



# UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

YAMILET GONZÁLEZ CUSA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EMPRESA  
DO SETOR DE FERROLIGAS



**SALVADOR**  
**2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

**YAMILET GONZÁLEZ CUSA**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EMPRESA DO SETOR DE  
FERROLIGAS**

Salvador  
2018

**YAMILET GONZÁLEZ CUSA**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EMPRESA DO SETOR DE  
FERROLIGAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial - Área de Concentração: Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres

Salvador  
2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Cusa, Yamilet

    Eficiência energética em empresa do setor de  
ferroligas / Yamilet Cusa. -- Salvador, 2018.  
    167 f.

    Orientador: Ednildo Andrade Torres.

    Dissertação (Mestrado - Programa de pós-graduação em  
Engenharia Industrial) -- Universidade Federal da  
Bahia, UFBA, 2018.

    1. Eficiência energética. 2. Revisão energética.  
3. ABNT NBR ISO 50001. I. Andrade Torres, Ednildo.  
II. Título.

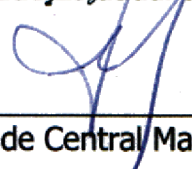
# “EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EMPRESA DO SETOR DE FERROLIGAS”.

**YAMILET GONZÁLEZ CUSA**

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres   
Doutor em Engenharia Mecânica, pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 1999.

Prof. Dr. Jorge Laureano Moya Rodríguez   
Doutor em Projeto de Máquinas, pela Universidade Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, 1994.

Prof. Dr. André Luiz de Carvalho Valente   
Doutor em Engenharia Elétrica, pela Universidade de São Paulo, Brasil, 1997.

Salvador, BA - BRASIL  
Outubro/2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Gustavo e Odilia pelo incentivo, a confiança e a formação dada.

Ao meu esposo José pelo apoio incondicional e a força nos momentos necessários.

Ao meu orientador Ednildo Andrade Torres pela orientação neste mestrado.

Aos meus colegas de laboratório pela ajuda e todos os aprendizados.

A todos os meus amigos brasileiros que fizeram com que me sentira como se estivesse em casa.

Aos funcionários da empresa onde foi aplicado o estudo pela sua contribuição.

À CAPES pelo suporte financeiro para o desenvolvimento do estudo.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial (PEI) da UFBA pela oportunidade para a realização do mestrado, o apoio, a qualidade e simpatia dos professores e funcionários.

## RESUMO

A eficiência energética na produção, distribuição e uso de energia, é uma das principais áreas de oportunidade para reduzir custos, proteger o meio ambiente e acrescentar a competitividade nas empresas. Apesar das indústrias serem os órgãos mais consumidores de energia, muitas delas enfrentam dificuldades em definir um ponto de partida para a realização de melhoria com foco em energia, não possuem sistema ou controle de consumo energético e a medição do potencial de eficiência energética passa a ser um desafio, devido a sua difícil caracterização quantitativa. Nesse sentido, esta pesquisa do tipo aplicada, quantitativa-qualitativa, exploratória-descritiva, bibliográfica e documental com estudo de caso, visa realizar uma investigação sobre a eficiência energética na indústria de ferroligas, identificando as barreiras e os potenciais do uso racional de energia, indicadores energéticos, custos e controle de consumo de energia. Para tanto, foi efetuado um estudo sobre métodos de eficiência e gestão energética que estão sendo empregados na indústria. Em seguida, realizou-se uma revisão energética utilizando como base a ABNT NBR ISO 50001 através de uma análise de uso e consumo com o intuito de identificar oportunidades para a melhoria do desempenho energético e estabelecimento de ferramentas de controle como linhas de base energética e indicadores de desempenho energético em uma indústria do setor de ferroligas, a qual conta com duas plantas metalúrgicas, uma produzindo ligas de Cromo e outra Ferro-Silício. Através da revisão energética verificou-se que dentro da empresa a eletricidade era o energético de maior consumo com uma representatividade de 55,20%. Dentro da delimitação de fronteiras a área de maior consumo de eletricidade foi a fábrica 2 de Ferro-Silício com 48,15% do consumo total da empresa, o que representa 63 645 MWh/mês e o módulo temático de maior consumo foi fornos com uma porcentagem de 94,14% do consumo total dessa fronteira. Demonstrou-se a existência de potenciais de oportunidades de melhoria em todos os módulos temáticos analisados com destaque em força motriz, iluminação e climatização. Com a implementação das medidas propostas contabilizou-se uma economia anual estimada de 14 571 MWh/ano, correspondendo a uma redução de 26% no consumo, R\$ 2 185 602,00/ano no custo e redução de emissões de 40,79 tCO<sub>2</sub>/ano. Com base nas análises estatísticas feitas utilizando uma ferramenta de computação estatística foi possível determinar o modelo de linha de base para representar o consumo de energia elétrica do módulo temático fornos por tipo de ferroligas. Além disto, foram elaborados indicadores energéticos cujo uso possibilita o monitoramento permanente de seu desempenho energético através da comparação com sua linha de base. Assim, com base nos resultados obtidos observa-se, portanto, a viabilidade e factibilidade das propostas e um grande potencial para a aplicação de ações de conservação de energia na fábrica.

**Palavras Chaves:** Eficiência energética, Revisão energética, ABNT NBR ISO 50001.

## ABSTRACT

Energy efficiency in the production, distribution and use of energy is one of the main areas of opportunity to reduce costs, protect the environment and increase competitiveness in companies. Although the industries are the most energy consuming agencies, many of them face difficulties in defining a starting point for energy-focused improvement, have no energy consumption control or system and the measurement of energy efficiency potential a challenge because of its difficult quantitative characterization. In this sense, this research of the applied type, quantitative-qualitative, exploratory-descriptive, bibliographical and documentary with case study, aims to carry out an investigation on the energy efficiency in the ferroalloy industry, identifying the barriers and potential of the rational use of energy, energy indicators, costs and control of energy consumption. In order to do so, a study was made on energy efficiency and management methods being used in the industry. Then, an energy review was performed using ABNT NBR ISO 50001 as a basis through a use and consumption analysis with the purpose of identifying opportunities for the improvement of energy performance and establishment of control tools such as energy baselines and indicators of energy performance in a ferroalloy industry, which has two metallurgical plants, one producing chromium alloys and another ferro-silicon. Through the energy review it was verified that within the company the electricity was the energy with the highest consumption with a representativeness of 55,20%. Within the boundary delimitation, the area with the highest consumption of electricity was Ferro-Silicon Plant 2 with 48,15% of the total consumption of the company, which represents 63 645 MWh / month and the thematic module of greatest consumption was furnaces with a percentage of 94,14% of the total consumption of this border. It was demonstrated the existence of potential opportunities for improvement in all thematic modules analyzed with emphasis on power, lighting and air conditioning. With the implementation of the proposed measures, an estimated annual saving of 14 571 MWh / year was recorded, corresponding to a reduction of 26% in consumption, R \$ 2 185 602,00 / year in the cost and reduction of emissions of 40,79 tCO<sub>2</sub> /year. Based on the statistical analyzes made using a statistical computation tool it was possible to determine the baseline model to represent the electric power consumption of the thematic module furnaces by type of ferroalloys. In addition, energy indicators have been developed whose use allows the permanent monitoring of their energy performance by comparison with their baseline. Thus, based on the results obtained, it is possible to observe the viability and feasibility of the proposals and a great potential for the application of energy conservation actions in the plant.

**Keywords:** Energy efficiency, Energy review, ABNT NBR ISO 50001.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1-</b> Consumo final por fonte .....	2
<b>Figura 2-</b> Custo da Energia Elétrica para a Indústria- Países selecionados 2015.....	3
<b>Figura 3-</b> Ganhos de eficiência energética por setor no horizonte de 2050 .....	6
<b>Figura 4-</b> Contribuição setorial aos ganhos de eficiência energética no horizonte de longo prazo em 2050 .....	7
<b>Figura 5-</b> Percentagem do uso total de energia por setor e Consumo de energia nas indústrias base 2017 .....	8
<b>Figura 6-</b> Demanda mundial de energia primaria.....	11
<b>Figura 7-</b> Emissões mundiais de CO <sub>2</sub> x combustíveis em 2015.....	12
<b>Figura 8-</b> Emissões mundiais de CO <sub>2</sub> x setor em 2015 .....	12
<b>Figura 9-</b> Demanda mundial de energia primaria no cenário de desenvolvimento sustentável .....	13
<b>Figura 10-</b> Fontes de redução de emissões de gases de efeito estufa .....	14
<b>Figura 11-</b> Oferta interna de energia ano base 2017.....	14
<b>Figura 12-</b> Matriz Elétrica Brasileira ano 2017 .....	15
<b>Figura 13-</b> Emissões de CO <sub>2</sub> por Fonte e por Setor (%).....	16
<b>Figura 14-</b> Classificação mundial de eficiência energética .....	25
<b>Figura 15-</b> Comparação da pontuação x categoria de Brasil com países de América.....	25
<b>Figura 16-</b> Pontuação de Brasil por categoria .....	26
<b>Figura 17-</b> Modelo de sistema de gestão de energia segundo a norma ABNT NBR ISO 50001 .....	31
<b>Figura 18-</b> Diagrama conceitual do processo de planejamento.....	32
<b>Figura 19-</b> Relação entre desempenho energético, IDEn, LBE e metas energéticas .....	37
<b>Figura 20-</b> Representação esquemática de um forno elétrico a arco .....	42
<b>Figura 21-</b> Tipos de fechamento de fornos elétricos de redução.....	43
<b>Figura 22-</b> Fluxograma da metodologia do trabalho .....	65
<b>Figura 23-</b> Coeficiente de eficiência energética- COP: Condicionadores de ar Split piso-teto .....	78
<b>Figura 24-</b> Janela do programa e dados solicitados para cálculo de carga térmica.....	78
<b>Figura 25-</b> Mercado externo e interno por ferroligas .....	90
<b>Figura 26-</b> Processo de produção de FeCrAC .....	93
<b>Figura 27-</b> Processo de produção de FeCrBC .....	94
<b>Figura 28-</b> Processo de produção de FeSiCr .....	94
<b>Figura 29-</b> Processo de produção de FeSi 75% .....	95
<b>Figura 30-</b> Consumo dos energéticos utilizados na empresa (2016 e 2017) .....	97
<b>Figura 31-</b> Comportamento da produção total de ferroligas (2016 e 2017) .....	98
<b>Figura 32-</b> Diagrama de Pareto consumo das fontes de energia (2016-2017) .....	99
<b>Figura 33-</b> Consumo de energia setorial em porcentagem .....	100
<b>Figura 34-</b> Diagrama de Pareto dos módulos temáticos.....	101
<b>Figura 35-</b> Gráfico de controle do consumo de energia elétrica (Fornos).....	103
<b>Figura 36-</b> Consumo de eletricidade dos fornos por tipo de ferroliga produzida.....	103
<b>Figura 37-</b> Consumo e Produção vs. Tempo FeSi.....	104
<b>Figura 38-</b> Consumo e Produção vs. Tempo FeSiCr.....	104
<b>Figura 39-</b> Diagrama de Pareto dos fornos de fábrica 2.....	105
<b>Figura 40-</b> Potência dos fornos de fábrica 2.....	105
<b>Figura 41-</b> Fator de potência dos fornos de fábrica 2.....	106
<b>Figura 42-</b> Consumo de energia dos fornos de Ferro - Silício .....	106
<b>Figura 43-</b> Comportamento da demanda fora da ponta .....	111

<b>Figura 44-</b> Comportamento da demanda na ponta .....	111
<b>Figura 45-</b> Comportamento do Fator de potência.....	112
<b>Figura 46-</b> Comportamento do Fator de carga na ponta e fora da ponta .....	112
<b>Figura 47-</b> Imagem termográfica dos quadros dos fornos 9 e 10 .....	113
<b>Figura 48-</b> Potenciais de conservação de energia nos módulos temáticos força motriz, climatização e iluminação .....	124
<b>Figura 49-</b> Gráfico de dispersão e correlação.....	126
<b>Figura 50-</b> Gráfico papel de probabilidade e histograma de frequência FeSi .....	127
<b>Figura 51-</b> Gráfico de dispersão e correlação para FeSiCr.....	127
<b>Figura 52-</b> Gráfico papel de probabilidade e histograma de frequência FeSiCr .....	128
<b>Figura 53-</b> Gráfico de controle do índice de consumo de eletricidade FeSi .....	130
<b>Figura 54-</b> Gráfico de controle do índice de consumo de eletricidade FeSiCr .....	130
<b>Figura 55-</b> Índice de Consumo (IC) vs. Produção de FeSi.....	131
<b>Figura 56-</b> Índice de Consumo (IC) vs. Produção de FeSiCr.....	131
<b>Figura 57-</b> Indicador de eficiência para fornos de FeSi .....	132
<b>Figura 58 -</b> Indicador de eficiência para fornos de FeSiCr .....	133
<b>Figura 59-</b> Gráfico COSUM fornos de FeSi.....	133
<b>Figura 60-</b> Gráfico COSUM fornos de FeSiCr .....	134

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Produção, consumo de eletricidade e específico no setor Ferroligas (Brasil, 2005-2013).....	8
<b>Tabela 2-</b> Resultados anuais do Procel entre 2013 e 2017 .....	21
<b>Tabela 3-</b> Investimentos e custeios dos programas Procel entre 2013 e 2017 .....	21
<b>Tabela 4-</b> Lista de países com Certificação na norma ISO 50001 (2011-2016).....	27
<b>Tabela 5-</b> Níveis de auditoria energética .....	35
<b>Tabela 6 -</b> Consumos específicos típicos de energia elétrica para diversos produtos .....	43
<b>Tabela 7-</b> Grupos tarifários.....	51
<b>Tabela 8-</b> Máxima Temperatura Admissível (MTA).....	54
<b>Tabela 9-</b> Valores limites de perdas no ferro para transformadores .....	55
<b>Tabela 10-</b> Limites de (THDv) e (THDi) .....	59
<b>Tabela 11-</b> Delimitação de fronteiras .....	67
<b>Tabela 12-</b> Quadros para medição de potência.....	70
<b>Tabela 13-</b> Atividades a monitorar nos fornos .....	71
<b>Tabela 14-</b> Constantes para cálculo de corrente a vazio para motores de indução.....	74
<b>Tabela 15-</b> Tipo de ambientes e espaçamentos de medições de iluminância .....	75
<b>Tabela 16-</b> Índice de refletância de superfícies .....	76
<b>Tabela 17-</b> Capacidade instalada total da fábrica .....	91
<b>Tabela 18-</b> Dados para conversão do consumo de energia em toneladas equivalentes de petróleo (tep) 2016-2017 .....	96
<b>Tabela 19-</b> Consumo por Fontes de Energia no período 2016-2017 .....	98
<b>Tabela 20-</b> Demanda média medida nos principais quadros elétricos.....	99
<b>Tabela 21-</b> Consumo de energia elétrica por setores .....	100
<b>Tabela 22-</b> Dados de placa e medição de corrente dos motores dos filtros de fábrica 2.....	107
<b>Tabela 23-</b> Níveis de iluminância exigidos pela Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 e iluminância medida.....	108
<b>Tabela 24-</b> Cálculo do índice do local (K) .....	109
<b>Tabela 25-</b> Número de lâmpadas necessárias para alcançar a iluminância sugerida pela norma ABNT NBR ISO/CIE8995-1 e lâmpadas instaladas .....	109
<b>Tabela 26-</b> Capacidade de climatização instalada e necessária .....	110
<b>Tabela 27-</b> Temperaturas registradas na inspeção termográfica.....	113
<b>Tabela 28-</b> Variáveis coletadas com analisador de energia no quadro de distribuição QD 01B3 .....	114
<b>Tabela 29-</b> Variáveis coletadas com analisador de energia no quadro de distribuição QD 01B4 .....	114
<b>Tabela 30-</b> Fatores para determinar a capacidade do banco de capacitores .....	115
<b>Tabela 31-</b> Comparação entre os modelos T10 e T8 .....	118
<b>Tabela 32-</b> Comparativo sistema atual e proposto.....	119
<b>Tabela 33-</b> Resultados econômicos das medidas propostas em motores.....	121
<b>Tabela 34-</b> Resultados energéticos com a substituição pelo modelo T8 32W .....	121
<b>Tabela 35-</b> Resultados econômicos da substituição pelo modelo T8 32W .....	122
<b>Tabela 36-</b> Resultados energéticos com a substituição .....	122
<b>Tabela 37-</b> Resultados econômicos da substituição.....	123
<b>Tabela 38-</b> Matriz de decisão de oportunidades .....	125
<b>Tabela 39-</b> Resumo dos resultados da regressão utilizando a variável independente “Produção de FeSi” .....	126
<b>Tabela 40-</b> Resumo dos resultados da regressão utilizando a variável independente “Produção de FeSiCr” .....	128

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESCO	Associação Brasileira de Serviços de Conservação de Energia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento
ACEEE	<i>American Council for na Energy-Efficient Economy</i>
AchEE	Agência Chilena de Eficiência Energética
ADEME	Agência de Meio Ambiente da Matriz Energética
AEE	Ações de Eficiência Energética
AIDA	Associação Industrial do Distrito Aveiro
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning</i>
BEN	Balço Energético Nacional
BTU	Unidade Térmica Britânica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCS	Captura e Armazenamento de Carbono
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento
CHESF	Companhia Hidroelétrica do Vale de São Francisco
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CONPET	Programa de Racionalização de Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural
CONSERVE	Programa de Conservação de Energia Elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DAE	Instituto para Diversificação e Economia Energética
DETR	<i>Department of Environment, Transport and Regions</i>
DOE	Departamento de Energia Americano
EERN	<i>Energy Efficiency and Renewable Energy Network Enginners</i>
EPA	<i>Programa Energy Star</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética

FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FeSi	Ferro-Silício
FeSiAC	Ferro-Silício Alto Carbono
FeSiBC	Ferro-Silício Baixo Carbono
FeSiCr	Ferro-Silício Cromo
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado de Rio de Janeiro
FP	Fora Ponta
HP	Horário ponta
IDEn	Indicadores de Desempenho Energético
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEC	<i>International Electrical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LBE	Linha de Base Energética
LCI	Limite Central Inferior
LCS	Limite Central Superior
MCTIC	Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MME	Ministério de Minas e Energia
MTA	Máxima Temperatura Admissível
OEE	<i>Office of Energy Efficiency</i>
ONUDI	<i>Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial</i>
PBE	Programa Brasileiro de Energia
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIB	Produto Interno Bruto
PIMPV	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RGR	Reserva Global de Reversão
SGE	Sistema de Gestão de Energia
SoP	<i>Programa Electricity Standart of Performance</i>
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 UTILIZAÇÃO DA ENERGIA E PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	5
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	5
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	5
1.3 JUSTIFICATIVA .....	5
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	9
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	11
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E PROJEÇÕES .....	11
2.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA .....	14
2.3 HISTÓRICO DO SURGIMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	16
<b>2.3.1 Eficiência energética em alguns países do mundo</b> .....	16
<b>2.3.2 Eficiência Energética no Brasil</b> .....	18
2.4 OS PROGRAMAS E SEUS RESULTADOS .....	19
<b>2.4.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)</b> .....	19
<b>2.4.2 Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (Procel)</b> .....	20
<b>2.4.3 Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET)</b> .....	21
<b>2.4.4 Programa de Eficiência Energética (PEE)</b> .....	22
<b>2.4.5 Histórico de leis, decretos e resoluções de incentivo à eficiência energética</b> ....	22
2.5 ATUAL SITUAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL .....	24
2.6 BARREIRAS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	27
2.7 ABNT NBR ISO - 50001 .....	29
<b>2.7.1 Escopo e principais itens</b> .....	30
<b>2.7.2 Revisão Energética</b> .....	32
<b>2.7.2.1 Auditoria Energética</b> .....	34
<b>2.7.3 Linha de base energética</b> .....	36
<b>2.7.4 Indicadores de desempenho energético</b> .....	38
2.8 MÓDULOS TEMÁTICOS .....	40
<b>2.8.1 Fornos</b> .....	41
<b>2.8.2 Força motriz</b> .....	45
<b>2.8.3 Climatização</b> .....	47
<b>2.8.4 Iluminação</b> .....	48
<b>2.8.5 Análise tarifária</b> .....	50
<b>2.8.5.1 Análise do Perfil de Utilização da Energia Elétrica</b> .....	51

<b>2.8.6 Quadros de distribuição de circuitos</b> .....	53
<b>2.8.7 Transformadores</b> .....	54
<b>2.8.8 Qualidade de energia</b> .....	56
2.9 METODOLOGIAS APLICADAS NA INDÚSTRIA PARA A AVALIAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	60
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	64
3.1 ANÁLISE DE USO E CONSUMO DE ENERGIA .....	68
3.2 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE USO SIGNIFICATIVO DE ENERGIA E CONSUMO .....	69
<b>3.2.1 Análise dos módulos temáticos associados com os usos significativos de energia</b> .....	71
3.2.1.1 <i>Fornos</i> .....	71
3.2.1.2 <i>Força motriz</i> .....	73
3.2.1.3 <i>Iluminação</i> .....	75
3.2.1.4 <i>Climatização</i> .....	77
3.2.1.5 <i>Análise Tarifária</i> .....	78
3.2.1.6 <i>Quadros de distribuição de circuitos</i> .....	79
3.2.1.7 <i>Qualidade de energia e transformadores</i> .....	79
3.3 IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO .....	80
<b>3.3.1 Estudo de viabilidade econômica das alternativas de redução de perdas</b> .....	80
<b>3.3.2 Matriz de decisão ou priorização das alternativas de redução de perdas</b> .....	82
3.4 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS CHAVES E LINHAS DE BASES ENERGÉTICAS .....	83
3.5 INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO .....	86
<b>4. DESCRIÇÃO DE EMPRESA OBJETO DE ESTUDO</b> .....	90
4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO POR PRODUTO .....	91
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO DO ESTUDO DE CASO</b> .....	96
5.1 ANÁLISE DE USO E CONSUMO DE ENERGIA .....	96
5.2 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE USO SIGNIFICATIVO DE ENERGIA E CONSUMO .....	99
<b>5.2.1 Análise dos módulos temáticos associados com os usos significativos</b> .....	101
3.2.1.1 <i>Fornos</i> .....	101
3.2.1.2 <i>Força motriz</i> .....	107
3.2.1.3 <i>Iluminação</i> .....	107
3.2.1.4 <i>Climatização</i> .....	109
3.2.1.5 <i>Análise Tarifária</i> .....	110
3.2.1.6 <i>Quadros de distribuição de circuitos</i> .....	112

5.2.1.7 <i>Qualidade de energia e transformadores</i> .....	113
5.3 IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO .....	115
<b>5.3.1 Fornos</b> .....	115
<b>5.3.2 Força motriz</b> .....	116
<b>5.3.3 Iluminação</b> .....	118
<b>5.3.4 Climatização</b> .....	118
<b>5.3.5 Análise Tarifária</b> .....	119
<b>5.3.6 Quadro de distribuição</b> .....	119
<b>5.3.7 Qualidade da energia</b> .....	119
<b>5.3.8 Estudo de viabilidade econômica das alternativas de redução de perdas</b> .....	120
5.3.9.1 <i>Força motriz</i> .....	120
5.3.9.2 <i>Iluminação</i> .....	121
5.3.9.3 <i>Climatização</i> .....	122
5.3.9.4 <i>Avaliação geral das análises econômicas</i> .....	123
5.3.9.5 <i>Matriz de decisão ou priorização das alternativas de redução de perdas</i> .....	124
5.4 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS CHAVES E LINHAS DE BASES ENERGÉTICAS.....	125
<b>5.4.1 Determinação das variáveis chaves e linha de base para FeSi</b> .....	125
<b>5.4.2 Determinação das variáveis chaves e linha de base para FeSiCr</b> .....	127
5.5 INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO .....	129
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	135
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	137
<b>APÊNDICES</b> .....	145
<b>ANEXOS</b> .....	151



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 UTILIZAÇÃO DA ENERGIA E PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

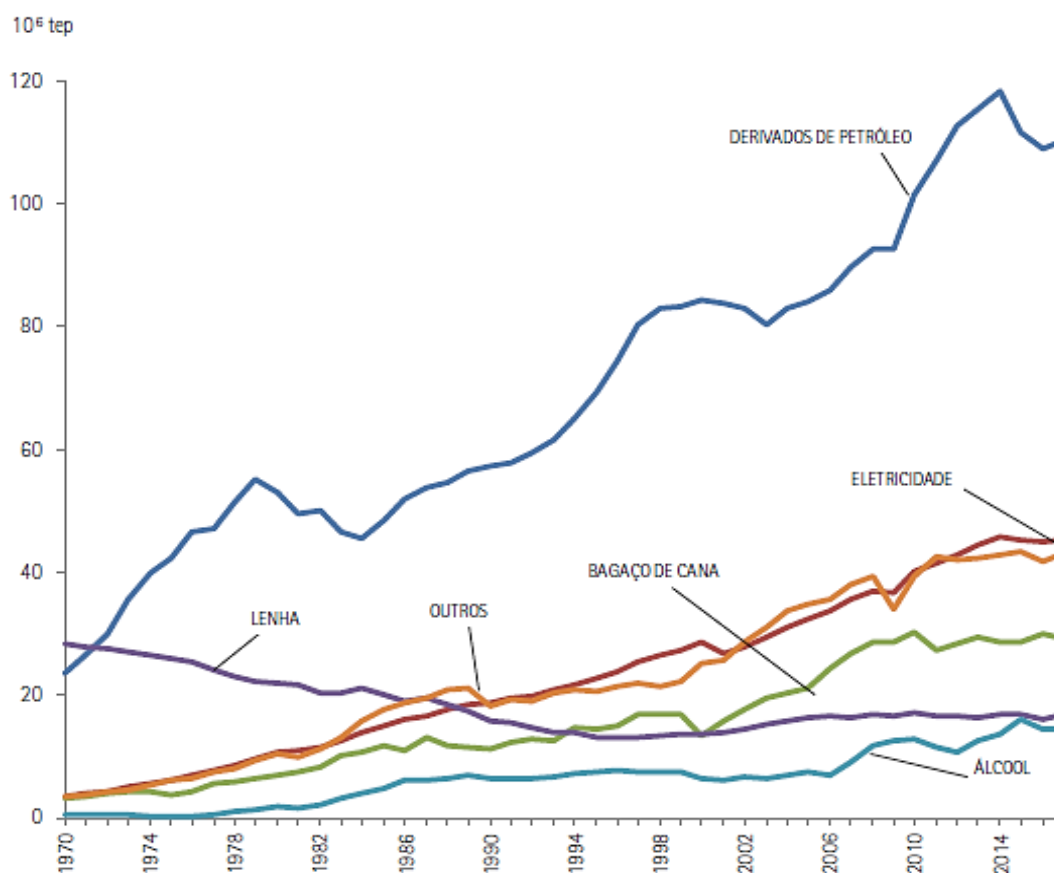
O consumo global de energia elétrica está fortemente relacionado com o desenvolvimento da indústria, do transporte e dos meios de comunicação. Na atualidade, a maior parte da eletricidade é produzida a partir de recursos não renováveis como carvão, gás natural, petróleo e urânio, os quais sua combustão gera gases poluentes do meio ambiente. A renovação destas fontes é muito lenta, colocando em risco os recursos naturais do planeta, situação que exige que, cada vez mais, saibamos utilizá-los de forma racional e eficiente.

Além disso, a demanda energética mundial tende a aumentar com o aumento das economias dos países e da qualidade de vida das pessoas. Em países subdesenvolvidos e principalmente em desenvolvimento a melhoria de condições de vida é fator considerável no aumento de consumo de energia, sobretudo da energia elétrica (SILVA, 2012).

Outro fator importante sobre uso e necessidade de uma maior demanda de energia se refere ao uso de energias fósseis, desmatamento e emissão de gases de efeito estufa. O consumo excessivo de fontes não renováveis reflete a necessidade de ampliar a utilização de outras fontes energéticas e aplicar modelos de conservação de energia e eficiência energética (FROZZA, 2013).

A Figura 1 mostra o consumo final de energia por fontes entre os anos 1970 e 2017 no Brasil, evidenciando que os derivados de petróleo constituem os combustíveis mais usados. Segundo dados do EPE/MME (2018), divulgados no Balanço Energético Nacional com ano base 2017, 42,6% do combustível utilizado no país provem dos derivados do petróleo o que representa  $110 \times 10^6$  tep.

**Figura 1-** Consumo final por fonte



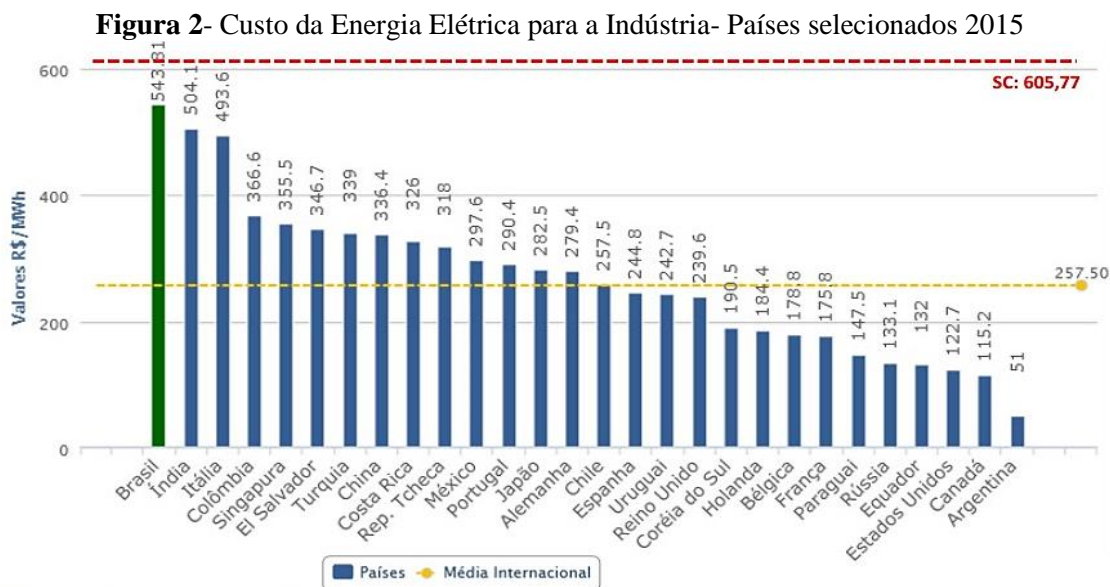
Fonte: EPE/MME (2018)

Conforme o MME (2011) a eficiência energética constitui ações de diversas naturezas que culminam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em processos. Objetiva, em síntese, atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto da natureza.

A adoção de técnicas e programas de eficiência energética é cada vez mais reconhecida como uma das opções mais rentável a curto e médio prazo para atender às necessidades energéticas de crescimento econômico e minimizar o impacto da mudança climática global, sendo isto um fator decisivo principalmente no setor industrial, que responde por 32,9% do consumo de energia elétrica no Brasil, precisando se tornar mais competitivo para fazer frente à concorrência internacional (EPE/MME, 2018a).

Essa realidade fica ainda mais preocupante numa época em que o custo da energia tende a subir, como consequência da falta de chuva e do aumento na demanda das usinas termelétricas. Na Figura 2 pode ser conferido estudo feito pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro - FIRJAN, com dados de 28 países, destacando o Brasil como o país

onde a indústria paga mais pelo megawatt-hora. Sendo o custo da energia para a indústria no país 111,2% superior à média dos países selecionados, motivo de muita preocupação e com necessidade de ações.



Fonte: FIRJAN (2015)

Diante desse cenário, as indústrias brasileiras devem dar cada vez mais importância às mudanças climáticas e a eficiência energética, com impactos fundamentais na redução imediata de custos, aumento da sua competitividade e eficiência global no fornecimento de seus serviços e produtos.

Conforme Silva e Neves (2015) a eficiência energética constitui a fonte de energia mais limpa e mais barata disponível. Mais limpa porque é a energia que deixa de ser produzida, portanto, não gera nenhum impacto, somente benefícios, além de mais barata também quando bem executada.

A melhoria da eficiência energética traz uma série de vantagens, poupa recursos naturais como o petróleo e o gás, diminui custos de produção, possibilita a produção de bens cada vez mais baratos e competitivos, além de melhorar o desempenho econômico das empresas. Reduz a necessidade de se investir em infraestrutura e energia, pois é mais barato conservar do que gerar energia. Garante mais verba para ser destinada a outros fins. Além disso, assegura o retorno do investimento realizado, já que o montante é recuperado ao longo da vida útil de equipamentos, por conta da economia de energia ocorrida. Nesse contexto, considerando que, no mundo, hoje, 81% da energia consumida têm origem fóssil e não renovável, melhorar a eficiência energética significa, ainda, poupar recursos para as próximas gerações (IEA, 2017).

No Brasil muitas ações foram promovidas com a finalidade de se incentivar a aplicação de programas de eficiência energética. O Ministério de Minas e Energia publicou no dia 19 de outubro de 2011, a portaria n.º 594, que aprovava o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf - Premissas e Diretrizes Básicas), o qual foi o primeiro estudo na esfera de governo com a visão de planejamento integrado de energia. O plano teria como objetivo principal criar ações de conservação de energia e diminuir o uso de energias primárias, com consequente redução de impacto ambiental. Segundo o PNEf, no caso do setor elétrico, havia projeções para 2030 de uma redução de demanda de 10%, esperando-se uma economia acumulada de 106 623 GWh de energia elétrica.

Ante a importância que teve o PNE 2030, o EPE/MME lança no ano 2016, Demanda de Energia - 2050, segundo documento de uma série de cinco que compõem os estudos do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), o qual surge como uma resposta aos novos eventos que ocorreram desde 2006 e que vêm impactando o setor energético, tais como, a crescente dificuldade de aproveitamento hidroelétrico na matriz nacional, o forte ganho de competitividade obtido pela energia eólica no Brasil, o surgimento da oferta de petróleo e gás natural do pré-sal, o evento de Fukushima e seu impacto no setor nuclear, a transformação da indústria de gás natural devido à oferta de gás não convencional nos EUA, o prolongamento da crise econômica mundial de 2008, a crescente preocupação com as mudanças climáticas, entre outros.

Neste contexto, esse estudo propõe apresentar uma visão de longo prazo para a demanda brasileira de energia em suas diversas formas e fontes, buscando apreender o efeito das diversas incertezas inerentes os cenários de longo prazo. Apresenta, assim, o cenário referencial de demanda de longo prazo da EPE para 2050, o qual servirá de base para elaboração da proposta de estratégia brasileira de expansão da oferta de energia no longo prazo.

Conforme EPE/MME (2016) a projeção do consumo de eletricidade do PNE 2050 situa-se 121 TWh (ou em torno de 11%) abaixo da previsão do PNE 2030 para o ano de 2030. Prevendo-se ao igual que no PNE 2030 a penetração de ganho de eficiência energética através de duas parcelas distintas denominadas progressos autônomos e induzidos. Progresso autônomo se dá por iniciativa do mercado, sem interferência de políticas públicas de forma espontânea, ou seja, através da reposição natural do parque de equipamentos por similares novos e mais eficientes ou tecnologias novas que produzem o mesmo serviço de forma mais eficiente, e progresso induzido, é aquele que requer estímulos através de políticas públicas.

Por todo o exposto anteriormente nota-se a necessidade de maior demanda de energia, o uso de fontes de energias mais limpas, além de previsão de investimentos em eficiência energética.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Realizar uma investigação sobre a eficiência energética na indústria de ferroligas, identificando as barreiras e os potenciais de uso racional de energia, indicadores energéticos, custos e controle de consumo de energia.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar métodos de eficiência e gestão energética na indústria tais como indicadores de desempenho energético, verificação de potenciais de uso racional de energia e elaboração de linha de base.
- Realizar uma revisão energética na fábrica do setor de ferroligas utilizando como base a ABNT NBR ISO 50001 através de uma análise de uso e consumo com o intuito de identificar oportunidades para a melhoria do desempenho energético.
- Realizar uma avaliação econômica das alternativas de redução de perdas energéticas.
- Estabelecer as linhas de base energética e indicadores de desempenho energético dos módulos temáticos significativos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

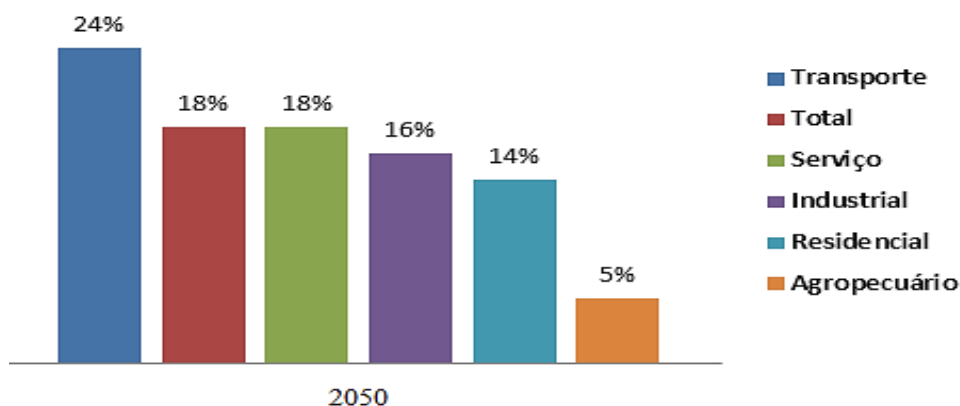
O desenvolvimento atual e as perspectivas de crescimento dos países requerem ações para reduzir custos, aumentar a competitividade das empresas, contribuir para a conservação dos recursos naturais e do meio ambiente diante uma economia mais aberta e globalizada. Neste aspecto a eficiência energética na produção, distribuição e uso de energia, é uma das principais áreas de oportunidade e um importante instrumento.

Apesar do histórico de programas e das diversas iniciativas por fomentar a eficiência energética, empreendidas há mais de 20 anos, o Brasil conta com baixos índices de eficiência energética quando comparado com as principais economias do mundo. Em estudo desenvolvido pela *American Council for an Energy-Efficient Economy - ACEEE* (2018) onde foram avaliadas e pontuadas as políticas de eficiência energética de 25 países, o Brasil ficou no lugar 20 no

ranking. Esse contexto traz um quadro preocupante, uma vez que a eficiência energética representa um alto potencial de economia de recursos naturais e financeiros.

Como apresentado em Nota Técnica DEA 13/15 do EPE/MME (2016), no horizonte de longo prazo 2013-2050, estima-se que a eficiência energética possa contribuir com aproximadamente 18% da demanda de energia total e 17% da demanda de eletricidade. De acordo com essas estimativas, as ações de eficiência energética contribuirão para reduzir a demanda de energia em aproximadamente 118,6 milhões de toneladas equivalente de petróleo em 2050. Estes ganhos de eficiência energética indicados são decorrentes do efeito combinado dos progressos autônomo e induzido. Os montantes de ganho de eficiência alcançados, por setor de consumo, são ilustrados na Figura 3.

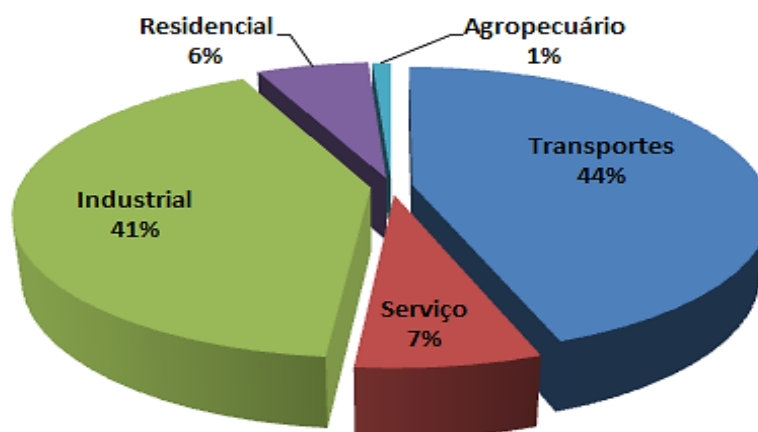
**Figura 3-** Ganhos de eficiência energética por setor no horizonte de 2050



Fonte: EPE/MME (2016)

Segundo EPE/MME (2016), no que diz respeito ao consumo final de energia na indústria estima-se um crescimento de 88 milhões de tep para 198 milhões de tep em 2050, o que corresponde a uma taxa média de crescimento anual de 2,2% a.a. entre 2013-2050. Em termos da contribuição setorial aos ganhos de eficiência energética, os setores que mais contribuem são o de transportes (44%) e a indústria (41%), conforme mostra a Figura 4.

**Figura 4-** Contribuição setorial aos ganhos de eficiência energética no horizonte de longo prazo em 2050



Fonte: EPE/MME (2016)

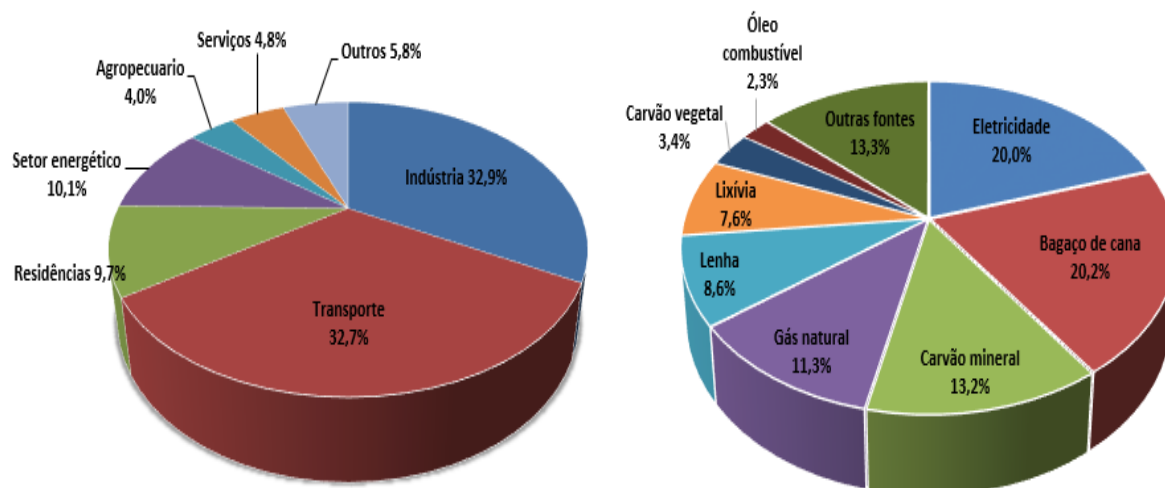
Avalia-se que a indústria como um todo obtenha, no final do horizonte, em 2050, ganhos em eficiência elétrica que podem atingir mais de 115 TWh, o que equivale a 7% do total do consumo de energia elétrica projetado para o ano de 2050. Em termos de geração evitada, essa economia de energia da indústria equivale aproximadamente à energia produzida por uma usina termelétrica a gás natural com 18 000 MW. Equivale, ainda, a mais do que a geração anual de uma usina hidrelétrica com cerca de 24 000 MW, que representa mais que três vezes a potência da usina de Itaipu parte Brasileira (localizada no município de Foz do Iguaçu, no Paraná) e a 22% da energia elétrica consumida no país em 2014 (EPE/MME, 2016).

Como demonstrado, a contribuição da eficiência energética na redução da demanda de energia é fundamental para reduzir a necessidade de expansão da oferta de energia em longo prazo, evitando, por exemplo, impactos ambientais decorrentes de novos projetos. Para alcançar tais metas as empresas devem contar com sistemas de controle e monitoramento eficazes, sendo que medir e direcionar o desempenho energético das organizações constitui o primeiro passo para entender o comportamento energético, identificar oportunidades de redução e avaliar a economia de energia.

Como proposta, o PNEf recomenda a norma ABNT NBR ISO 50001- Sistema de gestão de energia, publicada 11 de junho de 2011, como uma das principais ferramentas para alcançar a economia de energia considerável para os próximos anos. Prevendo-se inclusive que deverá ser utilizada como base de concepção e estruturação de projetos de eficiência energética, sendo que a norma apresenta as melhores práticas internacionais em gestão da energia, possibilitando que as organizações estabeleçam os sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, uso e consumo.

Segundo Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2018, com base em 2017 do EPE/MME (2018b), o consumo de energia elétrica no Brasil em 2017 foi de 526,2 TWh, sendo o setor industrial o maior consumidor de energia no país, responsável por 32,9% do consumo total de energia, figurando entre seus custos mais elevados o consumo de energia elétrica com uma representatividade de 20%, como pode ser verificado na Figura 5.

**Figura 5-** Percentagem do uso total de energia por setor e Consumo de energia nas indústrias base 2017



Fonte: Adaptado de EPE/MME (2018b)

Conforme EPE/MME (2018a) dentro do setor industrial a indústria de ferroligas é responsável pelo 1,5% do consumo energético total da indústria em 2017 e 3,3% do consumo total de energia elétrica do mesmo setor o que equivale a 6629 GWh/ano, sendo este de grande interesse para economia de energia do país por ser um setor eletro-intensivo, onde a sua maior demanda energética está determinada pela energia elétrica.

A Tabela 1 apresenta o consumo de eletricidade da indústria de ferroliga e seu respectivo consumo específico no período que vai de 2005 a 2013. Através da mesma constata-se que o indicador consumo específico tem variado bastante no período considerado, evidenciando tendência de crescimento, sinalizando claramente a deterioração do desempenho energético deste segmento industrial.

**Tabela 1-** Produção, consumo de eletricidade e específico no setor Ferroligas (Brasil, 2005-2013)

Parâmetros	Unidade	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Produção	10 <sup>3</sup> t	1401	1020	1158	1204	750	1109	993	1045	1075
Consumo de eletricidade	GW/h	7735	7703	8675	8737	6749	8461	7883	7741	7277
Consumo de eletricidade/produção	MWh/t	5,521	7,551	7,490	7,259	8,999	7,630	7,935	7,408	6,771

Fonte: Guedes e Neto (2017)



No cenário atual apesar das indústrias serem os órgãos mais consumidores de energia, muitas delas enfrentam dificuldades em definir um ponto de partida para a realização de melhoria com foco em energia (LEITE, 2010). Conforme Corteletti (2015) muitas indústrias não possuem sistema ou controle de consumo energético e a medição do potencial de eficiência energética passa a ser um desafio devido a sua difícil caracterização quantitativa. Nesse sentido, a realização de uma revisão energética utilizando como base a ABNT NBR ISO 50001 possibilita a determinação do desempenho energético da organização com base em dados e outras informações, conduzindo a identificação de oportunidades de melhoria, assim como a implantação de sistemas de controle energéticos eficientes. Observa-se, portanto, um grande potencial para a aplicação de ações de conservação de energia no setor industrial brasileiro e especificamente no segmento de ferroligas.

#### 1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está composta por uma revisão bibliográfica sobre a gestão e eficiência energética na indústria, a interpretação dos principais itens da norma ABNT NBR ISO 50001 - Sistema de Gestão de Energia e um estudo de caso no qual se fez uma revisão energética tendo como base a norma antes mencionada.

No capítulo 2 foi realizada uma revisão geral sobre eficiência e gestão energética, sendo contextualizado o tema de pesquisa, além de explorados os principais itens da ABNT NBR ISO 50001, assim como, uma descrição das principais características dos módulos temáticos tratados na revisão energética tendo em vista a conservação de energia e finalmente uma revisão de algumas das metodologias aplicadas na indústria para a avaliação e implantação da eficiência energética.

No capítulo 3 são expostos os materiais e métodos usados na execução da revisão energética. Primeiramente foi estabelecida a parceria com a empresa para a realização do estudo de caso. Em seguida foram efetuadas várias visitas ao local e delimitadas as fronteiras dentro da empresa para facilitar a coleta de dados e o melhor entendimento dos consumos. É realizada uma revisão energética através de uma análise de uso e consumo de energia com o intuito de identificar potenciais de uso racional de energia. Posteriormente é realizada uma avaliação econômica de algumas das medidas para a redução de perdas e finalmente são definidas as linhas de base energética e os indicadores de desempenho energético.

O capítulo 4 apresenta uma descrição da empresa objeto de estudo, assim como, a explicação dos principais processos de produção da mesma por tipo de produto.

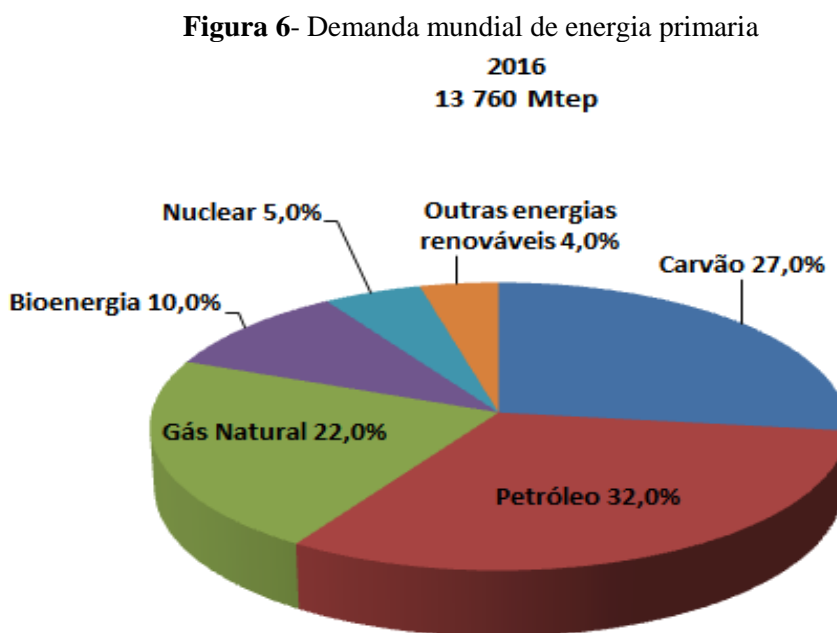
No capítulo 5 são expostos os resultados do estudo de caso. O principal objetivo do estudo foi a execução de uma revisão energética utilizando com base a metodologia definida pela norma ABNT NBR ISO 50001 para a identificação de potenciais de uso racional de energia na empresa juntamente com uma avaliação econômica das medidas propostas, além de levantar os indicadores de eficiência energética, assim como, a elaboração das linhas de base energética.

