que aumente seu contato com os barramentos e diminua a resistência da corrente elétrica, melhorando o alinhamento das placas e facilitando a limpeza (Figura 3).

Figura 3 – Formato de contato das placas: (a) Contato convencional; (b) Contato proposto.



(a)

(b)

Fonte: Adaptado de Wiechmann *et al.* (2013).

No estudo de Robinson *et al.* (2013) foi citada uma tecnologia denominada de *HELM Tracker*, que consiste em mensurar temperatura, tensão e corrente, detectando em tempo real a presença de possíveis curtos e falta de uniformidade na distribuição das correntes e permitindo ações imediatas que evitarão as perdas energéticas por essas anormalidades.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA

3.1 Abordagem metodológica

Este trabalho se baseou em uma abordagem metodológica no formato *survey*. Conforme Freitas *et al.* (2000), esta abordagem demonstra ser apropriada porque objetiva responder ao problema levantado na pesquisa, que nesse caso está relacionado à identificação das práticas e tecnologias mais adequadas para reduzir o consumo de energia elétrica em uma planta de refino de cobre por eletrólise.

As pesquisas podem ser classificadas como exploratórias, descritivas ou explicativas (GIL, 2002). Esta pesquisa é classificada como exploratória, pois tem como objetivo fomentar a familiaridade com o problema em questão, assim como, a descoberta de novas intuições por meio da revisão bibliográfica e do levantamento de campo, ao entrevistar pessoas com experiência e proficiência com o problema em questão (GIL, 2002).

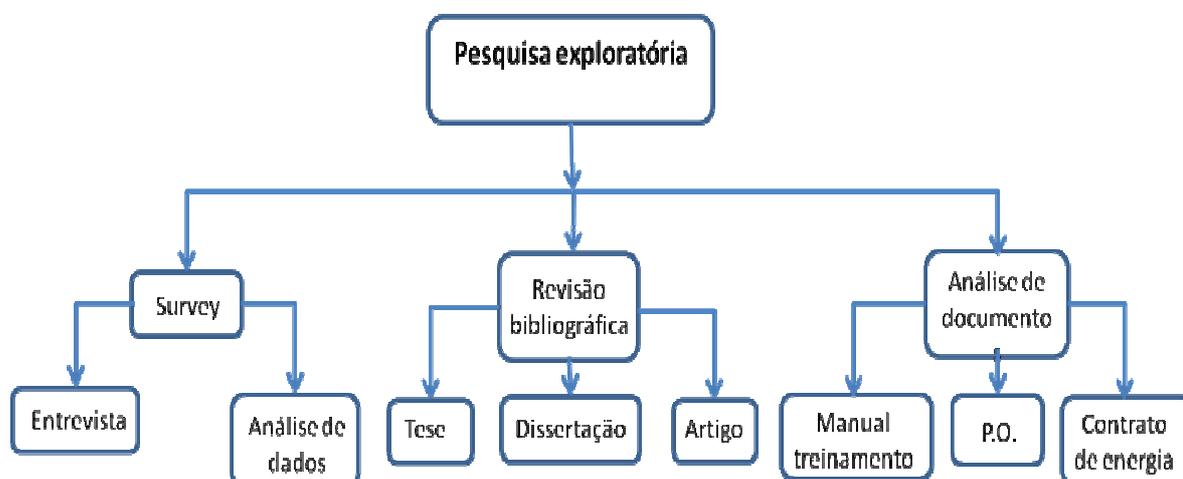
3.2 Técnicas da pesquisa

Durante a pesquisa são utilizadas diferentes práticas e técnicas, as quais são adotadas por todas as ciências como meio de chegar aos seus propósitos (MARCONI; LAKATOS, 2003). Neste estudo, visando encontrar uma solução para o problema proposto, foram utilizadas três técnicas que são denominadas pela Universidade FEEVALE (2013) como *survey*, pesquisa bibliográfica e pesquisa de documentos. Nesta pesquisa, o *survey* constituiu o processo da pesquisa de campo, no qual um grupo de 40 colaboradores, com nível de escolaridade do ensino fundamental ao nível superior completo, nas especialidades de operação, manutenção, instrumentação e elétrica, foram entrevistados por meio de questionários previamente elaborados. A segunda técnica utilizada foi a revisão bibliográfica em artigos, teses e dissertações publicados nos cinco anos antecedentes à data da pesquisa (2012 a 2017). Segundo Marconi e Lakatos (2003), a revisão bibliográfica compreende a busca por estudos já realizados e disponíveis sobre o tema com o objetivo de

atualizar o pesquisador sobre tudo que já foi estudado por outros investigadores. A terceira técnica utilizada para este estudo foi a pesquisa documental, que se trata da análise e interpretação dos documentos da organização, tais como: Procedimentos Operacionais (P.O.), manuais para treinamento de operadores e contratos de fornecimento de energia pela concessionária. Estes, quando analisados criticamente, podem ser adequados ao objeto da pesquisa (GIL, 2002).

A Figura 4 descreve a metodologia e a sequência das três etapas que contemplaram a revisão do estado da arte.

Figura 4 – Fluxo da metodologia empregada no trabalho.



Fonte: O autor.

3.3 Instrumento de investigação

Os instrumentos de investigação deste trabalho foram os gargalos de energia elétrica e as práticas e tecnologias capazes de minimizar e/ou eliminar perdas elétricas. A respectiva investigação ocorreu em uma planta de refino de cobre por eletrólise, instalada dentro de uma metalurgia situada no estado da Bahia.

3.4 Espaço empírico

Ao longo dos anos a utilização dos metais se tornou crescente nos diversos segmentos. No caso do cobre, sua aplicação deixou de ser exclusivamente a condução de eletricidade, estando presente em grandes construções e em minúsculos chips, placas de comando dos diversos eletroeletrônicos, equipamentos de informática e *smartphones* (telefones inteligentes). Adicionalmente, ressalta-se que o cobre é considerado também um insumo básico em grande parte dos dispositivos tecnológicos, tornando-se um item indispensável para saciar os desejos e às necessidades da sociedade contemporânea.

O cobre, como os outros metais, está disponível na natureza, entretanto, para se chegar a uma condição de uso para os diversos segmentos este metal necessita passar por um longo processo de transformação e refino. Sua matéria-prima consiste em uma terra mineral denominada concentrado de cobre, na qual no processo de transformação se faz necessário o acréscimo de outros insumos como cal, coque, energia e outros. O concentrado de cobre, juntamente com seus insumos, passa por um processo de fundição, transformando-se inicialmente em cobre líquido, que, posteriormente será solidificado e moldado, dando origem a uma placa de aproximadamente 300 kg e pureza de cobre entre 99,0% e 99,6%, denominada placa de ânodo (Figura 5).

Figura 5 – Placa de cobre ânodo.



Fonte: Cirne (2014)

O cobre com o grau de pureza supracitado ainda não é ideal para ser utilizado, devendo ser submetido a um novo processo denominado eletro refino por eletrólise. Beukes e Badenhorst (2009) salientam que esse processo foi inicialmente utilizado no final do século XIX, passando por vários avanços tecnológicos, entretanto, seus conceitos e principais equipamentos mantiveram-se os mesmos. De acordo com Robinson *et al.* (2013), a China domina este mercado com aproximadamente 75 indústrias usuárias desse processo, com capacidade de produção a partir de 10 mil toneladas por ano. No Brasil, esse processo acontece apenas nas instalações de uma metalurgia situada no estado da Bahia, em uma planta denominada eletrólise, com capacidade instalada para 280 mil toneladas por ano.

A planta industrial estudada opera com 117 colaboradores. A entrevista foi conduzida com uma amostra de 40 colaboradores por meio da aplicação de formulários pré-elaborados compostos por um cabeçalho identificando o perfil de cada participante, como experiência na função, nível de escolaridade, especialidade, entre outros (Apêndice 1).

Para uma boa qualidade da amostra, foram selecionados colaboradores nos níveis *staff* e execução, especificamente aqueles que operam máquinas consumidoras de energia elétrica. A seleção da amostra foi complementada pela equipe de apoio da manutenção elétrica e mecânica da unidade industrial, ficando restrita então nas especialidades de processo, operação, mecânica, elétrica e instrumentação, com formações escolares nos níveis fundamental completo, técnico e superior (graduados e pós-graduados). Excluíram-se os colaboradores que nunca executaram atividades na planta e/ou que realizam funções sem proficiência para identificar gargalos e propor ações para minimização e/ou eliminação das possíveis perdas energéticas.

Nesta unidade de eletrólise o processo acontece em regime contínuo (24 horas), dividido em três turnos. O processo eletrolítico ocorre na área 560, demonstrada na Figura 6, sendo baseado na dissolução da placa de cobre (ânodo) para formação de uma nova placa (cátodo) por meio da aplicação de uma corrente elétrica; o que leva o processo a ser rotulado como intensamente energético. Nos estudos de Los *et al.* (2013), esse processo foi denominado como transferência de massa.

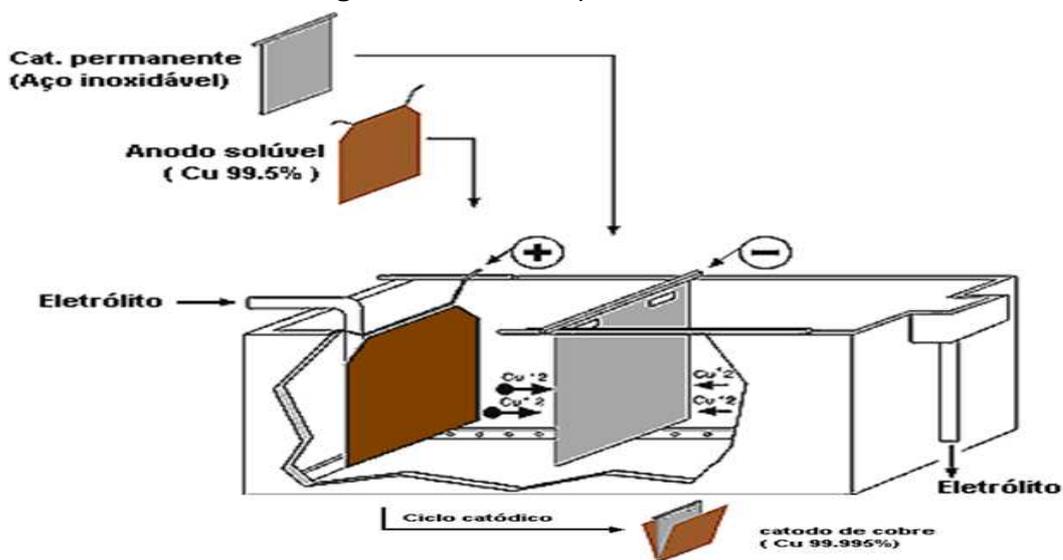
Figura 6 – Área do processo de transformação do cobre ânodo em cátodo.



Fonte: Cirne (2014)

O objetivo desse processo é eliminar as impurezas prejudiciais às propriedades mecânicas e químicas do cobre, obtendo-se o cobre eletrolítico de alta pureza e separando-se as impurezas recuperáveis com valor comercial como ouro, prata, níquel, entre outros. A planta da eletrólise é abastecida com o ânodo, que possui entre 99,0% e 99,6% de pureza, e passará por um processo físico químico de purificação do cobre, conforme Figura 7.