No capítulo 6 são apresentadas a conclusão e sugestões para trabalhos futuros acerca do que foi tratado no trabalho.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E PROJEÇÕES

A estrutura de consumo por fontes energéticas é uma das chaves para analisar os desafios com os quais nos enfrentaremos no futuro. Esta estrutura, na qual o petróleo e os demais combustíveis fósseis têm um peso significativo, reflete-se na matriz energética de consumo mundial de energia primária. Através da Figura 6 se mostra a demanda mundial de energia por fonte energética.

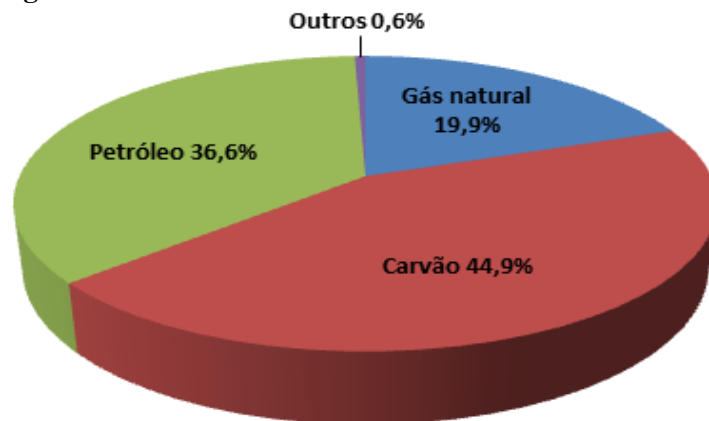


Fonte: Adaptado IEA (2017)

O mundo da energia de hoje, no qual, o carvão e o petróleo ainda representam 60% do consumo de energia primária, continua a oferecer oportunidades para o gás natural para reduzir as emissões nos próximos anos.

Segundo IEA (2017a) as emissões mundiais de CO<sub>2</sub> no ano 2015 tiveram sua maior representatividade no carvão com 44,9% de um total de 32 294 Mt de CO<sub>2</sub>, conforme mostra Figura 7.

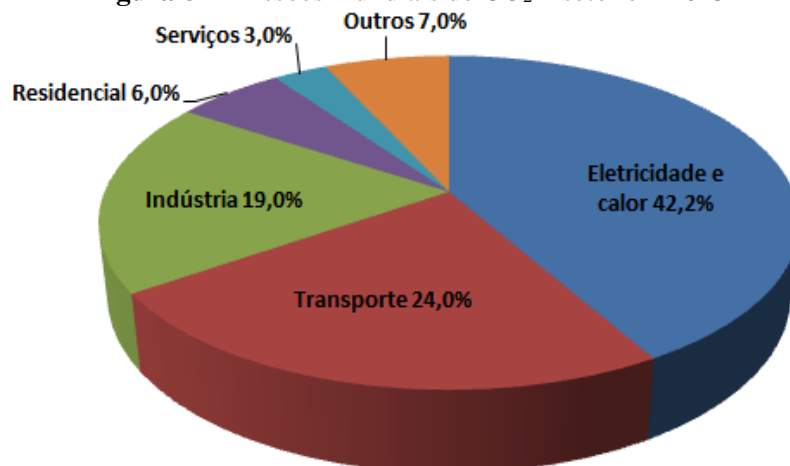
**Figura 7-** Emissões mundiais de CO<sub>2</sub> x combustíveis em 2015



Fonte: IEA (2017a)

A respeito das emissões mundiais de CO<sub>2</sub> por setor, a IEA (2017b) informa que no ano 2015 os setores que contribuíram em maior proporção foram eletricidade e geração de vapor com 42,2% e o transporte com 24,0%, representando em conjunto dois terços do total das emissões conforme mostra Figura 8.

**Figura 8-** Emissões mundiais de CO<sub>2</sub> x setor em 2015



Fonte: IEA (2017b)

Para realizar as previsões da matriz energética do ano 2040, a *International Energy Agency* - IEA (2017) definiu dois cenários principais, o Cenário de Novas Políticas e o Cenário de Desenvolvimento Sustentável, os quais são diferenciados principalmente pelas suposições que fazem sobre as políticas do governo. Sendo os três objetivos relacionados à energia: alcançar o acesso universal à energia moderna até 2030; tomar medidas urgentes para combater as alterações climáticas; e reduzir drasticamente as emissões de poluentes que causam má qualidade do ar.

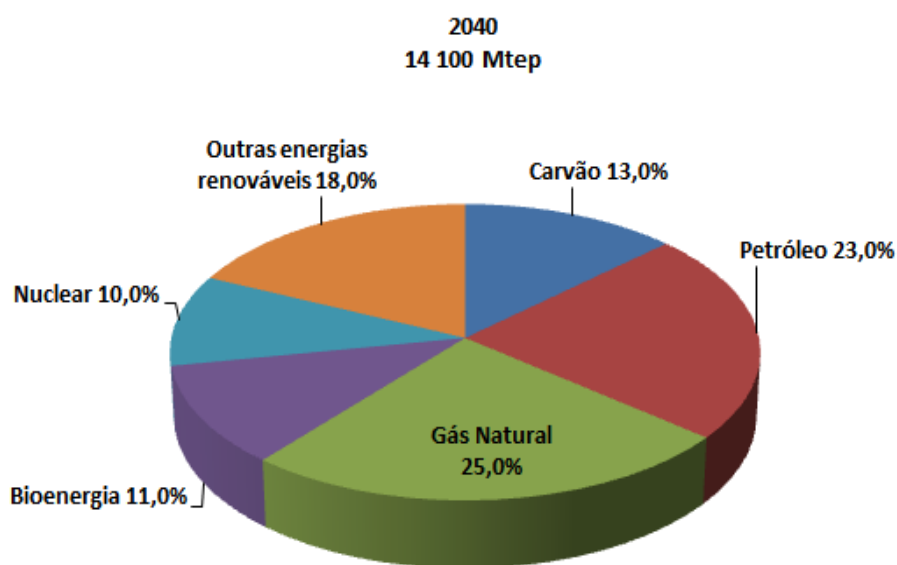
O Cenário de Novas Políticas é projetado para mostrar onde as políticas existentes, bem como as intenções de políticas anunciadas, podem liderar o setor de energia. Entre esses

anúncios no último ano encontram-se: a mudança na orientação política nos Estados Unidos; a riqueza de detalhes adicionais sobre os planos da China para uma "revolução energética"; um compromisso mais forte com as energias renováveis; e o planejamento de mudança no mix de energia na Coreia em favor do gás e das energias renováveis IEA (2017).

Por sua vez o Cenário de Desenvolvimento Sustentável oferece uma maneira integrada de alcançar uma série de metas relacionadas a energia, cruciais para o desenvolvimento econômico sustentável tais como: estabilização climática, ar mais limpo e acesso universal à energia moderna, além de reduzir os riscos de segurança energética. Esse cenário começa com um conjunto de resultados desejados e considera o que seria necessário para entregá-los IEA (2017).

Conforme a IEA (2017), nas previsões da matriz energética do ano 2040, o gás natural ultrapassa o carvão no meio de 2020 e ao petróleo em meados da década de 2030 para se tornar o maior combustível único no mix de energia global com uma participação de 25% sobre uma procura energética total estimada em 14 100 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, tanto nas Novas Políticas como no Cenário de Desenvolvimento Sustentável, conforme mostra a Figura 9.

**Figura 9-** Demanda mundial de energia primaria no cenário de desenvolvimento sustentável

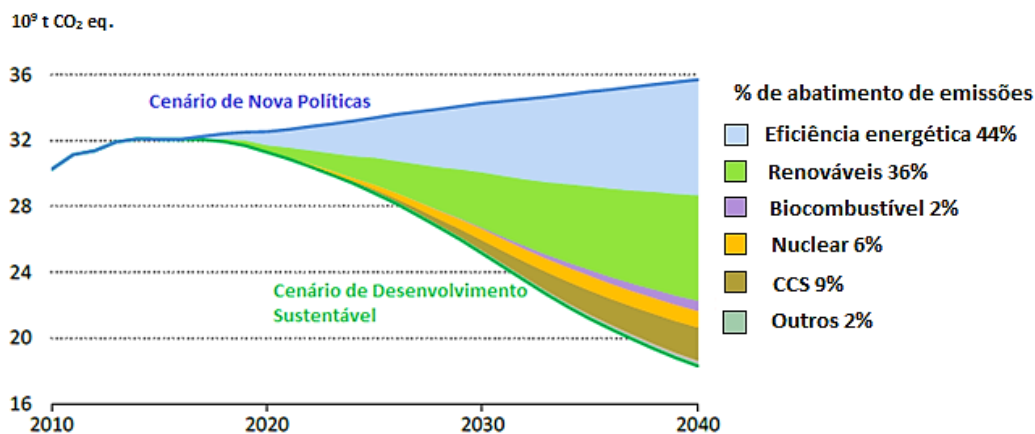


Fonte: Adaptado IEA (2017)

A Figura 10 expõe as projeções de redução de emissão de CO<sub>2</sub> comparativamente ao cenário de Novas Políticas, com uma estimativa de consumo focado na redução das emissões dos poluentes e fundamentalmente de CO<sub>2</sub> na atmosfera, com o objetivo de redução do aquecimento global anual. Dentre as medidas para a solução do problema, encontram-se:

eficiência energética, energia renovável, biocombustíveis, nuclear e captura e armazenamento de carbono (CCS). Sendo as medidas de eficiência energética e o uso das energias renováveis as que representam 80% da economia cumulativa de emissões de CO<sub>2</sub> no cenário de Desenvolvimento Sustentável, demonstrando-se que o impacto da eficiência energética é o que traz os resultados de forma mais rápida e em maior volume. Razão pela qual a eficiência energética constitui uma das fontes mais importantes para o abatimento de emissões de gases de efeito estufa.

**Figura 10-** Fontes de redução de emissões de gases de efeito estufa

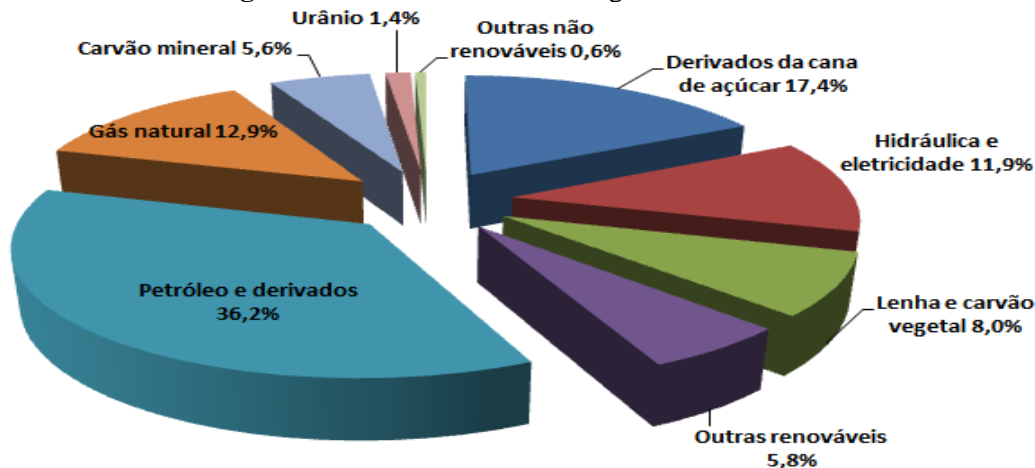


Fonte: Adaptado IEA (2017)

## 2.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A Figura 11 mostra o comportamento da oferta interna de energia no Brasil, ano base 2017, segundo EPE/MME (2018a), a oferta interna total de energia atingiu 293,5 Mtep, registrando um crescimento de 1,8% em relação a 2016, equivalente a 2,12% da energia mundial.

**Figura 11-** Oferta interna de energia ano base 2017

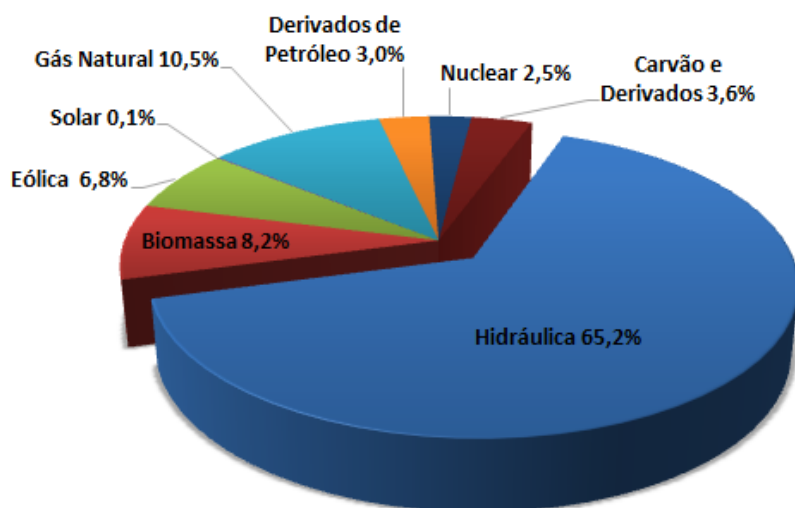


Fonte: Adaptado de EPE/MME (2018a)

Segundo EPE/MME (2018a), no caso da energia elétrica verificou-se um avanço na oferta interna de 4,6 TWh (0,7%) em relação a 2016, merecendo destaque os aumentos de 26,5% na oferta por eólica e 16,2% por gás natural. A geração solar teve aumento de 87,6%, mas sobre uma base ainda baixa em 2016. A geração hidráulica ficou menos acentuada em 2017, chegando a 65,2% da oferta interna de energia elétrica. Por sua parte as fontes renováveis chegaram 80,4% de participação e eólica e bagaço somou 12,5%. A energia solar, apesar da alta taxa de crescimento, ainda é pouco significativa na matriz.

O Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2018 - ano base 2017 do EPE/MME (2018b), informa o comportamento da matriz elétrica brasileira a partir da participação de cada fonte. Como se mostra na Figura 12, o Brasil dispõe de uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica.

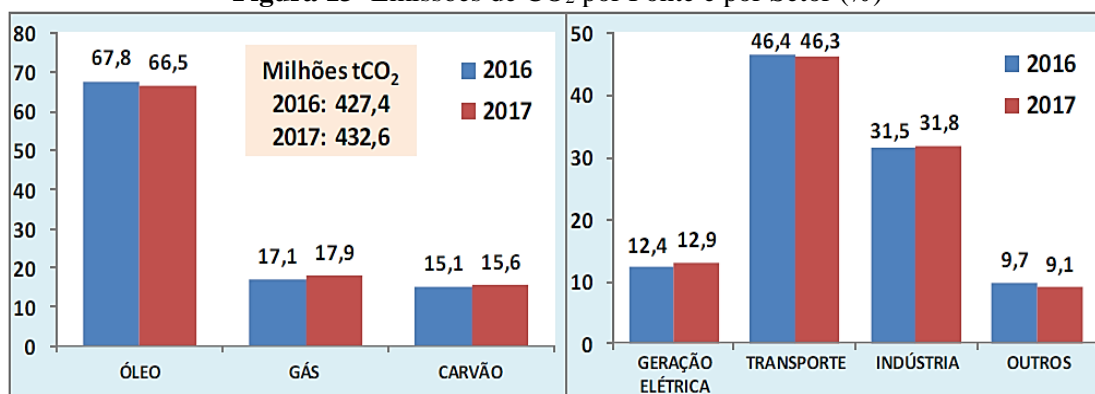
**Figura 12-** Matriz Elétrica Brasileira ano 2017



Fonte: Adaptado de EPE/MME (2018b)

As expressivas participações da energia hidráulica e da bioenergia na matriz energética brasileira proporcionam indicadores de emissões bem menores do que a média mundial e dos países desenvolvidos. Conforme o EPE/MME (2018a), no ano 2017, o Brasil em termos de emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso de energia e a demanda total de energia ficou em 1,47 tCO<sub>2</sub>/tep, indicador inferior ao de 2016 (1,48 tCO<sub>2</sub>/tep), enquanto que, nos países da OCDE, esse indicador ficou em 2,21 e no mundo, ficou em 2,34. Como se mostra na Figura 13, a geração elétrica e a indústria aumentaram a participação nas emissões, no 1º caso em razão do aumento relativo da geração por fontes fósseis, e no 2º caso pelo aumento de carvão mineral na siderurgia.

**Figura 13-** Emissões de CO<sub>2</sub> por Fonte e por Setor (%)



Fonte: EPE/MME (2018a)

## 2.3 HISTÓRICO DO SURGIMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### 2.3.1 Eficiência energética em alguns países do mundo

Com o repentino choque no preço do petróleo, na década de 70, líderes de todo mundo readequaram suas estratégias de gerenciamento e utilização dos recursos energéticos disponíveis. Para minimizar os efeitos gerados por tal crise, surgiram assim algumas medidas de geração e utilização de energia com mais eficiência. Países desenvolvidos industrialmente organizaram-se e levantaram fundos para investimentos em projetos voltados para efficientização do uso de energia e para projetos que utilizavam fontes renováveis de energia. Os objetivos destes investimentos eram de diminuir a dependência em relação ao uso do petróleo e seus derivados.

Em meados dos anos 1980, mais um problema entrou em questão quanto ao uso dos combustíveis fósseis originados pelo petróleo, estes estavam afetando consideravelmente o clima, portanto, novamente virando pauta de assuntos de cunho mundial. O resultado destas inquietações foi o protocolo de Kyoto em 1997, acordo internacional em que os países solicitantes estabeleceram metas de redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Para alcançar tais objetivos, tornou-se imperativa a criação de medidas e mecanismos que estimulassem a eficiência energética (SOARES, 2015).

O Canadá, por exemplo, iniciou seus programas de efficientização de energia na década de 70, porém só em 1995 foi criado o *National Action Program on Climate Change*, coordenado pelo *Office of Energy Efficiency* - OEE. Seus principais programas, atualmente, são voltados para a indústria, setor público, transporte, normalizações de equipamentos na construção civil, programa de etiquetagem de padrões eficientes e de conservação de energia (MME, 2007).



A Espanha, por sua vez, com o programa de eficiência energética por meio do Instituto para Diversificação e Economia Energética - IDAE, empresa pública que realiza projetos que estimulam o uso racional de energia, incentivava às fontes renováveis, auditorias energéticas, uso de combustíveis limpos e substituição de equipamentos antigos (IDAE, 2016).

Nos Estados Unidos os programas são desenvolvidos pelo Departamento de Energia Americano - DOE que atua por meio do *Energy Efficiency and Renewable Energy Network - EERN*, onde os objetivos são estimular e explorar as fontes alternativas de energia. Seu foco principal são as empresas concessionárias de energia, a indústria e os setores de transporte e da construção civil (EERE, 2016). O DOE também investe na pesquisa e desenvolvimento na área de eficiência energética, além da aplicação de mecanismos de mercado como os Programas de Etiquetagem e Padronização de Equipamentos, tendo como objetivo informar ao consumidor e retirar os equipamentos obsoletos do mercado; possui mecanismos de incentivo como o Programa *Energy Star* (DOE/EPA).

Na França todas as ações em eficiência energética encontram-se a cargo da Agência do Meio Ambiente e da Matriz Energética - ADEME verificando-se a influência mútua entre políticas ambientais e energéticas. As áreas prioritárias são: poluição do ar e matriz energética e economia dos resíduos. Os projetos em eficiência energética estimulam o uso das energias renováveis e o desenvolvimento urbano sustentável (ADEME, 2016).

A Alemanha dispõe do maior e mais desenvolvido mercado de serviços energéticos, de auditorias energéticas e de medidas de eficiência energética da União Europeia. O consumo de energia entre os alemães encontra-se praticamente estagnado desde o início dos anos 1990, apesar do contínuo crescimento econômico. As razões para esse fenômeno são os avanços tecnológicos, a economia e a racionalização do uso da energia, além de uma mudança na estrutura da economia nacional (ANEEL, 2013).

Reino Unido na área de eficiência energética o país elaborou um plano de governo cujos objetivos são a conscientização da população e o gerenciamento de programas do *Department of Environment, Transport and Regions - DETR* e do programa *Electricity Standard of Performance - SoP*. Dentre as principais atividades do DETR encontram-se a implementação de aquecedores de água mais modernos, controle no aquecimento e melhorias no isolamento de paredes na construção civil, utilização de combustíveis alternativos, educação, iluminação eficiente e fomento a empreendimentos que contribuam com a conservação de energia (DEFRA, 2016).

Outros países como Noruega, Dinamarca, Austrália, Nova Zelândia e Japão desenvolvem programas parecidos com os demais, buscando reduzir as perdas de energia desnecessárias em todos os segmentos de consumo, sejam por meio de programas de etiquetagem e normalização de produtos ou por geração de energia utilizando matérias primas renovável. Nestes países há um esforço para o uso racional dos recursos energéticos segundo o uso final e a forte atuação em conscientização da população (BAJAY, 2010).

### **2.3.2 Eficiência Energética no Brasil**

No caso de Brasil a preocupação mais acentuada com eficiência energética surgiu com os choques no preço do petróleo, ante a escassez deste recurso e a alta dos preços dos energéticos, foram tomadas uma série de ações voltadas à conservação e maior eficiência no uso dos seus derivados. Nesta mesma época, começou uma corrida para a diversificação da matriz energética visando uma maior segurança no atendimento à demanda de energia, onde é exemplo de sucesso no Brasil o Proálcool (MME, 2011).

O governo brasileiro passou a perceber que a indústria era o setor que mais consumia derivado de petróleo (óleo combustível), então se aumentaram os preços de tal insumo e foi implantado um sistema de controle de abastecimento por meio de cotas de combustíveis. Essas medidas governamentais foram realizadas para frear um pouco o consumo do combustível, porém não foi bem vista pelos empresários e com isso governo lançou o Programa de Conservação de Energia Elétrica - CONSERVE, em 1981, que constituiu a principal experiência que impulsionou a eficiência energética no Brasil (PIMENTEL, 2011).

Tendo em vista um consumo cada vez mais elevado de energia, foi necessário um planejamento do setor energético em concordância com a previsão de crescimento econômico do país. No Brasil, um dos principais órgãos ativos para o planejamento e expansão de energia é a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que tem por finalidade efetuar estudos e pesquisas relacionados ao planejamento energético. Os principais documentos lançados pela EPE são o Plano Nacional de Energia (PNE), Plano Decenal de Expansão de Energia e o Balanço Energético Nacional (BEN). No BEN são divulgados dados relacionados à oferta e demanda de energia, fontes, reservas de combustíveis e históricos. Esses dados são de vital importância para o planejamento energético. O objetivo principal do PNE é um planejamento energético em longo prazo. Nele constam estudos e alternativas no setor vislumbrando principalmente as fontes disponíveis (FROZZA, 2013).

## 2.4 OS PROGRAMAS E SEUS RESULTADOS

Ao longo do tempo, a questão ambiental e o desperdício de energia se tornaram pontos importantes para o desenvolvimento econômico e elétrico do País. Com base nessas preocupações, foram criados alguns programas como:

- Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) - 1984
- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) - 1985
- Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET) - 1991
- Programa de Eficiência Energética (PEE) - 1998

### 2.4.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)

O Programa Brasileiro de Etiquetagem foi oficialmente criado no ano de 1984. Nesta época, o Ministério da Indústria e Comércio e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE firmaram protocolo e com o apoio do Ministério de Minas e Energia criaram o PBE.

Os principais objetivos do programa são prover informações úteis que influenciem a decisão de compra dos consumidores, que podem levar em consideração outros atributos, além do preço, no momento da aquisição dos produtos e estimular a competitividade da indústria, através da indução do processo de melhoria contínua promovida pela escolha consciente dos consumidores.

Mantido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), publica a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, que classifica os produtos em faixas coloridas que variam da mais eficiente (A) a menos eficiente (de C até G, dependendo do produto), levando em conta que os mais eficientes utilizam melhor a energia, têm menor impacto ambiental e custam menos para funcionar. A avaliação dos produtos regulamentados pelo PBE é inicialmente voluntária e, gradativamente, passa a ser compulsória. Periodicamente, o Inmetro coleta e verifica a conformidade de amostras de produtos no mercado e fiscaliza, no comércio, se os produtos estão devidamente etiquetados, com a correta disposição das informações obrigatórias (ANEEL, 2013).

Segundo o Conselho Nacional de Política Energética - CNPE (2015) entre os principais resultados do programa destaca-se R\$ 23 bilhões de economia, desde 2006, por estímulo de substituição de lâmpadas não eficientes, economia de R\$ 6 bilhões por substituição de

refrigeradores e aparelhos de ar-condicionado, 39 programas de etiquetagem em andamento e 27 já regulamentados por portaria.

#### **2.4.2 Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (Procel)**

O Procel, instituído em 30 de dezembro de 1985, é o programa do governo brasileiro, coordenado pelo MME e executado pela Eletrobrás, destinado a promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. Os resultados energéticos obtidos pelas ações do programa contribuem para a eficiência dos bens e serviços, bem como possibilitam a postergação de investimentos no setor elétrico, reduzindo os impactos ambientais (PROCEL, 2018).

Dentro desta iniciativa do governo federal, foi elaborado o Selo Procel, que orienta o consumidor na compra de produtos, sinalizando aqueles com melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Para receber o Selo Procel, o produto deve ser submetido a ensaios específicos em laboratório idôneo. Os recursos utilizados são da Eletrobrás e da Reserva Global de Reversão - RGR, fundo federal constituído com recursos dos consumidores (ANEEL, 2013).

A atuação do Procel se dá através de vários subprogramas. Sendo estes a seguir descritos:

- Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética - Procel Info
- Eficiência Energética em Edificações - Procel Edifica
- Eficiência Energética em Equipamentos - Procel Selo
- Eficiência Energética Industrial - Procel Indústria
- Eficiência Energética no Saneamento Ambiental - Procel Sanear
- Eficiência Energética nos Prédios Públicos - Procel EPP
- Eficiência Energética Municipal - Procel GEM
- Informação e Cidadania - Procel Educação
- Eficiência Energética na Iluminação Pública e Sinalização Semafórica-Procel Reluz

Segundo dados do relatório Procel (2018), os resultados acumulados do programa no período de 1986 a 2017 possibilitou uma economia de energia total da ordem de 128,6 bilhões de kWh. Na Tabela 2 se mostram os resultados Procel, entre os anos de 2013 e 2017 e na Tabela 3 os investimentos do programa.

Uma comparação entre as Tabelas 2 e 3 demonstra que, apesar de existir investimentos elevados em programas de eficiência energética no período, a quantidade de investimento evitado é ainda maior verificando-se que economizar energia é mais vantajoso do que produzir.

**Tabela 2-** Resultados anuais do Procel entre 2013 e 2017

	2013	2014	2015	2016	2017
Energia economizada (bilhões de kWh)	9,74	10,52	11,68	15,15	21,20
Redução de Demanda na Ponta (MW)	3.769	4.022	4.453	8.375	6.887
Usina equivalente (MW)	2.337	2.522	2.801	3.634	5.084
Investimentos postergados (R\$ bilhões)	1,082	1,178	1,623	2,92	3,793
Emissões evitadas (milhões tCO <sub>2</sub> )	0,935	1,425	1.453	1,238	1,965

Fonte: Resultados Procel (2018)

**Tabela 3-** Investimentos e custeios dos programas Procel entre 2013 e 2017

	2013	2014	2015	2016	2017
Investimentos Eletrobrás (R\$ milhões)	25,72	21,18	18,17	14,99	15,74
Investimentos RGR (R\$ milhões)	16,13	-	-	-	-
Totais de recursos aplicados (R\$ milhões)	41,85	21,18	18,17	14,99	15,74

Fonte: Resultados Procel (2018)

### 2.4.3 Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET)

Em 18 de Julho de 1991, por Decreto Federal, foi instituído o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural - CONPET, para trabalhar sobre a coordenação de um grupo composto por representantes de órgãos do Governo Federal e da iniciativa privada, o CONPET é implementado pela Petrobras, que é responsável pelas ações e fornece os recursos técnicos, administrativos e financeiros necessários ao programa.

A área de atuação do CONPET abrange as instituições de ensino e os setores de transportes, industrial (melhoria ambiental e competitividade produtiva), residencial e comercial (uso de selos de eficiência para produtos), agropecuário (uso de óleo diesel) e geração de energia (termelétricas). Ao longo de sua existência, as atividades do CONPET se concentraram, sobretudo, na capacitação de pessoal, divulgação de informações e realização de diagnósticos em veículos de carga e de passageiros (MME, 2011).

As ações do programa para racionalização do uso dos derivados do petróleo e do gás natural contribuem na articulação de estratégias econômicas, ambientais e institucionais (SOUZA et al., 2009).

Atualmente, entre os principais objetivos encontram-se:

- Fornecer apoio técnico para aumento da eficiência energética no uso final da energia;
- Promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico;
- Reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera;
- Conscientizar os consumidores sobre a importância do uso racional da energia para o desenvolvimento sustentável e melhor qualidade de vida; e
- Racionalizar o consumo de derivados do petróleo e do gás natural.

O CNPE (2015) destaca dentre os resultados do programa a economia de mais de um bilhão de óleo diesel, 2,7 milhões de tCO<sub>2</sub> evitados, mais de 6 milhões de m<sup>3</sup> de GLP economizado e a saída de fábrica de mais de 70% dos carros com a etiqueta nacional de conservação de energia.

#### **2.4.4 Programa de Eficiência Energética (PEE)**

Regulado e fiscalizado pela Aneel, o PEE representa a principal fonte de recursos para eficiência energética no Brasil. O objetivo do PEE é promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada, promovendo a transformação do mercado de eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica (ANEEL, 2015).

Conforme Aneel (2016) entre os principais resultados obtidos pelo PEE desde sua criação até o ano 2016 destacam-se a consolidação de 1704 projetos de eficiência energética, com investimentos da ordem de R\$ 5066 milhões contemplando setores como iluminação pública, residencial, comercial, prédios públicos, e industriais, além de projetos voltados à gestão energética municipal e ações educacionais. A execução dos projetos possibilitou uma economia de energia de 4629 GWh/ano e demanda retirada da ponta de 1403 MW.

#### **2.4.5 Histórico de leis, decretos e resoluções de incentivo à eficiência energética**

O governo brasileiro com o objetivo de expandir os programas de eficiência energética criou leis, decretos e resoluções para garantir a continuidade dos mesmos. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE (2009) assim como o PNEf do MME (2011) relacionam os principais marcos a seguir.

Em 1990, por meio do Decreto nº 99.656, o Governo Federal cria a Comissão Interna de Conservação de Energia - CICE, onde obriga cada estabelecimento que apresente consumo anual de energia elétrica superior a 600 000 kWh ou consumo anual de combustível superior a 15 tep (toneladas equivalentes de petróleo), sinalizando uma tentativa de reduzir o desperdício de energia no Setor Público. À CICE cabe à elaboração, implantação e o acompanhamento das metas do Programa de Conservação de Energia, e a divulgação dos seus resultados nas dependências de cada estabelecimento.

Em 6 de Agosto de 1997 é promulgada a Lei nº 9.478/1997 (Lei do Petróleo), que dispõe sobre a Política Energética Nacional e cria a Agência Nacional do Petróleo - ANP. Esta Lei determina que um dos princípios e objetivos da Política Energética Nacional são as políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia, visando, entre outros, o objetivo de proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia.

Em 6 de Outubro de 1997 através do Decreto nº 2.335 é constituída a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, autarquia sob regime especial, aprova sua estrutura regimental e o quadro demonstrativo dos cargos em comissão e funções de confiança e dá outras providências.

Em 9 de Julho de 2000 é promulgada a Resolução nº 271 estabelecendo para os concessionários e permissionários do serviço público de distribuição de energia elétrica, os critérios de aplicação de recursos em ações de combate ao desperdício de energia elétrica e pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor elétrico brasileiro.

Em 24 de Julho de 2000, é promulgada a Lei nº 9.991, que dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

Em 17 de Outubro de 2001, é promulgada a Lei nº 10.295, também conhecida como Lei da Eficiência Energética. Esta Lei corresponde ao principal marco regulatório da matéria no Brasil. Trata do estabelecimento dos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados.

Em 15 de Março de 2004 através da Lei nº 10.847 autoriza-se a criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE e dá outras providências.

A Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010, dispôs sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica, bem como fez alterações nas Leis nº 9.991/2000, Lei nº 10.925/2004, Lei nº 10.438/2002, além

de dar outras providências. Assim, a referida Lei alterou, entre outros, por meio do seu artigo 11º, o artigo 1º da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, onde, por exemplo, seu inciso V passou a vigorar com a seguinte redação: “as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica deverão aplicar, no mínimo, 60% (sessenta por cento) dos recursos dos seus programas de eficiência para unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social”.

Como outras das ações de fortalecimento de eficiência energética foi promulgada a Lei nº 13.280, de 3 de maio de 2016 que altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, com o objetivo de disciplinar a aplicação de recursos destinados a programas de eficiência energética. A alteração na norma garante montante de 0,1% da receita operacional líquida das distribuidoras de energia elétrica para o Programa Nacional de Conservação de Energia-PROCEL. Esta lei também cria o Comitê Gestor de Eficiência Energética - CGEE e atribui à ANEEL a competência para definir o calendário de recolhimento e a forma de pagamento dos recursos que devem ser investidos no PROCEL (ROUSSEFF, 2016).

## 2.5 ATUAL SITUAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Conforme o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável-CEBDS (2014) apesar do histórico de programas de incentivos de eficiência energética na indústria, o Brasil apresenta baixos índices de eficiência energética quando comparado com as principais economias do mundo.

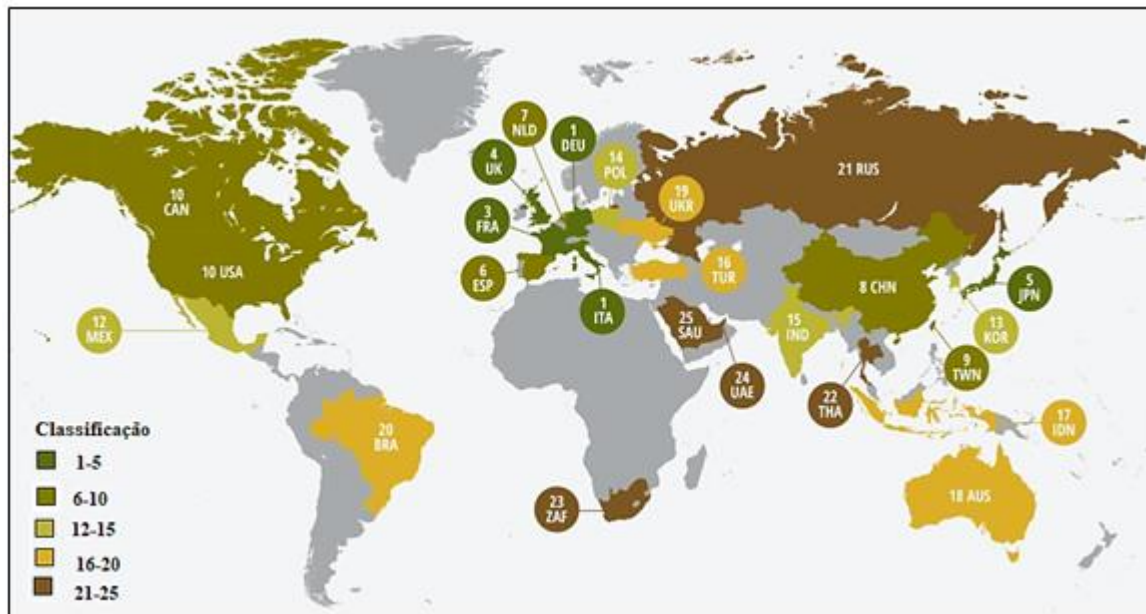
Estudo desenvolvido pelo *American Council for an Energy-Efficient Economy - ACEEE* (2018) examinou as políticas de eficiência energética e o desempenho de 25 dos principais países consumidores de energia do mundo. Juntos, esses países representam 78% de toda a energia consumida no planeta e mais de 80% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial em 2014. Foram avaliados e classificados os esforços de eficiência de cada país usando 36 métricas de política e desempenho distribuídas em quatro categorias: edifícios, indústria, transporte e progresso geral da eficiência energética nacional, alocando uma pontuação máxima de 25 para cada uma dessas quatro.

O Brasil ficou na posição 20 do ranking internacional de eficiência energética entre as 25 maiores economias do planeta, com uma pontuação de 36,5 pontos de 100, ficando atrás não somente das economias industrializadas, mas também, de nações emergentes, sendo isto um aspecto de grande preocupação. O ranking foi liderado pela Alemanha e Itália, os quais ficaram



empatados com uma pontuação de 75,5 dos 100 pontos possíveis (ACEEE, 2018). Abaixo a Figura 14 apresenta os países analisados e sua posição no ranking.

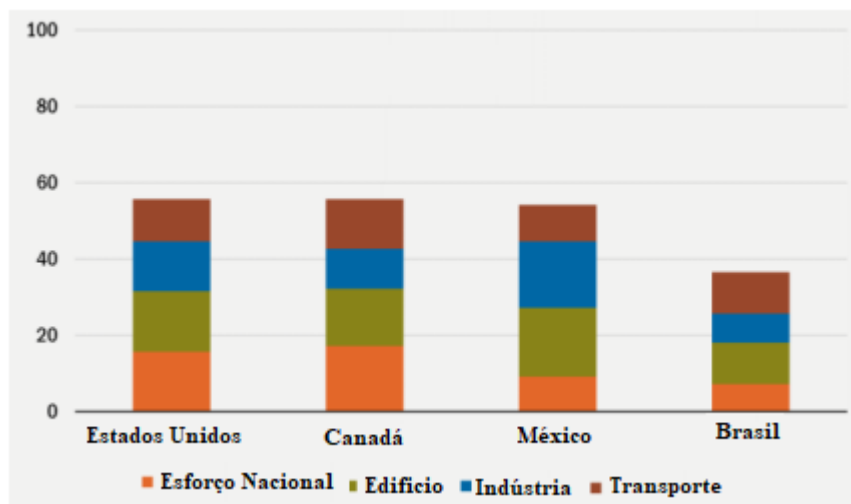
**Figura 14-** Classificação mundial de eficiência energética



Fonte: Adaptado de ACEEE (2018)

Conforme mostra Figura 15 ao se fazer uma comparação do potencial de eficiência energética por segmento deixa clara a diferença do desempenho de países como, por exemplo, Estados Unidos, Canadá e México em relação ao Brasil.

**Figura 15-** Comparação da pontuação x categoria de Brasil com países de América



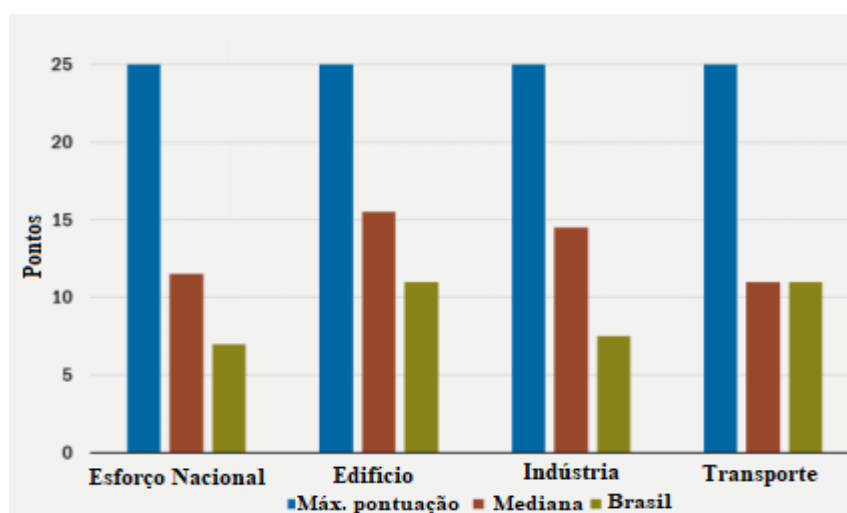
Fonte: Adaptado de ACEEE (2018)

No Brasil apesar do setor industrial ser o mais representativo no consumo do país, conforme relatório do CNI/Eletrobrás (2009), o setor é considerado atrasado em termos de eficiência energética, já que não é prioritário no segmento. Mesmo contando com a existência

do fundo de eficiência energética, previsto na Lei nº 9.991, de 2 a 3 % destes recursos vão para a indústria.

De acordo com ACEEE (2018) e conforme mostra Figura 16, o Brasil das quatro categorias analisadas, obteve uma das menores pontuações na seção industrial, ficando na colocação 21, obtendo uma pontuação de 7,5 do total de 25, encontrando-se um passo atrás dos outros países quando se trata da eficiência energética nesse setor. Apesar de ter melhorado ligeiramente na seção industrial do 2018 Scorecard em relação ao do ano 2016, não contam com pontuação nas métricas de obrigatoriedade da gestão energética, obrigatoriedade da auditoria energética, investimento em P & D de manufatura, assim como política para apoiar a integração energética nas práticas de gestão através do uso de sistemas de gestão de energia nos padrões da norma ISO 50001.

**Figura 16-** Pontuação de Brasil por categoria



Fonte: Adaptado de ACEEE (2018)

Hoje quando a norma ISO 50001 representa as melhores práticas internacionais em gestão da energia, segundo a ISO (2017) desde o ano 2011 que foi publicada a mesma até finais do ano 2016 no Brasil existiam apenas 22 certificações, sendo um número tímido, principalmente quando comparados a alguns países da Europa. Uma taxa tão baixa de certificação corporativa reflete uma posição bastante passiva da gestão de topo do país em seguir as tendências modernas de trabalho gerencial. A Tabela 4 mostra o número de certificações ISO 50001 por países.

**Tabela 4-** Lista de países com Certificação na norma ISO 50001 (2011-2016)

<b>País</b>	<b>Certificações</b>	<b>País</b>	<b>Certificações</b>
Alemanha	9024	Polônia	112
Reino Unido	2829	Suíça	75
Itália	1415	Bélgica	70
China	1015	Vietnam	60
França	759	Irã	65
Índia	570	Singapura	65
Hungria	526	Hong Kong	59
Espanha	465	Indonésia	54
Rep. Checa	369	Grécia	51
China Taipei	298	EUA	47
Tailândia	255	Finlândia	44
Áustria	224	Japão	40
Rússia	174	Portugal	37
Irlanda	137	Israel	29
Dinamarca	118	Bulgária	27
Turquia	115	Brasil	22
<b>TOTAL (+ Países não listados)</b>			<b>20 216</b>

Fonte: ISO (2017)

Apesar da posição não muito favorável do Brasil no *International Energy Efficiency Scorecard*, a ACEEE (2018) visualiza a eficiência industrial como uma grande área de oportunidades para o Brasil. Destaca que um foco na implementação de uma política sobre gerenciamento de energia pode beneficiar muito os esforços de eficiência energética do país e enfatiza que poderia explorar a necessidade de auditorias energéticas e a contratação de gerentes de energia para grandes instalações industriais.

## 2.6 BARREIRAS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo Vine (2005) apesar dos grandes benefícios que uma medida de eficiência energética pode trazer a seu usuário e à sociedade como um todo, existem muitas barreiras que impedem a sua disseminação tais como: dificuldades para financiamento, percepção dos riscos envolvidos, falta de informação, conscientização, treinamento, conhecimento das regras de um contrato de desempenho, acesso às tecnologias e equipamentos de uso eficiente da energia, altos custos de transação e falta de confiança no resultado das medidas.

De acordo com o MME (2007) no seu Plano Nacional de Energia 2030 algumas das principais barreiras à eficiência energética são:

- Tecnológicas: os equipamentos eficientes precisam ter custos mais competitivos; existe uma clara defasagem na indústria nacional;

- Econômicas: o preço da energia tende a crescer nos próximos anos, mas ainda assim constitui-se uma barreira a projetos de eficiência energética e o custo de capital para alguns projetos ainda é muito alto;
- Institucionais: o mercado de eficiência energética é ainda muito imaturo e some-se a este fato que não existe uma única visão para a questão da eficiência entre usuário e construtor, por exemplo; e
- Culturais: existe uma tendência ao desperdício, as decisões de compra são baseadas no custo inicial e verifica-se uma falta de conhecimento das técnicas de uso eficiente dos equipamentos.

Para conhecer melhor as oportunidades de eficiência energética na indústria a Confederação Nacional da Indústria - CNI (2009) fez um diagnóstico com 13 setores industriais de expressivo consumo de energia, identificando as principais barreiras que impedem os potenciais de eficiência se tornar efetivos. Em síntese, as barreiras são as seguintes:

- Legislação desfavorável a investimentos industriais em energia;
- Ausência ou não adequação das linhas de financiamento para ações de eficiência energética;
- Energia é custo e não um fator de competitividade para a indústria;
- Investimento em eficiência energética concorre com investimento na produção;
- Grande indústria compete em nível internacional: eficiência deve ser estimulada;
- A tecnologia é fator de competição e não está livremente disponível;
- Necessidade de capacitação de pessoal para identificar oportunidades de eficiência energética;
- Aversão a riscos técnicos decorrentes de novas tecnologias;
- Ausência de indicadores de desempenho energético; e
- Pouco conhecimento sobre os benefícios da eficiência energética.

Seguindo o mesmo raciocínio o CNI/Eletróbrás (2009), afirma que comparativamente ao exterior, os governos estimulam diretamente as ações de eficiência energética através de financiamento, renúncia fiscal, treinamento e disponibilização de material técnico de qualidade. Nesse contexto, o Brasil perde competitividade na área industrial e nas políticas de eficiência energética. Há a necessidade de melhor alocação de recursos e maior prioridade nos programas brasileiros já existentes como o CONPET, PROCEL e PBE, todos considerados de qualidade internacional, mas ainda de pouca abrangência em termos de equipamentos e material técnico.

Conforme CNI/Eletróbrás (2009), para que as barreiras sejam vencidas é necessário que cada empresa efetue um criterioso levantamento de todas as suas restrições, e de acordo com suas possibilidades desenvolvam o planejamento adequado para corrigi-las.

## 2.7 ABNT NBR ISO - 50001

De acordo com Pinto (2014) a gestão energética pode ser definida como um conjunto de procedimentos administrativos que permite a organização controlar o uso e consumo de energia de forma sistematizada, a fim de melhorar o desempenho dos processos energéticos. A partir de uma gestão energética adequada, a organização pode determinar como a energia é usada e, com base disto, pode criar medidas que objetivem a redução do consumo e custos.

Segundo Frozza et al. (2012) um sistema de gestão energética (SGE) visa ter conhecimento de todo o fluxo de energia em uma instituição; verificar influências, possíveis pontos a serem melhorados e acima de tudo ter controle sobre o sistema aplicando ações corretivas.

Um sistema de gestão de energia, em muitos casos é mais eficaz do que programa de eficiência energética devido a sua atuação ser mais ampla e duradoura, demandando um custo inicial relativamente baixo em vista dos retornos vindos de forma de eficiência energética nos diferentes processos (FROZZA et al., 2012).

Conforme Mendoza et al. (2015), uma das vias mais eficazes para obter resultados positivos na eficiência energética é através da implantação de um sistema de gestão de energia que possibilita uma redução nos custos de energia entre 10% e 25% em um curto período de tempo.

No ano de 2011 foi lançada no Brasil a norma ABNT NBR ISO 50001 - Sistemas de gestão de energia - Requisitos com orientações para uso. O objetivo desta Norma é permitir que as organizações estabelecessem os sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, uso e consumo. A implantação desta norma se destina à redução nas emissões de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais relacionados à energia e os custos/economia que esse sistema de gestão de energia promoverá. É aplicável a todos os tipos e tamanhos de organizações, independentemente de condições geográficas, culturais ou sociais. A implementação bem-sucedida depende do comprometimento de todos os níveis e funções da organização e, especialmente, da direção (ABESCO, 2016).

A ISO 50001 é baseada no modelo de sistema de gestão de melhoria contínua, também utilizado para outros padrões bem conhecidos, como ISO 9001 e ISO 14001. Isto facilita para as organizações integrarem o gerenciamento de energia em seus esforços a fim de melhorar a qualidade e gestão ambiental.

Entre os principais retornos de um Sistema de Gestão de Energia (SGE) destacam-se:

- Diminuição do custo de energia;
- Diminuição da necessidade de manutenção de equipamentos;
- Melhoria da imagem da empresa perante a sociedade;
- Melhor conhecimento de onde a energia está sendo gasta;
- Distribuir responsabilidades de metas energéticas para vários setores;
- Possibilidade da expansão da indústria com um conhecimento prévio dos futuros gastos de energia;
- Rateio de custos de energia entre os diversos setores;
- Conhecimento de gasto de energia sobre cada produto finalizado;
- Verificar se a empresa está tendo um consumo energético compatível com empresas referencias do mesmo setor;
- Possibilidade de fazer da empresa uma referência em gestão de energia.

### **2.7.1 Escopo e principais itens**

O modelo de gestão segundo a norma ABNT NBR ISO 50001 pode ser visto na Figura 17. O modelo baseia-se na estrutura de melhoria contínua *Plan-Do-Check-Act (PDCA)* e incorpora a gestão de energia nas práticas diárias das organizações. Pinto (2014) expõe os termos do ciclo PDCA:

- Planejamento (P): consiste em estabelecer as metas sobre itens de controle, bem como o caminho para se atingir as metas propostas;
- Execução (D): consiste em fazer as tarefas exatamente como previstas no plano e coletar os dados para verificação do processo;
- Verificação (C): com base nos dados coletados na execução compara os resultados alcançados aos objetivos planejados;
- Ação (A): caso sejam detectados desvios será necessário criar ações para fazer correções definitivas, de forma que o problema não volte a ocorrer.

Como observado, a norma é estruturada em uma política energética, um planejamento energético, implementação e operação, além de verificação e análise crítica pela direção (FROZZA, 2013).

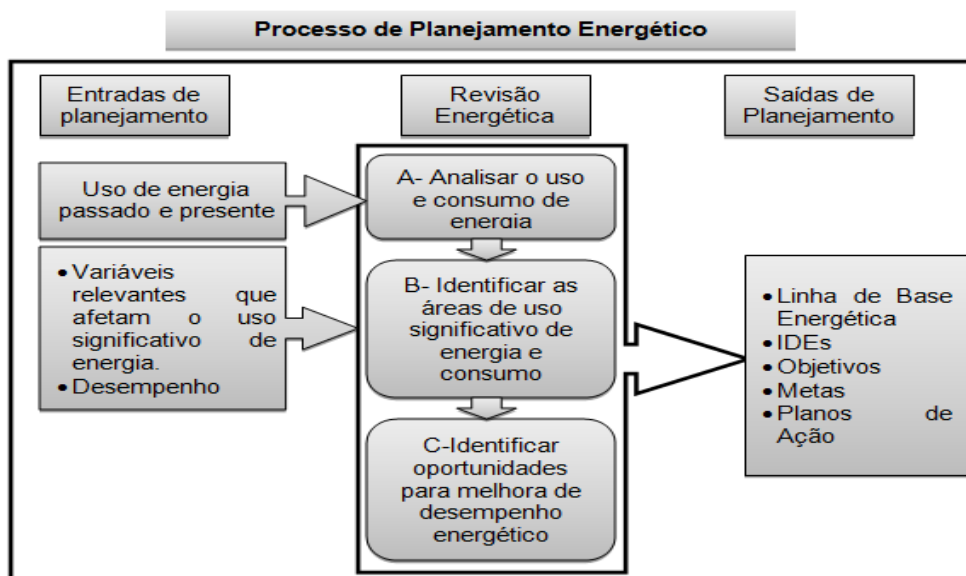
**Figura 17-** Modelo de sistema de gestão de energia segundo a norma ABNT NBR ISO 50001



Fonte: Adaptado da ABNT NBR ISO 50001(2011)

Dentro da norma, o processo de planejamento energético constitui uma das principais etapas para implementação de um sistema de gestão de energia e, conforme demonstra a Figura 18, é dividido em Entradas de Planejamento, Revisão Energética e Saídas de Planejamento. Nesse processo destacam-se os três itens de maior importância para um sistema de gestão energética, os quais são objeto do estudo: revisão energética, linhas de base energética e indicadores de desempenho energético (IDEn), termos que são identificados por variáveis técnicas, que impactam diretamente sob a economia de energia gerada e demonstram se o sistema está dentro de limites aceitáveis.

**Figura 18-** Diagrama conceitual do processo de planejamento



Fonte: Adaptado da ABNT NBR ISO 50001 (2011)

A execução deste trabalho contou com a utilização dos conceitos e das metodologias definidas pela norma ABNT NBR ISO 50001:2011, fundamentada no ciclo PDCA. Deve-se destacar que não é objetivo do estudo a aplicação de todos os requisitos da norma, apenas aqueles atrelados à etapa de planejamento, especificamente ao processo de revisão energética, visando identificar as possibilidades de melhorias no desempenho energético que poderão contribuir com a redução de custos na empresa, já que este é um dos principais impactos do consumo de energia.

### 2.7.2 Revisão Energética

O item 3.5 da ABNT NBR ISO 50001 estabelece que a revisão energética é a determinação do desempenho energético da organização com base em dados e em outras informações, conduzindo a identificação de oportunidades de melhoria.

A revisão energética, se devidamente implementada, pode constituir um suporte à tomada de decisão no que concerne à melhoria no provisionamento de energia, das práticas de operação e manutenção e a renovação ou substituição dos equipamentos existentes.

Conforme Pinto (2014) a revisão energética é a determinação do desempenho energético com base em informações que podem ser oriundas de auditorias energéticas, não devendo ser confundidos estes termos, pois a revisão energética é uma atividade mais abrangente.



A ABNT estabelece a necessidade de que as revisões energéticas sejam realizadas e monitoradas a partir de metodologias reconhecidas e documentadas. Para desenvolver a revisão energética a norma recomenda os seguintes requisitos básicos:

a) Analisar o uso e consumo de energia baseado em medições e outros dados: o objetivo deste requisito é identificar padrões e tendências no uso e consumo de todas as fontes de energia utilizadas pela organização, possibilitando compreender como tem sido e como é o desempenho energético atual, estimar comportamentos futuros, estabelecer diferenças com os valores reais e decidir até que ponto suas variações são aceitáveis.

b) Baseada na análise da utilização e consumo da energia, identificar as áreas de uso significativo de energia: o objetivo deste requisito é permitir o melhor uso dos recursos destinados à gestão de energia da organização. Durante o desenvolvimento deste requisito devem ser identificadas as variáveis relevantes que afetam o uso significativo de energia. Estas variáveis são particulares para cada processo, sistema elétrico ou equipamento, dentre as mais frequentes destacam-se: níveis de produção, estrutura de produtos, clima, horas de operação e nível de luz do ambiente. A identificação destas variáveis é muito importante para o SGE, pois determina em grande parte o consumo de energia, devendo ser conhecidas e controladas adequadamente (NORDELO; BONIFAZ, 2013).

c) Identificar, priorizar e registrar oportunidades de melhoria: este requisito é fundamental para o planejamento da gestão energética numa organização, devendo ser um processo contínuo para que possa contribuir eficazmente ao melhoramento permanente do desempenho energético da organização.

Conforme a Associação Industrial do Distrito de Aveiro - AIDA (2014), a identificação de oportunidades proporciona grandes benefícios, incluindo a descoberta de melhorias nas práticas operacionais e de novas soluções tecnológicas com benefícios práticos decorrentes da sua implementação. Alguns dos benefícios decorrentes da implementação das oportunidades identificadas podem ser a diminuição das emissões de gases efeito estufa, redução do consumo de energia, a redução de custos operacionais e aumento da eficiência operacional. A identificação de oportunidades de melhoria é considerada como uma metodologia confiável de atingir a melhoria contínua do desempenho energético.

Segundo Nordelo e Bonifaz (2013), a análise das perdas de energia fornece um método simplificado para examinar todas as formas em que o equipamento e os sistemas podem ser

modificados para reduzir seu consumo. Devendo ser considerados dois tipos de oportunidades para reduzir as perdas:

- Adaptar o uso à necessidade: são aquelas ações que reduzem diretamente o uso do sistema ou equipamento, atendendo a necessidade ou exigência de energia com o mínimo de desperdício ou excesso e;
- Aumentar a eficiência do sistema ou equipamento: são as ações que reduzem as perdas dos componentes do sistema, ao mesmo tempo em que satisfazem a necessidade ou exigência de energia.

### 2.7.2.1 Auditoria Energética

Para Aliyu et al. (2015) a auditoria energética constitui um elemento fundamental de serviços de gestão de energia que emprega métodos de análise de energia para avaliar o uso de energia e desenvolver medidas de eficiência energética para reduzir os desperdícios e custos.

Munguia et al. (2016) definem as auditorias energéticas como uma inspeção, vistoria e análise dos consumos de energia de uma instalação industrial, seus edifícios e processos destinados a reduzir a quantidade de entrada de energia, sem afetar negativamente as saídas, ou seja, melhorar a eficiência energética.

Conforme AIDA (2014) são determinados três níveis de auditorias que podem ser utilizadas como ferramenta de suporte na revisão energética, sendo:

Nível I - WT (*Walk-Through Audit*): é a metodologia ideal quando a organização pretende ter uma ideia rápida sobre eventuais oportunidades de redução de consumos e custos de energia com o mínimo investimento. As atividades incluem uma avaliação das contas de energia e uma breve inspeção dos locais da instalação.

Nível II - Diagnóstico energético: pode ser geral (a toda a organização) ou direcionado (a um sistema). Este tipo de auditoria permite determinar com rigor oportunidades de melhoria sem custo e de baixo custo e também fornecem recomendações de medidas de eficiência energética de acordo com seus planos financeiros. Incluem uma análise aprofundada dos custos de energia e uso de energia.

Nível III - Auditoria Oficial: implica uma análise global e detalhada a toda a instalação com prazo típico de realização de 4 a 12 semanas. Fornecem recomendações sólidas e análises financeiras para grandes investimentos de capital. Inclui caracterização detalhada de todos os

consumos de energia, cálculo de consumos específicos e identificação de medidas de eficiência energética com análises técnicas- económicas. Além das atividades de Nível I e II, as auditorias de Nível III incluem monitoramento, coleta de dados e análises de engenharia.

*American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE* (2011) define três níveis de auditoria energética dependentes entre si. A cada nível as complexidades das análises e da avaliação do local aumentam, juntamente com a qualidade e detalhamento dos dados coletados. Estes esforços podem ser traduzidos posteriormente em maior economia de energia. A Tabela 5 mostra as atividades que devem ser desenvolvidas em cada nível.

**Tabela 5-** Níveis de auditoria energética

<b>Auditoria Nível I</b>	<b>Auditoria Nível II</b>	<b>Auditoria Nível III</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar breve levantamento das características da instalação;</li> <li>• Reunião com a alta direção para levantar problemas comuns e previsões de reforma;</li> <li>• Analisar a função especial dos ambientes;</li> <li>• Estimar a redução no consumo de energia com medida sem custo ou de baixo custo;</li> <li>• Identificar medidas de eficiência que requerem estudos adicionais e estimar a redução no consumo e nos custos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos os itens da Auditoria de Nível I;</li> <li>• Rever plantas e verificar as práticas de Operação e Manutenção (O&amp;M);</li> <li>• Descrever e analisar os principais sistemas consumidores da energia;</li> <li>• Medir os parâmetros operacionais chave e comparar com os níveis adotados em projeto;</li> <li>• Discriminar o consumo de energia por uso final;</li> <li>• Listar operações em equipamentos e O&amp;M com potencial para reduzir o consumo;</li> <li>• Avaliar o potencial de redução dos custos de energia para cada medida de eficiência;</li> <li>• Estimar o custo de implantação de cada medida de eficiência;</li> <li>• Estimar o impacto de cada medida nos custos;</li> <li>• Preparar uma avaliação financeira do investimento total de acordo com as expectativas de retorno do proprietário.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos os itens da Auditoria de Nível II;</li> <li>• Expandir a descrição das medidas que exigem maior detalhamento;</li> <li>• Avaliar métodos de medição e realizar monitoramento conforme necessidade;</li> <li>• Realizar modelagem precisa das medidas propostas;</li> <li>• Preparar esboço esquemático de cada medida;</li> <li>• Estimar custo-benefício de cada medida;</li> <li>• Efetuar reunião com proprietário para discussão dos resultados.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2011)

A ISO 50001 mostra a necessidade de definir de forma clara as fronteiras dentro da organização para a realização de auditoria energética. Esta delimitação visa criar grupos distintos com a finalidade de controle e monitoração, além de possibilitar enxergar a empresa como o conglomerado de centros de consumo e/ou fornecimento de energia que se comunicam através de um intercâmbio de energia (FROZZA, 2013).

Segundo o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance - EVO (2012), a fronteira de medição é aquela fronteira virtual estabelecida à volta dos equipamentos e/ou sistemas para separar aqueles que são relevantes para a determinação da economia daqueles que não o são. Todos os consumos de energia do equipamento ou dos sistemas dentro da fronteira de medição devem ser medidos ou estimados. Em uma planta, poderá haver uma ou múltiplas fronteiras. A delimitação de fronteiras permite a escolha e controle dos indicadores energéticos, define o alcance do SGE além de facilitar a coleta de dados.

### **2.7.3 Linha de base energética**

A linha de base energética (LBE) está inserida na revisão energética, seus requisitos são estabelecidos no subitem 4.4.4 “Linha de base energética”, sendo definidas como referências quantitativas que fornecem uma base para comparação do desempenho energético, além de ser caracterizadas da seguinte maneira:

- Uma linha de base energética reflete um período de tempo especificado;
- Uma linha de base energética pode ser normalizada usando variáveis que afetam o uso e/ou consumo de energia, como nível de produção, graus-dia (temperatura exterior), etc.;
- A linha de base energética é também utilizada para cálculo da economia de energia, como uma referência antes e depois da implementação de ações de melhoria de desempenho energético.

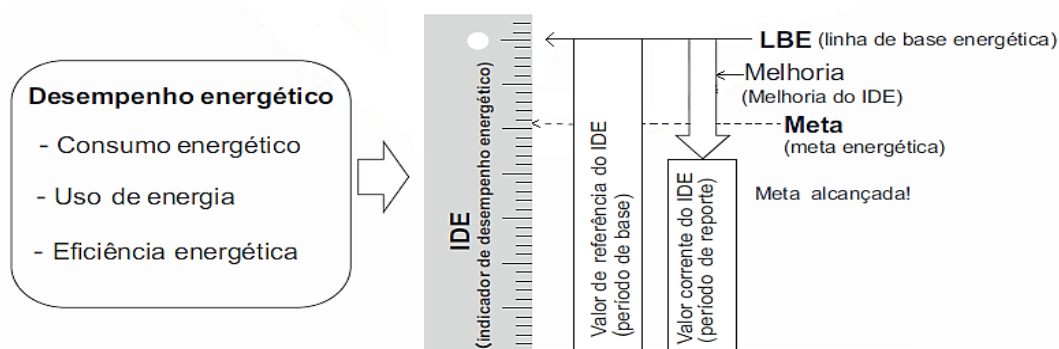
A linha de base define uma referência que permite a comparação entre o estado atual de desempenho da organização e o estado inicial que era antes da implementação do sistema de gestão de energia, definindo ou não, se o sistema está sob controle. Esta referência pode ser qualquer valor mensurável, por exemplo, um valor absoluto do consumo de energia, um indicador.

Para Frozza et al. (2012), a linha de base define o indicador ideal de consumo de energia da organização. Podendo existir muitas linhas de base, conforme necessário, para toda a organização, áreas, processos ou sistemas de energia em particular e segundo os limites estabelecidos.

Leite (2010) acredita que a determinação da linha de base é fundamentalmente importante, pois é a partir dela que serão comparados os resultados pós-implementação do projeto de EE e assim determinada a economia obtida.

A linha de base guarda estreita relação com os IDEn e as metas definidas pela organização para a melhoria do desempenho energético sendo mostrada esta relação conforme a Figura 19.

**Figura 19-** Relação entre desempenho energético, IDEn, LBE e metas energéticas



Fonte: ABNT NBR ISO 50006 (2016)

A construção das linhas de base deve considerar um período recente de dados confiáveis, normalmente de um ou dois anos, de forma a representar fielmente a realidade dos aspectos de uso, consumo e eficiência vinculados à sua operação. Também se admite que a linha de base energética possa ser alterada em função de ocorrências de mudanças significativas na organização (AIDA, 2014).

A norma ISO 50001 não define como ou que ferramentas utilizar para a construção da linha de base energética, deixando esta tarefa a cargo da organização. No entanto, foi lançada a norma ABNT NBR ISO 50006: 2016 - Sistemas de gestão de energia - Medição do desempenho energético utilizando linhas base energética (LBE) e indicadores de desempenho energético (IDEn) - Princípios gerais e orientação, para fornecer às organizações orientações práticas e metodologias para atender aos requisitos da ISO 50001, em particular no estabelecimento, uso e manutenção de indicadores e linha de base.

Segundo a ABNT NBR ISO 50006 (2016) para o estabelecimento da linha de base, o indicador relacionado deve ser medido ou calculado usando o consumo de energia e dados variáveis relevantes do período correspondente. Se apropriado, deve ser testada a validade da linha de base através de testes estatísticos, como p-valor, F-Teste ou coeficiente de determinação para garantir que seja uma referência apropriada para a comparação. Se o modelo for considerado inválido, a organização deve considerar ajustar a linha de base ou determinar um novo modelo.

Conforme Leite (2010) para a determinação da linha de base existe vários métodos, como modelos de regressão estatística, simulação por computador e outros, sendo os modelos de regressão estatística os mais populares.

#### **2.7.4 Indicadores de desempenho energético**

O subitem 4.4.5 “Indicadores de desempenho energético” da ABNT NBR ISO 50001 estabelece a necessidade de que a organização crie indicadores para o monitoramento permanente do seu desempenho energético, já que a norma não dita a metodologia para a determinação deles. Porém esses indicadores devem ser mantidos e atualizados e comparados à linha de base.

Segundo Leite (2010) as principais normas para sistemas de medição e verificação com objetivo da determinação da economia de energia são PIMPV da EVO e ASHRAE 14. Apesar de fornecer inúmeras ferramentas e informações úteis para a elaboração de um plano de Medição e Verificação - M&V, essas, são relativamente omissas em relação a indicadores de eficiência energética, deixando a cargo do engenheiro de eficiência energética determinar seus próprios indicadores.

Os IDEn devem estar associados aos usos significativos de energia e possuir vínculo adequado com os elementos estabelecidos na linha de base energética. Estes podem ser constituídos de um simples parâmetro, uma simples razão entre variáveis ou até um modelo mais complexo que represente uma realidade de atividade da organização. Exemplos de indicadores podem incluir consumo de energia por tempo, consumo de energia por unidade de produção e modelos que utilizam muitas variáveis.

A organização deve manter seus indicadores válidos para monitoramento do desempenho energético de suas operações e promover as atualizações necessárias quando ocorrerem mudanças das atividades do negócio ou das linhas de base energética (FOSSA, 2015).

Bunse et al. (2011) sugerem que os indicadores podem ser úteis para medição e controle da eficiência energética em indústria, também são mencionados como uma das medidas necessárias para implementar a Norma Internacional ISO 50001 padrão para sistemas de gestão de energia, em conjunto com a normalização e podem ser vistos como facilitadores para melhorar a eficiência energética.

Segundo a EPE na nota técnica: DEA 16/12 - avaliação de eficiência energética para os próximos 10 anos e ODYSSEE (2012) no relatório comitê de monitoramento de eficiência energética europeia a utilização de indicadores de eficiência energética permite:

- Monitorar o progresso de eficiência energética na economia e em setores específicos;
- Avaliar o impacto de políticas e programas voltados para eficiência energética, inclusive justificando a manutenção ou a interrupção de determinadas ações;
- Planejar novas abordagens e políticas, incluindo programas de pesquisa e desenvolvimento;
- Melhorar as previsões e o planejamento a partir da melhoria nos parâmetros e dados de entrada em modelos;
- Criar indicadores confiáveis para comparativo entre setores, regiões e países.

Conforme Pattersom (1996) deve-se contar com uma série de indicadores para quantificar mudanças na eficiência energética, dividindo-os em quatro grupos principais cujas características seguem:

- Termodinâmicos: baseados inteiramente na ciência da termodinâmica indicam a relação entre o processo real e o ideal quanto à necessidade de uso de energia;
- Físicos-termodinâmicos: consideram a quantidade de energia requerida em unidades termodinâmicas, mas as saídas (produtos) são expressas em unidades físicas;
- Econômicos-termodinâmicos: têm como referência a energia requerida em unidades termodinâmicas, mas os produtos são expressos em unidades econômicas (valores monetários);
- Econômicos: tanto a energia requerida como os produtos são expressos em grandezas econômicas.

De acordo com Ferreira (1994) os indicadores energéticos podem ser definidos como macro indicadores (quando caracterizam a eficiência de um país ou região) e micro indicadores (quando caracterizam a eficiência de uma empresa, edifício ou habitação).

Conforme a norma ISO 50006, os IDEn podem ser de muitas tipologias diferentes, dependendo do uso final, do usuário e os objetivos para os quais são criados. A mesma prevê várias tipologias de IDEn tais como:

- IDEn de valor de energia medido, o qual consiste na escolha de uma economia absoluta de energia como meta energética, sendo de utilidade na medição de reduções no uso e

consumo absoluto de energia, monitoramento e controle de estoque e custo de energia, assim como na compreensão de tendências de consumo de energia;

- IDEn de proporção dos valores medidos, utilizados para padronizar comparações entre várias instalações ou organizações que operam de modo similar empregando o método benchmarking, além de possibilitar monitorar a eficiência energética em sistemas com pouca carga de base e que possuem apenas uma variável relevante;
- IDEn baseados em modelos, os quais podem ser obtidos através de regressões, ideais para sistemas com muitas variáveis relevantes, elevada carga de base e que podem tornar-se para a forma mais complexa de um modelo de engenharia.

Cabe ressaltar que em todas essas definições, o ponto comum é o uso destes indicadores como uma ferramenta útil de avaliação do progresso da eficiência energética como um todo ou em setores específicos.

## 2.8 MÓDULOS TEMÁTICOS

Os principais módulos temáticos a serem analisados na revisão energética na indústria de ferroligas foram definidos a partir de Leite; Bajay e Debonzi (2010), os quais consideram como os principais usos da energia nesse setor os seguintes:

- Força motriz: a energia usada em motores estacionários;
- Fornos: energia usada em fornos;
- Refrigeração: energia usada em geladeiras, freezers, equipamentos de refrigeração e ar-condicionado tanto de ciclo de compressão ou de absorção; e
- Iluminação: energia utilizada em iluminação de interiores e externa.

Segundo esses autores, o consumo de energia é concentrado no uso final aquecimento direto, correspondendo aos fornos, exceto para eletricidade, cuja destinação é a seguinte:

- Aquecimento direto (fornos): 96,5%
- Força motriz (motores e acionamentos): 2,9%
- Iluminação: 0,4%
- Refrigeração: 0,2%

Além desses módulos temáticos são analisados a tarifação elétrica, quadro de distribuição, transformadores e qualidade da energia, os quais também são de vital importância dentro do setor industrial e donde se concentram oportunidades de melhoria da eficiência



energética. A revisão energética será feita tendo em consideração os módulos temáticos definidos, seguindo a continuação a descrição das particularidades de cada um.

### **2.8.1 Fornos**

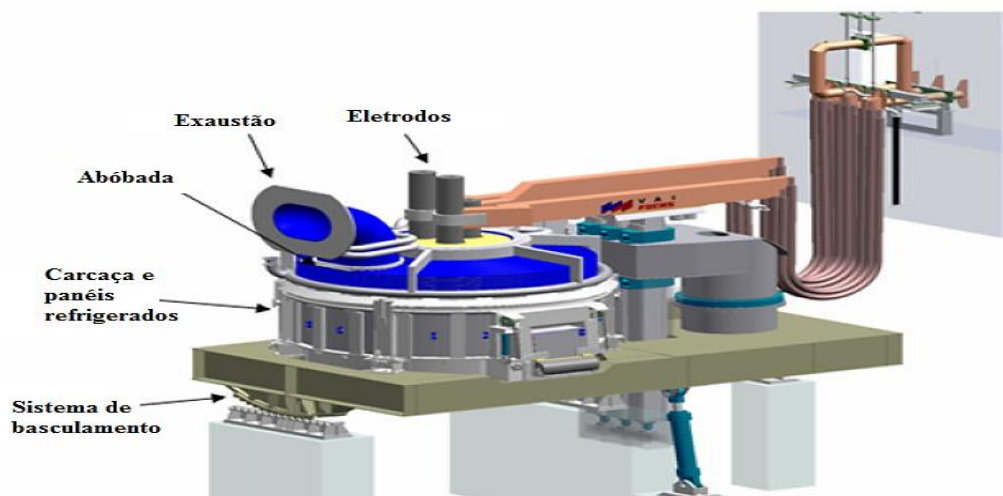
Conforme Viana et al. (2012) os fornos são equipamentos destinados ao aquecimento de materiais com diferentes objetivos: cozimento, fusão, calcinação, tratamento térmico, secagem, etc. Qualquer que seja sua finalidade, a característica principal de um forno, é transferir ao material o calor necessário gerado por uma fonte de calor, com o máximo de eficiência, uniformidade e segurança. Os fornos consomem volumes expressivos de energia nas instalações industriais, constituindo um potencial para a economia de energia.

Segundo Procel/Eletróbrás (2005) os fornos elétricos utilizam a energia elétrica como fonte de calor, podendo ser a resistência elétrica, a arco voltaico ou de indução eletromagnética. A eficiência térmica dos fornos elétricos é bastante elevada, pois não existem problemas de combustão e perdas de chaminé.

Dentre os fornos elétricos os de tipo a arco são os mais utilizados na indústria siderúrgica, nos quais o aquecimento é feito através de eletrodos especiais que fazem passar um arco entre si. Estes eletrodos vão se desgastando, pois, seu material é consumido pelo arco voltaico, porém mecanismos especiais os mantêm na distância necessária para formação do arco. Nestes fornos a demanda de energia elétrica é intensa.

Conforme mostra a Figura 20, os fornos elétricos a arco estão compostos basicamente por uma carcaça metálica revestida por material refratário e painéis refrigerados. A carcaça é coberta pela abóbada, através da qual descem os eletrodos que podem ser de carbono, pré-fabricados ou eletrodos *Soderberg*, os quais são condutores de eletricidade e responsáveis pela formação do arco elétrico, e pela transferência de energia para a sucata a fim de promover a sua fusão.

**Figura 20-** Representação esquemática de um forno elétrico a arco



Fonte: GRANADO et al. (2007)

Conforme Silva (2013) os fornos elétricos a arco são caracterizados como um dos mais eficientes, destacando-se entre suas principais vantagens a alta eficiência energética, pode ser operado com 100% da carga sólida, permite produzir qualquer tipo de aço, além de possibilitar operações intermitentes e mudanças rápidas na produção a grandes escalas.

Procel/Eletrobrás (2005) classifica três tipos principais de fornos a arco elétricos sendo:

- Arco direto: Onde o arco é formado entre os eletrodos e a carga;
- Arco submerso: Os eletrodos ficam submersos dentro da carga. Estes são utilizados, principalmente na redução de óxidos; e
- Eletrodo consumível: O eletrodo é fabricado com o próprio material a se fundir e o arco é alimentado por corrente contínua.

De acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM (2010) a principal tecnologia utilizada na produção de ferroligas é o forno elétrico de arco submerso. Onde em muitos casos, este tipo de forno sintetiza o produto requerido diretamente. Sendo o processo a arco submerso uma operação de redução de fundição.

Segundo Filho (2004) os fornos a arcos submersos são conhecidos também como forno a arco-resistência, sendo constituídos de uma cuba de material refratário dentro da qual operam eletrodos submersos na massa da carga de trabalho e consomem uma quantidade de energia compreendida entre 3000 e 6000 kWh/t, podendo atingir em determinados casos valores bem superiores. A potência elétrica necessária em estes tipos de forno se situa entre algumas centenas de kW até cerca de 100 MW, seu rendimento global é elevado e o consumo específico varia consideravelmente com o tipo de forno, produto e a forma de operação do forno.

A Tabela 6 mostra os consumos específicos típicos de energia elétrica para várias ferroligas, constatando-se que o consumo específico de eletricidade apresenta grande variação em função do produto.

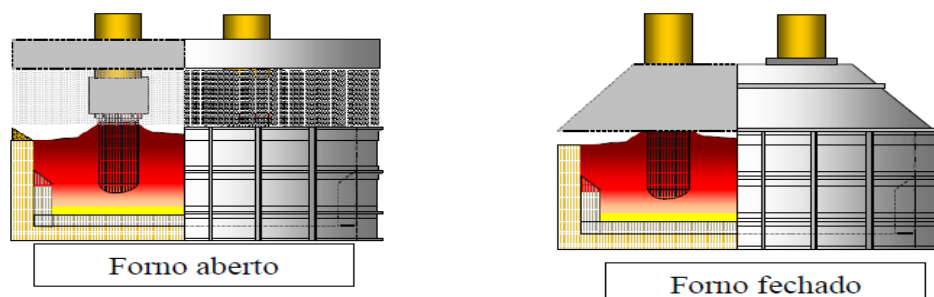
**Tabela 6** - Consumos específicos típicos de energia elétrica para diversos produtos

PRODUTO		ENERGIA (kWh/t)
Ferro-Manganês Alto Carbono	Fe Mn Ac	3500
Ferro Silício Manganês	Fe Si Mn	4300
Ferro Silício 45%	Fe Si 45	4200
Ferro Silício 75%	Fe Si 75	8600
Ferro Cromo Alto Carbono	Fe Cr Ac	5300
Ferro Silício Cromo	Fe Si Cr	8100
Ferro Cromo Baixo Carbono	Fe Cr Bc	3600
Ferro Níquel	Fe Ni	13 400
Silício metálico	Si met	13 000

Fonte: Kruger; MME (2009)

Quanto ao tipo de fechamento os fornos elétricos são classificados em abertos, fechados e semi-fechados. Este terceiro tipo não existe no Brasil. O esquema de fechamento dos dois primeiros casos é mostrado na Figura 21.

**Figura 21**- Tipos de fechamento de fornos elétricos de redução



Fonte: Kruger; MME (2009)

No Brasil para a produção de ferro ligas geralmente utilizam-se os fornos abertos, os quais possuem sistemas de exaustão, posicionados até um metro acima do forno. Podendo ser utilizados painéis móveis ou telas para reduzir o espaço aberto entre o forno e o exaustor melhorando a captura das emissões de gases e particulados.

Dessa forma, uma das vantagens do forno aberto é que seu design é simples, apresenta menor custo de investimento e de manutenção, o controle operacional é mais flexível, pode-se utilizar com quase todas as matérias-primas e produz água quente. No entanto, os fornos abertos consomem uma grande quantidade de energia elétrica, não recupera calor exceto pela água quente e causam alto impacto ambiental devido ao volume dos gases de saída e o aquecimento do ar ambiente (FEAM, 2010).

De acordo com Copel (2005) parte da energia consumida pelos equipamentos de aquecimento elétrico é gasta para o processamento específico da carga, perdendo-se uma quantidade significativa, sem gerar trabalho produtivo.

Copel (2005) divide as perdas de energia em três grandes grupos, sendo:

- Perdas inerentes ao processo produtivo: caracterizadas por serem próprias do processo.
- Perdas devido às características do equipamento: são aquelas devidas ao projeto, dimensionamento e escolha do equipamento, tais como perdas através do isolamento térmico das paredes.
- Perdas na operação: provocadas pela operação inadequada do equipamento, como, por exemplo, a porta ou tampa do forno mantida aberta desnecessariamente ou operação em temperatura acima da necessária.

A atuação sobre cada um desses tipos de perdas deve ser específica, objetivando minimizar o seu somatório e melhorar o desempenho econômico do equipamento.

Alguns dos procedimentos para melhorar a eficiência em fornos a arco propostas por Procel/Eletróbrás (2005) são:

- Buscar otimizar o carregamento, ajustando-o à capacidade nominal do forno;
- Manter os menores intervalos possíveis de interrupção do processo, com o intuito de maior aproveitamento do calor gerado;
- Manter os refratários em boas condições operacionais, buscando a diminuição das perdas térmicas para o ambiente;
- Realizar o controle de vazão de água dos sistemas de refrigeração, atuando sobre os motores das bombas;
- Realizar o controle de sucção do sistema de despoejamento durante o tempo de parada dos fornos atuando sobre os motores dos exaustores;
- Processar cargas bem elaboradas, com teor de carbono adequado; e
- Regular adequadamente o sopro de oxigênio.

Conforme Procel/Eletróbrás (2005) através destas medidas podem-se atingir reduções no consumo de energia dos fornos elétricos de 10 a 20%.

## 2.8.2 Força motriz

Os motores elétricos são os responsáveis pela transformação da energia elétrica em mecânica. De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia - Abesco (2015) estes consomem 60% da energia elétrica total consumida no país, tendo uma carga significativa nos processos industriais. Logo, a eficiência nos sistemas motrizes constitui um potencial para conservação de energia, a qual deve ser realizada a partir da avaliação das reais condições de operação da máquina. A maior parte dos desperdícios associados a este módulo temático deve-se à utilização de motores de baixo rendimento, assim como superdimensionamento e reparo inadequado (VIANA et al., 2012).

Conforme EPE (2014) em Nota Técnica DEA 26/14, nosso potencial de economia de energia elétrica na força motriz é de 15 050 GWh/ano. Isso é equivalente a uma usina de 3.086 MW de potência instalada.

Para Eletrobrás et al. (2009), a avaliação de motores elétricos inclui o levantamento de várias informações tais como: dados construtivos (dados de placa), carga acionada, características de funcionamento e dados provenientes de medições elétricas e mecânicas com a utilização de instrumentos para estes fins.

Viana et al. (2012) expõe que os motores de alto rendimento se apresentam como uma alternativa para a economia de energia em sistemas motrizes, para diminuir as perdas pode-se usar medidas tais como: aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, incluindo o projeto otimizado das ranhuras, e, o superdimensionamento das barras do rotor; diminuição da intensidade de campo magnético e utilização de chapas magnéticas de boa qualidade; emprego de rolamentos adequados e otimização do projeto dos ventiladores; e, finalmente, regularidade do entre-ferro. Estas medidas podem acarretar uma redução de até 30% das perdas, o que significa uma real economia de energia.

A seguir relacionam-se alguns procedimentos abordados por Viana et al. (2012) para reduzir os gastos com energia em motores e acionamentos:

- Redimensionamento de ventiladores.

Motores em acionamentos que possuam sentido único de giro podem ter o seu ventilador de resfriamento redimensionado para reduzir as perdas por atrito e ventilação, proporcionando economia de energia e redução dos níveis de ruído. Por outro lado, motores com ventiladores dimensionados para os dois sentidos possuem menor rendimento que os outros.

- Condições de acoplamentos.

Verificar as condições dos acoplamentos, ajustando alinhamentos e eliminando possíveis folgas é muito importante. É fundamental também verificar atrito entre engrenagens, ventilação e viscosidade do fluido lubrificante. O acoplamento das correias contribui para o maior rendimento. As correias mais usadas são a V, corrugadas e dentadas, sendo esta última a mais eficiente.

- Limpeza e lubrificação dos mancais.

A limpeza e lubrificação dos mancais são de suma importância. Neste sentido, pôde-se verificar que o acúmulo de poeira e falta de lubrificação podem aumentar as perdas por atrito e ventilação em quase 50%, reduzindo o rendimento de um motor em até dois pontos percentuais.

- Possibilidade de desligamento.

Em processos onde motores permanecem em vazio por um intervalo de tempo, pode-se fazer um estudo verificando o que é mais vantajoso. Se o consumo na partida for menor do que o consumo do motor durante o período ocioso, deve-se desligar o motor. Como regra prática pode-se desligar o motor quando o tempo em vazio for dez vezes maior do que o tempo de partida.

- Estabilidade da tensão.

O comportamento da tensão aplicada aos terminais do motor também é um fator importante. Além disso, devem-se evitar harmônicos e desbalanços de tensão que provocam grandes desequilíbrios de corrente aumentando o aquecimento dos enrolamentos e redução da vida útil dos mancais.

- Uso de inversores de frequência.

Atualmente, muitas aplicações dos motores nas indústrias são destinadas à movimentação de fluidos. Nestes casos, o controle de velocidade dos motores, em substituição aos tradicionais métodos de controle de fluxo como controle por linha de by-pass, por válvula de estrangulamento e controle por damper de saída, permite otimizar e adequar as condições de operação da bomba ou ventilador para cada valor de vazão desejado, reduzindo perdas, ruídos e desgastes mecânicos.

Conforme Martin (2015) o período de retorno de um investimento em um variador eletrônico de rotação de motor elétrico depende do tipo de carga, da potência e das horas de

funcionamento do motor. Para cargas bastante variáveis durante longos períodos, o período de retorno do investimento pode ser inferior a dois anos, com uma economia anual no consumo de energia do motor de até 25%.

### **2.8.3 Climatização**

De acordo com Pessoa e Ghisi (2015) os sistemas de condicionamento de ar são equipamentos utilizados para manter um ambiente artificialmente adequado ao conforto humano. Isto inclui o controle da temperatura, umidade e qualidade do ar. Os custos de operação destes sistemas podem ser bastante significativos em algumas indústrias e principalmente em edifícios comerciais, razão pela qual constituem um potencial para a economia de energia.

Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento - ABRAVA, hoje em dia existem no mercado diversos modelos de condicionadores de ar com elevados índices de eficiência. Devendo ser observados na hora da compra alguns requisitos para que o custo-benefício seja interessante para o comprador tais como a capacidade térmica do equipamento, geralmente utilizado o BTU/h (Unidade Térmica Britânica) que define a carga térmica que deverá ser removida do ambiente.

Para o cálculo adequado da necessidade de refrigeração devem ser observados vários fatores tais como a área (m<sup>2</sup>) local, circulação de pessoas, insolação, entre outros fatores que se não observados sobrecarregam o equipamento e desta forma consomem mais energia; tipo de modelo como (ACJ) janela ou Mini-Split (formado por uma condensadora e uma evaporadora); tipo de tecnologia que só esfria ou esquentar /esfria; com tecnologia inverter (capacidade variável) ou convencional (rotação fixa).

Conforme Santos et al. (2006) os três aspectos que definem a conservação de energia em um sistema de condicionamento de ar, são: projeto, operação e a manutenção dos mesmos.

De acordo com Santos et al. (2006) existem vários aspectos que devem ser considerados para a redução do consumo de energia elétrica de instalações de condicionamento de ar, mas em linha geral deve-se procurar:

- Monitorar e controlar efetivamente as condições internas da edificação, mantendo dentro dos limites estabelecidos a umidade e temperatura;
- Selecionar componentes e sistemas que resultem em instalações econômica e energeticamente eficientes;
- Utilizar equipamentos e sistemas com baixa relação kW/TR;

- Fornecer ar externo para renovação em quantidades adequadas, com o objetivo de manter o ar interno com boa qualidade;
- Estabelecer programas de manutenção adequados, procurando que as condições dos equipamentos e sistemas permaneçam próximas das condições de projeto.

#### **2.8.4 Iluminação**

Segundo Santos et al. (2006) a iluminação com uso da energia elétrica está praticamente em todas as unidades consumidoras. É responsável por, aproximadamente, 24% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial.

No setor industrial o potencial técnico de conservação por esse conceito é grande, embora apenas uma pequena parte esteja na indústria, onde o uso tem uma importância relativa reduzida. As técnicas de iluminação têm sofrido um progresso acelerado em termos de eficiência energética nas últimas décadas, não só em termos de lâmpadas mais eficientes, como em reatores, luminárias e controles.

No Brasil, os níveis de iluminação são especificados pela norma ABNT NBR 8995-1 (2013). Além do nível de iluminação, outros fatores como conforto visual, estética, índice de proteção do equipamento adequado para o ambiente (IP) são variáveis que deverão ser analisadas pelo projetista.

Conforme Costa (2015), a avaliação do sistema de iluminação pode ser desenvolvida com metodologia baseada na fotometria, sendo efetuadas medições de grandezas luminosas, e metodologias por cálculo luminotécnico, que são baseados nas características físicas dos locais, condições de conservação dos acessórios utilizados e requisitos exigidos por normas técnicas específicas.

Segundo Rodrigues (2002) nos projetos luminotécnicos eficientes, devemos sempre buscar:

- Boas condições de visibilidade;
- Boa reprodução de cores;
- Economia de energia elétrica;
- Facilidade e menores custos de manutenção;
- Preço inicial compatível;
- Utilizar iluminação local de reforço;



- Combinar iluminação natural com artificial.

De acordo com Procel/Electrobrás (2005) é recomendável que os projetos de iluminação considerem os seguintes pontos para obtenção de eficiência:

- Máximo aproveitamento da luz natural;
- Determinação de áreas efetivas de iluminação;
- Circuitos independentes para a utilização de iluminação parcial e por setores;
- Iluminação localizada em pontos especiais;
- Sistemas que permitam desviar o calor gerado pela iluminação para fora do ambiente, visando reduzir a carga dos condicionadores de ar;
- Seleção cuidadosa de lâmpadas e luminárias, visando conforto visual com mínima carga térmica ambiental;
- Utilização de luminárias espelhadas, também chamadas de luminárias de alta eficiência;
- Utilização de luminárias sem difusores sempre que possível;
- Seleção criteriosa dos reatores, buscando a redução das perdas e de fator de potência mais alto;
- Utilização de relés fotoelétricos para controlar o número de lâmpadas acesas em função da luz natural do local; e
- Uso de sensores de presença em ambientes de utilização ocasional.

Além das possibilidades de utilização de lâmpadas mais eficientes, a Companhia Paranaense de Energia - COPEL (2005) no Manual de Eficiência Energética na Indústria lista outras medidas importantes para a conservação de energia tais como:

- Usar lâmpadas adequadas para cada tipo de ambiente;
- Ligar a luz elétrica somente onde não existir iluminação natural suficiente para o desenvolvimento das atividades;
- Instruir os empregados a desligarem as lâmpadas de dependências desocupadas, salvo aquelas que contribuem para a segurança;
- Reduzir a carga de iluminação nas áreas de circulação, garagem, depósitos, etc., observando sempre as medidas de segurança;
- Evitar pintar os tetos e paredes com cores escuras as quais exigem lâmpadas de maior potência para a iluminação do ambiente;

- Manter limpas as luminárias. A sujeira reduz o fluxo luminoso, exigindo maior número de lâmpadas acesas;
- Usar luminárias abertas, para melhorar o nível de iluminação;
- Verificar a possibilidade de instalar “timer” para controle da iluminação externa, letreiros e luminosos;
- Limpar regularmente as paredes, janelas, forras e pisos. Uma superfície limpa reflete melhor a luz de modo que menos iluminação artificial se tome necessária;
- Instalar interruptores, objetivando facilitar as operações liga/desliga, conforme a necessidade local, inclusive através da instalação de “timers”;
- Utilizar telhas transparentes para aproveitamento da iluminação natural;
- Dividir os circuitos de iluminação, de tal forma a utilizá-los parcialmente sem prejudicar o conforto;
- Percorrer os diversos setores da indústria, a fim de verificar se há luminárias desnecessárias ou com excesso de iluminação.

A eficiência de um projeto de iluminação está determinada por atender os níveis de iluminância adequados para cada tipo de ambiente, tarefa ou atividade conforme a norma ABNT NBR 8995-1 (2013), assim como a utilização lâmpadas, reatores e luminárias eficientes.

### **2.8.5 Análise tarifária**

O valor gasto com energia elétrica na indústria é representativo nos gastos totais. Compreender a estrutura tarifária e como são calculados os valores expressos nas notas fiscais de energia elétrica é um parâmetro importante para a correta tomada de decisão em projetos envolvendo conservação de energia. Além disso, o resultado da análise permite que o instrumento contratual entre a concessionária e o consumidor se torne adequado às necessidades deste, podendo implicar em redução de despesas com a eletricidade.

Atualmente, o principal instrumento regulatório que estabelece e consolida as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica é a Resolução ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010.

O sistema tarifário de energia elétrica é um conjunto de normas e regulamentos que tem por finalidade estabelecer o valor monetário da eletricidade para as diferentes classes e subclasses de unidades consumidoras. O órgão regulamentador do sistema tarifário vigente é a ANEEL, autarquia sob-regime especial, vinculada ao Ministério das Minas e Energia - MME.

No Brasil, as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A, que tem tarifa binômia e Grupo B, com tarifa monômia. O agrupamento é definido, fundamentalmente, em função do nível de tensão em que são atendidos e também, como consequência, em função da demanda (kW). A Tabela 7 mostra o agrupamento dos grupos tarifários.

**Tabela 7-** Grupos tarifários

<b>Grupo</b>	<b>Subgrupo</b>	<b>Detalhamento</b>
A	A1	Nível de tensão igual ou superior a 230 kV
	A2	Nível de tensão de 88 kV a 138 kV
	A3	Nível de tensão de 69 kV;
	A3a	Nível de tensão de 30 kV a 44 kV
	A4	Nível de tensão de 2,3 kV a 25 kV
	AS	Nível de tensão inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição
B	B1	Residencial
	B2	Rural
	B3	Demais classes
	B4	Iluminação pública

Fonte: Adaptado de Procel (2011)

#### 2.8.5.1 *Análise do Perfil de Utilização da Energia Elétrica*

Segundo Viana et al. (2012) com a possibilidade de reduções na carga total instalada, a partir do aumento de eficiência dos sistemas consumidores instalados existem algumas medidas fundamentais a considerar as quais são:

- Otimização da Demanda de Potência:

A análise da demanda tem por objetivo a sua adequação às reais necessidades da unidade consumidora. São analisadas as demandas de potência contratada, medidas e as efetivamente faturadas. A premissa básica é a de se procurar reduzir ou mesmo eliminar as ociosidades e ultrapassagens de demanda.

Para assegurar mínimas despesas mensais com a fatura de energia elétrica, é fundamental a escolha dos valores para as demandas a serem contratadas junto às concessionárias de eletricidade, que devem ser adequados às reais necessidades da empresa.

A importância na fixação de valores adequados de contrato reside em dois pontos importantes da legislação: se a demanda solicitada for inferior à contratada, será faturada a demanda contratada; nos contratos de tarifas horo-sazonais, serão aplicadas as tarifas de ultrapassagem, caso a demanda registrada ultrapasse a contratada em percentuais superiores aos limites estabelecidos. Para controlar a demanda poderão ser utilizados controladores de demanda que tiram cargas com ordem de prioridade, caso haja ultrapassagem.

- Análise de opção tarifária:

A estrutura tarifária brasileira atual oferece várias modalidades de tarifas, as quais, em função das características do consumo de cada empresa, apresentam maiores ou menores vantagens, em termos de redução de despesas com energia.

A melhor opção vai depender do perfil de carga do cliente. A demanda e consumo em horário de ponta e fora de ponta são os fatores que mais impactam a escolha. Os valores cobrados para consumo e demanda são diferentes para os enquadramentos. Conhecendo-se o perfil de carga do cliente é possível simular a opção mais adequada.

- Correção do fator de potência:

O fator de potência deve ser mantido dentro dos limites estabelecidos, no caso de existência de irregularidades podem ser implantadas medidas corretivas, tais como: instalação de banco de capacitores estáticos ou automáticos; através de motores síncronos; aumento do consumo de energia ativa.

Quando o fator de potência é inferior a 0,92, o total desembolsado a título de consumo de excedente reativo se constituirá num potencial de economia que poderá ser obtido através das medidas citadas.

- Fator de carga

Outro elemento a se ter em conta na análise tarifária é o fator de carga que é deduzido pelos dados das contas de energia, este é um indicador que mostra se a energia elétrica de um determinado consumidor está sendo utilizada de forma racional.

Segundo Viana et al. (2012) existe para cada período (ponta ou fora de ponta) um fator de carga diferente. O fator de carga pode ser calculado conforme Equação 1:

$$FC = \frac{CA}{h \times DR} \quad (1)$$

Sendo:

*FC: fator de carga do mês na ponta e fora de ponta;*

*CA: consumo de energia (kWh) no mês na ponta e fora de ponta;*

*h: número médio de horas no mês, sendo geralmente 66 horas para a ponta e 664 horas para o período fora de ponta; e*

*DR: demanda registrada máxima de potência no mês na ponta e fora de ponta.*

Conforme o mesmo autor um fator de carga próximo de 1 indica que as cargas elétricas foram utilizadas racionalmente ao longo do tempo. Por outro lado, um fator de carga baixo

indica que houve concentração de consumo de energia elétrica em curto período de tempo, determinando uma demanda elevada.

De acordo com Mamede (2010) alguns dos benefícios que podem ser obtidos quando mantido elevado esse indicador (FC) são: otimização do investimento da instalação, aumento da vida útil dos equipamentos e redução do valor da demanda de pico.

### **2.8.6 Quadros de distribuição de circuitos**

O quadro de distribuição ou quadro de luz é o local onde se concentra a distribuição de toda a instalação elétrica, ou seja: aonde se instalam os dispositivos de proteção dos circuitos; aonde se recebe os condutores que vêm do medidor ou centro de medição, e aonde partem os circuitos terminais que irão alimentar as diversas cargas da instalação. Sendo esta, uma área de vital importância dentro da indústria.

Segundo Frozza (2013), o fundamental para a conservação de energia em quadros está no dimensionamento dos componentes, bem como na sua manutenção preventiva.

Para Krause et al. (2002) em um sistema de distribuição de energia existem dois tipos de perdas associadas ao efeito Joule, um em função as resistências inerentes aos componentes do sistema e outro devido à resistência causada pelas conexões entre componentes. Estes desperdícios de energia podem ser minimizados através da substituição do equipamento por outro de diferentes especificações e manutenções preventivas.

Conforme Krause et al. (2002) para lograr a conservação de energia em quadros de distribuição deve-se atentar para as seguintes situações:

- Cabos elétricos:

A utilização de cabos condutores de energia em uma instalação elétrica deve obedecer ao correto dimensionamento dos mesmos para evitar aquecimentos nos circuitos acarretando desperdícios de energia.

- Equilíbrio das fases:

A correta divisão dos circuitos de uma instalação elétrica permite que se eliminem as perdas por aquecimento em condutores sobrecarregados. Outros aspectos de vital importância são a realização de emendas bem feitas nos condutores usando fitas isolantes específicas para esta finalidade e a utilização de cabos de boa qualidade para evitar o envelhecimento acelerado da isolação dando origem a fugas de corrente e curtos-circuitos.

- Sistemas de proteção:

Os dispositivos de proteção contra sobrecorrentes devem ser dimensionados corretamente para permitir bom funcionamento dos sistemas elétricos. Nunca se deve substituir o fusível por elementos estranhos como moedas ou pedaços de condutores que iram permitir a passagem da corrente. Quando um equipamento de proteção se queima deve ser substituído por outro de igual capacidade, nunca menor ou maior que a do projeto, pois perderá toda a função de proteger a instalação e os equipamentos. Um aspecto de vital importância é manter os quadros sempre limpos com boa ventilação para evitar sobreaquecimento.

Uma das variáveis mais importantes na implantação do Programa de Manutenção Preditiva dos quadros elétricos é a Máxima Temperatura Admissível (MTA) de seus componentes, ou seja, a máxima temperatura sob a qual se permite que o componente opere. As análises com câmeras termográficas ou radiômetro são comuns para verificação de sobreaquecimento. Na Tabela 8, têm-se alguns valores para a MTA baseados em normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR 5410, a tabela de fabricantes e referências da IEC (*International Electrical Commission*).