Figura 7 – Fluxo do processo eletrolítico.



Fonte: Cirne (2014)

Após aproximadamente dez dias a placa de cobre ânodo demonstrada na Figura 5 fica submetida ao processo de eletrólise, sendo diluída e realizando a transferência apenas das moléculas de cobre. Finalizado esta etapa, obtém-se uma nova placa com aproximadamente 99,99% de pureza de cobre, que

passará a ser chamado de cátodo (Figura 8). Este é o produto final da planta industrial estudada neste trabalho.

Figura 8 – Placa de cobre cátodo.



Fonte: O autor.

3.5 Etapas da Pesquisa

Para alcançar os objetivos deste estudo, elaborou-se um cronograma de ações para o cumprimento e o acompanhamento das etapas, detalhadas nas próximas subseções.

3.5.1 Pesquisa bibliográfica

Nesta etapa foi realizada a revisão bibliográfica de trabalhos acadêmicos relacionados à temática eficiência energética. Sendo pesquisados artigos, dissertações e teses publicados no período compreendido entre 2009 e 2017. Foram buscados artigos indexados nas principais revistas nacionais e internacionais de gestão, ciências e tecnologias. Consultado também os *sites* de instituições de fomento à eficiência elétrica.

3.5.2 Consulta a documentos internos

Nesta fase, com o objetivo de verificar e entender o que a organização detém de materiais relacionados ao tema estudado, foram consultados documentos internos, tais como: contrato de fornecimento de energia da concessionária,

procedimentos operacionais, relatórios de acompanhamento do consumo de energia e manual de treinamento para operadores da planta.

3.5.3 Pesquisa de campo

Essa etapa, juntamente com a pesquisa bibliográfica, foram as mais relevantes para se chegar às respostas do problema de pesquisa. A pesquisa de campo serviu para extrair as informações dos entrevistados. O formulário de entrevista contemplou um cabeçalho para identificar o perfil de cada participante, como experiência na função, nível de escolaridade e especialidade; e perguntas abertas, fechadas e de múltiplas escolhas, destinadas a estimular os entrevistados na identificação das potenciais perdas energéticas no seu maquinário, posto de trabalho e/ou comportamento operacional, assim como as possíveis ações e práticas que podem reduzir ou eliminar as respectivas perdas. A pesquisa de campo visou avaliar também os conhecimentos tácitos e empíricos dos entrevistados.

3.5.3.1 Escolha dos participantes da entrevista

Para compor a amostra a ser entrevistada, foram selecionados colaboradores nos níveis *staff* e execução. Na operação, foram selecionados especificamente aqueles que operam máquinas consumidoras de energia elétrica. Também participou da entrevista a equipe de apoio da manutenção elétrica e mecânica. Em adição, foram entrevistados os colaboradores dos departamentos de utilidades (setor responsável pela distribuição de energia para toda metalurgia) e engenharia de fábrica. Visando uma maior contribuição qualitativa para pesquisa, a amostra foi selecionada dentro das especialidades de processo, operação, mecânica, elétrica e instrumentação, com formações nos níveis técnicos, graduados e pós-graduados.

3.5.3.2 Reuniões em grupo

Nesta etapa foram realizadas reuniões de curta duração em grupo com os colaboradores no perfil de participação na pesquisa. Antes da distribuição dos

formulários reforçou-se a importância do entendimento do objetivo e da relevância do trabalho, além da maneira como eles poderiam contribuir com a pesquisa. Nesse momento, realizou-se também o esclarecimento de dúvidas relativas ao preenchimento do formulário.

3.5.3.3 Distribuição do formulário

A distribuição dos formulários aos colaboradores foi realizada pelos meios físicos e eletrônicos, no período de maio a setembro de 2017, e seguindo os critérios de escolha conforme item 3.5.3.1 (escolha dos participantes da entrevista).

.

3.5.3.4 Suporte para preenchimento do formulário

Em alguns momentos durante o preenchimento dos formulários foi necessário o suporte e o acompanhamento, facilitando o entendimento das perguntas e a melhoria na qualidade das respostas.

3.5.3.5 Formação de banco de dados

Duas semanas após a entrega do primeiro lote de formulários, os entrevistados passaram a realizar a entrega dos formulários com as devidas respostas. Paralelamente, iniciou-se também a fase de digitação e classificação dos perfis e das respostas dos entrevistados, conforme a seguir:

- a) Classificação e representação gráfica qualitativa e quantitativa dos perfis dos entrevistados, contemplando seu tempo de função, nível de escolaridade e especialidade;
- b) Classificação com representação gráfica qualitativa e quantitativa das possíveis perdas de energia elétrica pelo comportamento dos operadores, pelos maquinários, pelo processo e pelas instalações; e
- c) Classificação com representação gráfica qualitativa e quantitativa das potenciais ações para evitar as perdas de energia elétrica por comportamento, pelos maquinários, pelo processo e pelas instalações.

3.5.4 Observação de campo

Durante o estudo foram realizadas observações em campo em dias aleatórios e nos turnos matutino e vespertino, permitindo identificar algumas fontes de perdas ressaltadas pelos entrevistados. A Figura 9 mostra um local aberto com iluminação acesa durante o dia, onde poderia estar sendo aproveitada a luz solar como iluminação natural.

Figura 9 – Iluminação em área aberta acesa durante dia.



Fonte: O autor.

De forma similar, a Figura 10 mostra um galpão com uma quantidade considerável de lâmpadas acesas durante o dia, sem a presença de pessoas, onde inclusive poderiam ser instaladas telhas transparentes no teto e/ou nas laterais para aproveitar a iluminação solar quando possível. Outra possibilidade seria a retirada das telhas de fechamentos laterais, aproveitando também a claridade do dia.

Figura 10 – Galpão totalmente iluminado por lâmpadas durante o dia.



Fonte: O autor.

3.5.5 Validando a amostra

Considerando uma população de 117 colaboradores, conseguiu-se alcançar uma amostra de 40 entrevistados, sendo esta satisfatória a partir do fato de ter sido obtida uma participação de aproximadamente 34,2% da população, proporcionando um número geral de respostas (antes da compilação), respectivamente para as fontes potenciais: maquinários 55; instalações 30; processo 20; comportamento humano 6 e o item outros, 7 oportunidades. O somatório destes números representa uma quantidade de 118 respostas, identificando possíveis fontes para redução do consumo de energia elétrica na planta em estudo, o que analogicamente corresponde a uma resposta dada por cada membro da população.

Em relação às ações, foram obtidas 123 propostas, distribuídas da seguinte maneira: 55 ações relacionadas aos maquinários; 30 às instalações; 20 ao processo; 14 ao comportamento humano; e 3 a outros fatores. Sendo que as 123 respostas também podem corresponder a uma resposta dada por cada membro da população.

De acordo com Gil (2008), esta é uma pesquisa exploratória que tem como um dos objetivos demonstrar uma visão ampla de um tema ainda pouco explorado. Logo, entende-se que a validade da pesquisa de campo não se concentra em atingir uma quantidade expressiva de entrevistados e sim uma quantidade considerável e diversa de respostas coerentes com o tema eficiência energética.

Estas características que validam uma pesquisa exploratória ficam evidenciadas com a quantidade de 118 e 123 respostas para fontes de reduções e ações, respectivamente.

3.5.6 Análise quantitativa

Um dos objetivos específicos desta pesquisa foi o desenvolvimento de um estudo de viabilidade econômica dos principais potenciais de redução do consumo de energia, sendo motores e luminárias da área 560 da eletrólise. Para a parte de motores, foi simulada a substituição de um grupo de 36 unidades, a base de troca, com o fornecedor WEG Motores por meio de um *software* computacional, sendo alimentado por informações obtidas por profissionais de manutenção da própria planta eletrólise.

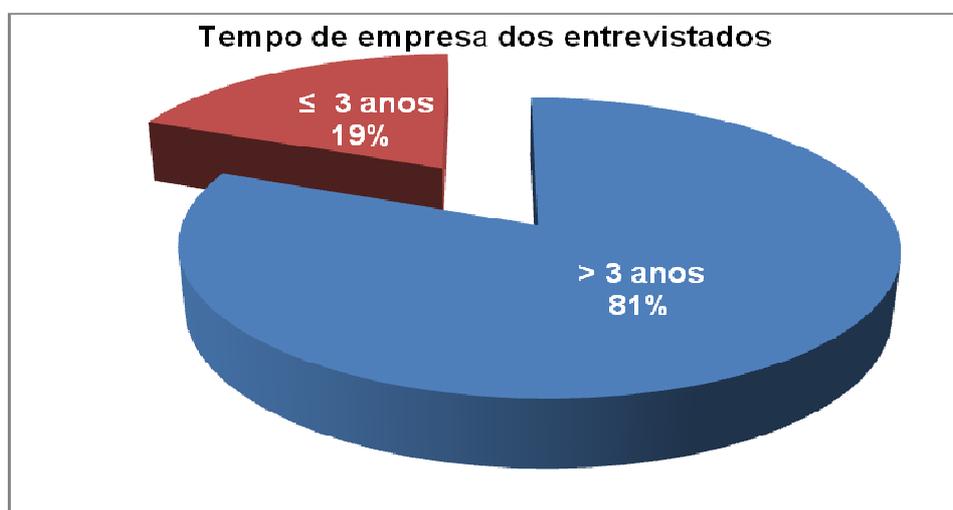
Para o estudo de viabilidade econômica das luminárias, buscou-se identificar valores de economia referentes aos ganhos em função de vida útil de cada lâmpada e da sua eficiência. Neste caso, a viabilidade econômica se baseou nos tipos de luminárias utilizadas na planta, seu tempo de vida útil, preços e seus respectivos consumos. Parte destas informações foram buscadas com fornecedores, no sistema informatizado de gestão de compras da planta e em manuais de especificações. Também foi realizado um ensaio mensurando o consumo das luminárias utilizadas na área 560, especificamente dentro da oficina de manutenção elétrica, com um alicate amperímetro calibrado em 06/02/2018, conforme Anexo 1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA PESQUISA

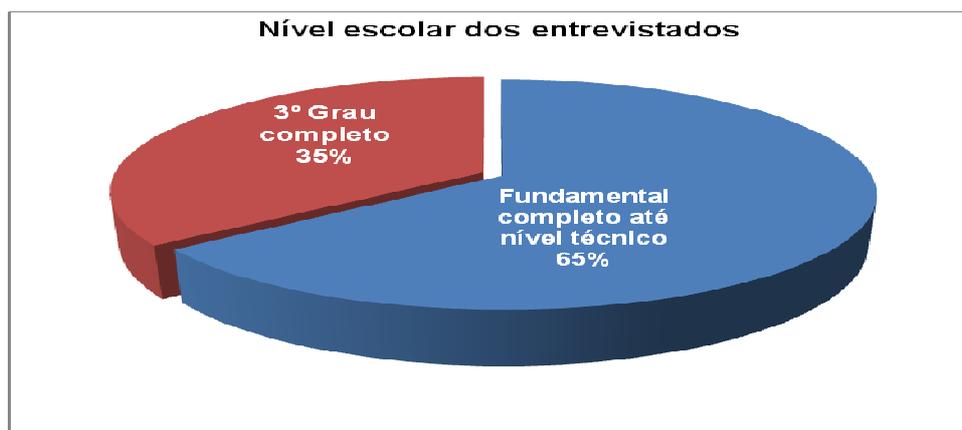
4.1. Apresentação dos resultados da pesquisa

Esta seção abrange os principais resultados e discussões provenientes da realização deste estudo de campo. Em relação ao perfil dos entrevistados (Figura 11), constatou-se que 81,0% atuam na empresa a mais de três anos, ou seja, possuem bastante conhecimento da companhia e das atividades que realizam. Os demais entrevistados possuem menos que três anos na companhia.