**Tabela 8-** Máxima Temperatura Admissível (MTA)

<b>COMPONENTE INDÚSTRIAL</b>	<b>MTA (°C)</b>
Condutor encapado (Isolação de Coreto de Polivinila (PVC))	70
Condutor encapado (Isolação de Borracha Etileno Propileno (EPR))	90
Condutor encapado (Isolação de Polirtileno Reticulado (XLPE))	90
Régua de Bornes	70
Conexões mediante parafusos	70
Conexões e barramentos de baixa tensão	90
Conexões recobertas de prata ou níquel	90
Fusível (Corpo)	100
Transformadores a óleo, ponto mais quente (núcleo)	80
Transformadores a óleo (óleo)	65
<b>TRANSFORMADORES SECOS PONTOS MAIS AQUECIDOS</b>	
Classe de isolação 105	65
Classe de isolação 130	90
Classe de isolação 155	115
Classe de isolação 180	140

Fonte: Adaptado de Brito; Lamim e Alves (2005)

### 2.8.7 Transformadores

A função principal do transformador é a transferência de energia elétrica do seu circuito primário para o secundário mantendo a mesma frequência, normalmente variando os valores de corrente e de tensão. Geralmente nesta transformação são originadas perdas de energia.

Estima-se que cerca de 14% de toda energia elétrica gerada no Brasil são considerados perdas globais (técnicas e comerciais) em transmissão e distribuição, e que aproximadamente

30% das perdas técnicas concentram-se nos núcleos dos transformadores de distribuição (VIANA et al., 2012).

Segundo Krause et al. (2002) os três tipos de perdas associadas a transformadores são: perdas no ferro, perdas no cobre e perdas em transformadores ligados em paralelos.

- Perdas no ferro:

As perdas no ferro são as relacionadas à construção dos transformadores. São estabelecidas pelo fluxo magnético no circuito do transformador e ocorrem sempre que o equipamento é ligado. Estas perdas são constantes e cada transformador tem a sua em função das características construtivas do equipamento. As perdas no ferro são provocadas por correntes parasitas conhecidas como correntes de Foucault e histerese magnética. Para diminuir as perdas, uma das formas seria o desligamento do transformador no período em que ele não esteja sendo solicitado; além disso, para as perdas de corrente de Foucault utilizam-se núcleos laminados formados por chapas de ferro silício de pequena espessura separada por uma fina camada de material isolante. No caso das perdas por histerese são utilizados materiais ferromagnéticos de alta permeabilidade magnética. A Tabela 9 a seguir apresenta os valores referenciais de perdas no ferro para diferentes potências de transformador.

**Tabela 9-** Valores limites de perdas no ferro para transformadores

<b>Potência (kVA)</b>	<b>Perdas no Ferro (kW)</b>	<b>Perdas Totais (kW)</b>
15	0.12	0.46
30	0.20	0.77
45	0.26	1.04
75	0.39	1.53
112.5	0.52	2.07
150	0.64	2.55
225	0.90	3.60
300	1.12	4.48
500	1.35	6.70
750	1.50	13.5
1000	1.90	16.5
1500	2.50	25.0
2000	3.90	25.1

Fonte: Copel (2005)

- Perdas no cobre:

As perdas no cobre são as referentes ao regime de operação dos transformadores, são as correspondentes à dissipação de energia por efeito Joule, que é estabelecida pelas correntes elétricas que circulam nos enrolamentos do transformador e dependem da solicitação de carga elétrica que o transformador está submetido. As perdas no cobre são proporcionais ao quadrado das correntes elétricas que circulam pelos enrolamentos.

- Perdas em transformadores ligados em paralelos:

Em instalações com transformadores operando em paralelo pode ocorrer outro tipo de perda sendo provocada pela diferença de transformação dos equipamentos. Neste tipo de ligação, quando a diferença na relação de transformação dos equipamentos for significativa, ocorre uma circulação de corrente entre os transformadores ocasionando perdas.

Krause et al. (2002) destaca as principais medidas a serem adotadas para evitar o desperdício de energia na utilização e dimensionamento de transformadores relacionadas a seguir:

- Transformadores operando com sobrecarga estarão com perdas elevadas aumentando o consumo pelo efeito Joule. O carregamento ideal para um transformador está na faixa de 30% a 70% da capacidade nominal.
- Quando em uma instalação existir mais de um transformador devem-se dividir as cargas instaladas de forma uniforme entre eles.
- A elevação do fator de potência reduz a componente indutiva da corrente, reduzindo o valor da corrente de carga, isto contribui a reduzir as perdas nos enrolamentos.
- Na instalação de transformadores em paralelo devem-se utilizar potências próximas, preferencialmente iguais para melhor aproveitamento, as impedâncias internas devem ser iguais ou próximas, a relação de transformação deve-se ajustar ao mesmo valor; estas medidas contribuem à diminuição das perdas do efeito Joule.
- Manter a qualidade do óleo isolante é de vital importância para evitar acúmulo de lama e oxidação dentro do equipamento, além de aumentar a vida útil do transformador, pelo que se faz muito importante a verificação periódica deste óleo isolante.

### **2.8.8 Qualidade de energia**

Segundo Krause et al. (2002) a energia elétrica deve ser fornecida pelas concessionárias para as unidades consumidoras sem interrupções e com níveis de tensão e frequências constantes. A tensão fornecida deve ser senoidal e nos sistemas trifásicos as formas de ondas devem estar equilibradas; qualquer desvio desses parâmetros fora dos limites estabelecidos implica deterioração da qualidade da energia.

Atualmente a questão da qualidade da energia elétrica é um fator relevante e necessário. Os equipamentos e maquinários atuais estão mais sensíveis às perturbações da energia em relação aos utilizados no passado, exigindo hoje grande cuidado com respeito à mesma, já que



a deterioração da qualidade pode provocar ineficiência técnicas e econômicas com significativas perdas.

Para Krause et al. (2002) dentre os problemas gerados pela falta de qualidade da energia destacam-se: harmônicos, flutuação de tensão, desequilíbrio de tensão e fator de potência.

- Harmônicos.

Uma forma de onda periódica pode ser descomposta em uma soma de senos e cossenos. Essa soma possui uma componente na frequência da onda periódica e outras componentes em frequências harmônicas (múltipla da frequência periódica). Sendo nulos os harmônicos quando a forma de ondas é uma senóide perfeita, representando a condição ideal (KRAUSE et al., 2002).

Segundo Boharb et al. (2016) o tratamento de harmônicos no setor industrial tornou-se essencial para proteger cargas sensíveis a harmônicos, reduzindo o consumo de energia, reduzindo os custos de manutenção e aumentando a produtividade dos equipamentos.

Os harmônicos são causados normalmente por equipamentos com tensão ou correntes com características não lineares. Segundo o mesmo autor entre os principais problemas ocasionados pela presença de harmônicos nos sistemas elétricos tem-se:

- Perdas adicionais e aquecimento em máquinas elétricas e capacitores;
- Interferência nos sistemas de telefonia;
- Aumento da corrente de neutro;
- Aumento das perdas em condutores;
- Erros em instrumentos convencionais por efeitos harmônicos;
- Redução da vida útil das lâmpadas incandescentes;
- A operação inadequada dos sistemas de controle;
- Ruídos adicionais em motores e outros dispositivos; e
- Sobretensões causadas pela ressonância na rede.

Krause et al. (2002) classifica a origem dos harmônicos em três categorias de acordo com o tamanho e previsibilidade sendo estas: as fontes pequenas e previsíveis provenientes das residências, as fontes grandes e aleatórias geradas pelos fornos a arcos e as grandes e previsíveis oriundas dos conversores estáticos.

Entre as medidas para a mitigação dos harmônicos Krause et al. (2002) propõe as seguintes:

- Utilização de no-breaks nos sistemas ou nos equipamentos;
- Instalação de filtros nos harmônicos que possibilitam a redução das harmônicas e/ou aumento do fator de potência;
- Uso de condicionadores de potência, os quais fornecem altas potências em pequenos intervalos de tempo no caso de distúrbios;
- Alteração no sistema de distribuição, onde através da ligação dos transformadores é possível isolar algumas frequências harmônicas do resto do sistema; e
- Utilização de equipamentos não causadores de distúrbios quando for possível.

A deformação do sinal senoidal pode ocorrer tanto no sinal de corrente como no sinal de tensão, denominando-se como harmônica de corrente (THDi) e harmônica de tensão (THDv) respectivamente.

Uma das formas mais comuns de calcular o nível de harmônicas é através da Distorção Harmônica Total - THD (*Total Harmonic Distortion*) (IEEE 519-1992). Ela representa a distorção devida a todos os harmônicos presentes em um sinal. É definida como sendo uma percentagem da frequência fundamental e é calculada através da Equação 2.

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} C_n^2}{C_1^2}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Onde  $C_1$  e  $C_n$  são amplitudes dos harmônicos de frequência fundamental e de ordem  $n$ , respectivamente, baseados na forma cossenoidal.

Deste modo basta se substituir os valores de  $C_n$  por valores de amplitudes de tensão ou corrente para se determinar a Distorção Harmônica Total de Tensão (THDv) ou a Distorção Harmônica Total de Corrente (THDi), respectivamente.

Na norma do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) número 519 de 1992 (*Harmonic in Power System*) são estabelecidos os limites para a distorção harmônica de corrente e de tensão em circuitos elétricos determinando os valores aceitáveis do indicador. A Tabela 10 apresenta os limites de harmônicas considerados na norma referenciada anteriormente.

**Tabela 10-** Limites de (THD<sub>v</sub>) e (THD<sub>i</sub>)

<b>Limite</b>	<b>Classificação</b>
THD <sub>v</sub> < 5%	Normal
5% ≤ THD <sub>v</sub> ≤ 8%	Poluição harmônica significativa
THD <sub>v</sub> > 8%	Poluição harmônica considerável
THD <sub>i</sub> < 10%	Normal
10% ≤ THD <sub>i</sub> ≤ 50%	Poluição harmônica significativa
THD <sub>i</sub> > 50%	Poluição harmônica considerável

Fonte: IEEE 519 (1992)

- Flutuação de tensão (Fliker).

Conforme Krause et al. (2002) as flutuações de tensão ou Fliker está associada principalmente a equipamentos que drenam correntes variáveis a cada ciclo como é o caso de fornos a arco. Esse fenômeno pode ocasionar desconfortos associados à flutuação da luminosidade das lâmpadas incandescentes. O mesmo autor recomenda para a diminuição desse efeito a aplicação de alguns dispositivos tais como:

- a) Utilização de componentes estáticos;
- b) Instalação de capacitores série; e
- c) Aplicação de compensadores estáticos.

Segundo IEC 61000-3-3 (1995) a cintilação é expressa em termos de dois parâmetros sendo: PST (severidade de curto prazo) e PSL (severidade de longo prazo). O padrão da norma exige que o valor do índice de severidade em curto prazo ( $PST \leq 1,0$ ) e o valor do índice de severidade em longo prazo ( $PSL < 0,65$ ).

- Oscilação de tensão.

As oscilações de tensão são provocadas por curtos circuitos e outras manobras do sistema elétrico. Apesar de serem problemas aleatórios e de curta duração (de 0,5 ciclos até 1 minuto) podem causar danos ao bom funcionamento dos equipamentos e queima de lâmpadas de descargas. Segundo Krause et al. (2002) como medidas para a redução de oscilação de tensão recomenda-se:

- a) A utilização de regulador/ estabilizador de tensão; e
  - b) Aplicação de transformador de tensão constante.
- Sistemas desbalanceados.

Os desbalanceamentos de tensões são provocados por defasagem entre fases com ângulos diferentes de 120° ou existência de uma das fases diferente do valor nominal. Esse desequilíbrio de tensão nas fases causa o aparecimento de altas correntes que podem ocasionar aquecimento

de máquinas elétricas girantes. Para reduzir tal efeito devem-se utilizar compensadores eletromagnéticos ou eletrônicos.

Conforme as normas EN 50160 (1999); IEC 61000-2-2 (2003) o limite permissível de desequilíbrio de tensão é de até 2%.

## 2.9 METODOLOGIAS APLICADAS NA INDÚSTRIA PARA A AVALIAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Diversas estratégias para uso eficiente de energia têm sido utilizadas no setor industrial em vários países. Segundo Sola et al. (2015) uma delas é por meio de um programa de gerenciamento de energia que inclui auditoria energética, a conscientização e o treinamento do pessoal. Outra forma é por meio da adoção de tecnologias energeticamente eficientes. Sob o ponto de vista de políticas governamentais, diversas estratégias têm sido adotadas para incentivo ao uso eficiente de energia no setor industrial, tais como: acordos com indústrias com metas de eficiência energética; normas com índices mínimos de eficiência energética; incentivos fiscais e crédito para financiamento; programas de auditoria energética e orientação às indústrias para adoção das melhores práticas.

Com o intuito de determinar algumas das metodologias aplicadas na indústria para a avaliação e implantação da eficiência energética são apresentados a seguir uma série de trabalhos desenvolvidos nesta área.

O artigo de Thollander et al. (2005) tem como objetivo estudar as forças motrizes para melhorar a eficiência energética em algumas indústrias europeias de fundição com uso intensivo de energia. A investigação foi conduzida como um estudo de caso múltiplo envolvendo 65 fundições localizadas na Finlândia, França, Alemanha, Itália, Polônia, Espanha e Suécia. Verificou-se que as forças motrizes percebidas mais relevantes eram financeiramente relacionadas, seguidas por forças motrizes organizacionais. Entre as fundições estudadas, três em cada cinco realizaram uma auditoria energética. Em média, o potencial de economia de energia de acordo com os respondentes é de 7,5%. O estudo completo abrange vários aspectos relacionados a características-chave relacionadas à energia e à produção, bem como barreiras ao aumento da eficiência energética, práticas de gerenciamento de energia e direcionadores para eficiência energética. Em conclusão, a gestão de energia na indústria europeia de fundição parece ainda ter grande potencial de melhoria, exigindo futuras pesquisas e ações de política no campo.

No trabalho de Thollander et al. (2013) foi realizado um estudo do efeito do aumento dos preços da eletricidade na indústria sueca de fundição de ferro e aço, com o intuito de quantificar o potencial de eficiência energética de uma fundição de ferro sueca de tamanho médio utilizando como principal ferramenta a auditoria de energia industrial, a qual foi realizada durante cerca de 6 meses durante 2003. Foi baseado na experiência de várias centenas de auditorias energéticas industriais em vários campos industriais, realizadas nos últimos 20 anos pela Divisão de Sistemas de Energia da Universidade de Linköping. A auditoria energética industrial resultou na proposta de sete grandes medidas de urgência e uma série de medidas menores. A implementação das medidas poderia reduzir o uso de energia na fundição em cerca de 33% e, mais especificamente, o uso de eletricidade em 23%.

O trabalho realizado por Goekan (2015) apresenta um método que apoia empresas de manufatura no desenvolvimento de indicadores de desempenho baseados em energia. Para isso, fornece um método para o desenvolvimento de produção personalizada e indicadores-chaves de desempenho relacionados com a energia. Estes indicadores permitem a interpretação da causa-efeito e, assim, apoiar as empresas no processo de tomada de decisões operacionais. Consequentemente, o método proposto é compatível com identificação de pontos fracos e áreas de melhoria da eficiência energética relacionados com a gestão da produção e operações, com o objetivo de fortalecer a base teórica necessária para apoiar a tomada de decisão baseada em energia na fabricação.

Munguia et al. (2016) no seu artigo aplica a auditoria energética em uma indústria processadora de carne, utilizando o aplicativo usado para as auditorias energéticas desenvolvido pela AFNOR (2014) (Líder francês em formação de sistemas de gestão e auditoria interna) para uma gestão eficiente de energia juntamente com a ISO 50001 (sistemas de gestão de energia). Seu estudo baseia-se na caracterização integrativa do consumo de energia da empresa, onde inclui uma análise sobre a caracterização do consumo de energia em três abordagens, tais como economia sustentável, social e principalmente as implicações ambientais; dando uma proposta de gestão estratégica da política energética. Os resultados obtidos permitem a identificação de processos manuais com correlações significativas em termos de consumo de energia dentro da empresa, permitindo o rápido desenvolvimento de medidas práticas e disponíveis de eficiência energética.

No artigo de Benedetti; Cesarotti e Inrona (2017) é apresentada uma metodologia para gerenciar o desempenho energético através do desenvolvimento, análise e manutenção de

indicadores de desempenho energético em fábricas, levando em consideração os requisitos ISO 50001: 2011 e ISO 50006: 2014. A metodologia proposta permite a identificação imediata dos desvios do desempenho energético da fábrica através do monitoramento de indicadores de desempenho energético ao longo do tempo e a fácil associação de causas e responsabilidades a tais desvios, para permitir que as empresas reajam rapidamente definindo planos de ação e redefinindo metas se necessário.

No trabalho de Boharb et al. (2017) com o intuito de obter a melhoria da eficiência energética é aplicada uma auditoria energética, sendo identificadas as oportunidades de conservação de energia em uma indústria de papel de pequeno e médio porte juntamente com sua viabilidade financeira, análise do consumo de energia e questões de qualidade elétrica. O documento introduz um plano de ação para um uso mais eficiente de energia de algumas aplicações específicas.

O objetivo do trabalho de Kanneganti et al. (2017) é desenvolver uma metodologia de avaliação de energia e formato de relatório adaptado às necessidades da ISO 50001. A metodologia de avaliação energética desenvolvida integra o aspecto de redução de energia de uma avaliação de energia com os requisitos das seções 4.4.3 (Revisão Energética) a 4.4.6 (Objetivos, Metas e Planos de Ação) da ISO 50001, permitindo assim que as instalações reduzam o tempo e outros recursos necessários para facilitar a implementação da ISO 50001 e consequentemente da eficiência energética.

Conforme as diferentes abordagens consultadas na literatura para a avaliação e melhora da eficiência energética na indústria incluindo o segmento de fundição, identificou-se a utilização da auditoria energética e o desenvolvimento de indicadores de desempenho energético, como uma das principais ferramentas na identificação de potenciais de economia de energia e de possíveis desvios no desempenho energético. Estas ferramentas de avaliação em muitos dos casos são implementadas de jeito isolado e não como um sistema integrado que possibilite a melhora contínua da eficiência energética. Nos trabalhos de Thollander et al. (2005), Thollander et al. (2013), May. Goekan (2015) e Boharb et al. (2017) são utilizadas as ferramentas mencionadas anteriormente sem uma visão de caráter integrador. Nos trabalhos de Munguia et al. (2016), Benedetti; Cesarotti e Introna (2017) e Kanneganti et al. (2017) são utilizadas essas ferramentas levando em consideração os requisitos da norma ISO 50001, a qual é baseada no modelo de sistema de gestão de melhora contínua, representando as melhores

práticas internacionais em gestão da energia e a base de concepção e estruturação de projetos de eficiência energética.

Por sua vez, a realização de uma revisão energética utilizando como base a metodologia definida pela norma ABNT NBR ISO 50001, constitui uma ferramenta mais integradora para a avaliação energética da indústria e a melhoria da eficiência energética, pois através desta é possível a determinação do desempenho energético da organização com base em dados e em outras informações, conduzindo a identificação de oportunidades de melhoria e elaboração de ferramentas de controle energético efetivo, o que possibilita a melhoria contínua e sistemática dos processos industriais. A revisão energética vai mais além do que uma auditoria energética pode oferecer, tanto assim que a auditoria energética em diferentes níveis é caracterizada em um dos seus itens como ferramenta de aplicação intermédia.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo expõe os principais materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, dando uma panorâmica da classificação da mesma, assim como uma descrição da metodologia utilizada na execução do estudo de caso.

A pesquisa desenvolvida caracteriza-se do ponto de vista da sua natureza, como uma pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e a solução de problemas específicos. Conforme Vergara (2016) a pesquisa aplicada é motivada fundamentalmente pela necessidade de resolver problemas concretos.

Em relação à abordagem do problema, uma pesquisa pode ser caracterizada como quantitativa, as quais conforme Gil (2008) consideram que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las, requerendo o uso de técnicas estatísticas. Já a pesquisa qualitativa considera uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito que não pode ser quantificada, não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas, sendo o ambiente natural a fonte direta para coleta de dados. De acordo ao antes exposto, a pesquisa é classificada como mista, já que conforme Creswell (2010) um estudo de métodos mistos pode empregar tanto a técnica qualitativa como a quantitativa.

Do ponto de vista de seus objetivos, considera-se uma pesquisa exploratória e descritiva; conforme Gil (2008) a primeira proporciona maior familiaridade com o problema (explicitá-lo). Pode envolver levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas experientes no problema pesquisado e geralmente, assume a forma de pesquisa bibliográfica e estudo de caso. A pesquisa descritiva visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis, envolvendo o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de levantamento.

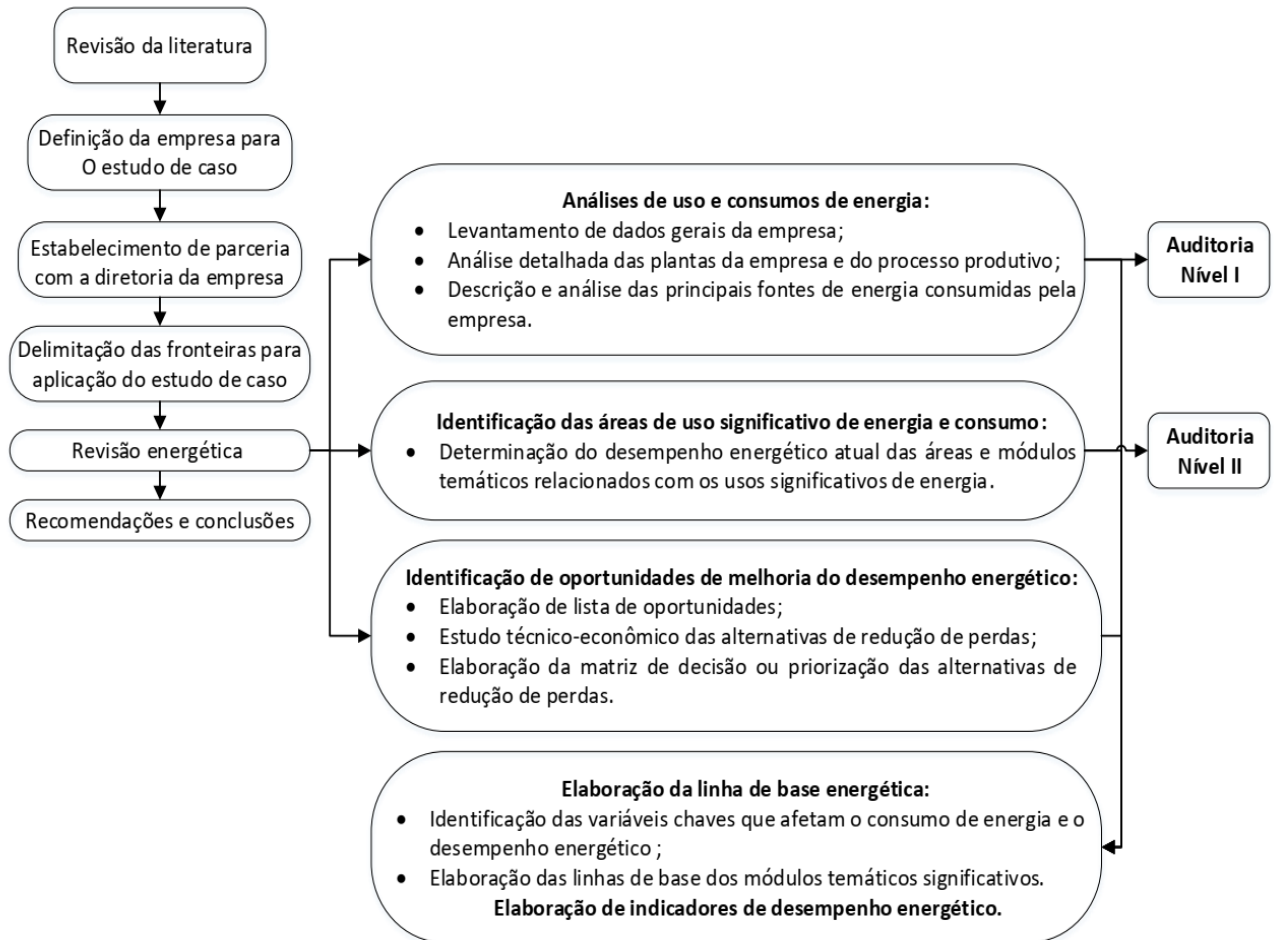
De acordo aos procedimentos técnicos utilizados, a pesquisa é classificada como bibliográfica, documental e estudo de caso. Segundo Vergara (2016), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído, principalmente, de livros e artigos científicos de periódicos e é importante para o levantamento de informações básicas sobre os aspectos direta e indiretamente ligados à nossa temática. A pesquisa documental conforme Gil (2008) é muito parecida com a bibliográfica a diferença está na natureza das fontes, pois esta forma vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico. O estudo de caso



é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado (GIL, 2008).

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa pode ser vista na Figura 22.

**Figura 22-** Fluxograma da metodologia do trabalho



- **Revisão da literatura**

Conforme ao fluxograma apresentado na Figura 23, primeiramente foi realizada a revisão da literatura sobre o tema em questão, onde se analisou o comportamento da matriz energética nos últimos anos no mundo e no Brasil especificamente, em seguida para entender melhor os princípios da eficiência energética, foi consultado na literatura o histórico do surgimento, assim como os principais programas implantados no país.

Foi realizada uma abordagem em ordem cronológica sobre as leis, decretos e resoluções que têm como objetivo expandir os programas de eficiência energética. Faz-se referência às principais barreiras que impedem o melhoramento da eficiência energética e mostra-se um panorama da situação atual da eficiência energética no país. Posteriormente é apresentada uma

análise da norma ABNT NBR ISO 50001 (Sistema de Gestão da Energia) e uma descrição dos principais módulos temáticos tratados na revisão energética.

- **Definição da empresa para o estudo de caso**

O setor selecionado para o estudo foi o industrial por ser onde se concentra uma grande parcela das oportunidades para efficientização do uso de energia. Dentro do setor industrial foi escolhida para a aplicação do estudo uma empresa do ramo ferroligas sendo este um segmento eletro-intensivo, representativo no consumo de eletricidade da indústria e o qual tem evidenciado deterioração de seu desempenho energético.

O estudo de caso tem como finalidade conferir através de uma revisão energética a cultura que se tem na instituição da gestão energética em consonância com a norma mencionada anteriormente, visando a obtenção da eficiência energética.

- **Estabelecimento da parceria com a diretoria da empresa**

Para o estabelecimento da parceria com a diretoria da empresa foram realizadas várias visitas à empresa. Inicialmente foi efetuada uma apresentação para os diretores da fábrica com o devido esclarecimento sobre o escopo e objetivo do trabalho, as diferentes etapas de aplicação, assim como as possibilidades de resultados positivos fundamentalmente na economia de energia. Foi discutida a necessidade da obtenção de informações, tais como diagramas e esquemas do processo produtivo, incluindo normas e especificações de equipamentos, registros relativos a usos e consumos energéticos, procedimento de acompanhamento do consumo de energia, assim como visitas técnicas aos principais ambientes da fábrica. Sendo concretizada esta etapa através processo de convênio de cooperação entre as duas partes.

- **Delimitação das fronteiras para a aplicação do estudo de caso**

Para a realização do estudo foi dividido o sistema em diferentes centros de consumo (delimitação de fronteiras) facilitando a coleta de dados e o melhor entendimento dos consumos e transformação da energia por área, ajudando à caracterização energética da empresa. Através da delimitação das fronteiras são identificadas as variáveis a serem controladas por cada um dos locais assim como a determinação dos instrumentos necessários para a medição das mesmas. A delimitação das fronteiras para a realização do estudo foi realizada conforme Tabela 11.

**Tabela 11- Delimitação de fronteiras**

Fronteira	Objetivo	Variáveis de interesse	Período	Fonte de dados
Empresa toda	Avaliação energética da empresa	Consumo de energia elétrica total	Janeiro/2016 a Maio/ 2018	Gerência de gestão de energia
		Consumo de carvão vegetal	Janeiro/2016 a Maio/ 2018	Gerência de gestão de energia
		Consumo de coque de carvão mineral	Janeiro/2016 a Maio/ 2018	Gerência de gestão de energia
		Consumo de óleo diesel	Janeiro/2016 a Maio/ 2018	Gerencia de gestão de energia
		Consumo de gasolina	Janeiro/2016 a Maio/ 2018	Gerência de gestão de energia
		Produção Total	Janeiro/2016 a Maio/ 2018	Planejamento e controle da produção
	Módulo temático análise tarifária	Comportamento de demanda, Fp e FC	Janeiro/2016 a Dezembro/ 2017	Faturas de energia
Fábrica 1 (FeCr)	Consumo setorial	Consumo de energia e potência	1 dia	Analizador de energia
Prédio Administrativo	Consumo setorial	Consumo de energia e potência	1 dia	Analizador de energia
Refeitório	Consumo setorial	Consumo de energia e potência	1 dia	Analizador de energia
Fábrica 2 (FeSi)	Consumo setorial	Consumo de energia e potência	1 dia	Analizador de energia
	Módulo temático qualidade da energia	Desbalanceamento de corrente e tensão	1 dia	Analizador de energia
	Módulo temático fornos	Potência instalada	Instantâneo	Levantamento de carga dos fornos
	Linha de base energética da produção de FeSi	Consumo de energia e produção de FeSi	Janeiro/2016 a Maio/ 2018	Banco de dados
	Linha de base energética da produção de FeSiCr	Consumo de energia e produção de FeSiCr	Janeiro/2016 a Maio/ 2018	Banco de dados
	Módulo temático quadro de distribuição	Temperatura	Instantâneo	Câmera termográfica
	Módulo temático força motriz	Potência instalada	Instantâneo	Amperímetro e dados de placa
		Fator de carregamento e corrente	Instantâneo	Amperímetro e dados de placa
	Módulo temático iluminação	Potência instalada	Instantâneo	Levantamento de carga da iluminação
		Iluminância média x local	Instantâneo	Luxímetro
		Área útil x local	-	Fita métrica
		Número de funcionários x local	-	Setor de RH
	Módulo temático refrigeração (ar-condicionado)	Potência instalada	Instantâneo	Levantamento de carga da iluminação
		COP-Coeficiente de Performance	-	Catálogos
Módulo temático equipamentos informáticos	Potência instalada	Instantâneo	Levantamento de carga dos equipamentos informáticos	

- **Revisão energética**

Na etapa de revisão energética é elaborada uma análise sistemática do uso e consumo de energia de forma a orientar os esforços de melhoria contínua do desempenho energético da organização para as principais oportunidades existentes. Busca-se conhecer por completo os sistemas energéticos existentes dentro da empresa, os detalhes de sua utilização, falhas e oportunidades que possam existir.

De forma mais específica, as seguintes atividades são desenvolvidas:

- a) analisar o uso e consumo de energia baseado em medições e outros dados;
- b) identificar as áreas de uso significativo de energia; e
- c) identificar, priorizar e registrar oportunidades de melhoria.

Neste estudo a auditoria constitui uma das principais ferramentas de suporte utilizadas no desenvolvimento de todas as etapas da revisão energética. A seguir apresentam-se de forma mais detalhada os métodos usados para a obtenção dos principais resultados do trabalho a partir do desenvolvimento da metodologia proposta.

### 3.1 ANÁLISE DE USO E CONSUMO DE ENERGIA

O objetivo central deste requisito é identificar padrões e tendências globais no uso e consumo de todas as fontes de energia utilizadas pela empresa, possibilitando compreender o desempenho energético passado e presente. Através desta análise é possível ter uma primeira impressão das áreas mais consumidoras e alguns potenciais de melhoria.

Para efetuar a análise do uso e consumo de energia, com base na coleta, processamento e análise de dados, foi utilizada a auditoria de Nível I, sendo esta uma metodologia ideal quando a organização pretende ter uma ideia rápida sobre eventuais oportunidades de redução de consumos e custos de energia. Desta forma foi possível identificar as atuais fontes de energia utilizadas pela organização dentro dos limites definidos.

Para o desenvolvimento da auditoria energética foi realizada a coleta dos dados do consumo de energia e da produção mensal para o período (2016-2017), fornecidos pela gerência de gestão de energia e o departamento de planejamento e controle da produção respectivamente, conforme Apêndice B, sendo contabilizados por meio de planilhas do Excel.

Logo após realizou-se a caracterização da matriz energética da empresa com base nos dados de uso e consumo de energia adquiridos. Com o intuito de facilitar a análise, os dados

dos consumos das fontes de energia foram convertidos à mesma unidade de medida (tep)<sup>1</sup> para que assim se pudessem padronizar as unidades. A conversão foi realizada de acordo com as tabelas dos fatores de conversão determinados pelo Ministério de Minas e Energia (EPE/MME, 2017) no Balanço Energético Nacional 2017.

Em seguida foram analisadas as tendências do uso dos energéticos no período analisado, esta análise possibilita obter uma melhor compreensão dos fatores que afetam o desempenho energético e identificar etapas para reduzir o consumo de energia.

Posteriormente para conhecer o peso do uso de uma determinada energia frente ao total utilizou-se o Diagrama de Pareto o qual permite aplicar a Lei de Pareto ou Lei 80-20 (80% das consequências advêm de 20% das causas). Conforme Agência Chilena de Eficiência Energética-AchEE (2013), na indústria o Princípio de Pareto é uma metodologia amplamente aplicada como critério de seleção. Logo foi utilizado como critério de seleção o 20% das fontes de energia que produzem 80% do consumo total equivalente da empresa. Através do resultado fornecido por esta ferramenta foi possível identificar as fontes de energia às quais se devem dirigir os esforços para obter os maiores retornos.

## 3.2 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE USO SIGNIFICATIVO DE ENERGIA E CONSUMO

A identificação dos setores e módulos temáticos com uso significativo de energia e consumo é de vital importância para determinar as oportunidades de melhoras do desempenho energético, assim como a implementação de ações de eficiência energética que pudessem trazer um retorno mais rápido. Neste passo foi aplicada uma auditoria de Nível II ou diagnóstico direcionado, realizando-se uma análise detalhada e 100% prática, orientada para a definição de medidas de redução de custos de energia, mas sem as exigências de uma auditoria energética oficial.

Inicialmente, para estabelecer o consumo de energia elétrica da empresa, foi efetuada a medição de potência média dos quadros elétricos utilizando um analisador de energia marca PSL PQube 3 conforme mostra Tabela 12. Através da Tabela observa-se que: os setores

---

<sup>1</sup> **Tonelada equivalente de petróleo (tep):** Unidade de energia. A tep é utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão.

auxiliar, administrativo e refeitório possuem quadros de distribuição exclusivos e as fábricas um e dois possuem dois quadros cada uma.

De posse destas informações, foi contabilizado o consumo de energia de cada painel, multiplicando-se a potência média pelo tempo relativo ao horário de produção, no mesmo período de análise.

**Tabela 12-** Quadros para medição de potência

<b>Quadro</b>	<b>Setor</b>
01B1	Fábrica 1
01B2	
01B3	Fábrica 2
01B4	
T5	Auxiliar
TF K05-4	Administrativo
TF K05-5	Refeitório

Através desta análise, chegou-se ao consumo de energia de cinco setores: fábrica 1, fábrica 2, área administrativa, auxiliar e refeitório. Para os setores de fábrica 1 e fábrica 2 contabilizou-se o consumo de energia dos dois quadros de cada um desses setores respectivamente no período de produção e para a área administrativa, auxiliar e refeitório contabilizou-se o consumo de energia dos respectivos quadros.

Uma vez determinado o setor de maior consumo de eletricidade da empresa, procede-se à identificação dos módulos temáticos de usos significativos de energia dentro desse setor. Para determinar o consumo de energia elétrica foi realizado um levantamento de carga instalada através das diferentes fronteiras delimitadas. O método consiste em quantificar todos os equipamentos consumidores de energia elétrica, confeccionando uma listagem com cada um, para facilitar a anotação das suas grandezas elétricas (tensão, corrente, fator de potência e potência ativa) especificadas através das placas de dados ou obtidas por medições, permitindo conhecer os mais consumidores. As medições foram realizadas com um alicate amperímetro Fluke.

Para o cálculo do consumo de energia foi utilizada a Equação 3.

$$\text{Consumo de energia}(MW/h) = P \times RT \times h \quad (3)$$

Sendo que:

*P*: Potência (MW);

*RT*: Regime de Trabalho (dias/mês) e

*h*: horas

Depois de contar com as medições dos consumos de cada equipamento foi consolidado o consumo geral por módulo temático para determinar os de maior consumo. Esta constitui uma das melhores práticas, pois compreender a dinâmica do uso da energia por sistemas levará à economia de energia ideal.

Com o objetivo de priorizar os módulos temáticos chaves, onde se concentra o maior potencial de oportunidades de redução de perdas, se utilizou o Diagrama de Pareto, tomando-se como critério de seleção o 20% dos módulos temáticos que produzem o 80% do consumo energético de um portador específico. Esta relação foi adotada com o objetivo de manter a riqueza das informações levantadas, em função da amplitude do tema. Segundo Juran, poucas causas levam à maioria das perdas, ou seja, “poucas são vitais, a maioria é trivial” Este critério de seleção foi definido buscando priorizar os módulos temáticos e as fronteiras para o desdobramento na próxima etapa.

### 3.2.1 Análise dos módulos temáticos associados com os usos significativos de energia

Conforme Viana et al. (2012) a auditoria energética é um instrumento ideal de diagnóstico preliminar e básico para obter as informações requeridas sobre o desempenho energético e alcançar a efetiva eficiência. Neste ponto com o intuito de realizar uma análise dos módulos temáticos relevantes e identificar as possíveis oportunidades de redução do consumo, aplicou-se uma auditoria energética de Nível II (Diagnóstico energético), conforme os níveis definidos pela ASHRAE (2011).

#### 3.2.1.1 Fornos

Os fornos elétricos são equipamentos de aquecimento que consomem volumes expressivos de energia nas instalações industriais, constituindo um potencial de oportunidades de economia de energia. Para a realização do diagnóstico de este módulo temático inicialmente realizou-se o monitoramento de algumas das atividades do processo conforme Tabela 13.

**Tabela 13-** Atividades a monitorar nos fornos

<b>Processo</b>	<b>Atividades a monitorar</b>
Processo produtivo	Frequência de abertura de porta ou tampa do forno Níveis de temperatura de trabalho Tempo de aquecimento
Operação	Limpeza e secagem da carga metálica Tempo de carregamento
Manutenção	Verificação de existência de frestas em portas, tampas, soleiras, selos, etc. Estado técnico dos fornos em geral Frequência de manutenção dos fornos

Para este módulo foi elaborado o gráfico de controle com o objetivo de analisar o comportamento do consumo de energia elétrica nos anos 2016 e 2017. Estes diagramas de linha constituem uma ferramenta estatística importante para avaliar se o comportamento da variável está dentro dos limites estabelecidos, sendo calculada a média ( $\bar{X}$ ), o desvio padrão ( $\sigma$ ) e o limite central inferior (LCI) e superior (LCS). Estes gráficos fornecem um sinal sempre que houver a presença de causas especiais, orientando as ações de melhoria (NORDELO, 2007).

Em seguida, através de um gráfico de pizza foi realizada uma análise do consumo de energia elétrica por tipo de ferroligas com o intuito de determinar qual delas tinha maior representatividade no processo.

Para o mesmo período foi realizada também uma análise do comportamento da eletricidade através do diagrama de Consumo e Produção no tempo (C-P vs. T) para cada tipo de ferroliga, o qual mostra a variação simultânea do consumo energético com a produção realizada no tempo, determinando a existência de causas ou fatores que produzem comportamentos anormais na variação do consumo energético em relação a variações na produção, além de permitir identificar as causas que produzem variações nos consumos, pois ao verificar aqueles comportamentos anormais, pode-se fazer uma análise específica para os períodos nos quais se apresentam estes comportamentos, e assim descobrir os fatos que os geram.

A partir dos consumos de cada um dos fornos da fábrica 2, foi elaborado um Pareto com o intuito de identificar em qual deles se concentravam os maiores consumos de eletricidade e centrar a atenção nos mesmos. Também foram levantadas as informações referentes a potência ativa (MW), fator de potência ( $\cos\Phi$ ) e consumo de energia por tonelada produzida (kWh/t) dos mesmos.

De posse de estas informações, foram elaborados os gráficos referentes a potência ativa (MW) dos fornos para verificar a potência útil que está sendo consumida. O gráfico de fator de potência ( $\cos\Phi$ ), para verificar a eficiência do uso da energia. Com o objetivo de verificar se o consumo de energia dos fornos se encontrava próximo aos valores previstos pela literatura, foi elaborado o gráfico de consumo de energia estabelecendo-se um limite conforme valores da Tabela 4 do subtítulo 2.8.1 da revisão.

A elaboração dos gráficos deste apêndice foi realizada com a ajuda do Software Microsoft Excel 2013, utilizando os dados históricos do período (2016-2017) de produção e consumo de energia elétrica fornecida pelo departamento de planejamento e controle da produção.



### 3.2.1.2 Força motriz

No módulo de força motriz realizou-se inicialmente a avaliação por inspeção visual contemplando as seguintes ações:

- Verificação dos dados técnicos do motor localizados na placa;
- Verificação das condições de conservação do motor conforme indicações do fabricante do equipamento e das condições das ligações com a rede elétrica.

Esta inspeção visual mesmo não apresentando nenhuma metodologia de cálculo poderá proporcionar a detecção de condições atípicas e de situações que possam resultar em danos aos equipamentos.

Seguidamente foi realizado um levantamento dos motores mais consumidores e o cálculo do carregamento para quantificar possíveis ganhos com conservação de energia.

Para Viana et al. (2012) uma das técnicas mais simples e confiáveis para verificar o carregamento do motor é o método da linearização que constitui uma metodologia expedita por tratar métodos de fácil execução em campo. Este método se baseia no fato de que a curva de conjugado versus rotação, dentro da região de operação do motor, pode ser aproximada por uma reta.

O cálculo de carregamento foi realizado pelo método de linearização a partir de medição de corrente, ressaltando que a aplicação desta metodologia não está interessada na determinação exata do rendimento do trabalho dos motores, mas sim, do carregamento, para a observação de seu eventual sobredimensionamento. Como não existe variação de carga no eixo do motor a medição de corrente instantânea foi suficiente para a caracterização do carregamento. Através das medições realizadas com um alicate amperímetro digital são obtidos os valores de corrente dos motores, e a rotação síncrona é obtida através da Equação 4.

$$n_s = \frac{120 \times F_e}{p} \quad (4)$$

Sendo:

$F_e$ : frequência das correntes trifásicas das bobinas do estator (Hz);

$n_s$ : rotação síncrona (rpm); e

$p$ : quantidade de polos.

Conhecendo-se os valores de corrente, rotação nominal e síncrona foi calculada a rotação do trabalho usando a Equação 5.

$$n_t = n_s - \left( \frac{I_t - I_0}{I_N - I_0} \right) \cdot (n_s - n_N) \quad (5)$$

Onde:

$n_t$ : rotação de trabalho (rpm);

$n_N$ : rotação nominal (rpm);

$I_t$ : corrente de trabalho (A);

$I_0$ : corrente a vazio (A); e

$I_N$ : corrente nominal (A);

A corrente a vazio é facilmente estimada afrouxando as correias quando possível. No caso quando não é possível esse procedimento, a corrente a vazio é estimada pela Equação 6 e as constantes  $A_0$  e  $B_0$  podem ser obtidas através da Tabela 14.

$$\frac{I_0}{I_N} (\%) = A_0 - B_0 \cdot \ln(P_N) \quad (6)$$

Onde:

$P_N$ : potência nominal do motor em (cv);

$A_0$  e  $B_0$ : coeficientes que variam com o número de polos do motor.

**Tabela 14-** Constantes para cálculo de corrente a vazio para motores de indução

Polos	8	6	4	2
$A_0$	77,463	72,110	67,484	56,855
$B_0$	-7,145	-7,413	-7,490	-6,866

Fonte: Viana et al. (2012)

Seguidamente calcula-se o conjugado nominal através da Equação 7.

$$M_N = \frac{P_N}{n_N} \quad (7)$$

Com o valor da rotação de trabalho e o conjugado nominal encontrou-se o valor do conjugado de trabalho pela Equação 8.

$$M_t = M_N \left( \frac{n_s - n_t}{n_s - n_N} \right) \quad (8)$$

Com o valor do conjugado e rotação do trabalho realizou-se o cálculo da potência de trabalho ( $P_t$ ) através da Equação 9.

$$P_t = M_t \cdot n_t \quad (9)$$

Finalmente, com o resultado da potência de trabalho e o uso da potência nominal foi calculado o fator de carregamento ( $F_c$ ) através da Equação 10.

$$F_C = \frac{P_t}{P_N} \quad (10)$$

Uma vez calculado o fator de carregamento, se o valor deste estiver acima de 75%, pode-se considerar que o motor está bem dimensionado, haja vista que o mesmo opera em uma região de operação com rendimentos elevados. Se, no entanto, o fator de carregamento estiver abaixo de 75%, não se pode afirmar, categoricamente, que tal motor esteja sobredimensionado, mas sim, que há indícios de que esteja. Isto porque existem situações tais como em ciclos de carga severos ou em partidas de cargas com alta inércia onde o uso de motores sobredimensionados se faz necessário (VIANA et al., 2012).

### 3.2.1.3 Iluminação

Nesse módulo foram verificados os níveis de iluminância para os principais ambientes da fábrica com o objetivo de verificar se os mesmos eram adequados ao trabalho solicitado, conforme recomenda a ABNT NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho. O nível de iluminância foi mapeado de forma simples, com o intuito de ter um valor médio. Este valor será o ponto de partida para estudos de alternativas de reabilitação. O nível de iluminância foi medido sobre as mesas de trabalho, abrangendo todo o ambiente por amostragem. As medições foram realizadas através de um luxímetro digital marca *Instrutherm*, sendo que as avaliações com a utilização deste instrumento é um processo prático e retrata as reais condições de iluminação do local em análise. Além dos níveis de iluminação que caracterizam o aspecto do projeto, foram analisadas outras particularidades como cultura das pessoas frente à conservação de energia em sistemas de iluminação assim como o estado do sistema de iluminação.

Como critério para a determinação do número de pontos de medições das iluminâncias em cada local de avaliação, foram seguidas as recomendações da Norma NBR ISO / CIE 8995-1. A Tabela 15 apresenta o espaçamento recomendado entre as medições para diversos tipos de ambientes.

**Tabela 15-** Tipo de ambientes e espaçamentos de medições de iluminância

<b>Ambiente</b>	<b>Maior dimensão da zona ou local</b>	<b>Espaçamento entre medições</b>
Área da tarefa	Aproximadamente 1 m	0,2 m
Salas/ zonas de salas pequenas	Aproximadamente 5 m	0,6 m
Salas médias	Aproximadamente 10 m	1 m
Salas grandes	Aproximadamente 50 m	3 m

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 8995-1 (2013)

O método de medição das iluminâncias dos diferentes ambientes foi realizado tendo em conta as seguintes considerações:

- As medições foram realizadas no centro de cada área a uma altura de 75 cm do piso, mantendo o sensor paralelo à superfície e evitando sombras sobre a fotocélula.
- Foram efetuadas medições de iluminância com as lâmpadas acesas a fim de avaliar a iluminação artificial;
- As medições foram efetuadas durante o período diurno;
- O valor final da iluminância considerado foi o resultado da média aritmética das medições efetuadas;
- Os pontos onde as medições apresentam valores de iluminância discrepantes dos demais devido influências externas são desconsiderados.

Em seguida foi realizado o cálculo de iluminância adequada para os locais que resultaram com valores inferiores ao sugerido pela norma ABNT NBR 8995-1. Primeiramente foram selecionadas o tipo de luminárias e lâmpadas a utilizar.

Posteriormente foi calculado o índice do local (K) através da Equação 11.

$$K = \frac{C \times L}{H \times (C + L)} \quad (11)$$

Onde:

*L*: largura do ambiente, em metros;

*C*: comprimento do ambiente, em metros; e

*H*: altura entre o plano de trabalho e a luminária.

Logo após, em função do índice do local (K) e dos índices de refletância de teto, parede e piso foi determinado o fator de utilização (U) na tabela da luminária escolhida. Os Índices de Refletâncias de cada superfície são determinados conforme os valores apresentados na Tabela 16.

**Tabela 16-** Índice de refletância de superfícies

<b>Superfície</b>	<b>Branco</b>	<b>Clara</b>	<b>Média</b>	<b>Escura</b>
Teto	80%	70%	50%	30%
Parede		50%	30%	10%
Piso			30%	10%

Fonte: ELETROBRÁS/ PROCEL (2011).

Em seguida foi determinado o coeficiente de manutenção (m) tendo em consideração a limpeza do ambiente e o tempo entre cada manutenção, o qual, segundo Rodrigues (2002), para cada um dos locais vistoriados é obtido considerando:

- Conjunto limpo: fator igual a 0,80;

- Conjunto médio: fator igual a 0,70; e
- Conjunto sujo: fator igual a 0,60.

De posse destes dados procedeu-se ao cálculo do fluxo luminoso total através da Equação 12.

$$\Phi = \frac{E * A}{U * m} \quad (12)$$

Onde:

$\Phi$ : *fluxo luminoso total*;

$E$ : *iluminância mínima recomendada pela NBR 8995-1*;

$A$ : *área a ser iluminada com a iluminância  $E$* ;

$U$ : *fator de utilização*; e

$m$ : *coeficiente de manutenção*.

Por fim foi calculado conforme a Equação 13 o número de luminárias necessárias para cada um dos locais com o intuito de satisfazer a luminosidade para o desenvolvimento das atividades.

$$n = \frac{\Phi}{\Phi \text{ luminárias}} \quad (13)$$

Onde:

$\Phi$ : *fluxo luminoso total*; e

$\Phi$  *luminárias*: *número de lâmpadas por luminária x fluxo luminoso de cada lâmpada (lm – obtido a partir dos catálogos das lâmpadas)*.

#### 3.2.1.4 Climatização

O sistema de climatização foi analisado através de uma abordagem qualitativa e quantitativa em vista a identificar oportunidades de conservação de energia. A avaliação qualitativa realizou-se por inspeções visuais do local com o objetivo de verificar se os aparelhos de ar-condicionado estão instalados de forma eficiente, se a operação de uso dos mesmos está sendo feita de forma correta, assim como o estado técnico dos equipamentos, sendo de vital importância o conhecimento da frequência da manutenção de cada um. Com o objetivo de caracterizar o sistema de climatização existente, foi analisado o nível de eficiência energética dos equipamentos através do (COP-Coeficiente de Performance) de acordo com as tabelas de Inmetro para condicionadores de ar de tipo Split piso-teto conforme mostra a Figura 23.

**Figura 23-** Coeficiente de eficiência energética- COP: Condicionadores de ar Split piso-teto  
**CONDICIONADORES DE AR SPLIT PISO-TETO** Data atualização: 5/5/2017

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Piso-Teto			
			Rotação Fixa		Rotação Variável	
<b>A</b>	3,23	<CEE	29	7,8%	4	16,7%
<b>B</b>	3,02	<CEE≤ 3,23	57	15,4%	17	70,8%
<b>C</b>	2,81	<CEE≤ 3,02	164	44,2%	3	12,5%
<b>D</b>	2,60	≤CEE≤ 2,81	121	32,6%	0	0,0%

Fonte: Inmetro (2017)

No aspecto quantitativo, tendo em vista que a capacidade dos condicionadores de ar deve ser adequada ao porte e tipo de ambiente foi calculada a carga térmica para determinar a capacidade dos equipamentos e avaliar se os já existentes atendiam a necessidade do local. Para determinar a carga térmica dos ambientes foi empregando um programa livre da INOVAR conforme mostra Figura 24.

**Figura 24-** Janela do programa e dados solicitados para cálculo de carga térmica

Área em m<sup>2</sup> (digite somente números) \* obrigatório

Nº de pessoas no ambiente (digite somente números) \* obrigatório

Nº de aparelhos que emitem calor (TV, computador, etc - digite somente números)

Paredes para oeste sem proteção em m<sup>2</sup> (digite somente números)

Vidros para oeste em m<sup>2</sup> (digite somente números)

CALCULAR CARGA TÉRMICA

Fonte: INOVAR (2017)

### 3.2.1.5 Análise Tarifária

O objetivo principal do estudo teve como foco verificar se o fator de potência encontrava-se dentro dos parâmetros regulamentados, examinar o comportamento da carga, se a demanda contratada (kW) estava adequada à solicitação de energia na empresa assim como a incidência das multas por ultrapassagem de demanda. Para a obtenção dos dados foram utilizadas as contas de energia as quais constituem uma síntese dos parâmetros de consumo, refletindo a forma

como a mesma é utilizada, usando um período com no mínimo de 24 meses. Após coletados os dados, foi realizado uma análise do fator de carga, fator de potência e comportamento da demanda o que apresenta um quadro rico de informações tornando-se a base de comparação para futuras mudanças, visando mensurar potenciais de economia. Além disso, o resultado da análise permitirá que o instrumento contratual entre a concessionária e o consumidor se torne adequado às necessidades deste, podendo implicar em redução de despesas com a eletricidade.

#### 3.2.1.6 Quadros de distribuição de circuitos

Para a verificação de conservação de energia nos quadros elétricos dos fornos, foi realizada uma inspeção térmica de seus principais componentes com a ajuda de uma câmera termográfica digital marca Flir possibilitando identificar a existência de componentes com temperaturas fora dos padrões, podendo danificarem o sistema ou mesmo provocar até incêndios. Apesar de que neste sistema as perdas de energia são mínimas em comparação com os outros, não deixando de ser importante esta análise. Em vista a determinar os componentes com temperaturas anormais foi elaborado um quadro com as temperaturas medidas por componentes e a máxima temperatura admissível (TMA) em °C.

#### 3.2.1.7 Qualidade de energia e transformadores

Os módulos, qualidade da energia e transformadores foram avaliados conjuntamente devido à forte interação entre ambos. O objetivo fundamental do estudo se baseia na verificação da qualidade da energia nos principais quadros de distribuição da fábrica 2. Para a recopilação das medições utilizou-se o analisador de energia.

Nos quadros onde o FP foi inferior a 0,92 foi realizado o cálculo para a correção do mesmo através da instalação de banco de capacitores. A capacidade do banco necessário para a elevação do fator de potência foi determinada pela Equação 14.

$$Qc = (tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \times P \quad (14)$$

Onde:

$Qc$ : capacidade do banco de capacitor (kVAr);

$P$ : potência ativa instalada (MW);

$\varphi_1$ : ângulo de defasagem antes da correção do FP; e

$\varphi_2$ : ângulo de deslocamento de fase a ser obtido

Logo após de corrigir o fator de potência procede-se a calcular a potência aparente liberada ( $S_t$ ) no transformador, conhecendo-se que a potência aparente pode ser calculada a partir da Equação 15.

$$S = \frac{P}{F_p} \quad (15)$$

Em seguida, a partir da Equação anterior são calculadas  $S_1$  e  $S_2$  para  $Fp_1$  e  $Fp_2$  respetivamente, sendo calculada finalmente pela Equação 16 a potência aparente liberada ( $S_t$ ) no transformador.

$$S_t = S_1 - S_2 \quad (16)$$

Onde:

$S_1$ : Potencia calculada no transformador para  $Fp_1$  ; e

$S_2$ : Potencia calculada no transformador para  $Fp_2$ .

### 3.3 IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

A identificação das oportunidades de melhoria do desempenho energético constitui um elemento fundamental para o planeamento da gestão energética numa organização, oferecendo inúmeros benefícios, incluindo a descoberta de melhorias nas práticas operacionais e de novas soluções tecnológicas com benefícios práticos decorrentes da sua implementação. Através da auditoria energética realizada aos módulos temáticos de uso significativo de energia foi possível obter informação essencial para elaborar uma lista de oportunidades quantificadas de melhoria do desempenho.

Dentro da lista de oportunidades foram selecionadas também as boas práticas as quais consistem em cuidar dos recursos da empresa, neste caso particular, em relação à energia. Conforme a *Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial- ONUDI* (2014) as opções de boas práticas são fáceis de aplicar e geralmente são (quase) gratuitas. Os tempos de amortização são extremamente baixos e as economias são imediatas, podendo ser economizada através destas medidas entre 25 e 50% da energia total da empresa.

#### 3.3.1 Estudo de viabilidade econômica das alternativas de redução de perdas

Após a identificação das oportunidades de melhoria, realiza-se um estudo de viabilidade econômica através de planilhas eletrônicas para cada uma delas, reunindo as informações de



economias projetadas, os investimentos necessários, bem como as fontes de recursos. Esse formato permite identificar os principais indicadores financeiros para a correta tomada de decisão. Indicadores como Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e Payback são utilizados para a análise da viabilidade.

Para o cálculo do valor do investimento total foram levados em consideração os preços dos componentes, materiais e mão de obra, bem como consulta aos fabricantes dos equipamentos existentes.

No caso das economias de energia, as quais correspondem à diferença entre o consumo atual e o consumo se a medida for implantada, porém expressadas em termos monetários. Foi calculada através da Equação 17.

$$Economia = (C_A - C_F) \times T \quad (17)$$

Onde:

*C<sub>A</sub>*: consumo em kWh atual, ou seja, sem a medida de eficiência energética;

*C<sub>F</sub>*: consumo em kWh se implantar a medida de eficiência energética; e

*T*: tarifa paga pelo consumo R\$/kWh.

O Valor presente líquido (VPL) também é uma ferramenta muito utilizada para análise de investimento de projetos em qualquer nível de organização e que tem basicamente o objetivo de medir o lucro. Conforme Abreu Filho (2007) este indicador é simplesmente a diferença entre o valor presente do projeto ao longo da sua vida útil e o investimento do projeto na data atual. Para o cálculo foi utilizada a Equação 18.

$$VPL = R \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n} - I \quad (18)$$

Onde:

*VPL*: valor presente líquido (R\$);

*R*: total benefício anual (R\$);

*i*: taxa de juro anual definida pelo agente financiador;

*n*: vida útil equipamento (anos); e

*I*: investimento inicial total (R\$).

Seu critério de decisão consiste em: se o  $VPL \geq 0$  significa que é viável executar a medida de eficiência energética, pois esta remunera o capital investido. Quando o  $VPL < 0$  rejeita-se a medida (ROSS, WESTERFIELD e JAFFE, 2007).

A taxa interna de retorno (TIR) também foi utilizada como critério de avaliação do investimento. Segundo Gitman (2007) o TIR é a taxa necessária para igualar o valor atual das entradas ao investimento inicial. Portanto é a taxa que faz com que o VPL de um projeto seja igual a zero, representando o ponto da reversão da decisão de investir. O cálculo foi realizado conforme Equação 19.

$$0 = -FC_0 + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k} \quad (19)$$

Onde:

$FC_k$ : Fluxo de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

$FC_0$ : Investimento inicial; e

$k$ : (1; n) = períodos de horizonte de planejamento

Seu critério de decisão consiste em comparar a TIR com a taxa mínima de atratividade (TMA) da empresa com o intuito de verificar o desempenho do projeto, existindo as seguintes possibilidades;

TIR > TMA significa que o projeto é economicamente atrativo;

TIR < TMA o investimento não é economicamente atrativo; e

TIR = TMA significa que o investimento está em uma situação de indiferença.

Para o estudo foi considerada uma TMA de 13,75 % a.a.

Através do cálculo do Payback simples foi possível determinar o tempo necessário para recuperar o investimento inicial realizado conforme Equação 20.

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Ganho de investimento} - \text{Custo do investimento}}{\text{Benefícios anuais} - \text{Custos operacionais anuais}} \quad (20)$$

Conforme DOE (1996) para as empresas de pequeno e médio porte é necessário um *payback* de menos de dois anos, e para as empresas de grande porte o *payback* pode ser de três anos ou menos.

### 3.3.2 Matriz de decisão ou priorização das alternativas de redução de perdas

Depois de realizado o estudo de viabilidade foram selecionados dois critérios para priorizar as oportunidades de melhoria do desempenho energético, sendo: potencial de redução do consumo de energia (MW, R\$) e investimento necessário (R\$). O método de priorização utilizado foi a matriz de decisão, sendo esta uma ferramenta que possibilita tomar decisão entre algumas alternativas, ponderando diferentes critérios de avaliação.

Para a elaboração da matriz foi realizada a seguinte sequência de passos:

- Listar os critérios que vão fundamentar a escolha;
- Listar as diversas alternativas, dentre as quais se necessita fazer a escolha;
- Construir uma tabela cruzando esses dados;
- Estabelecer uma escala de avaliação e caso necessário atribuir pesos para cada critério;
- Estabelecer os critérios de classificação: os pontos de ambos os critérios são multiplicados, sendo selecionados como prioritários os projetos com maior pontuação.

### 3.4 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS CHAVES E LINHAS DE BASES ENERGÉTICAS

Para a elaboração das linhas de base energéticas, inicialmente foram identificadas as variáveis chaves que afetam o consumo de energia do módulo temático forno, o qual resultou o de maior consumo dentro de fábrica 2. Conforme Nordelo e Bonifaz (2013) estas variáveis de influência são particulares para cada processo, sendo de vital importância a identificação das mesmas, pois estas determinam em grande parte o consumo de energia, e por tanto devem ser conhecidas e controladas adequadamente.

Segundo Leite; Bajay e Debonzi (2010) no processo específico de produção de ferroligas o consumo de energia depende de vários fatores, tais como: a liga produzida, características físicas, químicas e metalúrgicas da carga, do projeto do forno elétrico e dos procedimentos operacionais. Baseado no exposto anteriormente a variável selecionada para a análise foi o nível de produção. Tendo em conta que na fábrica dois são produzidas dois tipos de ferroligas (FeSi e FeSiCr), as quais demandam consumos energéticos diferentes para sua produção, foi realizada uma análise para o nível de produção por tipo de ferroliga.

Em seguida foi confeccionada uma tabela com os dados referentes aos anos (2016 e 2017) dos consumos mensais de eletricidade e produção por tipo de ferroliga.

Logo após para conhecer a real relação existente entre o nível de produção e o consumo de energia foi realizada uma análise através do gráfico de dispersão e correlação. Este gráfico é importante, pois por meio dele é possível ter uma noção da relação existente entre as variáveis e fornece indícios sobre a variabilidade associada às mesmas e sobre os pontos atípicos.

O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) fornecido pelo gráfico foi utilizado para determinar a correlação linear e a força entre as variáveis. Este coeficiente é um número entre -1 e +1, quanto mais próximo é de +1 ou -1, mais perfeitamente correlacionada encontram-se

as variáveis e mais próximas de uma relação linear perfeita. Para Dancey e Reidy (2006) valores de:  $r = 0,10$  até  $0,30$  podem ser considerados (fraco); de  $r = 0,40$  até  $0,6$  (moderado); e de  $r = 0,70$  até  $1$  (forte).

Segundo Nordelo e Bonifaz (2013) quando há uma alta correlação entre uma dessas variáveis e o consumo de energia, bem como uma relação que tem um efeito entre elas, será necessário incluir a variável na normalização da linha de base e os indicadores de desempenho energético para permitir análises comparativas com períodos acima ou estimar os níveis futuros no consumo de energia.

Uma vez realizada a análise das variáveis foram elaborados os dois modelos de linha de base, o primeiro com os consumos de eletricidade e produção de FeSi e um segundo com os consumos de eletricidade e produção de FeSiCr. O período base selecionado para a construção das linhas de bases energéticas foi de dois anos (2016 e 2017), já que conforme Fossa e Sgarbi (2017), este período deve ser superior a um ano, para garantir a variabilidade dos padrões operacionais e a sazonalidade do consumo de energia e das variáveis relevantes.

Conforme Leite (2010) para a determinação da linha de base existe vários métodos, sendo os modelos de regressão estatística os mais populares e simples de desenvolver. De esta maneira, para a elaboração da linha de base utilizou-se o método de regressão linear simples o qual é definido segundo Costa, G.G (2015) como o estabelecimento de uma equação linear que permite estimar e explicar o valor de uma variável em função de uma única outra variável. O modelo de regressão linear simples pode ser representado como (HOLLANDER & WOLFE, 1999):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \varepsilon_i \quad (21)$$

Onde:

$\beta_0$  e  $\beta_1$ : *parâmetros dos coeficientes de regressão;*

$X_{i1}$  : *regressor;*

$\varepsilon$ : *erro aleatório provindo das medições e análises dos dados;*

$Y_i$ : *i-ésimo valor observado da variável dependente.*

Para um melhor entendimento em termos práticos, a equação anterior foi representada pela Equação 22.

$$E = mP + E_0 \quad (22)$$

Sendo:

*E: consumo de energia; P = produção; m = inclinação da linha; e E<sub>0</sub>= Interseção da linha.*

O critério de seleção das variáveis chaves escolhidas para compor o modelo de regressão foi o coeficiente de correlação (r). Seguidamente com o intuito de estimar os parâmetros da regressão aplicou-se o método dos mínimos quadrados o qual garante o melhor ajuste ao conjunto de pontos dado, minimizando o erro resultante do ajustamento.

Uma vez obtido o modelo, procede-se à avaliação da qualidade do ajuste do mesmo através do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). Segundo Borroto (2006) podem-se considerar adequados, aos efeitos destas análises energéticas valores do coeficiente de determinação R<sup>2</sup> igual ou maior do que 0,75 ( $0,75 \leq R^2$ ).

Após a elaboração do modelo e verificada a qualidade do ajuste foi realizado o teste de significância com o intuito de determinar a existência de uma relação linear entre a variável de resposta e a variável regressora. Sendo consideradas as hipóteses seguintes:

$$H_0: \beta_1 = 0 \quad (23)$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0 \quad (24)$$

A rejeição de  $H_0$  sugere que a variável explicativa contribui significativamente para o modelo. Convém ressaltar que a rejeição de  $H_0$  não indica necessariamente que o modelo encontrado seja o adequado. Somente a existência da relação linear da variável regressora com a variável dependente, contribuindo de maneira significativa com a regressão.

Posteriormente foi feita a análise dos resíduos, pois dentro de um modelo de regressão estes têm uma relação muito forte com a qualidade do ajuste feito e com a confiabilidade dos testes sobre os parâmetros do modelo (CUSA et al., 2017). Para tal, foram elaborados os gráficos papel de probabilidade e histograma de frequência dos resíduos, além de realizar o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos mesmos.

Conforme Torman, Coster e Riboldi et al. (2012), o teste de Shapiro-Wilk baseia-se nos valores amostrais ordenados elevados ao quadrado e aparentemente é o melhor teste de aderência à normalidade. Shapiro e Wilk (1965) desenvolveram o teste de Shapiro-Wilk mostrando que esse teste é eficiente para diferentes distribuições e tamanhos de amostras quando comparado aos resultados de outros testes.

Para realizar o teste de Shapiro-Wilk, foram formuladas as seguintes hipóteses:

*H<sub>0</sub>: A distribuição dos resíduos é normal;*

*H<sub>1</sub>: A distribuição dos resíduos não é normal.*

O teste foi realizado com grau de confiança de 95% (nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%). De esta maneira pela regra de decisão compara-se o p-valor do teste com o nível de significância adotado. Se o p-valor do teste for menor que o nível de significância escolhido, rejeita-se a hipótese de normalidade.

Para a realização desta análise foi utilizado o software RStudio, versão 1.0.136, que é um software gratuito e livre de computação estatística com desenvolvimento em linguagem de programação R, o qual permite a elaboração de gráficos e cálculos estatísticos.

### 3.5 INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

A identificação de indicadores de desempenho energético (IDEn) é de vital importância dentro de um SGE, estes são valores ou medidas que quantificam resultados relacionados à eficiência energética, uso e consumo de energia em instalações, sistemas, processos e equipamentos, possibilitam verificar o desempenho energético da organização, bem como a sua melhoria, comparando seus valores atuais com os valores iniciais da linha de base.

Para Benedetti et al. (2016), medir o desempenho da eficiência energética de equipamentos, processos e fábrica constitui o primeiro passo para o gerenciamento efetivo de energia na produção onde a correta definição dos IDEn tem um papel decisivo.

A metodologia proposta para a elaboração dos indicadores de desempenho energético está estruturada pelos seguintes passos:

1. Definição do limite do IDEn;
2. Elaboração dos IDEn; e
3. Criação de sistemas de controle de desempenho energético.

No procedimento metodológico definido são sugeridos indicadores de pouca complexidade com o intuito de que possam ser de fácil interpretação e compreensão, podendo ser utilizados na medição do desempenho energético com uma eficácia garantida pela definição estatística da linha de base e configuração de ferramentas de controle adequadas. Sua estrutura é válida para a indústria e sua aplicabilidade é baseada nos padrões operacionais ISO 50001 e ISO 50006. A seguir são descritas as etapas de forma mais detalhada.

#### 1. Definição do limite dos IDEn

O Primeiro passo do procedimento metodológico consiste na definição do limite apropriado para o sistema de IDEn. Estes limites compreendem as áreas ou as atividades dentro

das quais uma organização gerencia o desempenho energético. Para o estudo foi escolhida a fábrica 2 por ser onde se concentram os consumos significativos de energia.

## 2. Elaboração de IDEn

A informação base para estruturar os IDEn, corresponde aos dados obtidos na revisão energética realizada na fronteira definida. Os indicadores de desempenho energético propostos foram: o Indicador de consumo específico de energia (IC) para cada uma das ferroligas produzidas e o Indicador de eficiência.

- Indicador de consumo específico de energia (IC)

Segundo AIDA (2014) em organizações industriais, geralmente os IDEn relacionam o consumo de energia com a produção, sendo o mais comum o índice de consumo ou o consumo específico de energia (IC). Este indicador avalia o aumento ou a diminuição do consumo de energia por unidade de produção e realiza análise comparativa com dados de referência da organização (períodos anteriores). Este é definido conforme Equação 25.

$$IC = \frac{\text{Consumo de energia (MWh)}}{\text{Produção (t)}} \quad (25)$$

Para este indicador foi realizado o gráfico de controle com o intuito de verificar se os valores do mesmo encontravam-se dentro dos limites estabelecidos.

Em seguida com o intuito de estabelecer uma ferramenta de comparação do indicador com valores padrões foi obtida a equação do índice de consumo base ( $IC_{Base}$ ) que resulta da divisão do modelo de linha de base obtido na subseção 3.4 pelo valor da produção:

$$IC_{Base} = \frac{mP + E_0}{\text{Produção}} \quad (26)$$

Desse ponto de vista, em um processo produtivo onde a caracterização da energia foi realizada, as equações características de cada processo são obtidas e o Indicador de Consumo Base ou característico IC, de referência pode ser definido conforme Equação 27.

$$IC_{Base} = m + \frac{E_0}{p} \quad (27)$$

A Equação 27 representa um indicador base de consumo, formado por um termo constante ( $m$ ) e outro  $\left(\frac{E_0}{p}\right)$  que é uma função da variável de produção. A partir desta equação foi realizado o gráfico IC vs. Produção, através do qual é possível comparar o desempenho

energético medido para qualquer nível de produção, com um valor de referência base atualizado no desempenho energético recente.

- Índice de eficiência

Através do modelo de linha de base obtido na subseção 3.4 para o consumo de energia da fábrica, determinada pelos valores das variáveis relevantes durante o período de base (2016-2017) procede-se a apresentar o índice de eficiência da maneira seguinte:

$$\text{Índice de eficiência} = \frac{\text{Consumo de energia real}}{\text{Consumo de energia estimado}} \quad (28)$$

Onde:

*Consumo de energia real: representa o consumo de energia medido do período de reporte (ano 2018).*

*Consumo de energia estimado: representa o consumo de energia calculado a partir da equação do modelo obtida no período da linha de base da energia.*

Através desse indicador é possível realizar a comparação do desempenho energético sob condições equivalentes, mesmo se houverem mudanças ou variáveis relevantes. Estes modelos geralmente descrevem a relação entre valores de energia e variáveis relevantes no período de base.

Se  $IDEn < 1$ , significa que, neste período, o consumo de energia foi menor do que o consumo que houvera tido nas mesmas condições operacionais (quantidade produzida) durante o período de referência (linha de base energética), ou seja, conseguiu uma melhoria no desempenho energético em relação ao mesmo período do ano de referência.

Se  $IDEn > 1$ , isso significa que, neste período, foi consumida mais energia do que o que teria sido consumida durante o ano de referência em um período com as mesmas condições operacionais (quantidade produzida), ou seja, não foi alcançada uma melhoria de desempenho energético.

### 3. Criação de sistemas de controle de desempenho energético

Uma vez que a estrutura principal do sistema de IDEn foi criada, um sistema de controle de desempenho adequado deve ser definido para atualizá-los continuamente e controlar suas variações no tempo. Conforme Benedetti et al. (2016) a criação do sistema de controle possibilita comparar IDEn com sua linha de base, para imediatamente identificar mudanças no desempenho energético e quantitativamente estimar seu impacto positivo ou negativo.



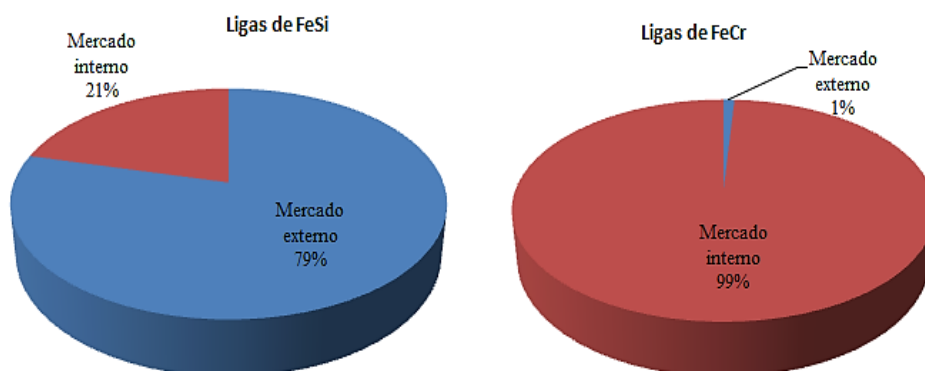
Em seguida é utilizado o gráfico de controle de Tendência de Soma Acumulativa (COSUM). Este gráfico é uma ferramenta que se utiliza para monitorar a tendência da empresa em quanto à variação de consumos energéticos em relação a um período de base de comparação dado. Sempre que a inclinação ou direção do COSUM muda, isso significa que algo aconteceu no processo monitorado em essa instância do tempo. Conforme Benedetti et al. (2016) esta técnica é relativamente simples, mas muito eficaz para identificar economias de energia (linha de tendência descendente) ou maiores taxas de consumo (linha de tendência ascendente). A elaboração dos gráficos foi realizada com a ajuda do Software Excel 2013.

#### 4. DESCRIÇÃO DE EMPRESA OBJETO DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em uma empresa pertencente ao setor de ferroligas, a qual é líder em seu segmento e única produtora integrada de Ferro-Cromo das Américas. Seus principais produtos são as ligas de Ferro-Cromo Alto Carbono (FeCrAC), Ferro-Cromo Baixo Carbono (FeCrBC), Ferro-Silício (FeSi75) e Ferro-Silício Cromo (FeSiCr), destinadas, principalmente, ao setor siderúrgico e à produção de aços inoxidáveis e especiais.

O produto ferroligas é destinado tanto ao mercado interno quanto ao externo conforme ilustra Figura 25. Atualmente, América do Sul, Estados Unidos, a União Europeia e Ásia são os principais importadores.

**Figura 25-** Mercado externo e interno por ferroligas



A empresa conta com um total de 1284 empregados entre pessoal administrativo e vinculados à produção e possui um Sistema Integrado de gestão da Qualidade, Gestão Ambiental e Saúde e Segurança, certificados com base nas normas ISO 9001, as normas OHSAS 18001 e ISO 14001. As certificações obtidas refletem a preocupação com a melhoria contínua, além do cumprimento da legislação vigente.

A principal tecnologia utilizada no processo de fabricação de ferroligas são os fornos elétricos a arco trifásico, através dos quais é obtida a redução do minério e conseqüentemente a liga. Estes processos são eletro-intensivos, com elevada participação da energia elétrica no aquecimento da carga dos fornos visando obter a temperatura necessária para que as reações químicas possam ocorrer.

Em seu processo de produção a empresa conta com quatorze fornos elétricos de redução distribuídos em duas plantas metalúrgicas, uma produzindo ligas de Cromo e outra Ferro-Silício dentro de elevados padrões de qualidade e ênfase permanente na segurança de seus colaboradores, respeito ao meio ambiente e eficiência nos seus processos.

A empresa tem capacidade instalada de aproximadamente 264 MVA para a produção das ferroligas com uma utilização de 76,8% e uma capacidade instalada associada à capacidade produtiva por produto de 347 000 t/ano. A Tabela 17 apresenta a capacidade instalada da fábrica associada à capacidade produtiva, por produto.

**Tabela 17-** Capacidade instalada total da fábrica

<b>Ferroliga</b>	<b>Forno</b>	<b>Potência Aparente kVA</b>	<b>Potência Ativa kW</b>	<b>Capacidade instalada t/ano</b>	<b>Capacidade instalada t/ano</b>
FeCrAC	I	22 000	21 000	43 360	<b>192 000</b>
	III	21 500	15 000	30 940	
	V	3x6160	18 000	37 170	
	VI	3x6160	18 000	37 170	
	VIII	3x8000	21 000	43 360	
	<b>Total</b>	<b>104 460</b>	<b>93 000</b>		
FeSiCr	II	10 000	7500	13 000	<b>13 000</b>
	<b>Total</b>	<b>10 000</b>	<b>7500</b>		
FeCrBC	IV	15 450	4500	11 000	<b>22 000</b>
	VII	15 450	4500	11 000	
	<b>Total</b>	<b>30 900</b>	<b>9000</b>		
FeSi 75	IX	21 500	17 000	17 750	<b>120 000</b>
	X	32 424	18 000	18 780	
	XI	33 370	19 000	18 780	
	XII	32 424	20 000	20 850	
	XIII	33.370	21 000	21 920	
	XIV	34 848	21 000	21 920	
	<b>Total</b>	<b>187 936</b>	<b>116 000</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>333 296</b>	<b>225 500</b>		<b>347 000</b>

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da empresa

Observa-se que a maior capacidade produtiva instalada é a de Ferro-Cromo seguida pelas produções de Ferro-Silício e Ferro-Silício-Cromo. No entanto, a maior potência ativa encontra-se nos fornos de Ferro-Silício, sendo esta a ferroliga de maior consumo de energia.

Cabe destacar que desde o ano 2016 o forno 2 da fábrica de FeCr destinado à produção de FeSiCr foi desligado, passando a ser produzida esta ferroliga no forno 9 da fábrica de FeSi, isso foi possível devido à flexibilidade e adaptabilidade do processo. Pelo qual a partir de 2016, a empresa conta em média com treze fornos ligados.

#### 4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO POR PRODUTO

Na produção de ferroligas, as matérias-primas usadas são classificadas genericamente nos seguintes grupos:

- Minérios - fornecedor do metal. Este material pode ser usado na forma de granulado (lump) e fino (concentrado);

- Redutor - fornecedor do elemento químico responsável por absorver o oxigênio do minério, liberando o metal. O redutor é um produto a base de carbono, sendo os mais usados em metalurgia o carvão vegetal, antracito e coque metalúrgico (coque de hulha); o que não impede o uso de outros materiais a base de carbono, desde que seja econômico o seu uso. Algumas ferroligas, podem utilizar outros redutores diferentes do Carbono, como o FeCr Baixo Carbono que utiliza o elemento Silício contido no FeSiCr para as reações de redução; e
- Fundente - elemento capaz de reagir com a ganga do minério, baixar a temperatura de fusão da mesma e formar a escória.

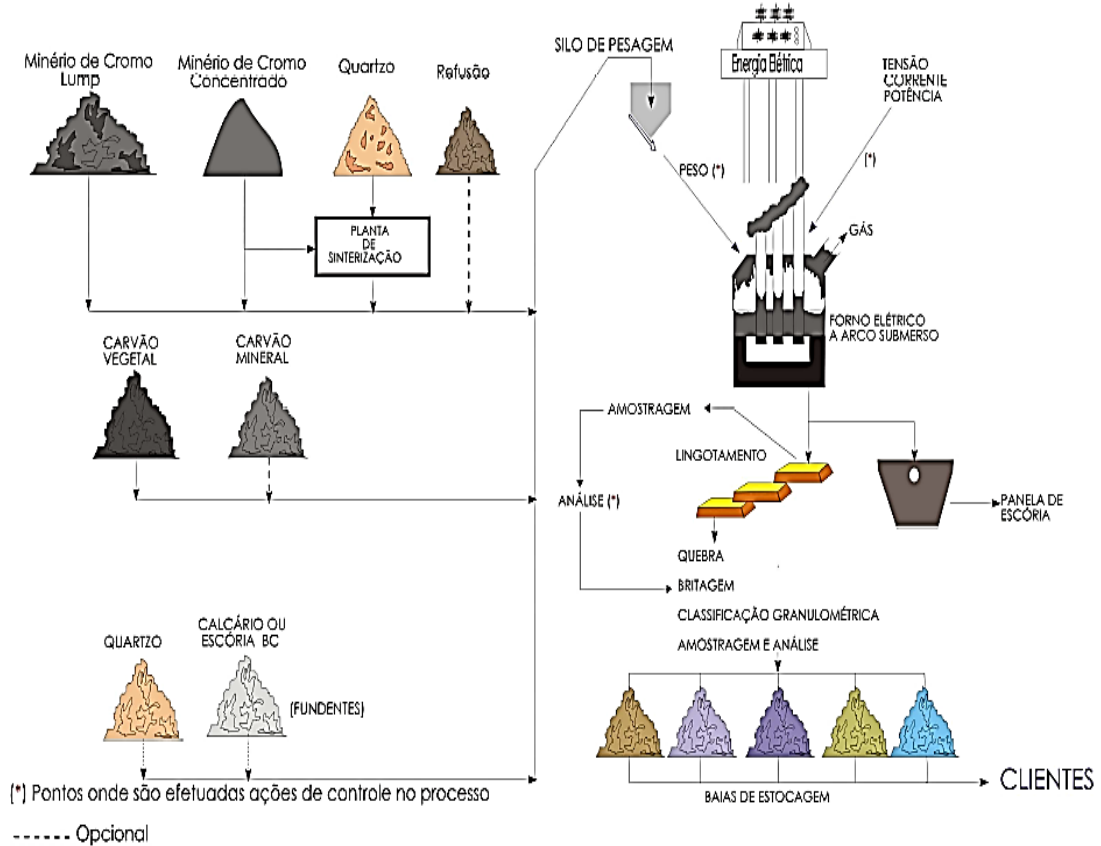
O Processo de produção de ferroligas envolve a redução carbotérmica em fornos elétricos a arco submerso, sendo este o equipamento básico, constituído de uma carcaça, revestida internamente com material refratário, onde é adicionada a carga de forma intermitente ou contínua de acordo com a necessidade. Este processo envolve três etapas fundamentais sendo a primeira, a preparação das matérias primas, onde as mesmas são trituradas e peneiradas, sendo encaminhadas para a casa de mistura onde são misturadas e pesadas, a segunda etapa é a de fusão e redução das cargas e finalmente a preparação do produto onde as ferroligas produzidas são quebrada, moída e peneirada de acordo com a especificação requerida do consumidor. Conforme Leite; Bajay e Debonzi (2010) dentre as etapas mencionadas a fusão redutora é a mais importante, tanto do ponto de vista de produção física quanto o aspecto do consumo de energia.

O aquecimento é feito por meio de três eletrodos (sistema trifásico), que são inseridos na carga. Os gases gerados no processo são exauridos via coifa montada sobre o forno. O processo é contínuo, a carga constituída de minério e redutor é introduzida na parte superior do forno, passando pelas diferentes etapas, gerando liga e escória, que são vazadas pela parte inferior. À medida que a carga desce, mais material é carregado, dando continuidade ao processo. O aquecimento e a manutenção da zona de alta temperatura, necessária para que se dê a fusão e redução, é feita pela passagem da corrente elétrica, introduzida no forno por meio dos três eletrodos, conectados ao transformador do forno.

O Ferro-Cromo Alto Carbono (FeCrAC) produzido na fábrica 1, é uma liga de ferro, cromo, silício e outros elementos, sendo usadas na fabricação de um grande número de tipos de aço e ligas especiais. As principais utilizações destas ligas ocorrem na produção de aço resistentes à corrosão, na produção de aços de alta resistividade elétrica, aços alta liga (indústria

de automóvel), anti-oxidação e principalmente na produção de aços inoxidáveis. O processo produtivo desta liga é realizado conforme fluxograma apresentado na Figura 26.

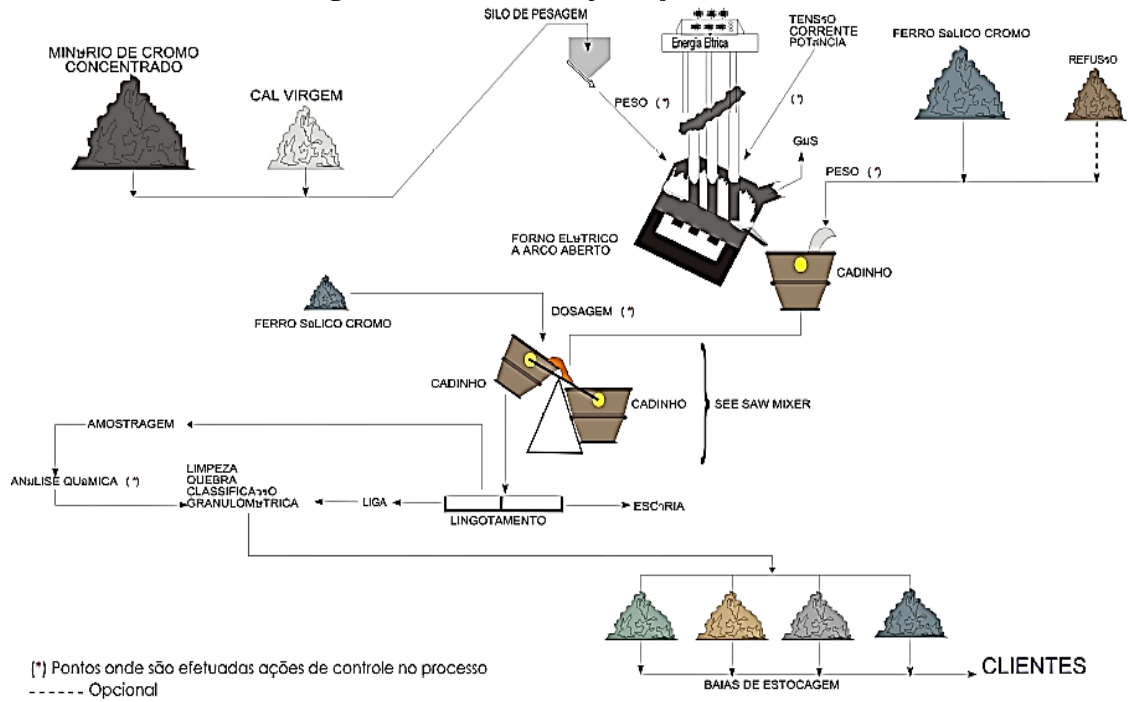
**Figura 26-** Processo de produção de FeCrAC



Fonte: Acervo da empresa

Por sua vez o Ferro-Cromo Baixo Carbono (FeCrBC) é uma liga de ferro, cromo, silício e carbono com teor máximo de 0,15%. É usado durante a produção de aços para corrigir os teores de cromo, sem provocar variações indesejáveis no teor de carbono. A sua utilização industrial é a mesma do FeCrAC, ou seja, na produção de aços especiais e inoxidáveis, com larga aplicação nas indústrias de bens de consumo. A produção destas ligas é realizada conforme fluxograma ilustrativo na Figura 27.

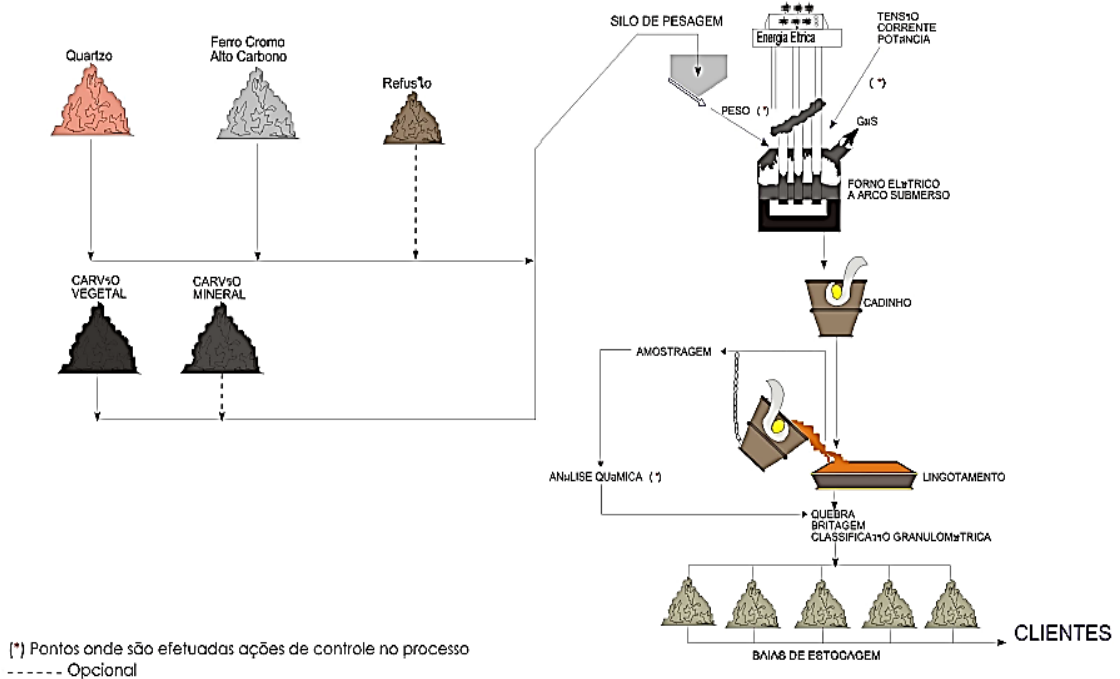
**Figura 27- Processo de produção de FeCrBC**



Fonte: Acervo da empresa

O Ferro-Silício Cromo (FeSiCr) é uma liga de ferro, cromo, silício e outros elementos. Sua aplicação é ser o principal insumo na produção de Ferro-Cromo Baixo Carbono. A produção desta liga realiza-se conforme fluxograma da Figura 28.

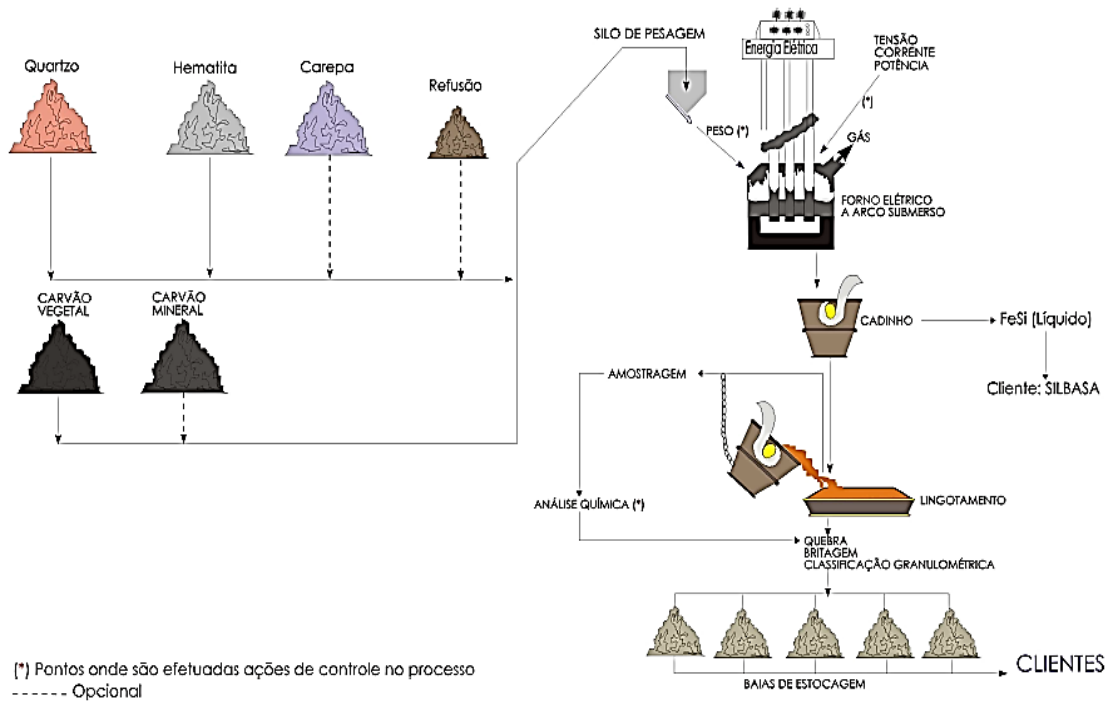
**Figura 28- Processo de produção de FeSiCr**



Fonte: Acervo da empresa

O Ferro-Silício 75 (FeSi 75) é produzido a partir do quartzo de alta pureza, carvão vegetal, minério de ferro, carepa e sucata. O FeSi 75 Standard é utilizado na produção de aços como desoxidante e elemento de liga. Na indústria de fundição, como agente grafitizante. O FeSi 75 Alta Pureza é usado na fabricação de aços ao silício de grão orientado (GO) e grão não orientado (GNO). O processo produtivo desta liga pode ser conferido no fluxograma da Figura 29.

**Figura 29-** Processo de produção de FeSi 75%



Fonte: Acervo da empresa

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO DO ESTUDO DE CASO

### 5.1 ANÁLISE DE USO E CONSUMO DE ENERGIA

A partir dos dados disponibilizados pela empresa sobre o uso e consumo dos energéticos durante os anos 2016 e 2017, apresentados na Tabela 18, realizou-se a caracterização energética da mesma. Sendo assim, foram convertidas as unidades de energia, a partir de bibliografia existente, para poder padronizar as unidades e realizar um comparativo entre elas, em toneladas equivalentes de petróleo (tep). Constatou-se que durante o período de estudo a empresa consumiu cerca de 406 326 tep sobre a forma de energia elétrica, carvão vegetal, coque, óleo diesel e gasolina.

**Tabela 18-** Dados para conversão do consumo de energia em toneladas equivalentes de petróleo (tep) 2016-2017

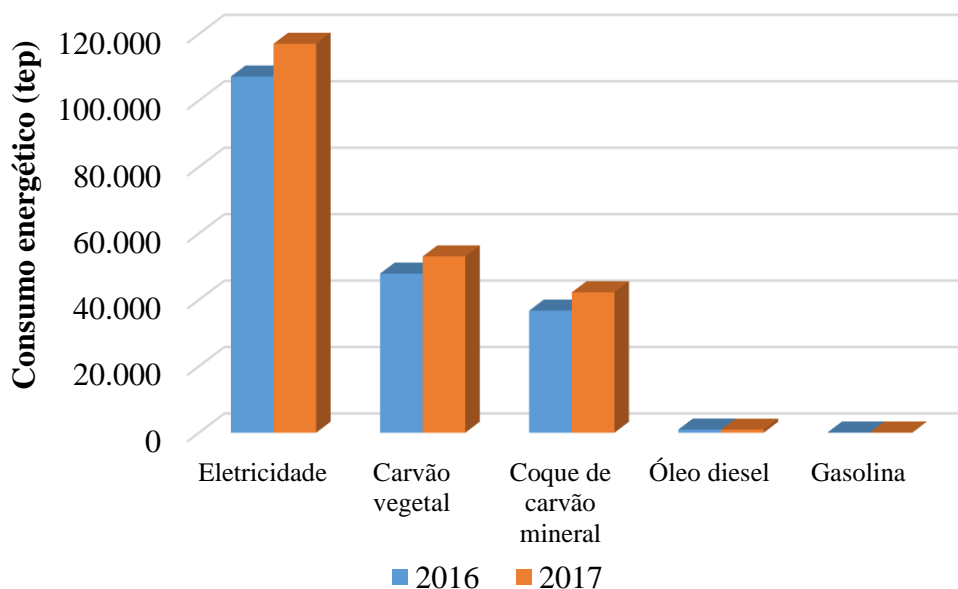
Fontes de energia	U/M	Ano	Consumo	Total	Fator conversão	tep
Eletricidade	MWh	2016	1 246 887,48	2 608 130,15	0,086	224 299
		2017	1 361 242,67			
Carvão vegetal	t	2016	74 129,25	15 6281,61	0,646	100 958
		2017	82 152,36			
Coque de carvão mineral	t	2016	53 281,00	11 4541,00	0,69	79 033
		2017	61 260,00			
Óleo diesel	m <sup>3</sup>	2016	1141,57	2246,39	0,844	1896
		2017	1104,82			
Gasolina	m <sup>3</sup>	2016	85,72	181,83	0,77	140
		2017	96,11			
<b>Total</b>						<b>406 326</b>

A energia elétrica consumida na empresa é adquirida junto à Companhia Hidrelétrica do Vale de São Francisco - CHESF e através do Mercado Livre. De acordo com dados de faturas mensais, o consumo médio de energia elétrica em toda a empresa no período 2016 - 2017 foi de 107 033MWh/mês nos horários fora de ponta e de 1607MWh/mês nos horários de ponta, sendo o custo médio com energia elétrica no o equivalente a R\$ 17 640 083,00 ao mês. A eletricidade é utilizada no processo de produção, sendo consumida principalmente pelos motores elétricos, os fornos e as atividades auxiliares, tais como iluminação e climatização de toda a empresa. O carvão vegetal e o coque são usados como agentes redutores no processo a arco submerso e o óleo diesel e a gasolina são utilizados como combustíveis para a movimentação de cargas e dos automóveis, respectivamente.



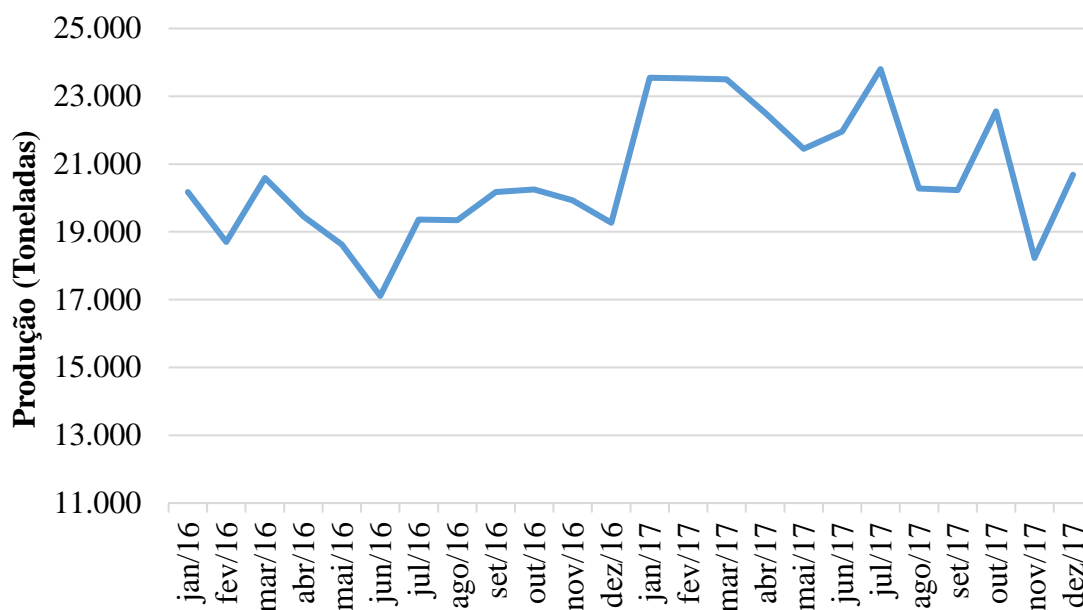
Ao realizar uma análise das tendências do consumo dos energéticos nos anos 2016 e 2017 constata-se, através da Figura 30, um incremento em 2017 de 5% do consumo em relação ao ano 2016, o que representa 20 499 tep.