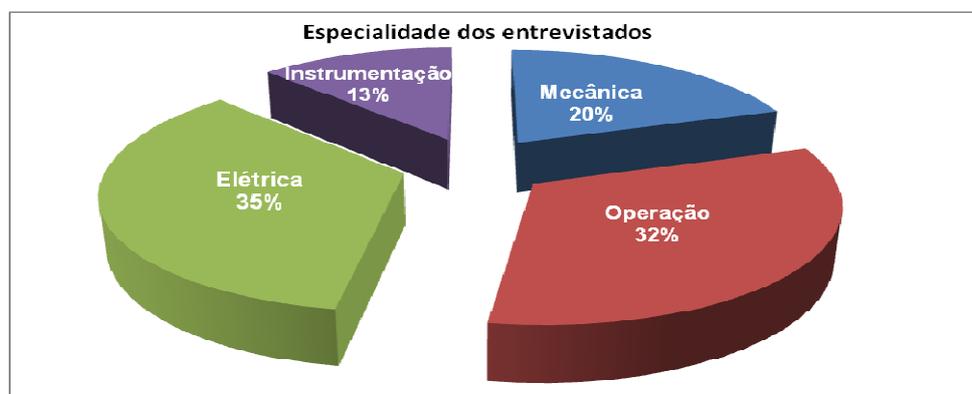
Figura 11 – Gráfico tempo de empresa dos entrevistados.



Em relação aos níveis de escolaridade (Figura 12), verificou-se que 65,0% dos entrevistados possuem ensino fundamental completo até o nível técnico, sendo que todos os especialistas em mecânica, instrumentação e elétrica possuem no mínimo o nível técnico, que correspondeu uma grande parcela dos entrevistados. Em adição, ressalta-se que 35,0% dos entrevistados possuem o nível superior completo, havendo certa heterogeneidade dentre as especialidades entrevistadas. Este nível de escolaridade aumenta a qualidade das respostas fornecidas.

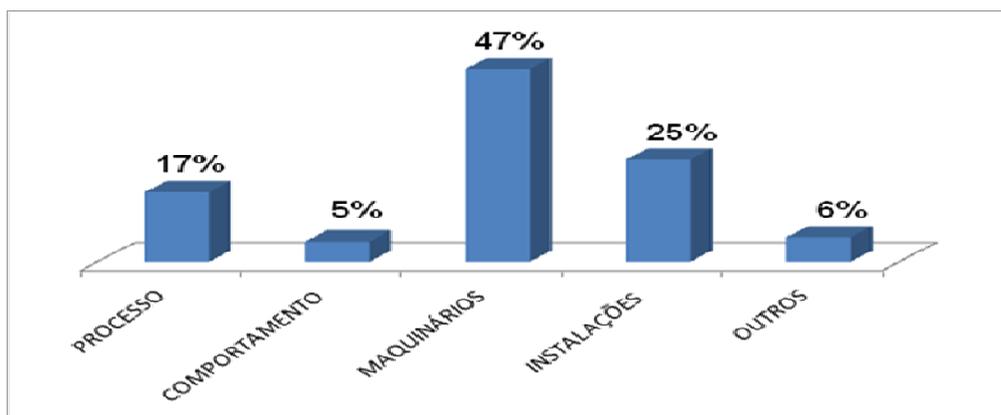
Figura 12 – Gráfico do nível de escolaridade dos entrevistados.

No que diz respeito às especialidades profissionais dos entrevistados (Figura 13), tem-se: 35,0% em elétrica, 32,0% em operação, 20,0% em mecânica e 13,0% em instrumentação. Nesse contexto, é relevante considerar que essas especialidades possuem proficiências diretamente relacionadas com o tema eficiência energética.

Figura 13 – Gráfico da especialidade dos entrevistados.

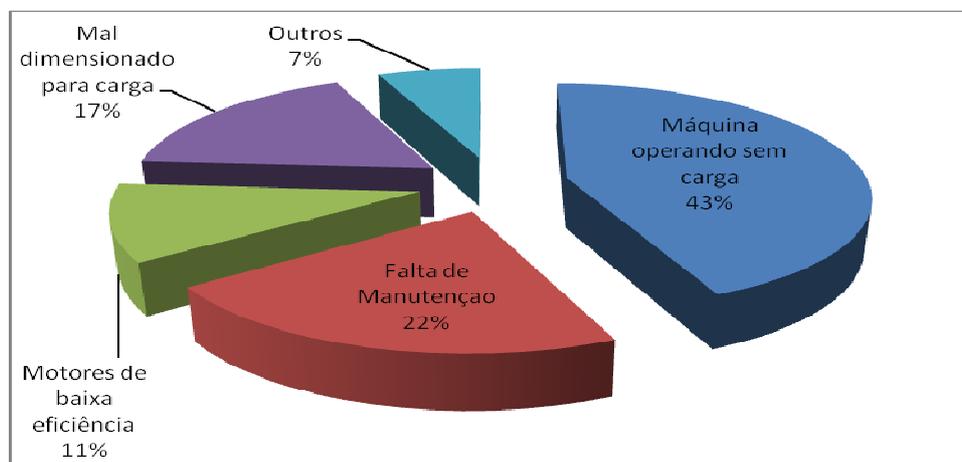
Os resultados a seguir foram computados com base nas respostas referentes às perdas e ações, tendo seus desdobramentos nas três situações mais mencionadas pelos entrevistados (Figura 14). Estes apontaram como as principais fontes de perda da energia elétrica, respectivamente: os maquinários (47,0%), as instalações (25,0%), o processo (17,0%), o comportamento das pessoas (5,0%) e outras fontes (6,0%).

Figura 14 – Gráfico das fontes de possíveis perdas de energia elétrica.



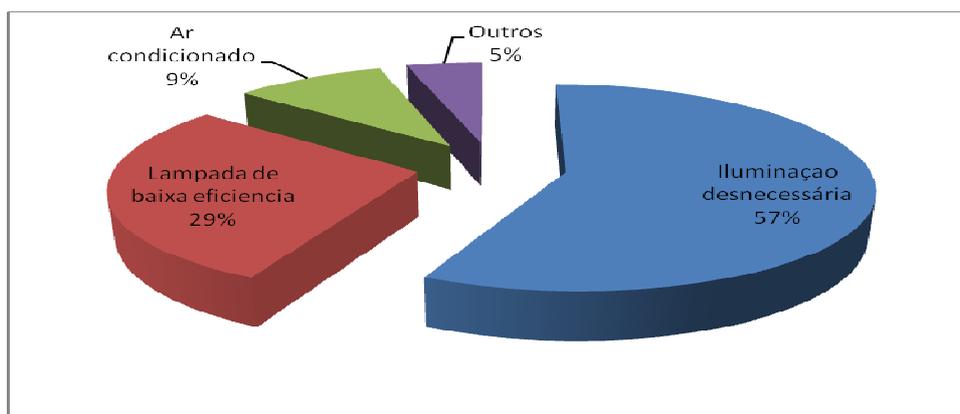
Os maquinários foram apontados como a principal fonte para que se concentrem esforços visando alcançar a redução de energia elétrica, sendo apontadas as seguintes formas de perdas com suas respectivas proporções: máquinas operando sem carga (43,0%), falta de manutenção nos maquinários (22,0%), equipamento mau dimensionado para carga de trabalho (17,0%), motores com baixa eficiência (11,0%) e outros (7,0%) (Figura 15).

Figura 15 – Gráfico das possíveis perdas de energia elétrica no maquinário.



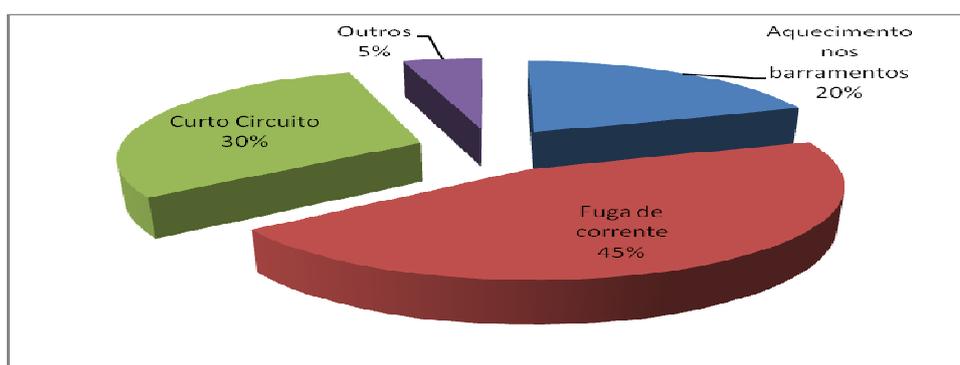
Nas instalações, a pesquisa apontou as seguintes formas de perdas com suas respectivas proporções: iluminação ligada sem necessidade (57,0%), luminárias de baixa eficiência (29,0%), ar condicionado ligado desnecessariamente (9,0%) e outros (5,0%) (Figura 16).

Figura 16 – Gráfico das possíveis perdas de energia elétrica nas instalações.



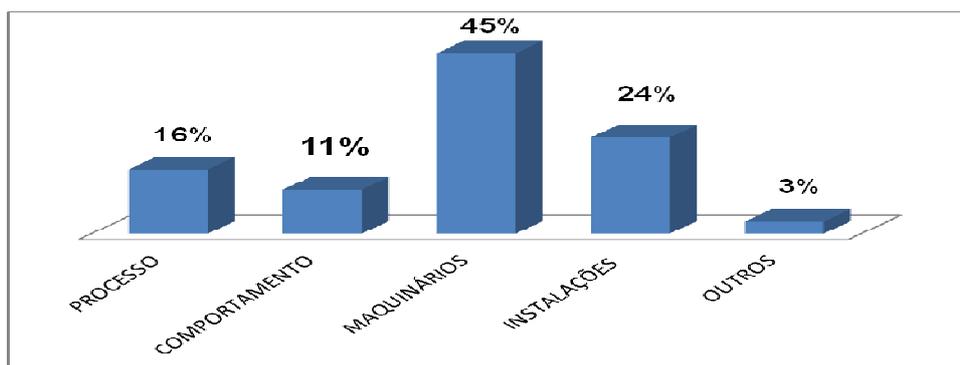
A pesquisa apontou as seguintes formas de perdas no processo com suas respectivas proporções: fuga de corrente (45,0%), curto circuito (30,0%) aquecimento nos barramentos (20,0%) e outros (5,0%) (Figura 17).

Figura 17 – Gráfico das possíveis perdas de energia elétrica no processo.



Dado continuidade, buscou-se levantar possíveis ações visando evitar as perdas de energia elétrica identificadas (Figura 18). As respostas apontaram como oportunidades: maquinários (45,0%), processo (16,0%), instalações (24,0%), comportamento das pessoas (11,0%) e outras ações (3,0%).