**Figura 30-** Consumo dos energéticos utilizados na empresa (2016 e 2017)



O incremento evidenciado em 2017 nos consumos fundamentalmente de eletricidade, carvão e o coque, são justificados pelo aumento da produção, conforme mostra Figura 31, sendo que no ano 2017 foram produzidas 262 271 toneladas de ferroligas, representando um aumento de 6% em relação ao mesmo período de 2016, com destaque para as ligas de cromo, que cresceram 11,1% no mesmo período. Apesar do incremento em 2017, observa-se como a produção a partir do quarto trimestre do próprio ano segue uma tendência descendente, isto se justifica pela parada programada dos fornos 06 e 08 de FeCrAC para troca de transformadores, o que afetou diretamente a produção nesse período. Outro fator que contribuiu com a menor produção do ano 2016, foi que nos meses de maio, junho e dezembro não houve produção da liga FeSiCr.

**Figura 31-** Comportamento da produção total de ferroligas (2016 e 2017)

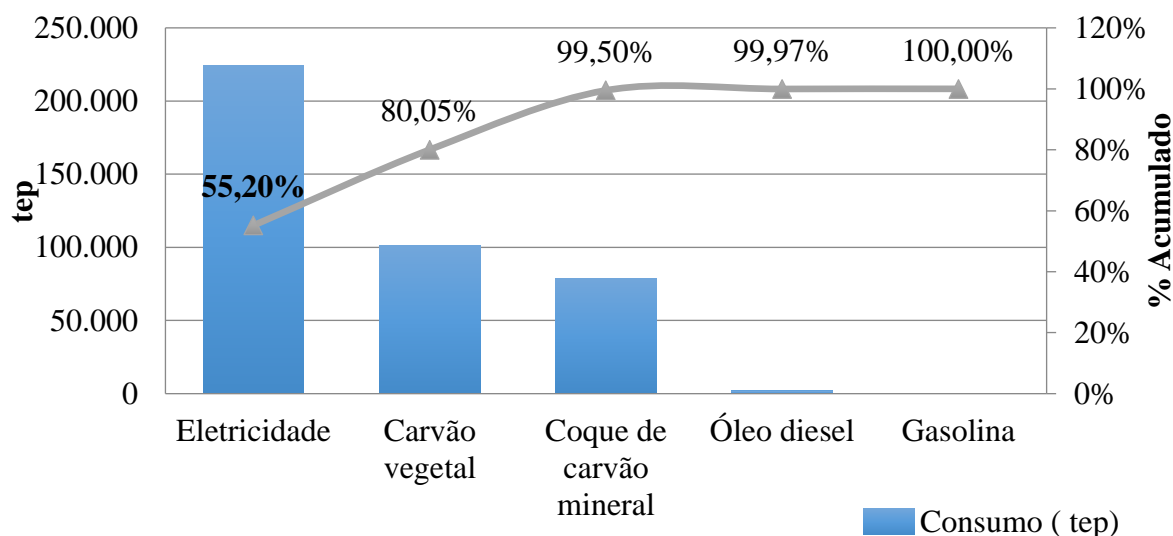


Conforme mostra a análise através do Pareto da Figura 32, os principais energéticos empregados pela empresa nesse período foram a eletricidade com uma representatividade de 55,20%, dado que a principal tecnologia de produção foi o forno elétrico a arco submerso e como segundo energético majoritário utilizado encontra-se o carvão vegetal com 24,85%, ambos energéticos em conjunto representam o 80,05% do consumo energético total da empresa. Tendo em consideração que o carvão vegetal é utilizado como agente redutor no processo a arco submerso, os esforços pela procura da eficiência energética foram dirigidos à eletricidade, por ser esta a fonte de energia com o uso mais significativo.

**Tabela 19-** Consumo por Fontes de Energia no período 2016-2017

<b>Fontes de energia</b>	<b>Consumo (tep)</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulado</b>
Eletricidade	224 299	55,20	55,20
Carvão vegetal	100 958	24,85	80,05
Coque de carvão mineral	79 033	19,45	99,50
Óleo diesel	1896	0,47	99,97
Gasolina	140	0,03	100,00
<b>Total</b>	<b>406 326</b>	<b>100,00</b>	

**Figura 32-** Diagrama de Pareto consumo das fontes de energia (2016-2017)



## 5.2 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE USO SIGNIFICATIVO DE ENERGIA E CONSUMO

Em seguida, as análises se voltaram para a determinação dos sistemas de uso significativo de energia, realizadas com o intuito de se conhecer quais áreas e módulos temáticos era aplicada a maior parte da energia demandada da empresa. Inicialmente foram realizadas as medições de potência a partir das fronteiras delimitadas com o analisador de energia. No caso do sistema auxiliar, administrativo e refeitório as medições foram mais fáceis de obter, já que cada um contava com um circuito exclusivo de alimentação, no caso das fábricas 1 e 2, onde cada uma contava com dois quadros de distribuição foram realizadas duas medições dessas fronteiras em tempos diferentes.

Os valores de potência média dos quadros são apresentados na Tabela 20, onde se verifica que a maior parte da demanda se encontra nas fábricas 1 e 2 com potências de 75 207 kW e 88 396 kW respectivamente.

**Tabela 20-** Demanda média medida nos principais quadros elétricos

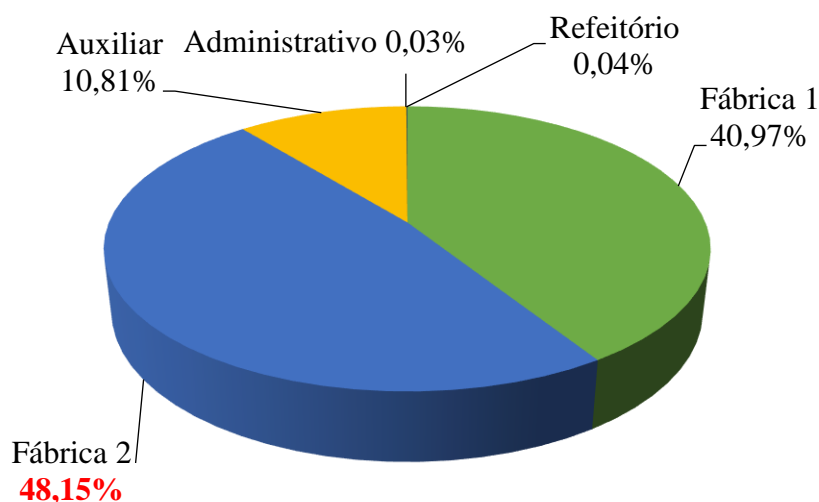
Quadro	Setor	Potência (kW)
01B1	Fábrica 1	34 090
01B2		41 118
01B3	Fábrica 2	36 933
01B4		51 464
T5	Auxiliar	19 848
TF K05-4	Administrativo	54
TF K05-5	Refeitório	80

A partir dos dados da demanda de potência de cada um dos setores foi calculado o consumo de energia elétrica, já que a medição de potência não representa a grandeza de consumo de energia. Em seguida, foi verificado o impacto do consumo setorial em relação ao consumo total conforme mostra Tabela 21.

**Tabela 21-** Consumo de energia elétrica por setores

Setor	Potência (kW)	Consumo de energia mensal (MWh)	Consumo de energia mensal (%)
Fábrica 1	75 208	54 150	40,97
Fábrica 2	88 397	63 645	48,15
Auxiliar	19 848	14 291	10,81
Administrativo	54	39	0,03
Refeitório	80	58	0,04
<b>Total</b>	<b>183 587</b>	<b>132 183</b>	<b>100,00</b>

**Figura 33-** Consumo de energia setorial em porcentagem

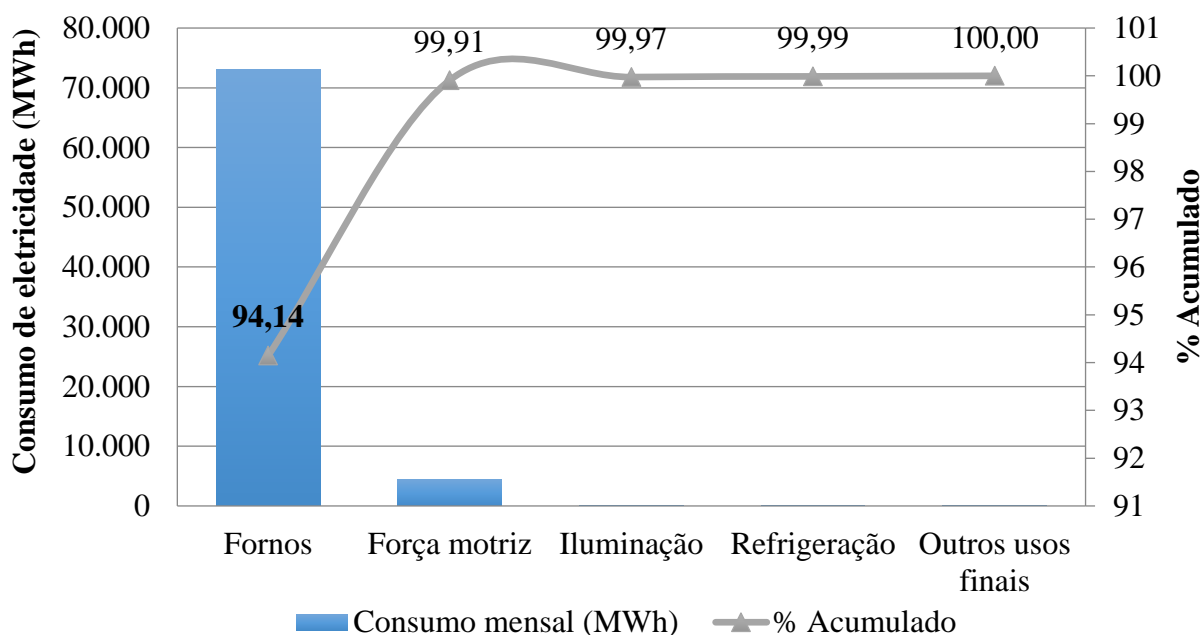


Verificou-se conforme Tabela 21 e Figura 33, que fábrica 2 e fábrica 1 eram responsáveis por uma parcela significativa de consumo elétrico da unidade com 48,15% e 40,97% respectivamente. Tendo em conta que na fábrica 2 concentra-se quase metade do consumo total da empresa (63 645 MWh/mês) e sendo de interesse por parte da diretoria da empresa a aplicação do estudo nessa área, decidiu-se focar os esforços da gestão da energia elétrica nesse setor.

Logo após de determinar o setor de maior consumo, procedeu-se a identificar os módulos temáticos de uso significativo de eletricidade, para isso foi realizado o levantamento de carga dos equipamentos consumidores de energia elétrica mostrando-se no Apêndice A.

A partir do levantamento de carga foram definidos cinco módulos temáticos de uso final de energia elétrica, sendo: fornos, força motriz, iluminação, refrigeração e outros usos de energia. Através do Diagrama de Pareto, apresentado na Figura 34, constata-se que os módulos fornos e força motriz juntos representam 99,91% do consumo total da fábrica 2, sendo que o módulo de fornos por si só representa 94,14% do consumo total. Por tanto, de acordo à lei de Pareto, este é módulo de maior influência no consumo de energia elétrica na fábrica, devendo-se adotar ações de melhoria relacionadas ao uso e consumo de energia para a obtenção de maiores retornos em termos de eficiência energética.

**Figura 34-** Diagrama de Pareto dos módulos temáticos



## 5.2.1 Análise dos módulos temáticos associados com os usos significativos

### 5.2.1.1 Fornos

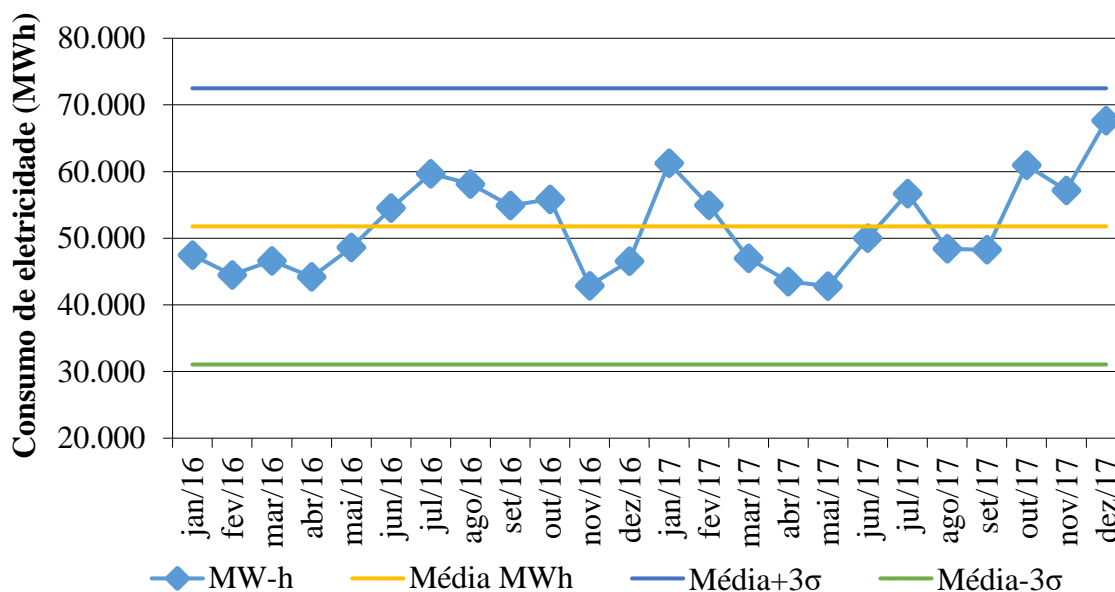
Os fornos da fábrica 2 são os responsáveis pela produção das ferroligas FeSi e FeSiCr, possuem 116 MW de potência ativa e uma capacidade instalada de 120 000 t/ano, sendo responsáveis pelo 94,14% do consumo total de eletricidade da fábrica. Os mesmos são operados e controlados através do painel de comando localizado em três salas de operação dos fornos. Estes trabalham em regime contínuo e só são desligados três horas por dia de segunda a sexta durante o horário de ponta entre as 18 e 21 h, o que provoca uma redução de 9% da capacidade instalada.

Através do monitoramento de algumas das atividades realizadas nos fornos constatou-se que:

- No processo produtivo o tempo que a "tampa" ou cortinado do forno permanece aberto é aproximadamente 40 % do tempo de operação; porém este cortinado não tem função de vedar o forno quanto a entrada de ar externo. A temperatura de trabalho monitorada na chaminé fica entre 200 e 600 °C a depender da condição de operação. Como o processo é contínuo não existe tempo de aquecimento.
- Referente ao processo de operação da carga, não é realizada a secagem da mesma e como o processo é contínuo o forno nunca fica vazio, ou seja, o volume de carga dentro deste é constante em condições normais.
- Em quanto à frequência de manutenção, a fábrica conta com um plano de manutenção preventivo mensal e constante para todos os equipamentos mecânicos e elétricos. Como parte da manutenção aos fornos constatou-se que o revestimento refratário dos mesmos é realizado em um período de 5 a 10 anos.

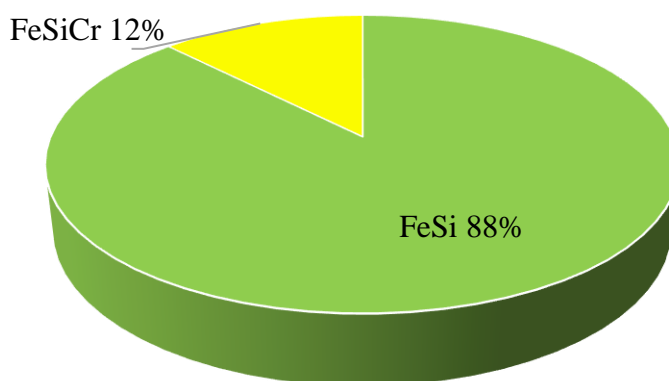
Ao analisar o comportamento do consumo de energia elétrica neste módulo através dos dados históricos dos anos 2016 e 2017, fornecidos pela empresa, verificou-se, através do gráfico de controle da Figura 35, que os pontos estão situados dentro dos limites de controle superior e inferior, evidenciando que aparentemente as variações procedem de causas aleatórias e o comportamento da variável é estável, não em tanto, observa-se um comportamento de tendência pois o consumo observado apresenta períodos com constantes aumentos e quedas; dando indícios de que existem comportamentos atípicos no consumo de energia que podem ser causados pela falta de controle nessa variável. O valor médio do consumo identificado é 51 771 MWh/mês para um desvio padrão de 6 906 MWh/mês e limites inferior e superior de 31 053 e 72 489 MWh/mês respectivamente.

**Figura 35-** Gráfico de controle do consumo de energia elétrica (Fornos)



Através da análise do consumo de energia elétrica por tipo de ferroligas, conforme Figura 36, contata-se que a produção de FeSi é uma atividade que consome uma significativa quantidade de energia elétrica em relação à produção da ferroliga de FeSiCr. Seu consumo de energia é de cerca de 45 327 MWh/mês, ou seja, 88 % do total de energia elétrica consumida pelos fornos. Por sua vez a produção da liga de FeSiCr tem um consumo de energia de aproximadamente 6 444 MWh/mês representando 12% do consumo dos fornos.

**Figura 36-** Consumo de eletricidade dos fornos por tipo de ferroliga produzida

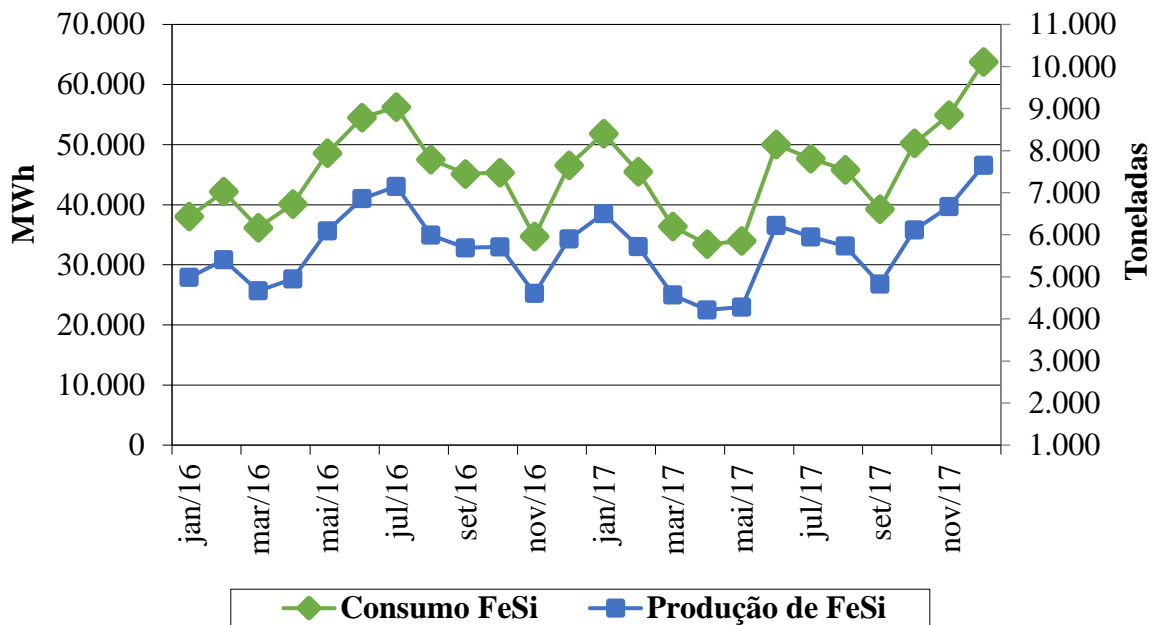


Como há diferenças importantes em algumas conotações da produção de FeSi e FeSiCr, na maior parte dos gráficos os produtos são apresentados por separado.

A partir da série histórica do consumo e produção fornecidos pela empresa mostrados no Apêndice B, foram elaborados os gráficos de consumo e produção no tempo para cada uma das ferroligas. O gráfico da Figura 37 referente à liga de FeSi, mostra uma variação simultânea do consumo e a produção, sem aparente presença de comportamentos irregulares, evidenciando-

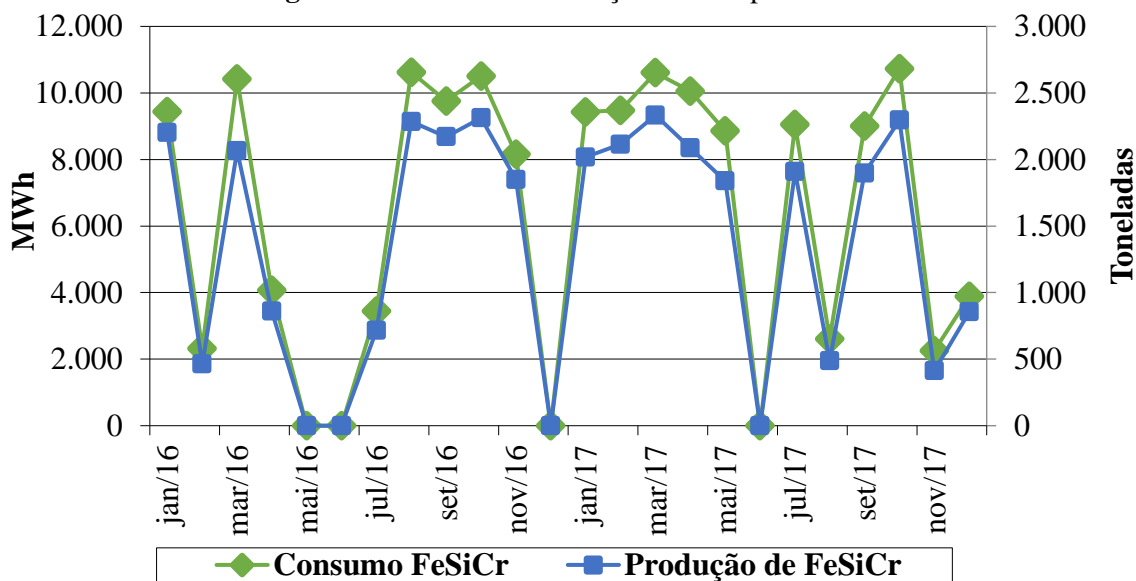
se a existência de relação entre as variáveis, sendo um indicativo de que a eficiência na atividade é boa.

**Figura 37- Consumo e Produção vs. Tempo FeSi**



O gráfico da Figura 38 mostra o comportamento do consumo de eletricidade e a produção no tempo da ferroliga FeSiCr, no mesmo aprecia-se a correspondência entre as variáveis, as quais seguem um padrão semelhante, sendo que um incremento da produção produz um incremento do consumo de energia associado ao processo e vice-versa, indicando a existência de um bom relacionamento entre elas.

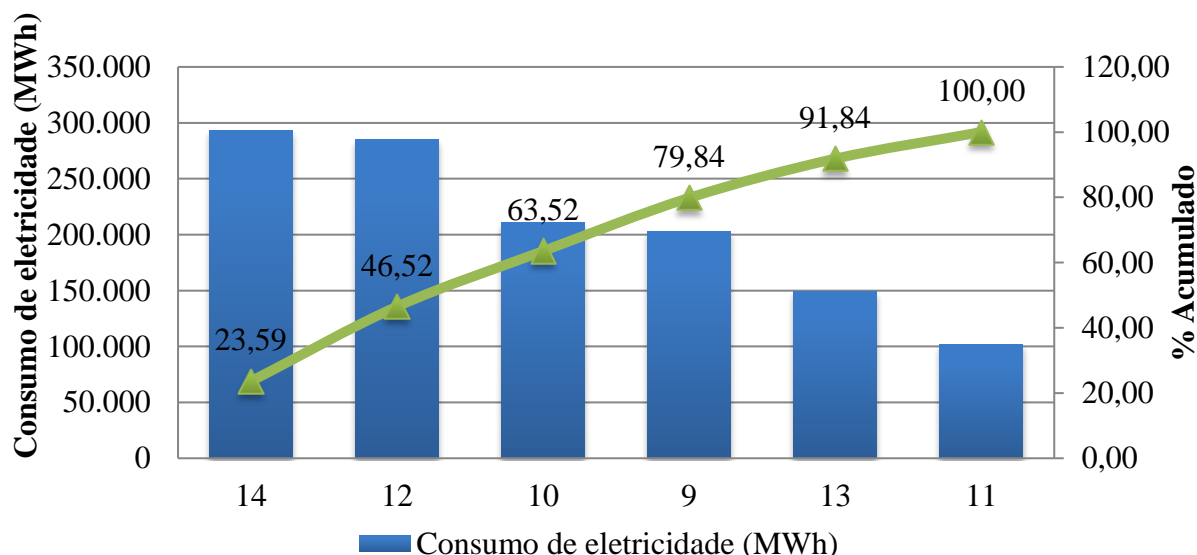
**Figura 38- Consumo e Produção vs. Tempo FeSiCr**





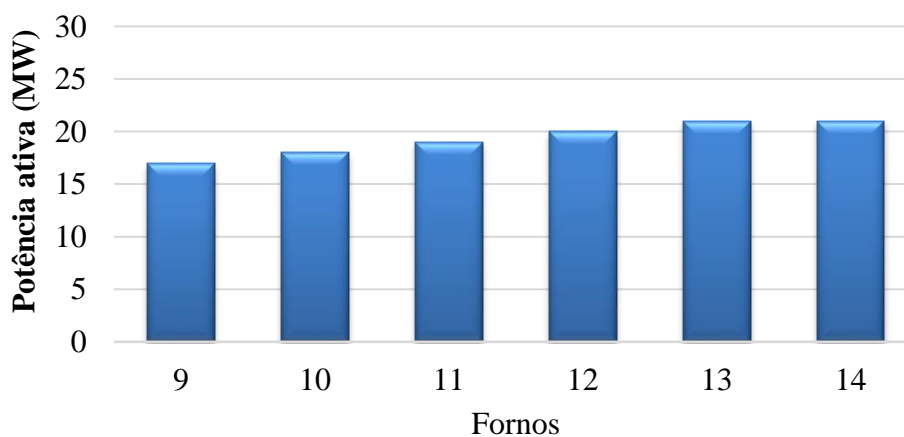
O diagrama de Pareto da Figura 39 foi feito para o módulo de fornos, identificando-se que os fornos 14, 12, 10 e 9 consumiram aproximadamente 80% da energia total deste módulo temático.

**Figura 39-** Diagrama de Pareto dos fornos de fábrica 2



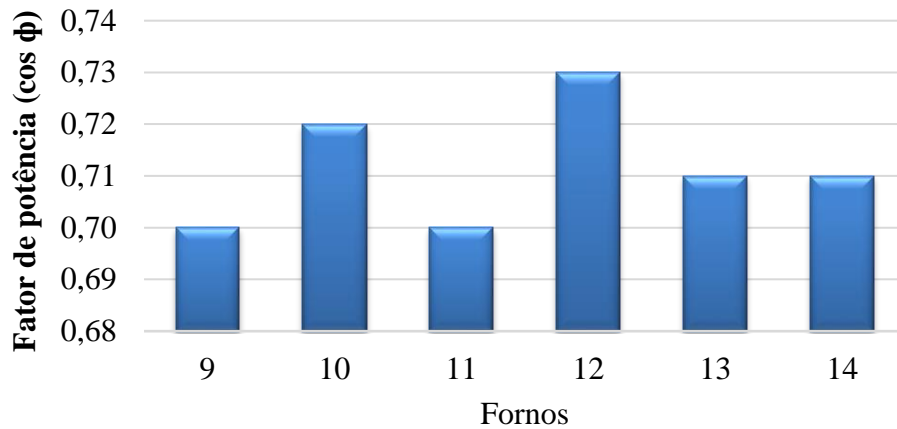
Com o intuito de determinar a energia útil consumida pelos fornos foi elaborado o gráfico de potência ativa conforme Figura 40. Os fornos apresentam potências na faixa de 17 a 21 MW, sendo os fornos 12, 13 e 14 os de maior potência.

**Figura 40-** Potência dos fornos de fábrica 2



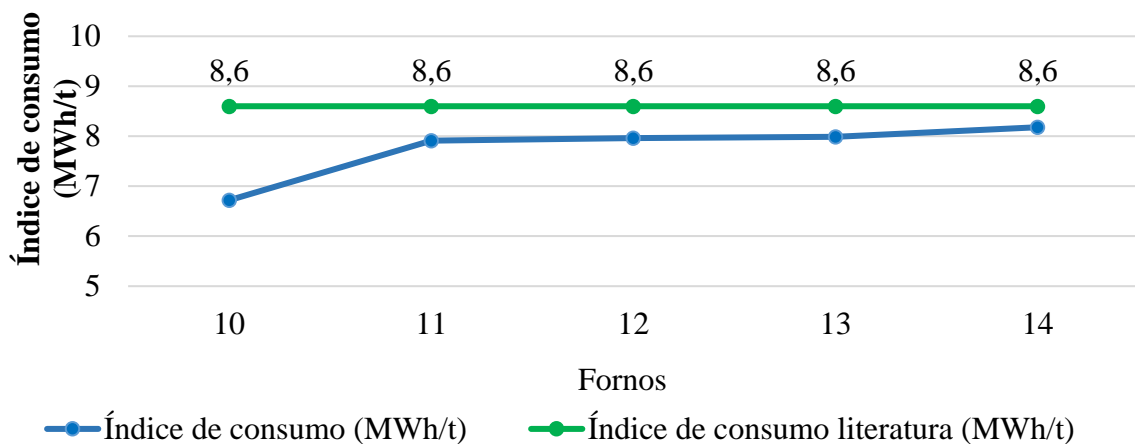
Através da Figura 41 verificou-se a existência de baixo fator de potência nos fornos. Considerando que o fator de potência de operação dos fornos elétricos a arco é normalmente inferior aos limites estabelecidos pelas concessionárias, para se evitar multas devido a seu baixo valor, devem-se instalar sistemas de compensação de potência reativa tais como banco de capacitores, filtros de harmônicos e compensadores estáticos.

**Figura 41-** Fator de potência dos fornos de fábrica 2



Conforme mostra Figura 42 foram comparados os valores de consumo específico de eletricidade por fornos com os dados da literatura para consumo de energia para fornos a arco submerso presentes na Tabela 4 do subtítulo 2.8.1 da revisão, onde para a liga de FeSi corresponde o valor de 8,6 MWh/t. Como observado todos os fornos apresentam valores abaixo do valor achado na literatura consultada, tal fato leva a crer que a situação energética dos fornos da fábrica 2 é realmente vantajosa quando comparada com valores referenciais para esse tipo de forno. No entanto, é necessário ter em conta o fato de que o consumo de energia para a produção de ferros-ligas depende de vários fatores, tais como: a liga produzida, características físicas, químicas e metalúrgicas da carga, do projeto do forno elétrico e dos procedimentos operacionais. Neste sentido, os consumos específicos podem variar em um amplo espectro o que pode fazer toda a diferença.

**Figura 42-** Consumo de energia dos fornos de Ferro - Silício



### 5.2.1.2 Força motriz

Durante a inspeção visual a este módulo foram vistoriados 28 motores os quais são os responsáveis pelo acionamento do sistema de despoeiramento, torres de resfriamento e demais equipamentos. Através da inspeção visual constatou-se que os mesmos não apresentavam danos em cabeamento nem problemas de ligações na rede elétrica. No entanto, verificou-se através do histórico de manutenção de motores o alto índice de avarias destes com os acionamentos atuais.

Conforme comentado na metodologia, o principal objetivo deste item foi calcular o fator de carregamento dos motores identificados como os de maior consumo dentro da fábrica. O sistema de filtros de manga está constituído por seis filtros, um para cada forno os quais possuem em conjunto nove motores, estes são os responsáveis pelo maior consumo de energia elétrica dentro deste módulo, apresentando potências de 1500 e 450 cv.

A seguir são apresentados na Tabela 22 os dados coletados da placa de cada motor, assim como o valor de corrente medida, bem como o fator de carregamento calculado.

**Tabela 22-** Dados de placa e medição de corrente dos motores dos filtros de fábrica 2

Área	Qtd	Potência nominal CV / kW		Rotação (rpm)	Número de polos	Tensão (V)	Corrente nominal (A)	Corrente de trabalho (A)	Carregamento (%)
Filtro Mangas 14	1	1500	1100	1791	4	4160	182	145,9	77,7
Filtro Mangas 13	1	1500	1100	1791	4	4160	182	159,1	85,7
Filtro Mangas 12	1	450	330	1785	4	380	585	567,7	96,3
Filtro Mangas 12	1	450	330	1785	4	380	585	567,7	96,3
Filtro Mangas 11	1	450	330	1785	4	380	585	555,9	93,7
Filtro Mangas 11	1	450	330	1785	4	380	585	554,8	93,5
Filtro Mangas 10	1	450	330	1785	4	380	585	552,8	93,0
Filtro Mangas 10	1	450	330	1785	4	380	585	535,2	89,2
Filtro Mangas 09	1	1500	1100	1790	4	4160	186	167,4	88,6

Conforme tabela anterior note-se que, todos os motores analisados estão operando na faixa do fator de carregamento recomendado que é entre 75% e 100%, evidenciando-se que em regra geral estão bem dimensionados.

### 5.2.1.3 Iluminação

Através da inspeção visual ao sistema de iluminação verificou-se que algumas das causas que poderiam contribuir com o aumento do consumo de energia elétrica no módulo, poderia ser a ubiquação arquitetônica dos locais, o que impossibilita o aproveitamento da luz natural exigindo a utilização contínua de iluminação artificial. Além disso, foram identificadas oito

lâmpadas de vapor metálico de 2000 W acesas sem necessidade durante o dia para iluminação exterior da fábrica.

As avaliações no sistema de iluminação foram realizadas em fábrica 2 no escritório da gerência, nas três cabines de controle e no refeitório. Nessas áreas as lâmpadas instaladas são do tipo fluorescente de 40 W tubulares T10 com fluxo luminoso de 2700 lúmenes, as quais possuem um bom rendimento e também uma boa vida útil. As luminárias são de duas lâmpadas florescentes 40W, com refletores em alumínio anodizado e difusores para evitarem ofuscamentos. As medições de iluminância média realizadas com o luxímetro nos locais mencionados foram na situação de lâmpadas acesas, já que os locais não contam com contribuição de iluminação natural.

Na Tabela 23 encontram-se os valores mínimos de iluminância para cada tipo de atividade desenvolvida nos ambientes inspecionados segundo diretrizes da Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, bem como os resultados das médias de todas as medições efetuadas com o luxímetro.

**Tabela 23-** Níveis de iluminância exigidos pela Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 e iluminância medida

Local	Iluminância mínima para a atividade (lux)	Iluminância média medida com luxímetro (lux)	Tipo de atividade
Escritório da gerência	500	414	Escrever, teclar, ler
Cabine de controle 1	500	510	Leitura de telas, uso de teclados
Cabine de controle 2	500	287	Leitura de telas, uso de teclados
Cabine de controle 3	500	334	Leitura de telas, uso de teclados
Refeitório de fábrica 2	200	114	Refeições

Conforme mostra a Tabela 18, verificou-se que o escritório da gerência, o refeitório, assim como as cabines de controle 2 e 3 apresentam nível de iluminância abaixo do recomendado pela norma e a cabine 1 possui iluminância um pouco acima da normada.

Com o intuito de alcançar a iluminância adequada sugerido pela norma ABNT NBR 8995-1 dos locais que apresentaram baixos valores, foi proposta a substituição do sistema de iluminação atual por sistemas de menor consumo energético como lâmpadas T8 de 32 W (2700 lúmenes).

Em seguida através das dimensões dos locais foi obtido o índice do local conforme mostra Tabela 24.

**Tabela 24-** Cálculo do índice do local (K)

Local	Largura (m)	Comprimento (m)	Altura entre o plano e luminária (m)	Índice do local (K)
Escritório da gerência	3,75	2,72	1,70	0,93
Cabine de controle 2	9,00	9,00	1,70	2,65
Cabine de controle 3	6,86	3,53	1,70	1,37
Refeitório de fábrica 2	8,66	4,50	1,70	1,74

O fator de manutenção para considerar a depreciação do fluxo luminoso e sujeira nas lâmpadas, foi de 0,8. As refletividades utilizadas foram: Teto 80%, paredes 50% e piso 30%. Em seguida com os valores do índice do local e índices de refletâncias selecionados obteve-se o coeficiente de utilização através do Anexo A (RODRIGUES, 2002).

Por fim, determinadou-se o número de lâmpadas T8 de 32 W necessárias para obter o nível de iluminância sugerido pela norma para cada local conforme apresenta Tabela 25, obtendo-se uma redução de 14 lâmpadas em relação às instaladas.

**Tabela 25-** Número de lâmpadas necessárias para alcançar a iluminância sugerida pela norma ABNT NBR ISO/CIE8995-1 e lâmpadas instaladas

Local	Lâmpadas instaladas Fluorescentes 40W -T10	Número de lâmpadas necessárias Fluorescentes 32W -T8
Escritório da gerência	6	6
Cabine de controle 2	28	24
Cabine de controle 3	14	10
Refeitório de fábrica 2	12	6

#### 5.2.1.4 Climatização

Através da inspeção visual realizada ao sistema de ar-condicionado das cabines de controle e da gerência contatou-se que, os equipamentos têm um uso contínuo, já que o trabalho nesses locais é de 24 horas. A vedação térmica dos locais e o estado técnico dos equipamentos encontra-se bom, porém foi verificado que os filtros de ar não são limpos com periodicidade, detectando-se sujeira nos mesmos, o qual pode atentar contra o funcionamento eficiente do sistema.

Os aparelhos de ar-condicionado existentes na sala de gerência e nas três cabines de controle são Split piso-teto do tipo frio da marca Hitachi, com uma capacidade de refrigeração nominal de 18 000 BTU/h e 36 000 BTU/h os quais contam com um coeficiente de eficiência energética de 2,86 e 2,82 W/W respectivamente, sendo classificados na faixa C conforme especificações das tabelas de Inmetro (2017).

A Tabela 26 mostra a capacidade de climatização instalada por locais, assim como a capacidade recomendada através do cálculo no programa da INOVAR.

**Tabela 26-** Capacidade de climatização instalada e necessária

<b>Local</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>BTU/h existentes</b>	<b>BTU/h necessário</b>
Sala Gerência	10,20	18 000	8057
Cabine Controle 1	33,52	36 000	29 314
Cabine Controle 2	81,00	108 000	68 742
Cabine Controle 3	24,22	36 000	24 257

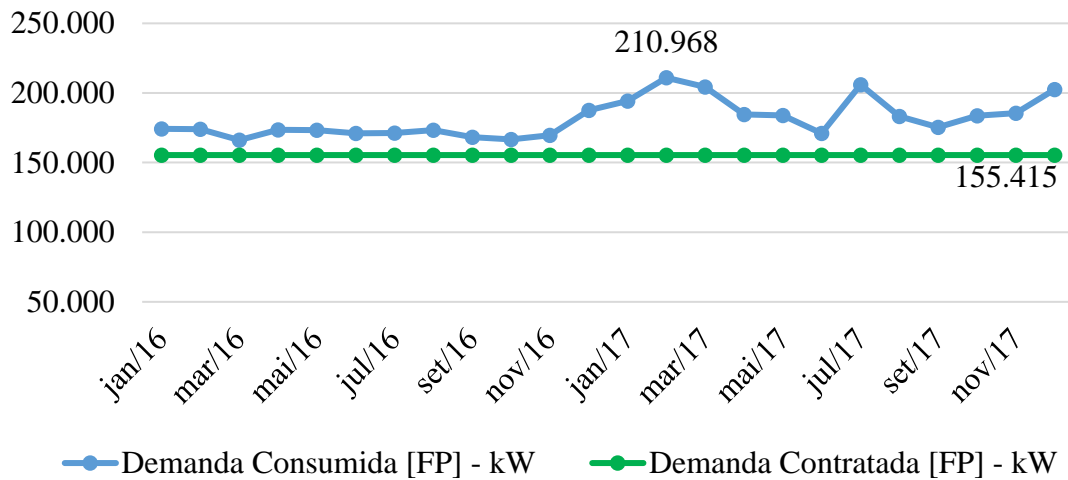
Como observado na Tabela 26, em todos os locais analisados a capacidade instalada na climatização é superior à capacidade realmente necessária para o funcionamento eficiente do sistema. Devendo-se realizar um ajuste, em vista a evitar gastos de energia sem necessidade.

#### *5.2.1.5 Análise Tarifária*

O suprimento de eletricidade da empresa é adquirido do principal fornecedor, Companhia Hidrelétrica do Vale de São Francisco - CHESF. A empresa pertence ao grupo A1 com tensão de fornecimento de 230 kV e tarifação horo sazonal azul, contando com contrato de fornecimento atípico com faixa única.

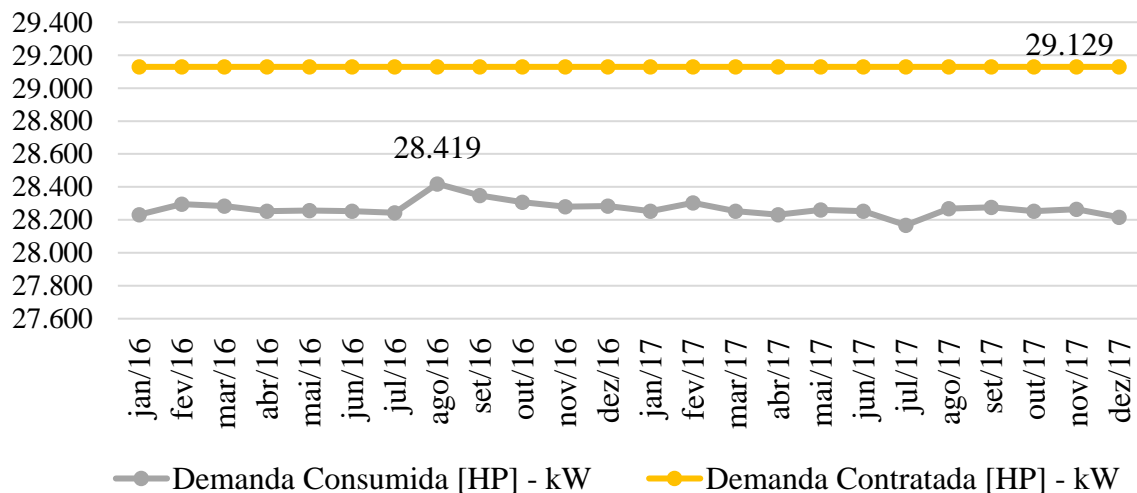
O gráfico da Figura 43 mostra o comportamento da demanda fora da ponta em relação à demanda contratada, esta última está representada no gráfico pela linha vermelha com valor de 155 415 kW. Como pode ser observado em todo o período analisado a demanda mensal medida ultrapassou à demanda contratada, ultrapassando o limite de tolerância de 5%, no entanto a empresa não é penalizada por ultrapassagem fora da ponta. A maior demanda registrada encontrada foi de 210 968 kW no mês de fevereiro de 2017. A diferença entre a demanda contratada e a maior demanda registrada é de aproximadamente 35,7%, esse valor corresponde a 55 553 kW.

**Figura 43-** Comportamento da demanda fora da ponta



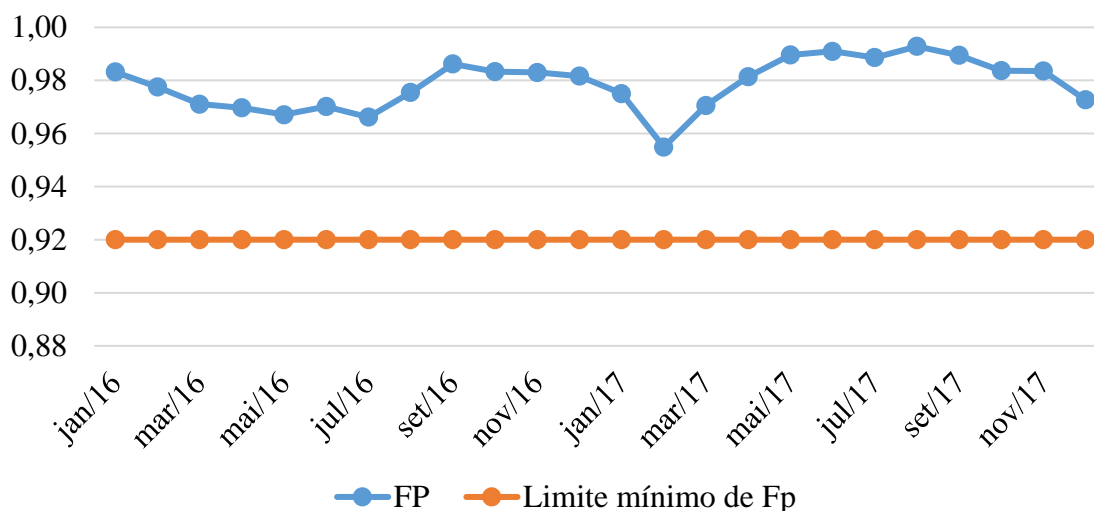
Através do gráfico da Figura 44 pode ser observado o comportamento da demanda consumida na ponta em relação à demanda contratada, a qual tem um valor de 29 129 kW. Durante o período analisado observa-se que a demanda consumida não alcançou à demanda contratada, indicando que não houve demanda de ultrapassagem. A maior demanda encontrada foi de 28 419 kW em agosto de 2016, aproximadamente 98% da demanda contratada. A diferença encontrada entre a demanda contratada e máxima registrada é da ordem de 710 kW.

**Figura 44-** Comportamento da demanda na ponta



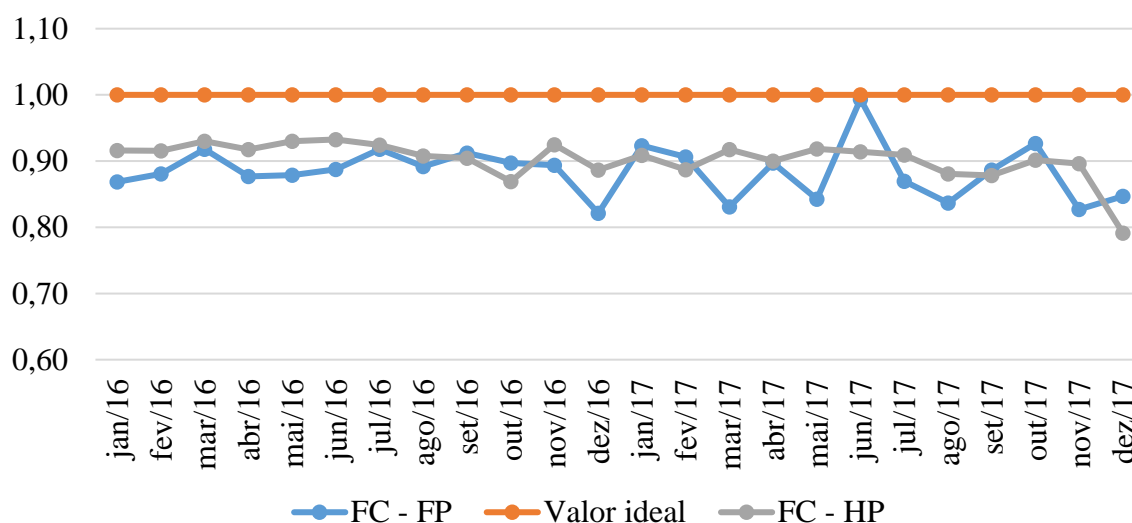
O gráfico da Figura 45 mostra o comportamento do fator de potência durante os anos 2016 e 2017, evidenciando-se que o mesmo encontra-se acima do limite mínimo permitido de 0,92 estabelecido pela resolução normativa 414 da ANEEL (2010). Por tanto não são penalizados por baixo fator de potência, sendo que a empresa conta com a instalação de bancos de compensadores de fator de potência no ponto de conexão com a rede elétrica.

**Figura 45-** Comportamento do Fator de potência



O gráfico da Figura 46 mostra o comportamento do fator de carga da empresa na ponta e fora da ponta, para ambos os casos os valores do fator de carga encontram-se próximos de 1 indicando que as cargas elétricas foram utilizadas racionalmente ao longo do tempo.

**Figura 46-** Comportamento do Fator de carga na ponta e fora da ponta



### 5.2.1.6 Quadros de distribuição de circuitos

Através da inspeção termográfica realizada aos quadros dos fornos da fábrica 2 foi possível identificar várias sobre temperaturas de seus componentes. A partir da Tabela 27 podem observar-se os valores de temperatura medidas, assim como a máxima temperatura admissível por componentes.

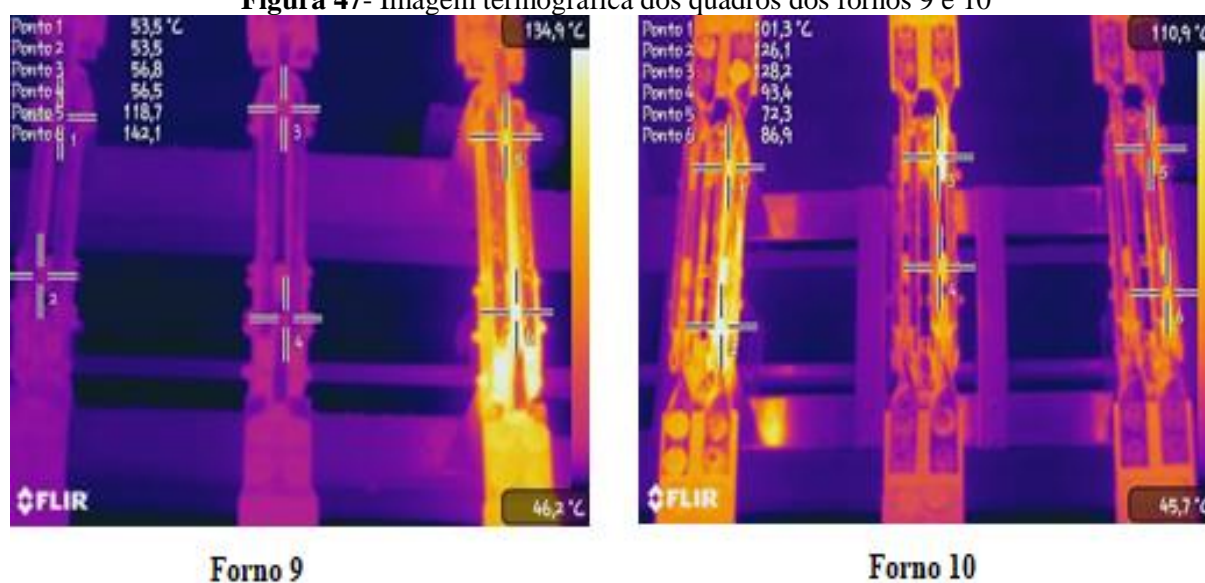


**Tabela 27-** Temperaturas registradas na inspeção termográfica

Forno	Barramentos e conexões de alimentação dos fornos			MTA (°C)
	Temperatura Fase A (°C)	Temperatura Fase B (°C)	Temperatura Fase C (°C)	
09	53,5	56,8	142,1	90
10	126,1	128,2	86,9	90
11	-	83,2	-	90
12	-	49,7	-	90
13	-	40,1	-	90
14	-	41,2	-	90

Como observado foram identificados sobreaquecimento nos barramentos e conexões do forno 9 na fase C de 142,1°C e no forno 10 nas fases A e B com valores de 126,1°C e 128,2°C respectivamente. Ante esta situação se faz necessário do que a equipe de manutenção verifique o estado de conservação dos componentes e realize reaperto das conexões. A Figura 47 mostra a fotografia termográfica referente aos pontos quentes detectados nos fornos 9 e 10.

**Figura 47-** Imagem termográfica dos quadros dos fornos 9 e 10



#### 5.2.1.7 Qualidade de energia e transformadores

A seguir são mostrados os resultados das medições realizadas com o analisador de energia nos principais quadros de distribuição da fábrica 2. As medições tiveram como objetivo a determinação das grandezas relacionadas à qualidade da energia, para em seguida verificar se as mesmas se encontravam dentro dos parâmetros permissíveis.

O resultado das medições realizadas no quadro de distribuição QD 01B3 são apresentadas na Tabela 28.

**Tabela 28-** Variáveis coletadas com analisador de energia no quadro de distribuição QD 01B3

Variáveis	QD 01B3	Observações
Harmônica de tensão THDv (%)	0,32	Nível de harmônica normal
Harmônica de corrente THDi (%)	0,86	Nível de harmônica normal
Frequência (Hz)	60,0	Oscilações normais
Desequilíbrio de tensão (%)	0,88	Normal
Fator de potência	0,80	Baixo
Flicker PST	0,24	Normal
Flicker PSL	0,19	Normal

Conforme mostra a Tabela 28 referente às medições no quadro de distribuição QD 01B3, os desequilíbrios de tensão medido foi de 0,88% sendo menor que o valor de referência de 2%, os valores de flutuações de Flicker estiveram abaixo dos níveis estabelecido por norma de 1 para PST e 0,65 para PSL, os níveis de harmônicas de tensão e corrente se encontraram normais e a frequência obtida é de 60 Hz, isto se justifica pela presença de filtros de harmônicas instalados no barramento. Porém, chama atenção o baixo valor de fator de potência encontrado o qual foi de 0,80. Este baixo valor de fator de potência pode causar transtornos no circuito que vão desde desperdício de energia elétrica até aquecimentos podendo causar danos nos equipamentos.

O resultado das medições realizadas no quadro de distribuição QD 01B4 são apresentadas na Tabela 29.

**Tabela 29-** Variáveis coletadas com analisador de energia no quadro de distribuição QD 01B4

Variáveis	QD 01B4	Observações
Harmônica de tensão THDv (%)	0,44	Nível de harmônica normal
Harmônica de corrente THDi (%)	0,39	Nível de harmônica normal
Frequência (Hz)	60,0	Oscilações normais
Desequilíbrio de tensão (%)	1,0	Normal
Fator de potência	0,99	Adequado
Flicker PST	0,0	Normal
Flicker PSL	0,0	Normal

Através da Tabela 29 das medições no quadro de distribuição QD 01B4, verificou-se que não existia presença de flutuações de Flicker. O desequilíbrio de tensão medido foi de 1% encontrando-se abaixo do valor de referência de 2%, os níveis de harmônicas tanto de tensão como de corrente encontram-se dentro dos parâmetros normais, sendo menor de 5% e 10% respectivamente, a frequência é de 60 Hz com oscilações normais e o fator de potência de 0,99 encontra-se adequado aproximando-se ao valor ideal de 1.

Tendo em conta que no QD 01B3 o fator de potência obtido foi de 0,80, realizou-se o cálculo do banco de capacitores para a elevação do mesmo até o valor de 0,95. A partir dos cálculos

conforme metodologia proposta obtendo-se como resultado a necessidade de um banco de capacitores com uma capacidade de 14,6 MVAR, o qual foi obtido a partir dos parâmetros da Tabela 30.

**Tabela 30-** Fatores para determinar a capacidade do banco de capacitores

P (MW)	Fp <sub>1</sub>	Fp <sub>2</sub>	$\varphi_1$	$\varphi_{12}$
31,8	0,80	0,95	0,64	0,28

Logo de corrigir o fator de potência foi obtida uma potência aparente liberada ( $S_t$ ) no transformador de 6,65 MVA. O que possibilitará a conexão de outros equipamentos sem necessidade de incrementar a capacidade do transformador, bem como a diminuição da corrente no sistema.

### 5.3 IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

A revisão energética efetuada na fábrica 2, demonstrou os potenciais de conservação de energia existentes. Algumas das ações de eficiência energética são referentes a manutenção preventiva e à ação comportamental dos colaboradores frente aos programas de conservação. Nesta seção são expostas medidas que levam à obtenção de ganho de eficiência de alguns módulos temáticos tratados na revisão.

#### 5.3.1 Fornos

No módulo temático fornos foram identificadas algumas oportunidades que podem contribuir com a economia de energia elétrica aumentando a eficiência energética. Entre elas podem-se mencionar o melhor aproveitamento dos fornos com o planejamento e controle da produção possibilitando carregamentos mais próximos da carga nominal. Também otimizar o tempo no abrir e fechar as “portas” ou cortinados já que estas permanecem abertas aproximadamente 40 % do tempo de operação.

Além disso, a eficiência de alguns processos pode ser melhorada pelo adequado processamento parcial da matéria prima antes desta entrar no forno elétrico de redução, já que foi identificado que no processo de operação da carga, não é realizada a secagem. Essa melhora pode ser alcançada a partir de três processos: aglomeração dos finos, pré-redução do minério e pré-aquecimento das matérias primas.

A partir da identificação do baixo fator de potência presente nos fornos é sugerida a instalação de sistemas de compensação de potência reativa tais como banco de capacitores, filtros de harmônicos e compensadores estáticos para se evitar multas devido ao baixo valor e melhor funcionamento dos mesmos.

### **5.3.2 Força motriz**

No sistema de força motriz da fábrica 2 composto por 28 motores, foram propostas algumas medidas para a melhoria de eficiência energética no sistema de despoeiramento, torres de resfriamento e demais equipamentos.

O controle de vazão dos sistemas de despoeiramento analisados é efetuado através de dampers que tem o percentual de abertura ajustado conforme a oscilação de determinadas variáveis do processo. Para os sistemas dos fornos 9 a 14 a abertura ou fechamento dos dampers é realizado automaticamente e monitorada através de supervisório, já nos demais sistemas este processo é realizado manualmente.

Do ponto de vista energético, estes sistemas podem ser mais eficientes através da substituição dos motores elétricos e o controle de vazão for realizado através da variação de velocidade do exaustor. Assim, a potência absorvida por estes equipamentos adequa-se a real necessidade do sistema. Portanto, recomenda-se a utilização dos motores da linha W22 Mining Premium e W50 Mining acionados pelos inversores de frequências CFW11 e MVW01 respectivamente, mantendo o controle atual com monitoramento via supervisório.

Esta seleção foi baseada no manual sobre soluções em eficiência energética da WEG (2015), onde são propostas como soluções para maior eficiência dos filtros de mangas a aplicação do motor W22 Mining Premium e do inversor de frequência CFW11, que propicia uma redução de até 55% no consumo de energia elétrica dependendo das características do processo. No caso dos motores de 1500 cv optou-se pela substituição pelo motor W50 Mining acionado pelo inversor de frequência MVW01, sendo que este é destinado ao controle de motores de indução de média tensão que possui inovações atendendo o nível de tensão de 4160 V.

A solução proposta para os sistemas de despoeiramento proporciona, além do ganho direto com economia de energia, ganhos indiretos tais como:

- Maior vida útil das mangas, conseqüentemente redução do custo na aquisição de novas mangas e aumento da confiabilidade do sistema;

- Redução de paradas de manutenção para troca das mangas;
- Redução da abrasão e condensação, evitando possíveis obstruções das tubulações, enfim, redução do custo de manutenção e operação como um todo, aumentando à confiabilidade do sistema.

Tais ganhos indiretos não foram considerados no cálculo de retorno de investimento.

Por sua vez, as torres de resfriamento são equipamentos projetados para garantir a troca térmica entre a água e o ar ambiente. Como a temperatura e a umidade do ar variam durante o dia e ao longo do ano, a capacidade de troca térmica das torres oscila, sendo maior que a de projeto nos períodos mais frios. Em face disto, propõe-se uma automação que reduza o consumo de energia elétrica através da adequação da capacidade de troca térmica da torre. Para tanto, realizar-se-á o controle da vazão de ar da torre através da variação da velocidade dos ventiladores a partir da temperatura de saída da água, fazendo com que esta temperatura se mantenha constante.

Para a automação proposta, será necessária a substituição dos motores atuais por motores de rendimento Premium acionados por inversor de frequência CFW701 e a instalação de um sensor de temperatura.

Esta proposta se baseou no manual sobre soluções em eficiência energética da WEG (2015), onde para o funcionamento eficiente das torres de resfriamento é proposta a aplicação do motor de alta eficiência W22 Premium e do inversor de frequência CFW701, que corretamente dimensionados propiciam uma redução de até 80% no consumo de energia elétrica e uma economia média de 22% de água por ano.

A adoção desta automação proporcionará, além da redução do consumo de energia elétrica, os ganhos indiretos listados abaixo:

- Redução no consumo de água e consequentemente de produtos químicos,
- Controle preciso da torre, proporcionando estabilidade da temperatura e do processo;
- Aumento da confiabilidade dos equipamentos.

Para os demais equipamentos da fábrica foi recomendado apenas a troca dos motores atualmente instalados por motores com nível de rendimento Premium e Super Premium. Esta substituição irá proporcionar uma melhora significativa no desempenho energético, reduzindo assim o consumo de energia elétrica.

### 5.3.3 Iluminação

No sistema de iluminação foram identificadas algumas oportunidades de melhoria, podendo ser aplicadas ações como a limpeza regularmente das lâmpadas, o que possibilitará melhor distribuição luminosa, e o desligamento das lâmpadas de iluminação exterior que permanecem acesas sem necessidade durante o dia ou instalação de sistemas por controle fotoelétrico para regular a iluminação artificial de acordo com a iluminação natural. Também deve ser realizado um estudo visando a possibilidade de maior utilização de iluminação natural dos ambientes.

Nos locais onde os níveis de iluminância encontravam-se abaixo do sugerido pela norma ABNT NBR 8995-1, foi proposta a substituição do sistema de iluminação atual de lâmpada fluorescente tubular modelo T10 de 40 W por sistemas de menor consumo energético como lâmpadas T8 de 32 W. Ambos os modelos utilizam o conector G13 e possuem o mesmo comprimento. A vantagem do modelo T8 está na maior eficiência luminosa, Índice de Reprodução da Cor (IRC) maior e menor consumo. A troca do reator antigo pelo modelo eletrônico, também é interessante, já que o consumo do antigo impacta em 7,5 W por lâmpada, enquanto o modelo eletrônico impacta 1W. A comparação entre o sistema instalado e o proposto foi realizada através dos dados do catálogo da Philips (marca já utilizada na empresa) e encontra-se na Tabela 31.

**Tabela 31-** Comparação entre os modelos T10 e T8

	<b>Sistema atual</b>	<b>Sistema proposto</b>
<b>Lâmpada (Tipo/Potência)</b>	<b>Fluorescente T10 40W</b>	<b>Fluorescente T8 32W</b>
Potência Unitária	47,5	33
Lâmpada+Reator (W)		
Fluxo Luminoso (lm)	2700	2700
Rendimento (lm/W)	67,5	84,4
Vida útil média (h)	20 000	30 000

### 5.3.4 Climatização

No sistema de climatização também foram identificadas oportunidades de economia de energia. Sugere-se a implantação de um plano de manutenção com a limpeza dos componentes periodicamente, o que possibilitará a otimização do dispêndio energético e aumento da vida útil do equipamento.

A partir do cálculo da capacidade de refrigeração que realmente necessitavam os locais para seu funcionamento eficiente, foi realizada uma proposta de substituição da capacidade dos equipamentos Split existentes para sua adequação as reais necessidades. A Tabela 32 mostra o

comparativo entre o sistema atual e o sistema proposto, evidenciando-se na proposta a adequação do sistema, possibilitando uma redução da quantidade de aparelhos de ar-condicionado e melhor eficiência energética, sendo estes classificados na faixa A conforme especificações das tabelas de Inmetro (2017).

**Tabela 32-** Comparativo sistema atual e proposto

Local	Sistema atual (Split)			Sistema proposto (Split)		
	Qtd. Ar-condicionado	BTU/h existentes	Eficiência energética (W/W)	Qtd. Ar-condicionado	BTU/h Proposto	Eficiência energética (W/W)
Sala Gerência	1	18 000	2,86	1	9000	3,24
Cabine Controle 1	2	18 000	2,86	1	30 000	3,24
Cabine Controle 2	3	36 000	2,82	2	36 000	3,24
Cabine Controle 3	1	36 000	2,82	1	30 000	3,24

### 5.3.5 Análise Tarifária

Na análise tarifária verificou-se falta de gerenciamento de demanda, sendo que tanto na ponta como fora da ponta as demandas contratadas não se encontram em correspondência com as reais necessidades da empresa. A demanda contratada na ponta encontra-se muito acima da necessidade real, o que significa pagar sem usar. No caso da demanda contratada fora da ponta, se encontra abaixo da necessidade real, apesar de não receberem penalização por ultrapassagem, deve realizar-se um ajuste no contrato.

Tendo em vista que a empresa mantém contrato de longo prazo com a Chesf até o ano 2037, se recomenda fazer um estudo com os valores históricos mais próximos ao período de renovação do contrato de demanda para a modificação do mesmo às condições reais da empresa. Além disso, deve-se estabelecer um sistema de monitoramento diário do consumo, demanda, assim como do comportamento do fator de carga e de potência.

### 5.3.6 Quadro de distribuição

Com o objetivo de minimizar os efeitos das sobretensões de alguns dos componentes dos quadros dos fornos detectadas na inspeção termográfica, sugere-se uma vistoria geral aos mesmos, assim como, a realização de reaperto nas conexões e limpeza de componentes para prolongar a sua vida útil.

### 5.3.7 Qualidade da energia

No módulo qualidade da energia foi detectado o baixo fator de potência no quadro de distribuição QD 01B3 que alimenta a fábrica 2, sugerindo-se para a correção do fator de

potência a instalação de um banco de capacitor com uma capacidade de 14,6 MVar, o qual possibilitará uma potência aparente liberada ( $S_t$ ) no transformador de 6,65 MVA e um melhor funcionamento dos fornos.

### **5.3.8 Estudo de viabilidade econômica das alternativas de redução de perdas**

Uma vez identificados os potenciais de conservação de energia existentes por módulos temáticos, procede-se à realização da avaliação econômica de aqueles ganhos que podem ser mesurados em módulos como força motriz, iluminação e climatização.

#### *5.3.9.1 Força motriz*

A avaliação econômica das medidas propostas na força motriz, foi realizada tendo em conta as seguintes considerações:

- Custo da energia: R\$150,0/MWh;
- Tempo de Operação Anual: para equipamentos que operam na ponta 7920 horas, para que operam fora da ponta 7560 horas;
- A taxa mínima de atratividade (TMA) será igual à Taxa Selic de 13,75%;
- Para o estudo em questão, considerou-se um período de 10 anos que normalmente é a vida útil média de um motor elétrico.
- Adoção da linha de motores W22 Mining Premium e Super Premium;
- Adoção da linha de motores W50 Mining;
- Inversores de Frequência CFW701, CFW11 e MVW01.

Nos Anexos B e C são apresentadas algumas das características das tecnologias propostas (WEG, 2014; WEG, 2014a).

Para determinar o potencial estimado de economia de energia e o investimento necessário foi utilizado o See+ que é um software exclusivo WEG que possibilita simular a aplicação de motores de maior eficiência para redução do consumo de energia.

Como resultado desta análise obteve-se uma economia anual estimada de 14 409 MWh/ano, correspondendo a uma redução de 26,38% no consumo e R\$ 2 161 358,00/ano no custo. Tendo como investimento R\$ 5 255 825,00 (considerado somente o investimento em motores e inversores de frequência, não levando em conta eventuais necessidades de adaptações mecânicas e custo de mão-de-obra). Os resultados das análises encontram-se no Apêndice C.



Conforme a Tabela 33 os indicadores utilizados no estudo foram Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Tempo de Retorno do Investimento (Payback). O cálculo do payback considerou uma TMA de 13,75% ao ano, sendo necessários 2 anos com 5 meses para recuperar o investimento inicial. O VPL foi R\$ 6 128 936,00, a TIR foi de 40%, sendo maior que a TMA, demonstrando assim que o projeto consegue pagar o investimento e ainda gerar lucros. Os resultados revelaram que o projeto é viável e atrativamente econômico.

**Tabela 33-** Resultados econômicos das medidas propostas em motores

Indicadores	Valor
Investimento	R\$ 5 255 825,00
Economia	R\$ 2 161 358,00 / ano
TMA	13,75%
VPL	R\$ 6 128 936,00
TIR	40%
Payback (anos)	2,5

#### 5.3.9.2 Iluminação

Para o cálculo de viabilidade econômica desta proposta não foi considerada no investimento a mão-de-obra já que esta é realizada pela equipe de manutenção, não sendo um custo extra para o projeto. As luminárias estão adequadas e deverão ser modificadas, somente se a proposta requisitar. Para a análise foram utilizados catálogos de divulgação e dados técnicos para o embasamento geral e os preços foram orçados no mercado.

O orçamento de cada lâmpada e reator foi de R\$ 6,25 e R\$ 14,90 cada. Ao somar-se o valor de duas lâmpadas com o do reator e dividirmos pelo número de lâmpadas, chega-se a um custo unitário por lâmpada de R\$ 13,70. Como nos locais analisados o trabalho é contínuo a vida útil da lâmpada para uma média de uso de 24 horas diárias fica em torno de 3,5 anos, o VPL e a TIR foram calculados para um período equivalente. Os resultados energético e financeiro estão expostos nas Tabelas 34 e 35.

**Tabela 34-** Resultados energéticos com a substituição pelo modelo T8 32W

No de lâmpadas instaladas	Potência total anterior (kW)	Potência total após modificação (kW)	Redução de demanda (kW)	Energia economizada ao ano (MWh)
60	2,9	1,5	1,3	11,5

**Tabela 35-** Resultados econômicos da substituição pelo modelo T8 32W

Indicadores	Valor
Investimento	R\$ 630,00
Economia	R\$ 1724,00/ano
VPL	R\$ 4417,00
TIR	272 %
Payback (meses)	4

Conforme mostram as Tabelas 34 e 35 através da substituição do modelo atual pelo modelo T8 32W, obteve-se uma economia anual estimada de 11,5 MWh/ano, correspondendo a uma redução de 46% da potência demandada e R\$ 1724,00/ano no custo. O valor presente líquido foi de R\$ 4417,00 com TIR maior que a TMA e o período de recuperação do investimento é de aproximadamente 4 meses, demonstrando-se que a proposta é altamente atrativa.

Também foi determinada a contribuição que teria, tanto do ponto de vista energético quanto econômico as boas práticas, com o desligamento da iluminação exterior que permanece acesa sem necessidade durante o dia. Considerando que em média 8 lâmpadas de vapor metálico com potência de 2 kW, permanecem acesas durante 8 horas por dia sem necessidade, o desligamento das mesmas traria uma economia de 5,8 MWh/ano o que representa em termos monetários R\$ 864,00.

### 5.3.9.3 Climatização

Para o cálculo da viabilidade econômica do projeto não se teve em conta mão-de-obra, pois esta é realizada pela equipe de manutenção da empresa, portanto não será um custo adicional devido ao projeto. O cálculo foi projetado considerando a vida útil destes aparelhos em 10 anos.

O preço orçado para o projeto foi de R\$ 14 567,00, sendo mostradas as análises energética e financeira nas Tabelas 36 e 37.

**Tabela 36-** Resultados energéticos com a substituição

Capacidade instalada (BTU)	Potência total anterior (kW)	Capacidade após modificação (BTU)	Potência total após modificação (kW)	Redução de demanda (kW)	Energia economizada ao ano (MWh)
198 000	58,3	141 000	41,3	16,7	144,4

**Tabela 37- Resultados econômicos da substituição**

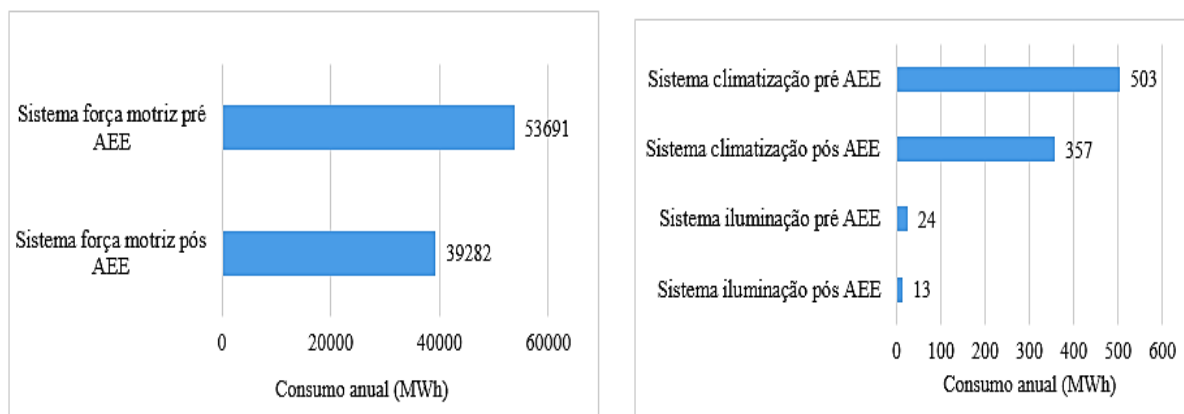
Indicadores	Valores
Investimento	R\$ 14 567,00
Economia	R\$ 21 656,00/ano
VPL	R\$ 99 504,00
TIR	149 %
Payback (meses)	7

Conforme mostram as Tabelas 36 e 37, obteve-se uma economia anual estimada de 114,4 MWh/ano, correspondendo a uma redução de 28% da potência demandada e R\$ 21 656,00/ano no custo. O valor presente líquido obtido foi de R\$ 99 504,00, o que significa que o valor do capital investido multiplicou-se, ou seja, o investidor terá um ganho maior do que a taxa mínima de atratividade e o tempo de retorno do investimento é de aproximadamente 7 meses, podendo-se afirmar que o projeto é viável economicamente.

#### *5.3.9.4 Avaliação geral das análises econômicas*

Através do estudo identificou-se, a existência de perdas energéticas na fábrica 2. Com as avaliações econômicas realizadas às diferentes propostas por módulos temáticos com o objetivo de obter economia de energia na fábrica, verificou-se que, se as medidas propostas neste estudo fossem tomadas, a economia de energia em apenas um ano seria de aproximadamente 14 571,00 MWh, a redução de demanda seria de 1819 kW (uma redução de aproximadamente 26% no consumo), R\$ 2 185 602,00 no custo e a economia financeira, tendo em conta um período de dez anos, seria de mais de seis milhões de reais em valores atuais. Desde a perspectiva ambiental, essa economia de energia alcançada através das ações propostas evitaria o lançamento do equivalente a 40,79 toneladas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (adotando o Fator de Emissão para cálculo de MDL do ano base de 2017, publicado pelo Ministério de Ciências e Tecnologia). Na Figura 48 podem observar-se os potenciais de conservação de energia dos módulos temáticos força motriz, climatização e iluminação com a aplicação de ações de eficiência energética (AEE).

**Figura 48-** Potenciais de conservação de energia nos módulos temáticos força motriz, climatização e iluminação



Vale destacar alguns dos meios através dos quais a empresa pode conseguir financiamento para alcançar os objetivos propostos em relação à eficiência energética:

- BNDES: Oferece linhas de crédito para investimento em melhorias de processos, renovação ou substituição de equipamentos com vistas à eficiência energética. Além de contar com cartão para diagnóstico de eficiência energética para micro, pequenas e médias empresas através de ESCOs.
- CTenerg- Fundo Setorial de Energia: Administrado pela FINEP, destina-se a financiar programas e projetos na área de energia, especialmente na área de eficiência energética de uso final.
- Concessionárias de energia elétrica: As concessionárias são grandes financiadoras de projetos de eficiência energética e de pesquisa e desenvolvimento já que, por força de lei, investem 1% de suas receitas operacionais líquidas.

#### 5.3.9.5 Matriz de decisão ou priorização das alternativas de redução de perdas

Com o intuito de priorizar as medidas propostas foi realizada a matriz de decisão ou priorização da Tabela 38, sendo utilizados como critérios de seleção das projeções de melhora, o potencial de redução do consumo e o investimento requerido. As medidas substituição de motores e acionamentos, substituição de iluminação e boas práticas obtiveram pontuações iguais com valor de 12 e a substituição dos aparelhos de ar - condicionado uma pontuação de 8. Para dar uma ordem de prioridade na execução às medidas que obtiveram pontuações iguais foi utilizado o payback, pois as decisões baseadas em períodos curtos de recuperação supõem menos incerteza. Finalmente a ordem para a execução das medidas foi a aplicação de boas práticas, substituição de iluminação, substituição de motores e como última a substituição dos aparelhos de ar-condicionado.

**Tabela 38-** Matriz de decisão de oportunidades

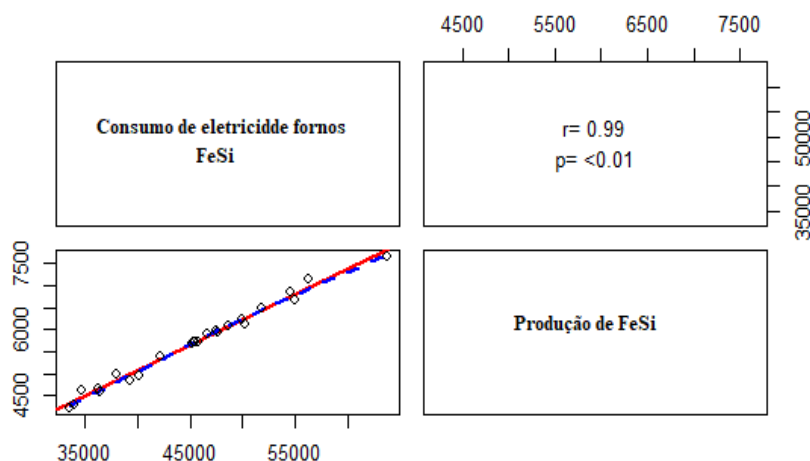
Oportunidades	Potencial de redução do consumo de energia				Investimento	Potencial de redução do consumo de energia total estimado				Investimento	Qualificação			
	MWh/ano	%	R\$/ano	%		R\$	A	M	B			Ponto	A	M
A: Substituição de motores e acionamentos	14409	98,89	2161358,00	98,89	5255825,00	x			6	x			2	12
B: Substituição de iluminação	11,5	0,08	1724,00	0,08	630,00			x	2		x		6	12
C: Substituição de ar-condicionado	144,4	0,99	21656,00	0,99	14567,00			x	2		x		4	8
D: Boas práticas	5,8	0,04	864,00	0,04	-			x	2		x		6	12
<b>Potencial de redução do consumo de energia definidos como:</b>														
(A) Altos: se > 50%				(M) Médios: se > 25% e < 50%				(B) Baixos: se < 25%						
<b>Investimentos definidos como:</b>														
(A) Altos: se > R\$30000,00				(M) Médios: se > R\$10000,00 e < R\$30000,00				(B) Baixos: se < R\$10000,00						
<b>Critérios de pontuação</b>														
	Redução do consumo de energia				Investimento									
Alto	6				2									
Médio	4				4									
Baixo	2				6									

## 5.4 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS CHAVES E LINHAS DE BASES ENERGÉTICAS

### 5.4.1 Determinação das variáveis chaves e linha de base para FeSi

Com o intuito de determinar a linha de base para a liga de FeSi, inicialmente foi realizada uma análise por meio do diagrama de dispersão e correlação da Figura 49 para conhecer a real relação existente entre as variáveis “Consumo de eletricidade (MWh)” e “Produção de FeSi (t)”. Onde se obteve um coeficiente de Pearson de 0,99 constatando-se a existência de uma forte correlação positiva entre as variáveis, sendo dessa forma selecionada para compor o modelo, a variável independente “Produção de FeSi”.

**Figura 49-** Gráfico de dispersão e correlação



O modelo de regressão linear simples utilizando a variável “Produção de FeSi” obteve o resultado conforme Tabela 39.

**Tabela 39-** Resumo dos resultados da regressão utilizando a variável independente “Produção de FeSi”

Parâmetros	Coefficientes	Erro padrão	p-valor
<b>Intercepto</b>	-3101,805	1197,237	0,0167
<b>Produção de FeSi</b>	8,518	0,208	< 2e-16
<b>Erro Padrão residual:</b> 914,2 com 22 graus de liberdade			
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9871	<b>R<sup>2</sup>-ajustado</b>	0,9865
<b>F de significância</b>	1677	<b>p-valor</b>	< 2,2e-16

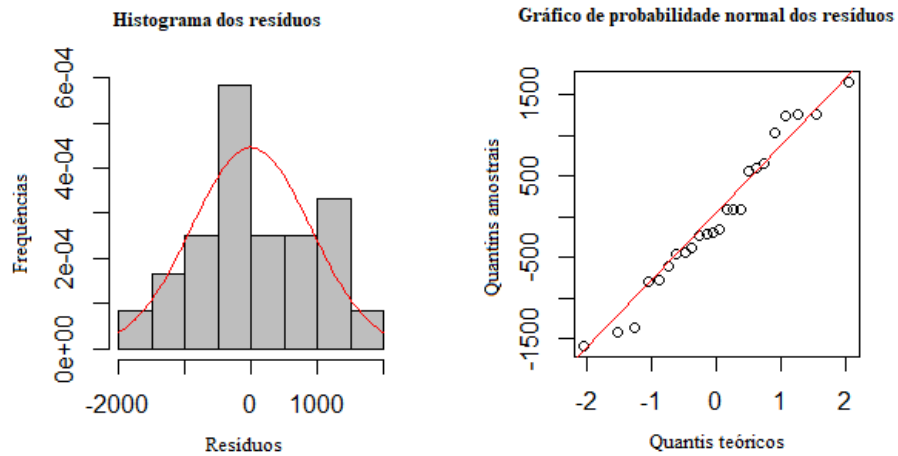
Ao realizar a análises da regressão linear simples é obtida a Equação 30 para o consumo.

$$\text{Consumo} = -3101,805 + 8,518\text{Produção de FeSi} \quad (30)$$

De posse dos resultados da Tabela 39, verifica-se, através do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup> ajustado), que o modelo explica 98,6% da variabilidade dos dados. Ao avaliar a significância da variável independente com as hipóteses usadas na regressão simples, para um nível de confiança de 95%, verificou-se que a variável “Produção de FeSi” era estatisticamente significativa pois o p-valor foi igual (< 2e – 16), sendo menor que o nível de significância de 5%.

Com o objetivo de avaliar a normalidade dos resíduos, foram elaborados os gráficos papel de probabilidade e histograma de frequência, conforme ilustra a Figura 50. Através do gráfico papel de probabilidade verificou-se que os pontos seguem o comportamento da reta existindo indícios que os resíduos estão normalmente distribuídos. Além disto, a avaliação da dispersão e distribuição do histograma dos resíduos também confirma esta suposição.

**Figura 50-** Gráfico papel de probabilidade e histograma de frequência FeSi

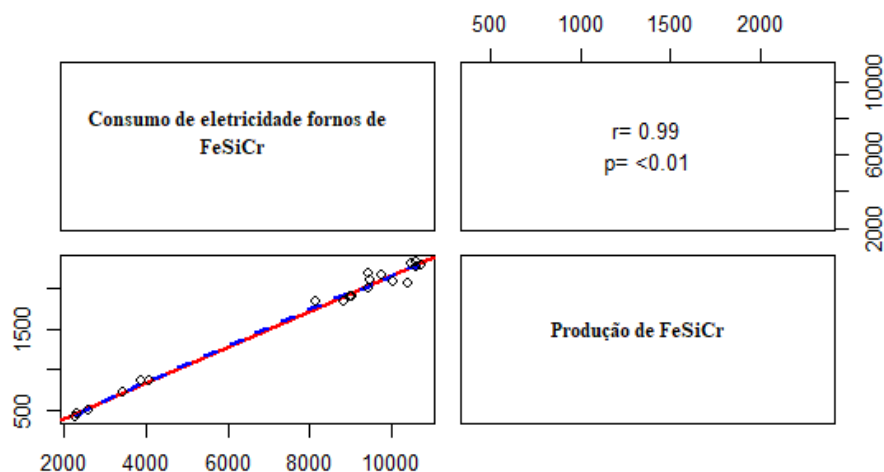


Para verificar a pressuposição da distribuição normal dos resíduos foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. Para tal, tomou-se com hipótese nula a normalidade dos resíduos. Para um p-valor obtido de 0,5312 e um nível de significância de 0,05 constata-se que a distribuição é normal, podendo-se afirmar que o modelo de linha de base obtido é adequado para caracterizar e quantificar a eficiência energética na produção de FeSi.

#### 5.4.2 Determinação das variáveis chaves e linha de base para FeSiCr

Para a obtenção da linha de base da liga de FeSiCr, foi realizado o mesmo processo do que para a linha de base determinada anteriormente, onde como primeiro passo foi a elaboração do gráfico de dispersão e correlação da Figura 51 para as variáveis “Consumo de eletricidade (MWh)” e “Produção de FeSiCr (t)”, através do qual foi possível determinar a relação linear entre as variáveis, sendo que o coeficiente de correlação entre elas é de 0,99 evidenciando uma forte correlação positiva.

**Figura 51-** Gráfico de dispersão e correlação para FeSiCr



Os resultados da aplicação do modelo de regressão utilizando a variável independente, “Produção de FeSiCr” pode ser apreciado na Tabela 40.

**Tabela 40-** Resumo dos resultados da regressão utilizando a variável independente “Produção de FeSiCr”

Parâmetros	Coefficientes	Erro padrão	p-valor
Intercepto	299,642	200,0240	0,151
Produção de FeSiCr	4,481	0,1112	< 2e-16
Erro Padrão residual: 345,4 com 18 graus de liberdade			
R <sup>2</sup>	0,989	R <sup>2</sup> -ajustado	0,9884
F de significância	1623	p-valor	< 2,2e-16

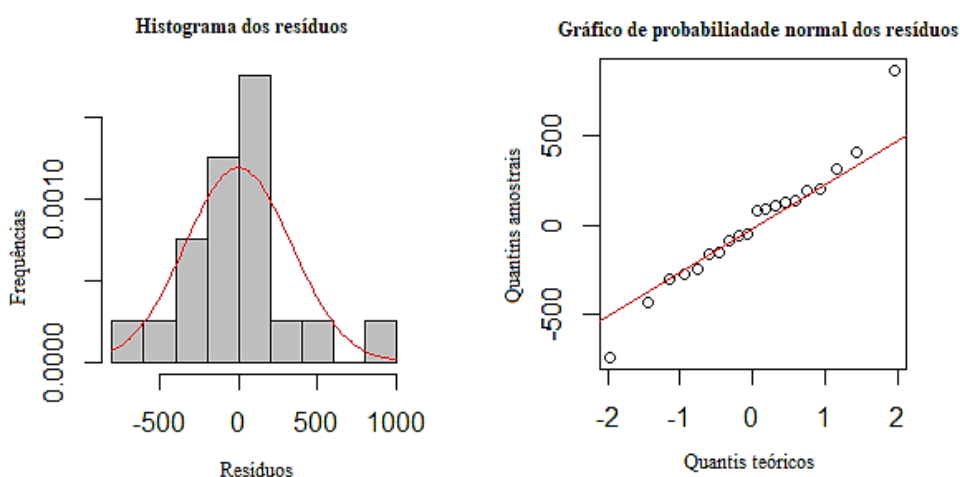
A equação que representa a regressão linear simples deste modelo é dada pela Equação 31:

$$\text{Consumo} = 299,642 + 4,481\text{Produção de FeSiCr} \quad (21)$$

Com base nos resultados da Tabela 40, percebe-se um coeficiente de determinação (R<sup>2</sup> ajustado) igual a 0,988, o que indica que a variável independente explica 98,8% da variação da variável dependente. Ao avaliar a significância da variável “Produção de FeSiCr” para um nível de confiança de 95%, verificou-se que o p-valor foi de (< 2e – 16), sendo menor do que o nível de significância de 5%, por tanto conclui-se que a variável é estatisticamente significativa para o modelo.

Para avaliar a normalidade dos resíduos do modelo foram elaborados os gráficos papel de probabilidade e histograma de frequência, conforme ilustra a Figura 52. Através do gráfico papel de probabilidade verificou-se que os pontos seguem o comportamento da reta evidenciando-se que os resíduos podem estar normalmente distribuídos, o histograma dos resíduos também confirmam esta suposição.

**Figura 52-** Gráfico papel de probabilidade e histograma de frequência FeSiCr





Por fim com o intuito de verificar estatisticamente a suposição da normalidade foi aplicado o teste de Shapiro Wilk, para tal, tomou-se com hipótese nula a normalidade dos resíduos, para o p-valor obtido de 0,6955 e um nível de significância de 0,05 constata-se que a distribuição é normal. Confirmando-se que o modelo de linha de base obtido é adequado para avaliar o desempenho energético da “Produção de FeSiCr”.

## 5.5 INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

### 1. Definição dos limites dos IDEn

A fronteira definida para a elaboração dos IDEn foi a fábrica 2 por ser onde se concentra o maior consumo de eletricidade da empresa, sendo definidos indicadores a nível dos usos significativos, o qual neste estudo foi o módulo temático fornos.

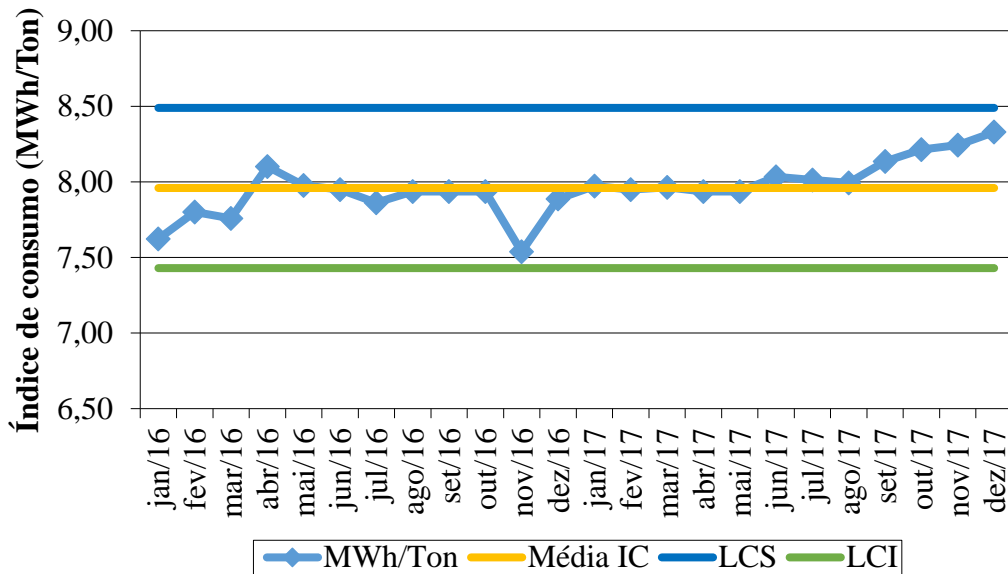
### 2. Elaboração dos IDEn

- Índice de consumo (IC)

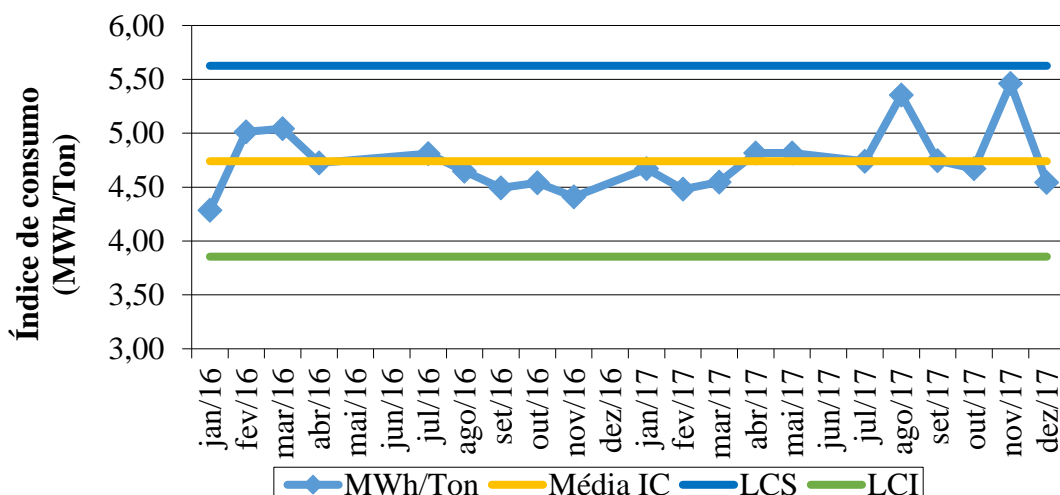
Para os fornos da fábrica 2 o índice de consumo energético específico medido foi determinado através da relação entre o consumo médio mensal de energia elétrica (MWh/mês) e a produção de ferroligas (t/mês) durante o período (2016-2017). Considerando que para a produção de FeSi o consumo de eletricidade mensal é de 45 327 MWh/mês e que a produção mensal girou em torno de 5685 t/mês, foi estimado um consumo específico de energia elétrica de cerca de 7,97 MWh/t de FeSi. Por sua vez a produção da liga de FeSiCr tem um consumo de energia de aproximadamente 7732 MWh/mês, considerando que sua produção mensal foi de 1658 t/mês, estimou-se um consumo específico de energia elétrica de 4,74 MWh/t.

Conforme mostram os gráficos de controle das Figuras 53 e 54 para o período analisado, tanto o índice de consumo específico de FeSi, quanto o de FeSiCr estão situados dentro dos limites de controle superior e inferior, o que demonstra que as variações procedem de causas aleatórias e o comportamento da variável é estável.

**Figura 53-** Gráfico de controle do índice de consumo de eletricidade FeSi



**Figura 54-** Gráfico de controle do índice de consumo de eletricidade FeSiCr

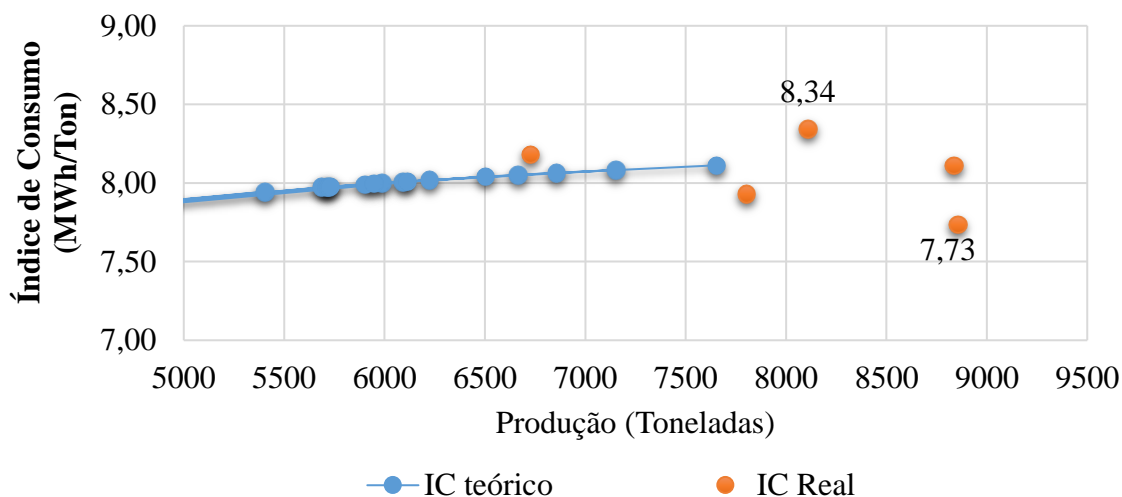


Em seguida, a partir do índice de consumo base (2016-2017), obtido da divisão do modelo de linha de base pelo valor da produção, foi elaborado o gráfico IC vs. Produção sendo avaliado o comportamento do IC real das ferroligas de FeSi e FeSiCr no ano de 2018.

Conforme Figura 55 pode ser observado que nos cinco primeiros meses do ano 2018, os fornos de FeSi tem seu índice de consumo real entre 7,73 e 8,34 MWh/t. É possível determinar que há pontos de operação eficiente ou de aumento da eficiência (pontos abaixo da linha de consumo teórico) e pontos de operação ineficiente, determinados por aqueles pontos que estão acima da linha, mas que representam um potencial de diminuição do índice de consumo. Esta

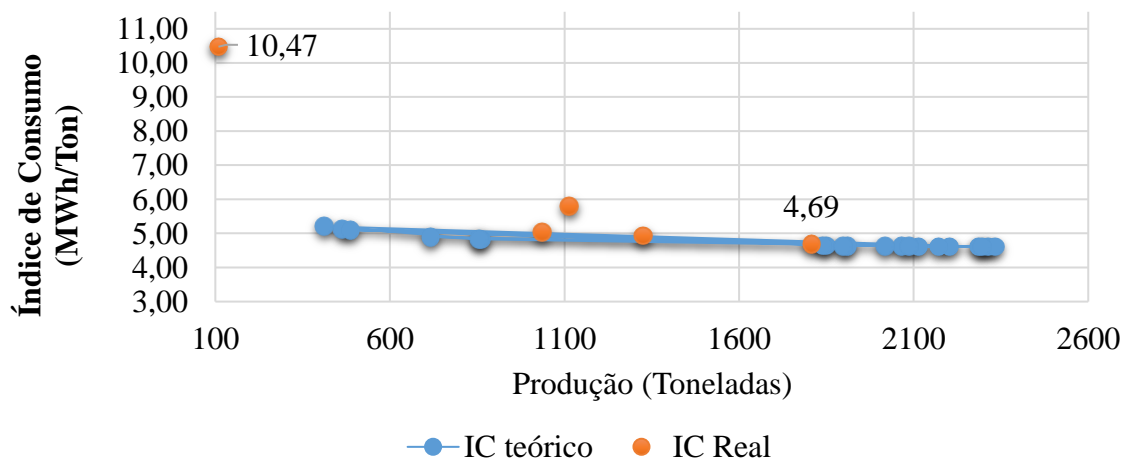
diminuição está dada pela diferença entre os pontos que representam o índice de consumo real e o índice de consumo teórico para níveis iguais de produção.

**Figura 55-** Índice de Consumo (IC) vs. Produção de FeSi



Através da Figura 56 pode-se observar que os fornos para produzir o FeSiCr no ano 2018 tem seu índice de consumo entre 4,69 e 10,47 MWh/t. O ponto crítico dos fornos está dado aproximadamente por 861,57 t. A partir deste ponto da curva de consumo teórico, o aumento dos níveis de produção não varia significativamente o índice de consumo, enquanto que níveis menores em relação ao definido pelo ponto crítico o aumentam, porque produções menores que este ponto diminuem o consumo energético, porém o gasto energético por unidade de produto aumenta, porque há menos unidades produzidas suportando o consumo de energia não associado à produção. Todos os IC reais encontram-se acima do índice teórico o que evidencia ineficiência do sistema.