Figura 18 – Gráfico das fontes de ações para perdas de energia elétrica.



A partir desses resultados, as Figuras 19, 20 e 21 apresentam as possíveis ações para evitar as perdas de energia elétrica e suas respectivas porcentagens referentes aos maquinários, ao processo e às instalações. Buscaram-se as três principais fontes potenciais para as ações mais apontadas nas entrevistas.

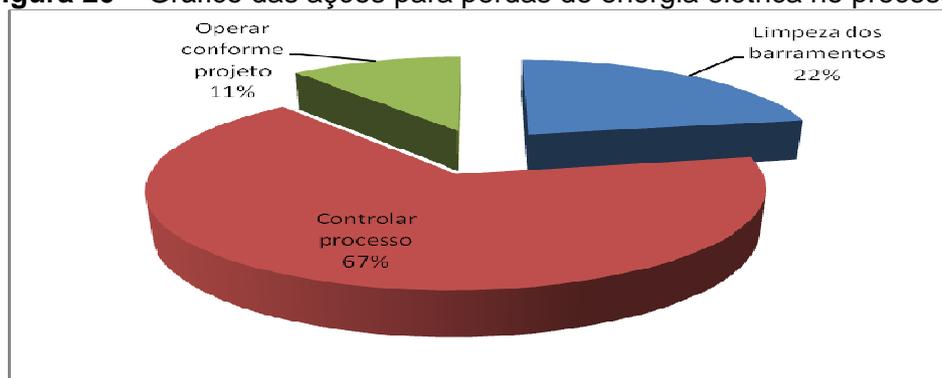
Os maquinários foram apontados pela pesquisa como a principal fonte, sendo também a que recebeu o maior número de ações propostas pelos entrevistados (Figura 19), as porcentagens das ações em ordem decrescente são: estruturar uma gestão para manutenção dos equipamentos (30,0%), desligamento dos equipamentos quando eles não estiverem em processos produtivos (23,0%), adotar motores eficientes eletricamente (14,0%), automação dos equipamentos (14,0%) para que desliguem quando estiver sem carga, parametrização dos equipamentos (12,0%) para que estes operem com a potência necessária para a carga produtiva e outros (7,0%).

Figura 19 – Gráfico das ações para perdas de energia elétrica em maquinários.



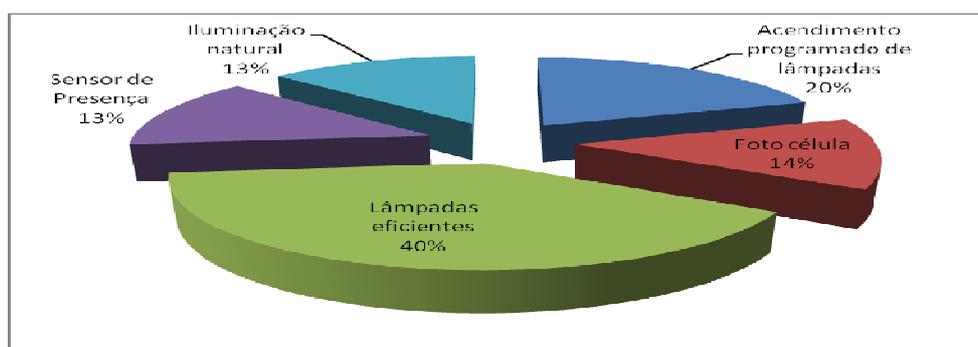
No que diz respeito à redução de energia elétrica na planta, as ações propostas e seus respectivos percentuais foram: controlar o processo (67,0%), evitando aquecimento das placas de cobre e fuga de corrente; realizar limpeza dos barramentos (22,0%), evitando mal contato das placas de cobre e fuga de corrente; e operar instalações conforme projeto (11,0%), evitando sobre carga nos equipamentos e aumento do seu consumo de energia elétrica (Figura 20).

Figura 20 – Gráfico das ações para perdas de energia elétrica no processo.



Nas instalações, o terceiro item com maior potencial para implementação de ações propostas pelos entrevistados (Figura 21), os resultados se apresentaram da seguinte forma: utilizar lâmpadas eficientes (40,0%); implantar dispositivos para acendimento e desligamento programado das lâmpadas (20,0%), evitando que dependam de ações humanas para seu desligamento; fazer uso de foto células (14,0%) para evitar luzes acesas durante o dia; instalar sensor para presença de pessoas (13,0%), evitando luzes acesas em locais que momentaneamente não estão sendo ocupados; e aproveitar iluminação natural (solar) onde e quando possível (13,0%).

Figura 21 – Gráfico das ações para perdas de energia elétrica nas instalações.

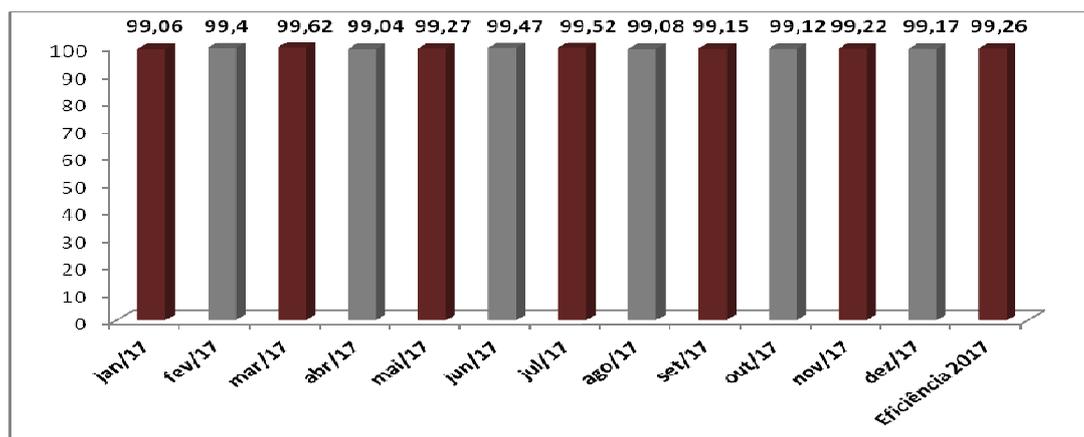


4.1.1. Matriz SWOT do consumo de energia na planta de eletrólise

Para discussão dos resultados deste trabalho foi elaborada também uma matriz SWOT energética a partir do que foi encontrado na revisão da literatura, das observações nas instalações e nos equipamentos, da consulta aos relatórios de acompanhamento do processo, das conversas informais e das entrevistas com os colaboradores.

Organizando as respostas e algumas situações de perdas energéticas observadas em campo, foi possível identificar as forças, as fraquezas, as oportunidades e as ameaças relacionadas ao processo de refino de cobre. Estas características podem contribuir com o direcionamento de esforços e recursos no intuito de alcançar a eficiência de energia elétrica na planta, semelhante à abordagem metodológica desenvolvida por Posch *et al.* (2015). Esses quatro aspectos são apresentados a seguir:

- a) Forças (*strengths*) – A área mais intensa energeticamente se encontra operando com alto desempenho em eficiência elétrica. Essa eficiência vem aumentando gradativamente ao longo dos três últimos anos e atualmente possui uma margem de 99,26%, conforme a Figura 22. Cabe ressaltar que algumas das possibilidades apresentadas pela literatura já se encontram implantadas nessa fase do processo e as oportunidades existentes exigirão mudanças e investimentos consideráveis no leiaute de disposição das placas de ânodo, para adquirir um pequeno índice de economia no consumo de energia do processo, podendo ser considerada inviável uma intervenção neste momento.

Figura 22 – Gráfico da eficiência elétrica no processo eletrólise.

Fonte: Cirne (2014).

A Figura 22 exibe a eficiência de corrente da eletrólise, parte de uma das leis do físico Faraday, que, de acordo com Wraith *et al.* (2013) é de comum aplicação em processos eletro metalúrgicos, mensurando a proporção do metal transferido com a energia aplicada. No processo da eletrólise, de acordo com o manual de treinamento para operadores da planta, esta lei é aplicada para mensurar a eficiência de corrente por meio de uma relação entre a produção real de cátodo e sua produção teórica. Analisando a média da eficiência de corrente no ano de 2017 (99,26%) é possível afirmar que houve uma ineficiência de corrente de 0,74%. Considerando que a eletrólise no ano de 2017 obteve uma despesa de R\$ 13.449.000,00, a respectiva ineficiência custou um valor de R\$ 99.523,00.

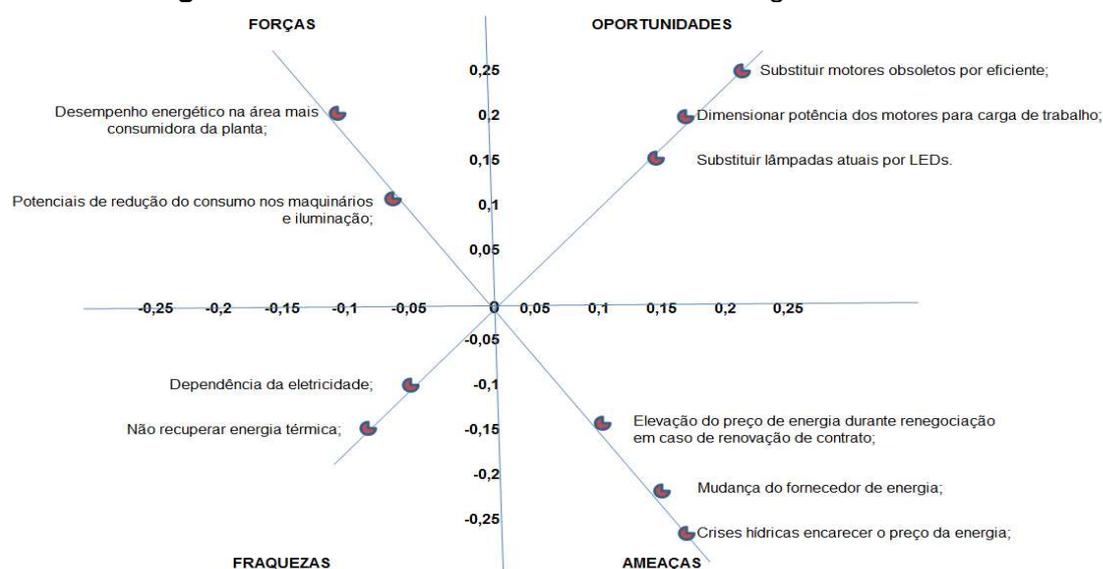
- b) Fraquezas (*weaknesses*) – O processo utilizado para o refino de cobre é intensivo no consumo de energia elétrica e altamente dependente desta energia, não permitindo o uso das energias térmica, eólica, solar ou outras alternativas. Ao menos que estas, antes de serem utilizadas, sejam transformadas em elétrica.
- c) Oportunidades (*opportunities*) – Durante as observações de campo e a condução das entrevistas nos colaboradores foram identificadas várias oportunidades relacionadas aos maquinários e à iluminação, desde a aplicação de tecnologias de baixo custo até um simples desligamento desses equipamentos nos momentos ociosos. Em

adição, destacam-se também como oportunidades: a substituição de motores e lâmpadas de baixa eficiência, o dimensionamento de potência para cargas de trabalho; a melhoria da gestão da manutenção da planta; e a automatização das luminárias e dos motores para ligarem e desligarem apenas quando for necessário.

- d) Ameaças (*threats*) - O fornecimento de energia elétrica atualmente é realizado pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), em um valor bastante satisfatório em função da quantidade e do período de utilização (horário de pico). Mudanças de fornecedor e/ou contrato, previstas para o ano de 2032, podem onerar significativamente o valor do fornecimento.

Como forma de apontar as forças, fraquezas, ameaças e oportunidades no consumo de energia da planta, foi traçada a sua matriz SWOT (Figura 23).

Figura 23 – Matriz SWOT do consumo de energia da eletrólise.



Fonte: Adaptado de Posch *et al.* (2015).

4.1.2. Resultados quantitativos da pesquisa

Para demonstrar os resultados quantitativos da pesquisa foram utilizadas duas oportunidades de redução de consumo de energia elétrica, apontadas pela pesquisa bibliográfica e de campo, sendo elas: a troca dos motores e a substituição das luminárias, realizando um simulado de viabilidade econômica.

Para esta etapa do estudo foi selecionada a maior área da planta (área 560), onde se concentra o maior número de motores e luminárias. A análise de viabilidade econômica foi realizada com 36 motores de potência a partir de 1 Cavalo-Vapor (CV), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Inventário de motores da área 560 – eletrólise.

INVENTÁRIO DE MOTORES DA ELETROLISE - ÁREA 560.						
ITEM	TAG	FABRICANTE	CARÇAÇA	POTÊNCIA	TENSÃO	POLOS
1	MB-560-05	WEG	132M	15-CV	440	4
2	MB-560-06	SIMENS	132M	15-CV	440	4
3	MB-560-10	VOGES	132M4	15-CV	440	4
4	MB-560-11	WEG	132m/l	10-CV	440	4
5	PR-560-01EL1V	WEG	PH3180	1-CV	440	4
6	PR-560-01EL2V	WEG	PH3180	1-CV	440	4
7	PR-560-01EL1	WEG	250S/M	75-CV	440	6
8	PR-560-01EL2	WEG	250S/M	75-CV	440	6
9	PR-560-01TR	WEG	200L	30-CV	440	6
10	PR-560-01TR	WEG	200L	30-CV	440	6
11	PR-560-01-TRC	WEG	132M	7,5-CV	440	6
12	PR-560-01TRC	WEG	132M	7,5-CV	440	6
13	PR-560-02EL1V	WEG	PH3180	1-CV	440	4
14	PR-560-02EL2V	WEG	PH3180	1-CV	440	4
15	PR-560-02EL1	WEG	250S/M	75-CV	440	6
16	PR-560-02EL2	WEG	250S/M	75-CV	440	6
17	PR-560-02TR	WEG	200L	30-CV	440	6
18	PR-560-02TR	WEG	200L	30-CV	440	6
19	PR-560-02TRC	WEG	132M	7,5-CV	440	6
20	PR-560-02TRC	WEG	132M	7,5-CV	440	6
21	PR-560-03EL1V	WEG	PH3180	1-CV	440	4
22	PR-560-03EL2V	WEG	PH3180	1-CV	440	4
23	PR-560-03EL01	WEG	250S/M	75-CV	440	6
24	PR-560-03EL02	WEG	250S/M	75-CV	440	6
25	PR-560-03TR	WEG	200L	30-CV	440	6
26	PR-560-03TR	WEG	200L	30-CV	440	6
27	PR-560-03TRC	WEG	132M	7,5-CV	440	6
28	PR-560-03TRC	WEG	132M	7,5-CV	440	6
29	PR-560-04EL1V	WEG	PH3180	1-CV	440	4
30	PR-560-04EL2V	WEG	PH3180	1-CV	440	4
31	PR-560-04EL01	WEG	250S/M	75-CV	440	6
32	PR-560-04EL02	WEG	250S/M	75-CV	440	6
33	PR-560-04TR	WEG	200L	30-CV	440	6
34	PR-560-04TR	WEG	200L	30-CV	440	6
35	PR-560-04TRC	WEG	132M	7,5-CV	440	6
36	PR-560-04TRC	WEG	132M	7,5-CV	440	6

Fonte: Banco de dados do departamento de manutenção (2017).

Utilizando o simulador de viabilidade econômica disponível no *site* da WEG Motores (2018), que possui um programa de fomento à substituição de motores à base de trocas, e os dados da Tabela 1, foi realizado pelo autor a simulação de substituição de motores na área 560 (Tabela 2). Para tanto, utilizaram-se as

seguintes aproximações: os motores têm uma idade média de quinze anos; foram rebobinados no máximo duas vezes; e operam com uma carga máxima de 90%, 350 dias por ano e 24 horas por dia. Além disso, considerou-se que os novos motores seriam adquiridos com recursos próprios.

Tabela 2 – Resultado de simulação de substituição de motores na área 560.

TAG	Potência Instalada	Polos	Carcaça	Economia (kwh/ano)	Economia (%)	Payback (Meses)
WEG / SIEMENS / VOGES 132 M	15.0	4	132M/L	21000,59	7,19 %	34
WEG 200 L	30.0	6	200L	108161,17	7,07 %	61
WEG 132	75.0	6	250S/M	148624,21	4,06 %	85
WEG 132 M	1.0	4	80	599,73	8,02 %	91
WEG 132 M	7.5	6	132M	29816,34	7,41 %	61
WEG 132 m/l	10.0	4	132S	4794,48	7,21 %	42

Fonte: WEG Motores (2018)

O relatório gerado pela WEG Motores (2018), disponibilizado no Anexo 2, apresenta o resultado detalhado da viabilidade econômica da substituição dos 36 motores, implicando em um investimento total de R\$ 397.991,88, dos quais R\$ 350.232,85 seriam pagos pela companhia e o valor de R\$ 47.759,03 é a contrapartida paga pela WEG motores pela compra dos motores antigos. De acordo com o simulador de viabilidade econômica, esta substituição tem um potencial de economizar 5,25% de energia, sendo equivalente a 312.996,52 KWh/ano e resultando em um *payback* de 5,89 anos, uma taxa interna de retorno de 12,57% e um valor presente líquido de –R\$ 5.185,75.

Nesse caso, a análise do *payback* simples não é a mais recomendada visto que deve ser considerado que o valor investido nesse projeto poderia ser investido de outra forma e o possível rendimento deve ser abatido na receita anual trazida pelo projeto. Para este modelo de análise é necessário calcular o *payback* descontado, que representa o tempo necessário para recuperação do investimento (CALDAS, 2017). Para este cálculo foi considerado um investimento inicial de R\$ 350.232,85 e uma receita anual ou fluxo de caixa de R\$ 59.649,34, que será considerado fixo visto que não haverá alteração na tarifa de energia até o ano de 2032. O modelo matemático que será utilizado no

cálculo do *payback* descontado envolve o cálculo dos juros compostos a uma taxa de 5,0% ao ano, chegando ao resultado de 8,0 anos, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – *Payback* descontado da substituição de motores na área 560.

Investimento inicial (Motores)			
Período (ano)	Fluxo	Fluxo descontado	Saldo
Ano 00	R\$ 350.232,85	R\$ 350.232,85	R\$ 350.232,85
Ano 01	R\$ 59.469,34	R\$ 41.957,70	R\$ 308.275,15
Ano 02	R\$ 59.469,34	R\$ 44.055,58	R\$ 264.219,57
Ano 03	R\$ 59.469,34	R\$ 46.258,36	R\$ 217.961,21
Ano 04	R\$ 59.469,34	R\$ 48.571,28	R\$ 169.389,93
Ano 05	R\$ 59.469,34	R\$ 50.999,84	R\$ 118.390,09
Ano 06	R\$ 59.469,34	R\$ 53.549,84	R\$ 64.840,25
Ano 07	R\$ 59.469,34	R\$ 56.227,33	R\$ 8.612,92
Ano 08	R\$ 59.469,34	R\$ 59.038,69	-R\$ 50.425,77
PAYBACK	Aproximadamente 8,0		

Na análise da viabilidade econômica das luminárias, realizou-se um comparativo de custos entre a utilização de luminárias de vapor metálico e a utilização de luminárias LED. A análise quantitativa também foi realizada na área 560, considerando que ela possui o maior número de luminárias distribuídas, em uma quantidade aproximada de 220 e que estas luminárias permanecem acesas 24 horas por dia, sendo demonstrada na Figura 10. Utilizou-se como parâmetro para os cálculos de ganhos com eficiência e vida útil das lâmpadas o período de 11 anos (equivalente a 4.015 dias), sendo esta a vida útil da lâmpada LED, de acordo com a especificação do fornecedor Conexled (2018). Com base nessas informações, realizou-se a avaliação econômica para verificar os ganhos referentes à substituição de lâmpadas de vapor metálico por LEDs, nos quesitos do valor de aquisição e redução da tarifa de energia em função da eficiência energética apresentada por cada tipo de lâmpada.

Na avaliação da eficiência energética de cada lâmpada considerou-se um período de utilização em 11 anos, com o valor da tarifa elétrica de

0,19 R\$/KWatts. O consumo das luminárias em uma tensão de 220 Volts mostrou que a luminária de vapor metálico apresentou uma corrente de 3,5 amperes, representando uma potência de 400 Watts (0,4 KWatts), enquanto a luminária de LED apresentou uma corrente de 1,2 ampere, representando um consumo de 270 Watts (0,27 KWatts).

Com base nesses dados foram gerados os valores na Tabela 4, demonstrando uma economia anual na tarifa da energia igual a R\$ 47.601,84.

Tabela 4 – Economia na conta de energia em 11 anos em função da eficiência da lâmpada.

Economia com despesas na conta de energia em 11 anos (em função da eficiência da lâmpada)						
Tipo da lâmpada	Quant. Wats	Quant. horas/dia	Quant. dias (11 anos)	Quant. luminárias	Preço da tarifa	Despesa com consumo
Vapor metálico	0,4	24	4015	220	R\$ 0,19	R\$ 1.611.139,20
LED	0,27	24	4015	220	R\$ 0,19	R\$ 1.087.518,96
Economia em 11 anos						R\$ 523.620,24
Economia anual						R\$ 47.601,84

A segunda análise das luminárias se refere à economia realizada na aquisição, levando em consideração o tempo de vida útil de cada uma das lâmpadas. A Tabela 5 apresenta os preços dos dois tipos de lâmpada. O preço da lâmpada de valor metálico inclui o reator, o refletor e a lâmpada.

Tabela 5 – Preço das luminárias utilizadas na Companhia.

Tipo da lâmpada	Valor unitário
Vapor metálico	R\$ 520,13
Lâmpada de LED	R\$ 1.500,00

Fonte: Adaptada de Software de Gestão de Compras (SAP, 2018)

Para essa análise quantitativa, considera-se um projeto de substituição imediata de todas as 220 luminárias. Neste caso, a Tabela 6 apresenta os valores do investimento inicial para os dois tipos de luminárias, considerando a utilização da mão-de-obra interna no serviço de instalação.

Tabela 6 – Investimento inicial para os dois tipos de lâmpadas em análise.