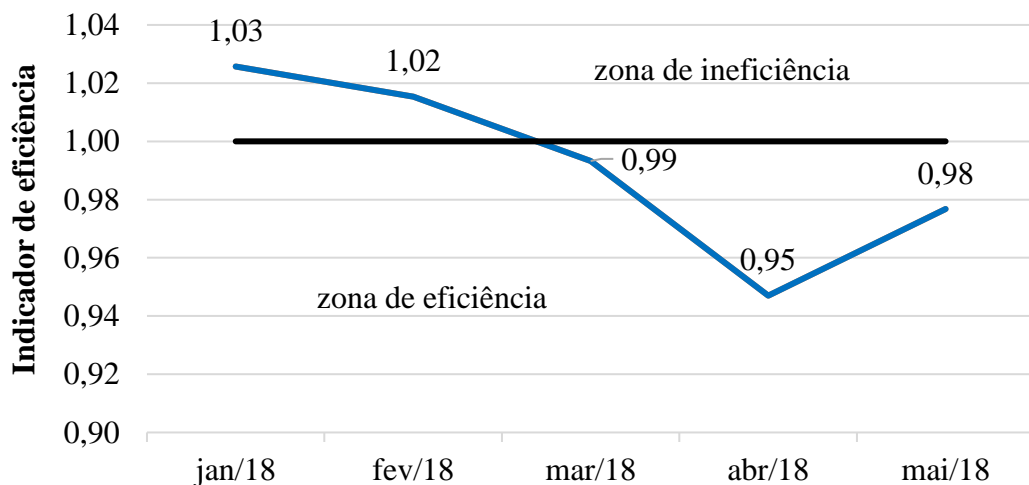
**Figura 56-** Índice de Consumo (IC) vs. Produção de FeSiCr



- Indicador de eficiência

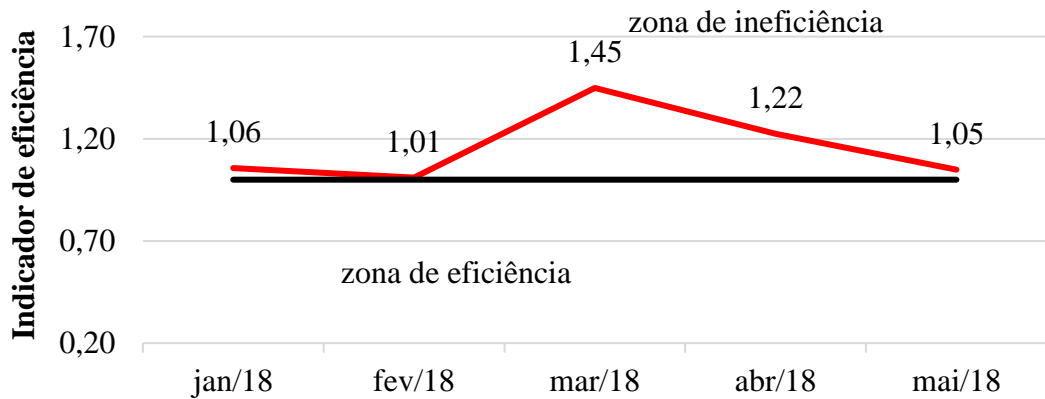
O indicador de eficiência foi definido com o intuito de avaliar o comportamento do desempenho energético dos fornos de FeSi e FeSiCr nos cinco meses iniciais do ano 2018. Conforme gráfico do indicador para a produção de FeSi da Figura 57, nos meses de janeiro e fevereiro, os valores do indicador estiveram acima de 1, o que evidencia que nesses meses, foi consumida mais energia do que teria sido consumida durante os anos de referência (2016-2017) em um mês com as mesmas condições operacionais (quantidade produzida), ou seja, não foi alcançada uma melhoria de desempenho energético. Já nos meses março, abril e maio os valores encontram-se abaixo de 1, o que significa que neste período, o consumo de energia foi menor do que o consumo que houvera tido nas mesmas condições operacionais (quantidade produzida) durante o período de referência (2016-2017), ou seja, conseguiu uma melhoria no desempenho energético em relação ao mesmo período do ano de referência.

**Figura 57-** Indicador de eficiência para fornos de FeSi



A Figura 58 mostra que o indicador de eficiência para os fornos de FeSiCr vem-se comportando de maneira ineficiente desde janeiro até maio, pois os valores de indicador encontram-se acima de um, o que significa que, neste período, foi consumida mais energia do que teria sido consumida durante os anos de referência (2016-2017) em um período com as mesmas condições operacionais (quantidade produzida), o demonstra que não foi alcançada a melhoria de desempenho energético.

**Figura 58** - Indicador de eficiência para fornos de FeSiCr

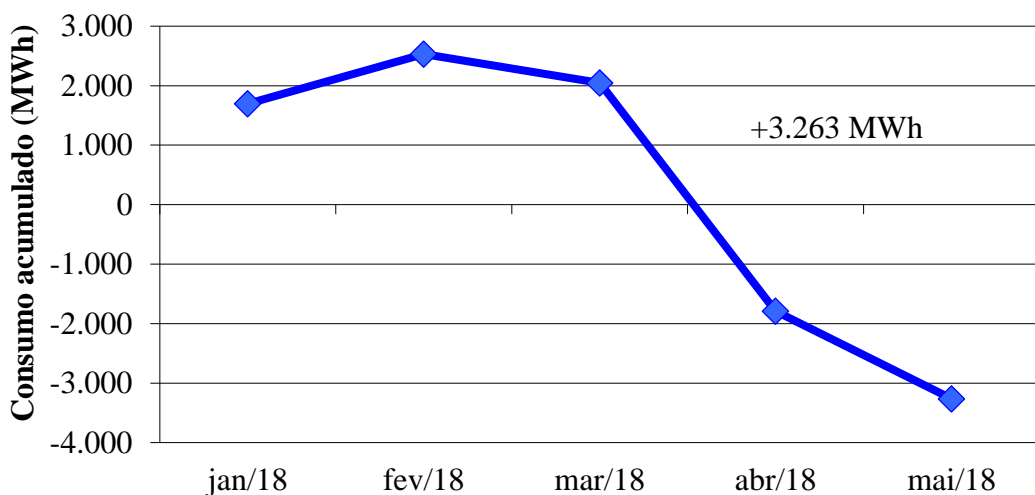


### 3. Criação de sistemas de controle de desempenho energético

Como parte do sistema controle dos IDEn foram realizados os gráficos de Tendência de Soma Acumulativa (COSUM), o que possibilitou a avaliação da tendência do consumo energético do ano 2018 em relação ao período de referência (2016 - 2017) dos fornos de FeSi e FeSiCr.

O gráfico da Figura 59 permite observar que nos fornos de FeSi existe uma tendência decrescente, o que evidencia que a variação do consumo de energia em relação ao período de base experimentou uma economia de energia, sendo de aproximadamente 3263 MWh desde janeiro até maio de 2018.

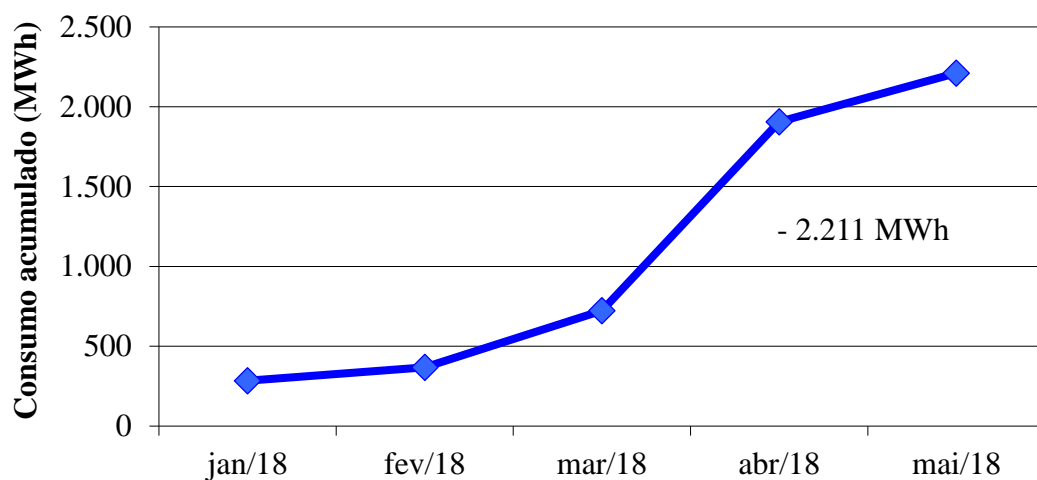
**Figura 59**- Gráfico COSUM fornos de FeSi



A partir do gráfico da Figura 60 pode-se observar que os fornos de FeSiCr apresentam uma tendência a aumentar seu consumo energético em relação ao período base, contabilizando-se um desperdício de energia de 2211 MWh desde janeiro até maio de 2018, o que indica que

é necessário tomar medidas para conseguir melhorar este comportamento. Este diagrama é útil tanto antes quanto depois de implantar alguma medida de eficiência energética, pois antes permite visualizar a tendência do consumo energético da empresa frente ao período base e depois é possível monitorar a efetividade da medida.

**Figura 60-** Gráfico COSUM fornos de FeSiCr



## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma revisão da literatura sobre eficiência energética na indústria com foco em métodos para a identificação de potenciais de oportunidades de conservação de energia por módulos temáticos, assim como, uma revisão energética em uma fábrica do setor de ferroligas através de uma análise de uso e consumo de energia com o intuito de identificar oportunidades para melhora do desempenho energético, a elaboração de indicadores energéticos eficientes, custos energéticos e o controle de consumo de energia através da elaboração de linhas de base energéticas. Tendo como principal motivação as projeções de demanda no horizonte de longo prazo 2013-2050, a norma ISO 50001 - Sistema de Gestão de energia e existência de oportunidades de conservação de energia nas indústrias.

A revisão energética realizada utilizando como base a norma ABNT NBR ISO 50001 possibilitou a determinação do desempenho energético da organização com base em dados e outras informações, conduzindo a identificação de oportunidades de melhoria, assim como, a implantação de sistemas de controle energéticos eficientes. Através da mesma demonstrou-se que a eletricidade era o energético de maior consumo dentro da empresa com uma representatividade de 55,20%. Dentro da delimitação de fronteiras à área de maior consumo de eletricidade foi a fábrica 2 com 48,15% do consumo total da empresa o que representa 63 645 MWh/mês e o módulo temático de maior consumo foi fornos com uma porcentagem de 94,14% do consumo total dessa fronteira.

Demonstrou-se a existência de potenciais de oportunidades de melhoria em todos os módulos temáticos analisados com destaque em força motriz, iluminação e climatização. Foi realizado um estudo de viabilidade técnica e econômica de uma série de medidas, tendo como objetivo primário atingir o aumento de eficiência energética, evidenciando-se que com a implementação das medidas propostas seria obtida uma economia anual estimada de 14 571,00 MWh/ano, correspondendo a uma redução de 26% no consumo, R\$ 2 185 602,00/ano no custo, redução de emissões de 40,79 tCO<sub>2</sub>/ano e uma diminuição de demanda de aproximadamente 1819 kW. Assim, com base nos resultados obtidos observa-se, portanto, a viabilidade e factibilidade das propostas e um grande potencial para a aplicação de ações de conservação de energia na fábrica. Ficou ainda provado, pelos resultados medidos e observados, que o investimento em novas tecnologias poderá beneficiar em grande escala a diminuição do consumo de energia elétrica.

Com base nas análises estatísticas feitas utilizando uma ferramenta de computação estatística livre e gratuita foi possível determinar o modelo de linha de base para representar o consumo de energia elétrica do módulo temático fornos por tipo de ferroligas. Através das análises verificou-se que a variável “Produção” era estatisticamente significativa para o modelo. Demonstrando-se que, um modelo univariável linear por tipo de ferroliga é suficiente para o controle do consumo energético do módulo temático com elevado nível de confiabilidade. Com base nas medições e usos finais foram elaborados indicadores energéticos cujo uso possibilita o monitoramento permanente de seu desempenho energético através da comparação com sua linha de base.

A partir da revisão energética constatou-se que a fábrica tem grande potencial para aumentar a eficiência energética, o qual será alcançado fundamentalmente através de implementação de políticas vinculadas ao melhoramento da gestão energética, alcançando a conscientização de seus trabalhadores em relação às boas práticas no uso e consumo da energia e desenvolvendo ações concretas como o diagnóstico energético periódico da planta industrial.

A redução do consumo de energia no setor industrial, através de medidas de eficiência energéticas, apresenta-se como uma das oportunidades significativas para que o Brasil alcance um melhor posicionamento na classificação mundial de eficiência energética.

Como sugestão para trabalhos futuros propõe-se um estudo focado no módulo temático forno em vista a quantificar as perdas de energia e propostas de rotas tecnológicas mais eficientes para as ferroligas produzidas na empresa sustentado em um estudo de custos e benefícios. Outra sugestão é um estudo de eficiência energética na empresa como um todo visando a implantação de um sistema de gestão de energia conforme o padrão ABNT NBR ISO 50001.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESCO - Associação Brasileira de Serviços de Conservação de Energia, Disponível em: <<http://www.abesco.com.br>>.

ABESCO - Associação Brasileira de Serviços de Conservação de Energia. **4 dicas para economizar energia nas empresas**. 2015. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/4-dicas-para-economizar-energia-nas-empresas/>>.

ABNT NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT NBR 8995-1: **Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT NBR ISO - 50001: **Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientação para uso**. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT NBR ISO - 50006: **Sistemas de gerenciamento de energia - Medição do desempenho energético com base na energia e indicadores de desempenho energético - Princípios e orientações gerais**. Rio de Janeiro, 2016.

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento. Disponível em: < <http://abrava.com.br/?p=11091> >. Acesso em: 19 de abril 2017.

ABREU FILHO JOSÉ CARLOS. **Finanças corporativas** / José Carlos Franco de Abreu Filho, Cristóvão Pereira de Souza, Danilo Américo Gonçalves, Marcus Vinícius Quintella Cury. - reimpressão - Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.

ACEEE - American Council for an Energy-Efficient Economy- **Executive Summary the 2018 International Energy Efficiency Scorecard**. Junho 2018. Disponível em: < <http://aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/i1801.pdf>> Acesso em: 7 setembro 2018.

AchEE - Agencia Chilena de Eficiencia energética. **Guía de Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía basada en ISO 50001**. Tercera Edición. Diciembre 2013.

ADEME - AGENCE DE L'ENVIRONNEMEN ET DE LA MAITRISE DE L'ENER. Disponível em: < <http://www.ademe.fr> > Acesso em: 10 fevereiro 2016.

AIDA - Associação Industrial do Distrito de Aveiro (2014). **Guia Prático- Sistema de Gestão Energética**. Disponível em: <<http://sustentabilidade.aida.pt/wp-content/uploads/2015/06/GuiaSGE2.pdf>>. Acesso em: 20 de Outubro de 2016.

ALIYU, A.K et al. (2015). **An Approach to Energy Saving and Cost of Energy Reduction Using an Improved Efficient Technology**. Open Journal of Energy Efficiency, 4, 61-68.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Programa de Eficiência Energética**. 2015. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br> >. Acesso em: 30 de janeiro de 2018.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resumo de investimento no PEE desde a publicação da RN 300/2008 até março de 2016.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 13 de março de 2018.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **A busca da articulação entre ações de incentivo.** Revista Eficiência Energética agosto 2013, 1ra edição. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/revista\\_pee\\_2013.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/revista_pee_2013.pdf)>. Acesso em: 10 de abril de 2017.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa n.º 414 de 2010.**

ASHRAE - American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers. **Procedures for Commercial Building Energy Audits.** Estados Unidos: 2ª edição, 2011.

BAJAY, SÉRGIO VALDIR. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: experiências internacionais em eficiência energética para a indústria / Sérgio Valdir Bajay, Paulo Henrique de Mello Sant Ana, - Brasília: CNI, 2010. 88 p.**

BENEDETTI, M; CESAROTTI, V; INTRONA, V. (2017). **From energy targets setting to energy-aware operations control and back: An advanced methodology for energy efficient manufacturing.** Journal of Cleaner Production 167.1518-1533.

BOHARB, A et al. (2016) **Auditing and analysis of energy consumption of an industrial site in Morocco.** Journal Energy, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.03>>.

BOHARB, A et al. (2017) **Energy conservation potential of an energy audit within the pulp and paper industry in Morocco.** Journal of Cleaner Production 149 (2017) 569-581. Available online 17 February 2017.

BORROTO, A; MONTEAGUDO, J (2006). **Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios.** Editorial Universidad de Cienfuegos. ISBN 959-257-040-X. 104 p.

BRITO, J. LAMIM, P.C. ALVES, P.A, (2005). **Implantação do programa de manutenção preditiva de painéis elétricos através da análise termométrica.** XI Seminário Brasileiro de Manutenção Preditiva e Inspeção de equipamentos.

BUNSE, K et al. (2011). **Integrating energy efficiency performance in production management e gap analysis between industrial needs and scientific literature.** J. Clean. Prod. 19, 667e679. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.011>>.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Coletânea de legislação, Setor Elétrico Brasileiro.** 2009. Disponíveis em:<[file:///C:/Users/LAPTOP/Desktop/coletanea\\_legislacao\\_2009.pdf](file:///C:/Users/LAPTOP/Desktop/coletanea_legislacao_2009.pdf)>.

CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Destravando o financiamento à eficiência energética no Brasil: soluções financeiras e não financeiras para os agentes do mercado.** Rio de Janeiro, 2014.

CNI, ELETROBRAS. **Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional.** Procel. Brasília. 2009.

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética. **Apresentação das principais ações desenvolvidas pelo setor energético para conservação de energia**. 30ª Reunião Ordinária. Brasília-DF, 2015.

COPEL (2005) - Companhia Paranaense de Energia. **Manual de Eficiência Energética na Indústria**. Brasil, 2005.

CORTELETTI, D (2015). **Ferramenta de autoavaliação do potencial de eficiência energética aplicada às indústrias do setor metalomecânico**. Dissertação de mestrado - Curso de Mestrado Profissional em Produção - Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

COSTA, G. G. O. **Curso de Estatística Inferencial e Probabilidades: Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2015. 292 p.

COSTA, H. J. M. **Roteiro de pré-diagnóstico para otimizar o uso de energia elétrica em empresas de pequeno porte**. Dissertação de mestrado em Meio Ambiente Urbano Industrial. Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2015.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CUSA et al. (2017). **Elaboração de um modelo de linha de base utilizando regressão linear**. XVII Congresso Brasileiro de Energia.

DANCEY, CHRISTINE; REIDY, JOHN. (2006). **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed.

DEFRA - DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS. Disponível em: < <https://www.gov.uk> > Acesso em: 10 fevereiro 2016.

DOE - DEPARTMENT OF ENERGY. **Technical Report Four: Analysis of energy-efficiency investment decisions by small and medium-sized manufacturers**. Springfield, mar. 1996, 98 p.

EERE - ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. Disponível em: <[www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)>. Acesso em 10 de fevereiro 2016.

ELETROBRÁS et al.(2009). **Metodologia de realização de diagnóstico energético: guia básico** / Brasília: IEL/NC, 2009. 108 p.: il. ISBN 978-85-87257-29-1.

ELETROBRÁS/ PROCEL (2011). **Manual de iluminação**. Rio de Janeiro, 2011.

EN. 50160, 1999. **Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems**. European standard, 1999.

EPE. NOTA TÉCNICA DEA 26/14. **Avaliação de Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2014-2023)**. EPE. Rio de Janeiro 2014.

EPE/MME, 2016. NOTA TÉCNICA DEA 13/15. **Demanda de energia 2050**. EPE. Rio de Janeiro 2016.

EPE/MME, 2018. **Balanco Energético Nacional 2018**. Ano Base 2017. Rio de Janeiro 2018.

EPE/MME, 2018a. **Resenha Energética Brasileira**. Ano Base 2017.

EPE/MME, 2018b. **Balanco Energético Nacional 2018**. Ano Base 2017: Relatório Sínteses. Rio de Janeiro 2018.

EVO - Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance. **Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água**. Volume 1. Janeiro 2012.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Levantamento da situação ambiental e energética do setor de ferroligas e silício metálico no Estado de Minas Gerais, prospecção de ações para o desenvolvimento sustentável da atividade / Gerência de Desenvolvimento e Apoio técnico às Atividades Industriais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

FERREIRA, J. J; FERREIRA, T. J. **Economia e Gestão da Energia**. Lisboa: Texto Editora, 1994.

FILHO, JOÃO MAMEDE. **Instalações elétricas industriais**. 7ª edição. Editora LTC. 2004.

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <[www.firjan.org.br](http://www.firjan.org.br)>. Acesso em: 13 de outubro de 2016.

FOSSA, A. J.; SGARBI, F. A. **Guia para Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 50001 Gestão de Energia**. International Copper Association (ICA), 2017. 84 p. Disponível em: <<http://procobre.org/media-center/pt-br/component/jdownloads/send/2-publicacoes/242-guia-para-aplicacao-da-norma-abnt-nbr-iso-50001-gestao-da-energia.html>>. Acesso em: 10 out. 2017.

FOSSA, ALBERTO. **Análise estratégica sobre a ABNT NBR ISO 50001 e as oportunidades para o mercado de eficiência energética**: Parte 2. Revista O Setor Elétrico, 2015. Disponível em: <[www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)>. Acesso em 7 de fevereiro de 2017.

FROZZA, F. F.; LAFAY, J. M. S; BALDIN, V.; MARANGONI, F. **Metodologia de Implantação de um sistema de Gestão de Energia Utilizando ABNT NBR ISO 50001**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2012.

FROZZA, J. F. **Eficiência energética em indústria frigorífica; desafios de implantação**. Proposta de Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. São Paulo: Atlas. 2008.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 10. Ed, São Paulo: Harbra. 2007.

GRANADO, E et al. **Curso de Aciaria Elétrica, Módulos de Matérias –Primas**. Sao Paulo, ABM, 2007.

GUEDES, F. C; NETO, R. C. **Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de ferroligas** / organizador Régis Rathmann. - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D. **Nonparametric Statistical Methods**. 2ª Edição. Editora Wiley-Interscience. Toronto, 1999.

IDEA - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Disponível em: <<http://www.idade.es>> acesso em 10 de fevereiro 2016.

IEA - International Energy Agency. **World Energy Outlook**. IEA 2017.

IEA - International Energy Agency. **Key world energy statistics**. IEA (2017a).

IEA - International Energy Agency. **CO2 emissions from fuel combustion highlights**. IEA (2017b).

IEC 61000-3-3:1995 "**Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3-3: Limits - Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current up to 16 A**".

IEC 61000-2-2:2003. **Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-2: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems**.

IEEE 519-1992, **IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (ANSI)**. IEEE, New York.1992.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Tabela do nível de eficiência dos condicionadores de ar do tipo Split Piso - Teto**. 2017. Disponível em:<[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores\\_ar\\_piso-teto\\_indiceno.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_piso-teto_indiceno.pdf)>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

INOVAR ar-condicionado. Disponível em:  
<<http://www.inovararcondicionado.com.br/servicos/calculo-carga-termica/>>; Acesso em: 14 de Julho de 2018.

ISO - International Organization for Standardization (2017). **The ISO Survey of Management System Standard Certifications (2011-2016)**. Disponível em:<<https://www.iso.org/the-iso-survey.html>>; Acesso em: 30 de novembro de 2017.

KANNEGANTI, H et al. **Specification of energy assessment methodologies to satisfy ISO 50001 energy management standard**. Sustainable Energy Technologies and Assessments 23 (2017) 121-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2017.09.003>

KRAUSE, C et al. **Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 2002.

KRUGER, P; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Relatório Técnico 60**.

LEITE, A.; BAJAY, S.; DEBONZI, F. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria. Relatório Setorial: ferroligas**. Brasília: CNI, 2010.

LEITE, F. C. **Modelamento da Eficiência Energética para o Gerenciamento Sustentável no Setor Industrial pela Medição e Verificação**. 2010.94 f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- MAMEDE, F. **Instalações Elétricas Industriais**. 8ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- MARTIN, I., **Application note - Options to decarbonize industrial energy use**, ECI. 2015.
- MAY, GOEKAN. **Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency**, Volume: 149 Páginas: 46-61 Publicado: JUL 1 2015.
- MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Fatores de Emissão de CO<sub>2</sub> pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil - Ano Base 2017**.
- MENDOZA, C et al.(2015). **Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001**. Estudios de casos. El Hombre y la Máquina No. 46 • Enero - Junio de 2015.
- MME - Ministério de Minas e Energia (2011). **Plano Nacional de Eficiência Energética (Premissa e Diretrizes Básicas)**. Disponível em: <<http://www.orcamentofederal.gov.br>>.
- MME - Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007.
- MUNGUÍA, N et al. (2016) **Energy Audit in the Meat Processing Industry - A Case Study in Hermosillo, Sonora Mexico**. Journal of Environmental Protection, 7, 14-26  
<http://dx.doi.org/10.4236/jep.2016.71002>.
- NORDELO, A. B. **Gestión energética en el sector productivo y los servicios**. Cienfuegos. Cuba. Editorial Universidad de Cienfuegos ISBN 978-959-257-131-0. 2007.
- NORDELO, A. B; BONIFAZ, R.D, (2013) **recomendaciones metodológicas para la implementación de sistemas de gestión de la energía según la norma ISO 50001**. Editorial Universo Sur ISBN 978-959-257-360-4,2013.
- ODYSSEE, 2012. Disponível em: <<http://www.odyssee-mure.eu/publications/other/short-term-energy-indicators-saving-study.html>>.
- ONUDI - Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. **Guía práctica para la implementación de un sistema de gestión de la energía**. 2014.
- PATTERSON, M. **What is Energy Efficiency? - Concepts, Indicators and Methodological Issues**. Energy Policy v. 24, n.5, p. 377-390, 1996.
- PESSOA, J. N; GHISI, E. **Estado da arte em eficiência energética em edificações: Sistemas de condicionamento de ar**. Centro brasileiro de eficiência energética em edificações. Florianópolis, fevereiro de 2015.
- PETROBRAS (2008). Petrobras Magazim, Eficiência Energética, Seminário Internacional Petrobras de Eficiência Energética 2008, realizado no Rio de Janeiro). Disponível em: <<http://www.hotsitespetrobras.com.br/petrobrasmagazine/edicoes/edicao55/pt/eficienciaenergetica/eficienciaenergetica.html>> Acesso em: 28 de agosto 2016.
- PHILIPS. Catálogos de produtos PHILIPS. Disponível em: <<http://www.lighting.philips.com.br>>. Acesso em: 18 de julho de 2018.

- PIMENTEL, F. **O Fim da Era do Petróleo e a Mudança do Paradigma Energético Mundial: Perspectivas e Desafios para a Atuação Diplomática Brasileira**. Brasília 2011.
- PINTO, Á. B. **A gestão da energia com a norma ISO 50001**. 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.
- PROCEL 2011. **Manual de tarifação de energia elétrica**.
- PROCEL 2018. **Relatório de resultados do PROCEL 2018**. Ano base 2017. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>.
- PROCEL/ELECTROBRAS (2005). **Guia técnico Gestão Energética**. Rio de Janeiro. 2005.
- RODRIGUES, P (2002). **Manual de Iluminação Eficiente**. PROCEL. 1ed. Brasil, 2002.
- ROSS, S. A; WESTERFIELD, R.W; JAFFE, J. F. **Administração financeira: Corporate Finance**. 2. Ed. São Paulo: Atlas S.A. 2007.
- ROUSSEFF, D. **Lei 13 280 de 3 de maio de 2016**. Diário Oficial da União de 4 de maio de 2016, pagina 1, seção 1.
- SANTOS, A. M et al.(2006). **Conservação de Energia: Eficiência Energética em Equipamentos e Instalações**. 3 ed. Itajubá: 2006.
- SHAPIRO, S. S. E M. B. Wilk (1965). **An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples)**. Biometrika Trust, London, v. 52, p. 591–609. 3/4 (Dec., 1965).
- SILVA, ANDRÉ LUIZ V. DA COSTA. **Capítulo 7 Forno Elétrico a Arco**. 2013. Disponível em: <[http://www.equilibriumtrix.net/refino/capitulos\\_acs\\_refino/Capitulo\\_7\\_fea\\_rev\\_2\\_com\\_índice\\_28072013.pdf](http://www.equilibriumtrix.net/refino/capitulos_acs_refino/Capitulo_7_fea_rev_2_com_índice_28072013.pdf)>. Acesso em: 25 de fevereiro 2018.
- SILVA, L. A, NEVES, R. A. (2015) **Eficiência energética: o investimento necessário para a indústria**. Revista O Setor elétrico. Edição 112, maio 2015. Disponível em: <<http://www.osestoreletrico.com.br>> Acesso em: 28 de agosto 2016.
- SILVA, M. G. G. L. S. **Uso do Índice de Desenvolvimento Humano como Instrumento de Projeção de Demanda de Energia Elétrica**. Economia & Energia, Belo Horizonte, p. 3-16, setembro 2012. Disponível em: <[http://ecen.com/eee86/eee86p/idh\\_eletricidade.htm](http://ecen.com/eee86/eee86p/idh_eletricidade.htm)>. Acesso em: 28 de agosto 2016.
- SOARES, G.T. **Sistema de gerenciamento de energia como ferramenta de eficiência energética na indústria**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Pará. 2015.
- SOLA, A. V. H. et al. **Melhoria da eficiência energética em sistemas motrizes industriais**. Production, v. 25, n. 3, p. 498-509, jul./set. 2015.
- SOUZA, H. M. D et al. **Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética**. Revista Brasileira de Energia, v. 15, n. 1, p. 7-26, 1º Semestre 2009.

THOLLANDER, P et al. (2005). **"Reducing industrial energy costs through energy-efficiency measures in a liberalized European electricity market: case study of a Swedish iron foundry"**. 81(2): 115-126.

THOLLANDER, P et al. (2013). **"Beyond barriers—A case study on driving forces for improved energy efficiency in the foundry industries in Finland, France, Germany, Italy, Poland, Spain, and Sweden."** 111: 636-643.

TORMAN, V.B; COSTER, R; RIBOLDI, J. **Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não - paramétricos por simulação**. Revista HCPA. Porto Alegre. Vol. 32, no. 2 (2012), p. 227-234.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 16<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

VIANA, A. C et al. (2012). **Eficiência Energética. Fundamentos e Aplicações**. 1 ed. Itajubá. Campinas-SP (2012).

VINE, E. **An International Survey of the Energy Service Company (ESCO) Industry**. In Energy Policy, n. 33, p. 695. 2005.

WEG. **Motores. Aplicações industriais**. (2014).

WEG. **Automação. Inversores de Frequência**. (2014a).

WEG. **Soluções em Eficiência energética**. (2015).



## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Levantamento de carga de fábrica 2

#### Levantamento de carga força motriz

Área	Qtd.	Potência		# de polos	Tensão (V)	Tempo de operação mensal (h)	Consumo mensal (MWh)	Acionamento atual
		CV	kW					
Cash Machine	1	30	22	6	380	660	14,52	Estrela Triângulo
Fábrica II	1	50	37	4	380	660	24,42	Estrela Triângulo
Forno 13	1	75	55	4	380	660	36,3	Estrela Triângulo
Forno 12	1	125	90	4	380	660	59,4	Estrela Triângulo
Forno 11	1	75	55	4	380	660	36,3	Estrela Triângulo
Forno 10	1	40	30	6	380	660	19,8	Estrela Triângulo
Forno 09	1	40	30	6	380	660	19,8	Estrela Triângulo
Sistema Carvão Novo	1	25	18,5	4	380	630	11,655	Estrela Triângulo
Sistema de Quartzo	1	20	15	6	380	630	9,45	Estrela Triângulo
Sistema de Quartzo	1	50	37	6	380	630	23,31	Estrela Triângulo
Britagem Sil75	1	50	37	6	380	630	23,31	Estrela Triângulo
Britagem Sil75	1	40	30	6	380	630	18,9	Estrela Triângulo
Despoeiramento HP	1	150	110	4	380	630	69,3	Soft Starter
Despoeiramento Sil75	1	150	110	4	380	630	69,3	Soft Starter
Filtro Mangas 14	1	1500	1100	4	4160	660	726	Soft Starter
Filtro Mangas 13	1	1500	1100	4	4160	630	693	Soft Starter
Filtro Mangas 12	1	450	330	4	380	630	207,9	Soft Starter
Filtro Mangas 12	1	450	330	4	380	630	207,9	Soft Starter
Filtro Mangas 11	1	450	330	4	380	630	207,9	Soft Starter
Filtro Mangas 11	1	450	330	4	380	630	207,9	Soft Starter
Filtro Mangas 10	1	450	330	4	380	630	207,9	Soft Starter
Filtro Mangas 10	1	450	330	4	380	630	207,9	Soft Starter
Filtro Mangas 09	1	1500	1100	4	4160	630	693	Direto
Torre Refrig. FAB II	18	15	11	8	380	630	124,74	Direto
Torre Refrig. FAB II	1	300	220	4	380	630	138,6	Soft Starter
Torre Refrig. FAB II	1	300	220	4	380	630	138,6	Soft Starter
Torre Refrig. FAB II	1	300	220	4	380	630	138,6	Soft Starter
Torre Refrig. FAB II	1	300	220	4	380	630	138,6	Soft Starter
<b>TOTAL</b>							<b>4474,31</b>	

Levantamento de carga fornos

Forno	Potência (MW)	Tempo de operação mensal (h)	Consumo Mensal (MWh)
Forno 09	17	630	10 710
Forno 10	18	630	11 340
Forno 11	19	630	11 970
Forno 12	20	630	12 600
Forno 13	21	630	13 230
Forno 14	21	630	13 230
<b>TOTAL</b>			<b>73 080</b>

Levantamento de carga iluminação externa

Lâmpada	Qtd.	Potência (KW)	Tempo de operação mensal (h)	Consumo Mensal (MWh)
Lâmpada de vapor metálico	20	2	450	18,00
Lâmpada de vapor metálico	20	0,9	720	12,96
Lâmpada de vapor metálico	60	0,4	720	17,28
<b>TOTAL</b>	100			<b>48,24</b>

Levantamento de carga iluminação interior

Local	# Lâmpadas	Potência (W)	Reator (W)	Potência Total (W)	Tempo de operação mensal (h)	Consumo Mensal (MWh)
Sala Gerência	6	40	7,5	285	720	0,21
Cabine Controle # 1	16	40	7,5	760	720	0,55
Banheiro F	2	20	7,5	55	360	0,02
Banheiro M	2	20	7,5	55	360	0,02
Cabine Controle # 2	28	40	7,5	1330	720	0,96
Banheiro F	2	20	7,5	55	360	0,02
Banheiro M	2	20	7,5	55	360	0,02
Cabine Controle # 3	14	40	7,5	665	720	0,48
Banheiro F	2	20	7,5	55	360	0,02
Banheiro M	2	20	7,5	55	360	0,02
Refeitório	12	40	7,5	570	720	0,41
<b>TOTAL</b>						<b>2,72</b>

### Levantamento de carga refrigeração

Local	Equipamento	Qtd.	Potência (KW)	Tempo de operação mensal (h)	Consumo mensal (MWh)
Sala Gerência	Ar-condicionado	1	5,27	720	0,93
Cabine Controle # 1	Ar-condicionado	2	5,27	720	1,86
	Caixa de água	1	0,097	720	0,07
Cabine Controle # 2	Ar-condicionado	3	12,02	720	5,64
	Caixa de água	1	0,097	720	0,07
Cabine Controle # 3	Ar-condicionado	1	12,02	720	1,88
	Caixa de água	1	0,097	720	0,07
	Freezer	1	0,293	720	0,21
Refeitório	Ar-condicionado	1	5,27	240	0,31
	Caixa de água	1	0,097	720	0,07
<b>TOTAL</b>					<b>11,11</b>

### Levantamento de carga equipamentos de informática

Local	Equipamento	Qtd.	Potência (KW)	Tempo de operação mensal (h)	Consumo mensal (MWh)
Sala Gerência	Computador	1	0,506	720	0,36
Cabine Controle # 1	Computador	3	0,506	720	1,09
	Impressora	1	0,015	30	0,00
Cabine Controle # 2	Computador	16	0,506	720	5,83
	Impressora	1	0,015	30	0,00
	Monitor	1	0,085	720	0,06
Cabine Controle # 3	Computador	5	0,506	720	1,82
	Impressora	1	0,015	30	0,00
Refeitório	Televisão	1	0,085	60	0,01
<b>TOTAL</b>					<b>9,18</b>

**APÊNDICE B** - Consumo de eletricidade e produção dos fornos de fábrica 2 por tipo de ferroliga.

<b>Mês/ano</b>	<b>Consumo FeSi (MWh)</b>	<b>Produção de FeSi (t)</b>	<b>Consumo FeSiCr (MWh)</b>	<b>Produção de FeSiCr (t)</b>
Janeiro/16	38 010	4986,69	9433	2202,00
Fevereiro/16	42 170	5405,33	2321	463,11
Março/16	36 189	4664,58	10 417	2066,07
Abril/16	40 113	4951,14	4070	861,57
Mai/16	48 604	6092,44	0	0,00
Junho/16	54 509	6856,97	0	0,00
Julho/16	56 233	7151,62	3445	715,98
Agosto/16	47 525	5988,49	10 621	2285,39
Setembro/16	45 139	5687,58	9756	2170,87
Outubro/16	45 337	5712,78	10 504	2312,72
Novembro/16	34 710	4604,44	8156	1849,87
Dezembro/16	46 574	5904,09	0	0,00
Janeiro/17	51 839	6503,01	9428	2017,75
Fevereiro/17	45 474	5721,30	9475	2113,90
Março/17	36 376	4567,29	10 606	2332,87
Abril/17	33 436	4213,17	10 054	2086,89
Mai/17	33 970	4280,46	8856	1839,00
Junho/17	49 995	6223,43	0	0,00
Julho/17	47 648	5946,17	9050	1909,59
Agosto/17	45 810	5730,63	2607	487,01
Setembro/17	39 279	4827,53	9001	1897,23
Outubro/17	50 226	6114,11	10 723	2296,11
Novembro/17	54 941	6665,26	2251	412,26
Dezembro/17	63 742	7652,65	3883	854,72
<b>TOTAL</b>	<b>1 087 849</b>	<b>136 451,16</b>	<b>154 657</b>	<b>33 174,89</b>

## APÊNDICE C - Detalhamento da análise dos motores

### Resultados globais

#### Energia elétrica

Consumo: 53 691,00 MWh/ano

Economia: 14 409,00 MWh/ano

Economia %: 26,83

Redução de Demanda Ponta: 390 kW

Redução de Demanda Fora Ponta: 1412 kW

#### Resultados econômicos

Economia de energia: R\$ 2 161 358,00 / ano

Investimento: R\$ 5 255 825,00

Valor presente (VPL): R\$ 6 128 936,00

TIR %: 40

Payback (anos): 2,5

Tarifas de Energia: Ponta: R\$ 0,15 /kWh - Fora Ponta: R\$ 0,15 /kWh

TAG	Área	Qtd	Potência (CV)	# de polos	Consumo anual atual (MWh)	Economia (%)	Economia Anual (R\$)	Investimento (R\$)	Especificação	Acionamento
Britador	Cash Machine	1	30	6	174,24	8,4	2195,42	17 508,75	W22 Mining Super Premium	Chave estrela triângulo
Exaustor do convertedor	Fábrica II	1	50	4	293,04	7,4	3252,74	14 884,12	W22 Mining Super Premium	Chave estrela triângulo
Exaustor da bica	Forno 13	1	75	4	435,6	24,6	16 073,64	42 737,67	W22 Mining Super Premium	Inversor de Frequência CFW701
Exaustor da bica	Forno 12	1	125	4	712,8	22,9	24 484,68	60 490,39	W22 Mining Super Premium	Inversor de Frequência CFW701
Exaustor da bica	Forno 11	1	75	4	435,6	24,1	15 746,94	42 737,67	W22 Mining Super Premium	Inversor de Frequência CFW701
Exaustor da bica	Forno 10	1	40	6	237,6	26,4	9408,96	24 344,56	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW701
Exaustor da bica	Forno 09	1	40	6	237,6	26,4	9408,96	24 344,56	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW701
Peneira	Sistema Carvão Novo	1	25	4	139,86	4,4	923,08	5266,98	W22 Mining Premium	Chave estrela triângulo
Peneira	Sistema de Quartzo	1	20	6	113,4	1,1	187,11	5850,94	W22 Mining Premium	Chave estrela triângulo
Britador 9026	Sistema de Quartzo	1	50	6	279,72	9	3776,22	29 041,82	W22 Mining Super Premium	Chave estrela triângulo
27003 BR002	Britagem Sil75	1	50	6	279,72	4,5	1888,11	29 041,82	W22 Mining Super Premium	Chave estrela triângulo
27003 BR003	Britagem Sil75	1	40	6	226,8	4,9	1666,98	15 586,31	W22 Mining Premium	Chave estrela triângulo

TAG	Área	Qtd	Potência (CV)	# de polos	Consumo anual atual (MWh)	Economia (%)	Economia Anual (R\$)	Investimento (R\$)	Especificação	Acionamento
21003 EX001 ME01	Despoeiramento HP	1	150	4	831,6	24,3	30 311,82	75 420,41	W22 Mining Super Premium	Inversor de Frequência CFW11
21004 FM001 ME01	Despoeiramento Sil75	1	150	4	831,6	26,4	32 931,36	75 420,41	W22 Mining Super Premium	Inversor de Frequência CFW11
0543FM14EX01	Filtro Mangas 14	1	1500	4	8712	29,3	382 892,40	1 091 530,56	W50 Mining	Inversor de Frequência MVW01
05037FM13EX01ME01	Filtro Mangas 13	1	1500	4	8316	29,4	366 735,60	1 091 530,56	W50 Mining	Inversor de Frequência MVW01
05011FM12EX02ME01	Filtro Mangas 12	1	450	4	2494,8	25,7	96 174,54	149 219,94	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW11
05011FM12EX01ME01	Filtro Mangas 12	1	450	4	2494,8	25,2	94 303,44	149 219,94	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW11
05022FM11EX02ME02	Filtro Mangas 11	1	450	4	2494,8	25,3	94 677,66	149 219,94	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW11
05022FM11EX01ME01	Filtro Mangas 11	1	450	4	2494,8	25,3	94 677,66	149 219,94	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW11
05036FM10EX02ME01	Filtro Mangas 10	1	450	4	2494,8	25,4	95 051,88	149 219,94	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW11
05036FM10EX01ME01	Filtro Mangas 10	1	450	4	2494,8	25	93 555,00	149 219,94	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW11
05035FM09EX01ME01	Filtro Mangas 09	1	1500	4	8316	29	361 746,00	1 091 530,56	W50 Mining	Inversor de Frequência MVW01
EX 01-18	Torre Refrig. FAB II	18	15	8	1496,88	45,1	101 263,93	190 762,51	W22 Premium	Inversor de Frequência CFW701
BC 004	Torre Refrig. FAB II	1	300	4	1663,2	20,6	51 392,88	108 118,75	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW701
BC 003	Torre Refrig. FAB II	1	300	4	1663,2	24,8	61 871,04	108 118,75	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW701
BC 002	Torre Refrig. FAB II	1	300	4	1663,2	24,8	61 871,04	108 118,75	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW701
BC 001	Torre Refrig. FAB II	1	300	4	1663,2	21,2	52 889,76	108 118,75	W22 Mining Premium	Inversor de Frequência CFW701

## ANEXOS

### ANEXO A - Tabela de Fator de utilização - luminária TBS027 – 2 x TLDRS 32W

Fator de Área K	80		70				50		30		0
	50	50	50	50	50	30	30	10	30	10	0
	30	10	30	20	10	10	10	10	10	10	0
0.60	.42	.40	.41	.40	.39	.34	.33	.30	.33	.30	.28
0.80	.50	.47	.49	.48	.46	.41	.40	.37	.40	.37	.35
1.00	.57	.53	.56	.54	.52	.47	.46	.43	.46	.42	.41
1.25	.64	.58	.62	.60	.58	.53	.52	.48	.51	.48	.46
1.50	.69	.62	.67	.64	.62	.57	.56	.53	.55	.52	.51
2.00	.76	.68	.74	.71	.67	.64	.63	.60	.62	.59	.57
2.50	.81	.72	.79	.75	.71	.68	.67	.64	.66	.63	.62
3.00	.85	.74	.82	.78	.73	.71	.70	.67	.68	.67	.65
4.00	.89	.77	.87	.81	.76	.74	.73	.71	.72	.70	.68
5.00	.92	.79	.89	.83	.78	.76	.75	.74	.74	.72	.70

## ANEXO B - Inversores de frequência

### CFW701 - Inversor de frequência HVAC

Funções especiais com grande range de potência, ideal para aplicações em HVAC.

#### Características

- Tensão de alimentação: 220 - 600V
- Correntes nominais: 2,9 a 211 A (2 a 175 cv)
- Grau de proteção IP20 - padrão (IP21 e NEMA1 opcionais)
- Funções especiais:
- Economia de Energia (Energy Saving)
- Bomba Seca e correia de partida para identificação de anomalias na carga
- Proteção Contra Ciclos Curtos para aumentar a vida útil em compressores
- Bypass permite que o motor seja alimentado diretamente da rede de alimentação
- Modo de Incêndio (Fire Mode) ideal para aplicações com exaustores de fumaça e exaustores de sistema de aquecimento



#### Itens Incorporados ao Produto

- Filtro RFI
- Interface de operação (IHM)
- Indutores no link CC
- Protocolos de comunicação
- Software de programação gratuito.



## **CFW11 - Inversor de frequência para uso geral e sistemas industriais**

Tamanho compacto, expansão de funcionalidades, grande range de potência, ideal para as mais diversas aplicações e sistemas de automação industrial.

### **Características**

- Tensão de alimentação: 200-690 V
- Correntes nominais: 3,6 a 2500 A (2 a 2800 cv)
- Vectrue Technology® - controle escalar V/F linear ou ajustável, vetorial de tensão VVW (Voltage Vector WEG), Vetorial Sensorless (sem encoder) e com encoder, Vetorial Wmagnet Sensorless (sem encoder) e com encoder
- Frenagem ótima® - Tecnologia de frenagem dos inversores de frequência WEG. Elimina em algumas aplicações o uso do resistor de frenagem
- Fluxo ótimo® - Tecnologia para acionamento de motores de alto rendimento Plus WEG. Melhor desempenho e redução de espaço e custo
- Gerenciamento térmico inteligente
- Grau de proteção IP20 - padrão (IP21 e NEMA1 e IP54)



### **Itens Incorporados ao Produto**

- Filtro RFI
- Interface de operação (IHM)
- Indutores no link CC
- Protocolos de comunicação
- Software de programação gratuito
- Filosofia Plug & Play
- Relógio em tempo real
- Porta USB

## MVW01- Inversor de frequência de média tensão

É um equipamento destinado ao controle de motores de indução de média tensão que possui inovações únicas, aliando robustez de hardware, simplicidade, confiabilidade e segurança numa solução compacta com reduzido número de componentes e tecnologia de última geração.

O MVW01 seguiu a mesma filosofia de programação da linha de inversores WEG de baixa tensão, simplificando sua aplicação.

Possui uma estrutura multiníveis com IGBTs de alta tensão (3,3 ou 6,5 kV), o que proporciona uma redução na quantidade de componentes de potência, aumentando sua eficiência e confiabilidade. Além disso, o chaveamento dos IGBTs utiliza o método de pulsos ótimos, reduzindo as correntes harmônicas no motor a níveis extremadamente baixos.



### Características

- Tensões de motor: 2,3 kV, 3,3 kV, 4,16 kV ou até 6,0 kV-6,9 kV;
- Potências de até 8000 cv (6000 kW);
- Retificador de entrada a diodos com 12/18 pulsos;
- Potência e controles isolados por fibra óptica;
- Braços de potência extraíveis para substituições simples e rápidas;
- Interface de operação (IHM);
- Comunicação em redes;
- Tensão imposta;
- Refrigeração a ar;
- Alto rendimento (> 99%);
- Alto fator de potência (> 95%);
- Baixo nível de ruído;
- Baixa dissipação de calor.

## ANEXO C - Motores W22 e W50

Uma preocupação constante da indústria de mineração é reduzir custos de exploração e elevar a qualidade dos processos. Pensando nisso, a WEG desenvolveu a linha W22 Mining, um motor projetado especialmente para operar em ambientes severos. Este motor apresenta características eletromecânicas diferenciadas que garantem durabilidade, resistência mecânica e robustez em todas as etapas do processo, desde a extração do material, transportem até o processamento.

### Características

- Rendimento IR2 - em conformidade com a lei de eficiência energética, em vigor desde janeiro de 2010 e Norma NBR 17094-1:2013
- Grau de proteção: IPW66
- Potência: 0,16 a 1700 cv
- Carcaças: 63 a 355A/B
- Polaridade: 2, 4, 6 e 8 pólos
- Tensões: 220/380V (63 a 200L), 220/380/440V (225S/M a 355M/L) e 440V com 6 terminais (355A/B)
- Forma construtiva: B3D (flexibilidade na posição da caixa de ligação para as carcaças 225S/M a 355A/B)



### Versões Disponíveis

- Plus
- Premium
- W50 Mining

### Aplicações

Extração, transporte e processamento na indústria de mineração.

Atributos	Benefícios
Rendimento	Versão Plus - Atende aos níveis de rendimento exigidos pela lei de Eficiência Energética Versão Premium - Supera os níveis de rendimento exigidos pela lei de Eficiência Energética
Sistema de isolamento WISE®	Apto à operação com inversor de frequência
Tampa defletora e ventilador em ferro fundido	Maior rigidez mecânica e durabilidade contra choques
Caixa de ligação adicional	Maior espaço e segurança para as conexões elétricas
Sistema de vedação W3 Seal®	Garante o grau de proteção IPW66, protegendo o motor e rolamentos contra a entrada de água, poeira e outros agentes contaminantes. (Aplicável para as carcaças 90S a 355A/B)
Proteção térmica para desligamento	Protege o motor em condições anormais de operação
Resistência de aquecimento	Evita corrosão devido à condensação da umidade no interior do motor fora de operação
Plano de pintura especial para ambientes severos	Maior resistência e durabilidade da pintura protegendo a carcaça contra corrosão e desgaste

**UFBA**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**

**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI**

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA

CEP: 40.210-630

Telefone: (71) 3283-9800

E-mail: [pei@ufba.br](mailto:pei@ufba.br)

Home page: <http://www.pei.ufba.br>