Investimento inicial			
Tipo da lâmpada	Valor unitário	Quantidade	Despesa de aquisição
Vapor metálico	R\$ 520,13	220	R\$ 114.428,60
Lâmpada de LED	R\$ 1.500,00	220	R\$ 330.000,00

O período de 11 anos também foi considerado para demonstrar quantas vezes as lâmpadas de vapor metálico necessitariam de substituição (Tabela 7). Com isso, demonstrou-se que após os respectivos investimentos iniciais a luminária de vapor metálico exigiria a substituição da lâmpada 8 vezes enquanto as luminárias de LED não exigiriam nenhuma substituição. De acordo com a especificação da luminária analisada, fornecida pela empresa Conexled, as lâmpadas de vapor possuem vida útil de 12.000 horas, em contraste, as lâmpadas LED possuem vida útil igual a 100.000 horas. Com base nesses dados, a Tabela 7 mostra a possível economia anual de R\$ 8.856,00 para as luminárias LED, em função da sua maior vida útil.

Tabela 7 - Economia na substituição de luminárias por LED em função da vida útil.

Tipo da lâmpada	Período de substituição	quant. de substituição no período	Quant. de lâmpadas substituídas	Preço unit. lâmpada de LED	Despesas em 11 anos
Vapor	11	8	220	R\$ 55,35	R\$ 97.416,00
LED	11	0	0	0,00	R\$ -
Economia em 11 anos (R\$ 97.416,00 - R\$ 0,00)					R\$ 97.416,00
Economia anual					R\$ 8.856,00

Com os valores resultantes da economia anual referente à aquisição de luminárias LED e sua eficiência, demonstrada na Tabela 8, calcula-se uma economia anual de R\$ 56.457,84.

Tabela 8 - Economia na substituição de luminárias por LED e conta de energia em 11 anos.

Tipo da economia/ano	Valor r\$
Aquisição de lâmpada	R\$ 8.856,00
Eficiência da lâmpada	R\$ 47.601,84
Economia anual	R\$ 56.457,84

A partir da economia anual de R\$ 56.457,84, sendo este valor uma receita fixa em função do congelamento da tarifa até o ano de 2032, torna-se possível computar o *payback* descontado, também considerando uma taxa de juros de 5,0% ao ano (Tabela 9).

Tabela 9 – *Payback* descontado da substituição das luminárias na área 560.

Investimento inicial (Luminárias)			
Período (ano)	Fluxo	Fluxo descontado	Saldo
Ano 00	-R\$ 330.000,00	-R\$ 330.000,00	R\$ 330.000,00
Ano 01	R\$ 56.457,84	R\$ 39.957,84	R\$ 290.042,16
Ano 02	R\$ 56.457,84	R\$ 41.955,73	R\$ 248.086,43
Ano 03	R\$ 56.457,84	R\$ 44.053,52	R\$ 204.032,91
Ano 04	R\$ 56.457,84	R\$ 46.256,19	R\$ 157.776,71
Ano 05	R\$ 56.457,84	R\$ 48.569,00	R\$ 109.207,71
Ano 06	R\$ 56.457,84	R\$ 50.997,45	R\$ 58.210,26
Ano 07	R\$ 56.457,84	R\$ 53.547,33	R\$ 4.662,93
Ano 08	R\$ 56.457,84	R\$ 56.224,69	-R\$ 51.561,76
PAYBACK	Aproximadamente 8,1		

De acordo com Rêgo (2006), o *payback* demonstra o retorno do investimento aplicado no projeto e é o indicador mais utilizado para avaliar a viabilidade econômica de projetos voltados para eficiência energética (NEUNAN; LAVELLE, 2000 *apud* SOUZA *et al.*, 2017).

4.2 Discussão dos resultados

Inicialmente, este trabalho abordou conceitos, teorias e aplicações no campo de pesquisa da eficiência energética, defendidas por estudiosos de diversos países, com experiências nas áreas industriais e em diferentes processos de fabricação. A pesquisa de campo serviu de suporte e confirmação da revisão teórica, também por ter envolvido entrevistados com especialidades diversas. Essa diversidade de conhecimento foi satisfatória e relevante haja vista que contribuiu para uma visão macro das oportunidades e dos meios de reduzir o consumo de energia elétrica da planta de refino de cobre por eletrólise. Outros aspectos satisfatórios desta pesquisa foram as possibilidades e os custos para implantação de grande parte das soluções propostas, pois, as lâmpadas e os motores eficientes podem ser substituídos de acordo com surgimento de novas demandas. A implantação das tecnologias de sensores e dispositivos de automação possui um custo relativamente baixo e é facilmente operacionalizada, reduzindo ainda mais as despesas iniciais, sendo estas uma das principais barreiras para implantação de ações para usufruto dos benefícios da eficiência energética.

O resultado da pesquisa levantou também algumas oportunidades de redução do consumo de energia elétrica somente mediante desligamento de máquinas, equipamentos e motores nos momentos ociosos da produção, o que pode ser alcançado por meio de treinamentos para educação, conscientização e disciplina dos colaboradores.

Os diversos perfis e especialidades dos entrevistados contribuíram com a identificação das perdas potenciais mais relevantes e com o levantamento das propostas de ações para minimizá-las ou eliminá-las. Também foi possível perceber que cada especialidade identificada (operação, elétrica, instrumentação e mecânica) influencia no tipo e na quantidade das possíveis perdas potenciais e das ações. Conforme a Figura 13, a maioria dos entrevistados (35,0%) possui especialidade na área elétrica e, de acordo com a Figura 14, as fontes potenciais mais citadas foram os maquinários (motores) e as instalações (iluminação). Diante do exposto, acredita-se que uma falta de distribuição uniforme nas especialidades dos entrevistados pode ter influenciado no percentual das fontes potenciais de perdas e nas suas

respectivas ações. Analogamente, nota-se que a especialidade operação, representada por 32,0% dos entrevistados, apontou como potencial de perda a fonte comportamento humano, sendo uma tendência já que estes realmente operam equipamentos movidos à eletricidade e fazem uso dessa energia nos seus postos de trabalho. Desse modo, acredita-se que somente essa especialidade se relaciona diretamente com a fonte comportamento humano. Isso possivelmente contribuiu para o baixo percentual sobre esse fator (5,0%), conforme a Figura 14.

A análise das principais oportunidades encontradas durante as entrevistas aponta principalmente para os maquinários (motores) e para as instalações (iluminação). Para os maquinários, apresentaram-se algumas oportunidades voltadas aos motores, a saber: sobredimensionamento, baixa eficiência elétrica e motores trabalhando com baixa ou mesmo sem nenhuma carga. Confrontando as respostas dos entrevistados e os resultados encontrados na literatura referentes às medidas propostas para minimizar tais perdas, percebe-se haver coerência nas propostas para minimizar perdas entre duas fontes distintas: a necessidade do uso de lâmpadas de LED (BOGATISHCHEV, 2014; POLZIN *et al.*, 2016) e as propostas de substituição de motores obsoletos por motores eletricamente eficientes, além das suas parametrizações (FERREIRA; ALMEIDA, 2012; SAIDUR, 2010; SVENSSON; PARAMONOVA, 2017).

As discussões deste estudo também abrangem oportunidades e ações para obtenção da eficiência elétrica no processo, no entanto, estas medidas, baseadas na pesquisa de campo, na consulta a procedimentos operacionais e nos estudos de Wiechmann *et al.* (2010), já foram implantadas na planta, permitindo ao processo uma otimização de energia elétrica gradativa nos últimos anos, atingindo atualmente uma eficiência de 99,15% no processo de eletrólise, conforme Figura 22.

Para uma maior contribuição, além de reforçar as ações anteriormente descritas como resultados das entrevistas, propõem-se medidas integradas nos seguintes aspectos:

- a) **Política energética** – Elaboração, aprovação e divulgação de uma política energética focada nos principais pilares que podem causar a redução do consumo de energia elétrica em todos os segmentos do

negócio (administração, operacional e manutenção), de forma que esta política seja entendida e cumprida por todos que acessem a planta, incluindo colaboradores diretos e indiretos. Da mesma maneira como é tratada a política de Qualidade, Segurança, Meio Ambiente e Saúde (QSMS).

- b) **Suprimentos** – Realização de uma revisão nos procedimentos de suprimentos para as aquisições de máquinas, equipamentos, motores, lâmpadas e outros que consumam energia elétrica, considerando como critério relevante a aquisição de produtos de alta performance em eficiência energética.
- c) **Implantação de ações** – Baseado nos resultados deste estudo, triagem das ações de redução do consumo de energia mais viáveis, priorizando as que possuem os menores custos iniciais. Após estas implantações, devem ser realizados os acompanhamentos das possíveis reduções de energia elétrica e dos custos em valores monetários. Certamente, os resultados positivos fomentarão e justificarão maiores investimentos em novos projetos, para eficiência elétrica.
- d) **Comitê de eficiência elétrica** – Criação de um comitê interno e multidisciplinar, cujos membros além de realizar suas atividades regulares, se reúnam periodicamente, inicialmente com um plano de trabalho elaborado a partir desta pesquisa que seria retroalimentado por pesquisas futuras destes membros e outras oportunidades que surjam. Este comitê poderá ainda acompanhar e divulgar os indicadores dos resultados das ações citadas anteriormente.
- e) **Envolvimento das pessoas** – Esta é a ação com maior potencial para alcançar bons resultados em eficiência energética. Inicialmente, propõe-se uma mobilização na planta industrial por meio de capacitações para conscientização relacionadas à responsabilidade e à contribuição de cada um dos colaboradores na sustentabilidade

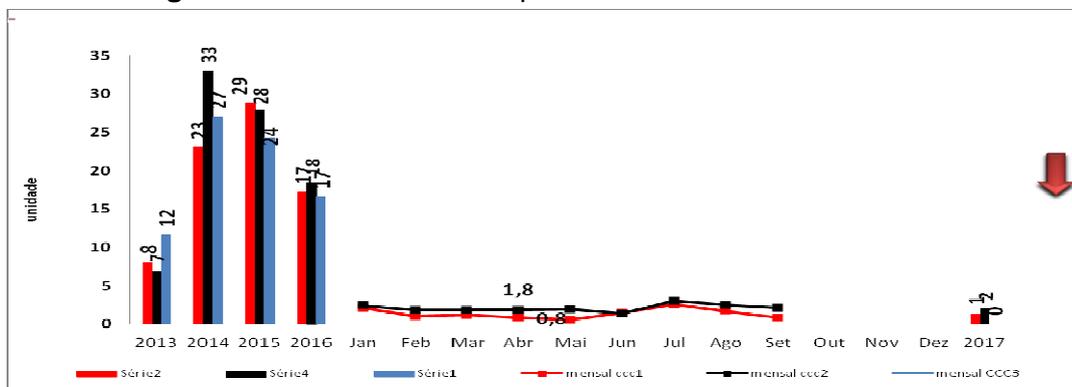
da companhia, quando estes operam uma máquina e/ou executam outras atividades no seu posto de trabalho. Para envolver os colaboradores propõe-se a criação de um programa chamado “pro energia”. Este programa pode ser também a extensão do “pro ideia” (programa já existente), sendo que o “pro energia” é especificamente voltado para a eficiência energética.

- f) **Manutenção** – Manutenção na planta não apenas com o objetivo de garantir a produção, mais também com foco em eficiência energética, dimensionando motores compatíveis para a carga de trabalho, identificando e eliminando vazamentos de ar comprimido. Além disso, deve-se, principalmente, atuar preventivamente para evitar paradas de manutenção não programadas na planta; o que causaria perda de produção com retrabalho e aumento no consumo de energia, assim como a retomada da planta, a qual é apontada como uma operação que requer grande consumo de energia elétrica. De acordo com Beukes e Badenhorst (2009), o aumento da disponibilidade da planta pode ser alcançado por meio de um bom nível de capacitação e experiência do seu pessoal de manutenção e operação.
- g) **Auditoria energética** – Como proposta final, após a implantação e adoção das medidas supracitadas, sugere-se a realização de uma auditoria energética por um consultor especialista, capaz enxergar novas possibilidades de obtenção da eficiência energética na planta e propor ações diferentes das que foram levantadas neste estudo.

A Figura 20 aponta a realização do controle dos processos como principal ação para maximizar a eficiência energética, entretanto, este já se encontra com um bom nível de acompanhamento, sendo possível perceber um pequeno percentual de 0,12 para curto-circuito, um dos desvios no processo que leva a perda de energia elétrica (Figura 24). De acordo com Aqueveque *et al.* (2009), o curto-circuito ocorre quando a corrente não está bem distribuída entre as

placas e a transferência de cobre acaba se concentrando em uma mesma área e formando nódulos na placa de cátodo.

Figura 24 – Gráfico de acompanhamento dos curtos circuitos.



Fonte: Cirne (2017).

As Figuras 22 e 24 demonstram o nível de eficiência e reforçando que o processo está otimizado quanto ao consumo de energia elétrica. A Figura 3 propõe uma alteração no formato das orelhas do ânodo para um melhor contato com os barramentos, todavia, para isto são necessárias adequações estruturais na planta onde se molda o ânodo, necessitando um estudo de viabilidade técnica e econômica mais aprofundado. Acrescentando, conforme Aragón et al. (2013), mudança em tecnologia tradicional pela convencional, necessita de maiores investimentos e maior demanda de tempo para sua implementação. Diante desse contexto, não se recomenda direcionar recursos em médios ou grandes projetos para obtenção de eficiência elétrica no processo eletrólise.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, restaram como fontes potenciais os maquinários, com foco nos motores, e as instalações, principalmente à iluminação. Em adição, foram sugeridas ações para eliminação das fontes identificadas, podendo citar algumas para os maquinários, tais como: a substituição de motores por outros de maiores desempenhos, o dimensionamento adequado à carga de trabalho e a automatização destes para o desligamento automático quando seus respectivos equipamentos não estiverem processando carga. Como ações para eliminar as perdas na iluminação, tem-se: a substituição de luminárias de vapor metálico por luminárias LED, a instalação de sensores de iluminação em locais com a presença esporádica de pessoas, o mapeamento dos locais e a viabilização do uso da iluminação natural quando e onde for possível.

A parte quantitativa deste estudo se concentrou na área 560 e apontou ganhos significativos na substituição dos motores atuais por motores mais eficientes eletricamente, podendo gerar ainda um desconto na aquisição, se esta envolver a troca pelos motores antigos. A viabilidade técnica referente aos motores apontou a necessidade de um investimento inicial de R\$ 350.232,85, com um *payback* descontado de 8,0 anos. Com o estudo da viabilidade das luminárias, identificaram-se ganhos na substituição das luminárias LED, referentes ao seu tempo de vida útil e sua eficiência elétrica, tendo como investimento inicial R\$ 330.000,00 e um *payback* descontado de 8,1 anos. Apesar dos *paybacks* apontados no estudo das luminárias e motores, não ser atrativos aos atualmente aprovados pela companhia, que diante do cenário econômico atual, utiliza o *payback* de no máximo dois anos, em uma tomada de decisão para implantação de projetos de eficiência energética se deve considerar também os ganhos chamados não energéticos, sendo aqueles que não são vistos diretamente em valores monetários, mas que se apresentam na forma de ganhos de produção, redução de impactos ambientais, imagem da organização, dentre outros. Diante do exposto, recomenda-se então levar em consideração que a organização se mostra longa no seu negócio, por estar em operação por um período de 38 anos. E que a próxima revisão de contrato

de tarifação de energia elétrica está prevista acontecer somente no ano de 2032. Logo é possível afirmar que com um payback de 08 anos contando a partir do período atual (ano 2018) até chegar a revisão do contrato da tarifação elétrica, há tempo suficiente para o retorno do investimento, e mais um período aproximado de 06 anos, usufruindo das receitas originadas apenas das ações de substituição de motores e luminárias, utilizadas na planta estudada. Finalmente, estruturando e aplicando as recomendações por meio do envolvimento e do engajamento da alta direção da planta e de todos os seus colaboradores, acredita-se que em médio prazo será possível observar os primeiros resultados obtidos na redução do consumo de energia elétrica. Espera-se que a planta em estudo se torne um modelo para que outras, dentro da metalurgia, adotem essa mesma política. À luz disso, ressalta-se que já se percebe que a companhia entende que a eficiência energética é uma das melhores estratégias para sustentabilidade do negócio. Sendo assim, este trabalho atendeu ao proposto nos seus objetivos geral e específicos quando identificou potenciais de redução do consumo de energia, propôs ações de eliminação de perdas, analisou a viabilidade econômica das principais possibilidades identificadas e gerou informações para embasar a gestão da planta em uma tomada de decisão.

5.1 Contribuições

Na vivência de uma insegurança energética e dos impactos ambientais trazidos pela geração de energia elétrica, os resultados desse estudo trazem motivações evidentes para que a organização repense seu consumo de energia e realize investimentos em eficiência, fomentando então menores impactos ambientais e maior sustentabilidade do seu negócio, visto que a energia elétrica é um insumo essencial para seu processo e para o segmento que a mesma está inserida, garantindo a geração de empregos e o desenvolvimento econômico das comunidades vizinhas.

5.2 Impactos da pesquisa

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa foi possível perceber a importância do tema estudado, assim como os seus impactos para o mundo acadêmico, para o meio ambiente e para a sociedade. No contexto acadêmico, salienta-se como impacto um novo registro de fontes potenciais de perdas de energia elétrica e possíveis ações para evitá-las, embasando então futuros estudos.

No contexto ambiental, o estudo deixa relatos de alguns impactos negativos causados pela geração de energia, como a poluição atmosférica e o consumo irracional dos recursos naturais. Em relação ao Brasil, que possui como principal matriz energética a hídrica, e nos últimos anos tem passado por uma séria crise, este tipo de estudo desperta a grande relevância do tema eficiência energética.

5.3 Atividades Futuras de Pesquisa

Após a pesquisa de campo e a avaliação dos resultados das possibilidades de redução do consumo de energia elétrica, sugere-se como possibilidade de atividade futura um estudo visando o acompanhamento das ações implantadas, de forma que se possa ser levantado seus custos iniciais, a real quantidade de energia reduzida em função das implantações ou mesmo mudanças de comportamento dos trabalhadores da planta, assim como o tempo de retorno dos respectivos investimentos. Assim, busca-se preencher uma das lacunas (limitações) citadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 50001:** Sistemas de gestão da energia — Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2011.

ALDONA, K.; OLSZEWSKI, P. Energy audits in industrial processes. **Journal of Cleaner Production**, n. 142, p, 3437–3453, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Competências da ANEEL**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/competencias>>. Acesso em: 10 maio 2017.

AQUEVEQUE, P.; WIECHMANN, E. P.; BURGOS, R. P. Short-Circuit Detection for Electrolytic Processes Employing Optibar Intercell Bars. **IEEE transactions on industry applications**, v. 45, n. 4, p. 1225-1231, 2009.

ARAGÓN, C. S.; PAMPLONA, E.; MEDINA, J. R. V. Identificação de investimentos em eficiência energética e sua avaliação de risco. **Gestão da Produção**, v. 20, n. 3, p. 525-536, 2013.

BALLANTYNE, G. R.; POWELL, M. S. Benchmarking comminution energy consumption for the processing of copper and gold ores. **Minerals Engineering**, n. 65, p. 109-114, 2014.

BEUKES, N. T.; BADENHORST, J. Copper electrowinning: theoretical and practical design. In: HYDROMETALLURGY CONFERENCE, 5., 2009, Johannesburg, South Africa. **Anais...** Johannesburg: The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2009.

BLASS, V.; CORBETT, C. J.; DELMAS, M. A.; MUTHULINGAM, S. Top management and the adoption of energy efficiency practices: Evidence from small and medium-sized manufacturing firms in the US. **Energy**, v. 65, p. 560-

571, 2014.

BOGATISHCHEV, V. Improving the effectiveness of industrial lighting. **Metallurgist**, v. 58, n. 5, p. 454-458, 2014.

BOHARB, A.; ALLOUHI, A.; SAIDUR, R.; KOUSKSOU, T.; JAMIL, A. Energy conservation potential of an energy audit within the pulp and paper industry in Morocco. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 569-581, 2017.

BUNSE, K.; VODICKA M.; SCHÖNSLEBEN, P; BRÜLHART, M.; ERNST, F. O. Integrating energy efficiency performance in production management - gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6-7, p. 667–679, 2011.

BURACICA, V.; TOMŠIĆ, Z. Energy efficiency policy evaluation by moving from techno-economic towards whole society perspective on energy efficiency market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 968-975 2016.

CAGNO, E.; WORRELL, E.; TRIANNI A.; PUGLIESE, G. A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 290-308, 2013.

CALDAS, T. P. **Modelo de simulação e análise de implantação da geração fotovoltaica nas instalações de um centro de pesquisa: Uma abordagem segundo a RN No 687/2015**. 2017. f 133 (Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial) – Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2017.

CANDIANI, G.; PENTEADO, C. L. C.; CENDRETTI, E. C.; SANTOS, E. M. D.; BIONDI, A. E. Estudo de caso: aspectos socioambientais da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) - Queluz-SP, na bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v. 25, p. 98-119, 2013.

CIRNE, C. V. H. **Manual de treinamento para novos operadores da eletrólise**. 4ª rev., p. 1-27, 2014.

CONEXLED. **Especificações CLG-J300**. Disponível em: <<https://www.conexled.com.br/clg-j300/>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

CUNHA, C. P.; ANJOS, J. Â. S. A. Análise da matriz energética nuclear mundial e brasileira antes e após o acidente na central nuclear de Fukushima, Japão. **Revista eletrônica de energia**, v. 5, n. 2, p. 79-89, 2015.

DEMIRBAS, M.; FEDA, T.; YAVUZ, C. Providing energy efficiency interior lighting of offices and industrial buildings using image processing technique. **Light & Engineering**, v. 23, n. 3, p. 66-72, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015** (ano base 2014). Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica%202015.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

FAVERI, T. A. M.; CASTRO, R. M.; CURI, E. M. Estudo comparativo da eficiência entre métodos sistemáticos empregados na construção de circuitos pneumáticos. **Revista Brasileira de Energia**, v. 23, n. 3, p. 1-32, 2017.

FERREIRA, F. J. T. E.; ALMEIDA, A. T. Induction motor downsizing as a low-cost strategy to save energy. **Journal of Cleaner Production**, v. 24, p. 117-131, 2012.

FERREIRA, A. C. M. B.; FARIA, A. M. M.; RIBEIRO, A. R. Reciclagem de alumínio e estimativa de poupança de energia no Brasil. **Revista Eletrônica de Energia**, v. 4, n. 1, p. 75-88, 2014.

FGV ENERGIA. **Recursos energéticos distribuídos**. Rio de Janeiro, 2016. 106 p. ISSN 2358-5277.

FREITAS, H.; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A. Z.; MOSCAROLA, J. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração**, v. 35, n.3, p. 105-112, 2000.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

HASANBEIGI, A.; LOBSCHIED, A.; LU, H.; PRICE, L.; DAI, Y. Quantifying the co-benefits of energy-efficiency policies: A case study of the cement industry in Shandong Province, China. **Science of the Total Environment**, n. 458–460, p.624–636, 2013.

HILLIARD, A.; JAMIESON, G. A. Representing energy efficiency diagnosis strategies in cognitive work analysis. **Applied Ergonomics**, v. 59, p. 602-611, 2015.

INGARAO, G. Manufacturing strategies for efficiency in energy and resources use: The role of metal shaping processes. **Journal of Cleaner Production**, n. 142, p. 2872-2886, 2017.

KALLIOMÄKI, T.; AROMAA, J.; LUNDSTRÖM, M. Modeling the Effect of Composition and Temperature on the Conductivity of Synthetic Copper Electrorefining Electrolyte. **Minerals**, v. 6, n. 4, p. 1-11, 2016.

KANG, D.; LEE, D. H. Energy and environment efficiency of industry and its productivity effect. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 184-193, 2016.

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

LOS, P.; LUKOMSKA, A.; KOWALSKA, S. **IIMCH Cuuper International Conference, 2013**. Proceedings of Copper. Santiago: The Chilean Institute of Mining Engineers, 2013.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

MIRZA, A.; BURR, M.; ELLIS, T. **IIMCH Cuuper International Conference, 2013**. Proceedings of Copper. Santiago: The Chilean Institute of Mining Engineers, 2013.

NEHLER, T.; RASMUSSEN, J. How do firms consider non-energy benefits? Empirical findings on energy-efficiency investments in Swedish industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 472-482, 2016.

NIU, D.; SONG, Z.; XIAO, X. Electric power substitution for coal in China: Status quo and SWOT analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 70, p. 610–622, 2017.

NORO, M.; LAZZARIN, R. M. Energy audit experiences in foundries. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, p. 409-423, 2016.

PAN, H.; ZHANG, X.; WU, J.; ZHANG, Y.; LIN, L.; YANG, G.; DENG, S.; LI, L.; YU, X.; QI, H.; PENG, H. Sustainability evaluation of a steel production system in China based on energy. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 1498-1509, 2016.

PELLEGRINO, A.; VERSO, V. R. M. L.; BLASO, L.; ACQUAVIVA, A.; PATTI, E.; OSELLO, A. Lighting Control and Monitoring for Energy Efficiency: A Case Study Focused on the Interoperability of Building Management Systems. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 52, n. 3, p. 2627-2637, 2016.

PERRONI, M. G.; COSTA, S. E. G.; LIMA, E. P.; SILVA, W.V. The relationship between enterprise efficiency in resource use and energy efficiency practices adoption. **International Journal of Production Economics**, v. 180, p. 108-119, 2016.

PINTO, Á. B. A. **A gestão da energia com a norma ISO 50001**. 2014. 167f. (Mestrado em Ciências em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

POLZIN, F.; FLOTO, P. V.; NOLDEN, C. Modes of governance for municipal energy efficiency services e the case of LED street lighting in Germany. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 133-145, 2016.

POSCH, A.; BRUDERMANN, T.; BRASCHEL, N.; GABRIEL, M. Strategic energy management in energy-intensive enterprises: a quantitative analysis of relevant factors in the Austrian paper and pulp industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 291-299, 2015.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL. **Sobre o PROCEL: o programa**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD%7D>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

ROBINSON, T. G.; SOLE, K. C.; SANDOVAL, S.; MOATS, M.S; SIEGMUND, A.; KATHRYN; S.; DAVENPORT, W.G. Copper electrowinning - 2013 world operating tankhouse data, (2013).

RUBY, T. M. Innovation-enabling policy and regime transformation towards increased energy efficiency: the case of the circulator pump industry in Europe. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 574-585, 2015.

SAIDUR, R. A review on electrical motors energy use and energy savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 877–898, 2010.

SAP, MM – Material management, (2018).

SHAO, C.; GUAN, Y.; WAN, Z.; CHU, C.; JU, M. Performance analysis of CO2 emissions and energy efficiency of metal industries in China. **Journal of Environmental Management**, v. 134, p. 30-38, 2014.

SHROUF, F.; MIRAGLIOTTA, G. Energy management based on Internet of Things: practices and framework for adoption in production management. **Journal of Cleaner Production**, v. 100, p. 235-246, 2015.

SOARES, G. T. **Sistema de Gerenciamento de energia como ferramenta de eficiência energética na indústria**. 2015. f 116 (Mestrado em Engenharia elétrica/Sistemas de energia elétrica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SOLA, A. V. H.; MOTA, C. M. M. Melhoria da eficiência energética em sistemas motrizes industriais. **Production**, v. 25, n. 3, p. 498-509, 2015.

SOUZA, F. G.; ROCCA, G. A. D.; FERREIRA, F. C. S.; STEFENON, S. F.; ARRUDA, P. Análise de viabilidade econômica da substituição de lâmpadas comuns por econômicas e tecnologia LED em residências. **Revista espacios**, v. 38, n. 51, p. 1-17, 2017.

SVENSSON, A.; PARAMONOVA, S. An analytical model for identifying and addressing energy efficiency improvement opportunities in industrial production systems e Model development and testing experiences from Sweden. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2407-2422, 2017.

TRIANNI, A. CAGNO, E.; WORRELL, E.; PUGLIESE, G. Empirical investigation of energy efficiency barriers in Italian manufacturing SMEs. **Energy**, v. 49, p. 444-458, 2013a.

TRIANNI, A. CAGNO, E.; THOLLANDER, P.; BACKLUND, S. Barriers to industrial energy efficiency in foundries: a European comparison. **Journal of Cleaner Production**, v. 40, p. 161-176, 2013b.

UNIVERSIDADE FEEVALE. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo, 2013. 277 p. ISBN 978-85-7717-158-3.

WEG Motores. **See+**. Disponível em: <<https://www.weg.net/institutional/BR/pt/solutions/energy-efficiency/see-simulator>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

WIECHMANN, E. P.; MORALES, A. S.; AQUEVEQUE, P. Improving Productivity and Energy Efficiency in Copper Electrowinning Plants. **IEEE transactions on industry applications**, v. 46, n. 4, p. 1264-1270, 2010.

WIECHMANN, E. P.; AQUEVEQUE, P.; Vidal, G.; Henriquez, J. Contact System Design to Improve Energy Efficiency in Copper Electrowinning Processes. **IEEE transactions on industry applications**, v. 49, n. 6, p. 24614-2465, 2013.

WRAITH, A. E.; MACKEY, P. J.; JONES, R. II MCH CUUPER INTERNATIONAL CONFERENCE, 2013. Proceedings of Copper. Santiago: The Chilean Institute of Mining Engineers, 2013.

YUSHCHENKO, A.; PATEL, M. K. Contributing to a green energy economy? A macroeconomic analysis of an energy efficiency program operated by a Swiss utility. **Applied Energy**, v. 179, p. 1304–1320, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Formulário aplicado nas entrevistas

 <p>Federação das Indústrias do Estado da Bahia</p>		<p>Formulário de entrevista aplicada na equipe de operação e manutenção de uma refinaria de cobre, como ferramenta no levantamento de dados, para elaboração de dissertação como conclusão de Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial.</p>	
<p>Tema da Dissertação: Eficiência elétrica, como ferramenta de gestão e tomada de decisão para otimização de uma planta industrial de refino de cobre, pelo processo de eletrólise.</p>			
<p>Instituição: Faculdade SENAI CIMATEC.</p>			
<p>Mestrando: Joedes Matos Vaz.</p>			
<p>Orientador: D. Sc. Alex Alisson Bandeira Santos.</p>			
<p>Perfil do entrevistado:</p>			
Colaborador:		Turma:	
Função:		Tempo na função:	
TAG Equipto:		Tempo PMA:	
Data:		Escolaridade:	
Já ouviu falar sobre o tema eficiência energética (EE)?		SIM () NÃO ()	
Qual grau de importância você dar para o assunto EE?		PEQ.() MÉD.() GRANDE()	
Já trabalhou em alguma área onde foi implantado a EE?		SIM () NÃO ()	
<p>Ter EE traz como resultado (s) para Organização:</p>			
<p>Possíveis perdas de energia elétrica no equipamento e ou posto de trabalho da Eletrólise:</p>			
<p>Possíveis ações para evitar a perda de energia no equipamento e ou posto de trabalho da Eletrólise:</p>			
<p>Possíveis perdas de energia elétrica por comportamento / operação do equipamento e ou posto de trabalho da Eletrólise:</p>			
<p>Possíveis ações para evitar a perda de energia por comportamento / operação do no equipamento e ou posto de trabalho da Eletrólise:</p>			

Abreviaturas: **EE** – Eficiência Energética; **Equipto.** – Equipamento; **Peq.** – Pequeno; **Méd.** – Médio; **PMA** – Paranapanema.

APÊNDICE 2 – Relatório de viabilidade econômica da substituição de motores

TAG	Potência Instalada	Polos	Carcaça	Economia (kwh/ano)	Economia (%)	Payback (Meses)
WEG / SIEMENS / VOGES 132 M	15.0	4	132M/L	21000,59	7,19 %	34
WEG 200 L	30.0	6	200L	108161,17	7,07 %	61
WEG 132	75.0	6	250S/M	148624,21	4,06 %	85
WEG 132 M	1.0	4	80	599,73	8,02 %	91
WEG 132 M	7.5	6	132M	29816,34	7,41 %	61
WEG 132 m/l	10.0	4	132S	4794,48	7,21 %	42

Investimento

R\$ 397.991,88



Financiado:	R\$ 0,00
Crédito Sucata:	R\$ 47.759,03
Recursos Próprios:	R\$ 350.232,85

Cálculo de retorno financeiro

Potencial de Economia: 5.25 % Economia (kWh/ano): 312.996,52

Payback (anos)	5,89
TIR (%)	12,57 %
VPL (R\$)	-R\$ 5.185,73

ANEXO**Anexo 1 – Certificado de calibração de multímetro utilizado****Certificado de Calibração -****Nº 11F9X118**

Empresa: PARANAPANEMA S/A
Enderêço: VIA DO COBRE 3700 AIO COPEC DIAS D'ÁVILA BAHIA
Equipamento: MULTÍMETRO
Modêlo: 78 PROCESSMETER
Fabricante: FLUKE
Nr.Série/Tag: SÉRIE 25000027

Método de Ensaio: M-046-REV-06
Padrões Utilizados: Em relatório anexo

Data recebimento equipam: 06/02/2018
Data Aprovação/Emissão: 06/02/2018

*MEC-Q***Responsável pela calibração**

*Oswaldo Neto***Responsável pela Aprovação****NOTA:**

Calibração realizada através da comparação direta com o padrão.

A incerteza declarada é o resultado da incerteza combinada multiplicada por um fator $k=2$, para um nível de confiança 95%

Os resultados apresentados neste certificado, referem-se restritamente e aplicam exclusivamente ao equipamento

submetido a calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lote

A reprodução deste certificado só pode ser reproduzido totalmente e sem qualquer alteração.