

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR REGIANE SILVA  
DE BARROS..... E APROVADA  
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 14.02.2011

  
.....  
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Regiane Silva de Barros

**Caracterização do uso da energia elétrica em  
empresas do segmento metalúrgico e perspectivas  
de ganhos de eficiência em sua utilização**

20/2011

Regiane Silva de Barros

# **Caracterização do uso da energia elétrica em empresas do segmento metalúrgico e perspectivas de ganhos de eficiência em sua utilização**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Orientador: Luiz Antonio Rossi

Campinas

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

B278c Barros, Regiane Silva de  
Caracterização do uso da energia elétrica em  
empresas do segmento metalurgico e perspectivas de  
ganhos de eficiência em sua utilização / Regiane Silva de  
Barros. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Luiz Antonio Rossi.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Eficiência energética. 2. Indústria. 3. Setor  
metalúrgico. 4. Consumo de energia. I. Rossi, Luis  
Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Characterization of the use of electric energy in companies of  
the metallurgical segment and the gain of efficiency in its use  
Palavras-chave em Inglês: Energy efficiency, Industry, Metallurgical sector,  
Energy consumption

Área de concentração: -

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Sergio Valdir Bajay, Arnulfo Barroso de Vasconcellos

Data da defesa: 14/02/2011

Programa de Pós Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

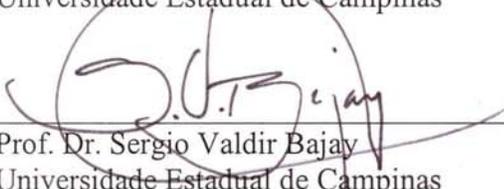
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**

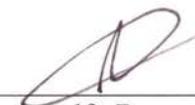
**Caracterização do uso da energia elétrica em  
empresas do segmento metalúrgico e perspectivas de  
ganhos de eficiência em sua utilização**

Autora: Regiane Silva de Barros  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi

A banca examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta dissertação:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi  
Universidade Estadual de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay  
Universidade Estadual de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Arnulfo Barroso de Vasconcellos  
Universidade Federal de Mato Grosso

Campinas, 14 de fevereiro 2011.

Dedico este trabalho aos meus pais Cicero Alexandre e Lúcia Ribeiro e aos meus irmãos Aleksandra Barros e Andreson Barros.

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço à Deus por tudo.

Aos meus pais e aos meus irmãos, pelo amor e apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi, pela confiança, receptividade, paciência, bom humor e, sobretudo pela orientação neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay e ao Dr. Mauro Berni pelas sugestões que contribuíram para a melhoria desse trabalho.

Aos professores Dr. Arnulfo Barroso de Vasconcellos e a Dr<sup>a</sup>. Teresa Irene Ribeiro Malheiro de Carvalho por todo incentivo desde a iniciação científica.

Ao Edson Caires, técnico do Laboratório de Eletrificação Rural, da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) da Unicamp, pelo companheirismo e amizade e pelo trabalho prestado.

Aos empresários que depositaram confiança nesta pesquisa.

Aos amigos do curso de Planejamento de Sistemas Energéticos: Alaíse Gomes, Andrea Ortiz, André Frazão, Bruna de Barros, Daniel Gabriel, Danilo Carvalho, Eduardo David, Fabiana Varella, Jéssica Pillon, Larissa Nogueira, Natália Addas, Roberto Perillo e Viviane Romeiro.

Em especial agradeço ao Davi Gabriel, Elisa Bastos (Jaquelineee...), Fernando Magri (Fê) e Olivia do Couto (Melezaaa...) por me aturarem em minhas dúvidas, me aconselharem, pelas risadas e por fazerem da vida em Barão Geraldo muito mais animada.

Aos amigos: Aline Tosta, Bruno Shiraishi, Daiana Silva, Ercilia Paiva, Eduardo Yukio, Elson Gomes, Fernanda de França, Guilherme Borges, Igor Araújo, Lorena Bertoncello, Luciane Pivetta, Marcella Corral, Paula Wurm, Rebeca Rodrigues, Sara Almeida, Vivian Perillo e Thiago Ito. À tia Neuza, tio Abílio e companhia limitada pelos finais de semana em São Paulo.

Aos professores e aos funcionários do departamento de Planejamento de Sistemas Energéticos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

*"Há homens que lutam um dia e são bons;  
Há outros que lutam um ano e são melhores;  
Há aqueles que lutam muitos anos e são muito bons;  
Mas há os que lutam a vida toda. Estes são imprescindíveis"*

*Berlot Brecht*

## Resumo

Durante boa parte de 2001 e o início de 2002, o Brasil enfrentou a crise do abastecimento de energia elétrica. Dada a necessidade de assegurar o abastecimento de energia, torna-se vantajoso investir em eficiência energética. Com tais medidas são postergados investimentos no setor elétrico, principalmente, sob a ótica da oferta, quando, a construção de novas usinas é minimizada e, conseqüentemente, os investimentos nos sistemas de transmissão. Especificamente no setor industrial, a eficiência energética tem importância fundamental, uma vez que, o setor é responsável por boa parte da demanda de energia do País, portanto, estudos sobre o consumo de eletricidade nesse segmento são importantes. Sendo assim, objetivando alcançar melhores resultados, nesse setor, quanto ao uso da energia elétrica, ressalta-se a importância da caracterização de seu uso. E em consonância, de uma análise mais detalhada das principais grandezas relativas à energia elétrica nas instalações industriais, pode-se apontar melhores práticas que levem ao uso eficiente desse insumo. Neste trabalho, especificamente, foram analisadas três empresas do segmento metalúrgico no Estado de São Paulo, quanto ao perfil do uso da energia elétrica. Analisaram-se as principais variáveis de energia elétrica (fator de carga, fator de potência, consumo de energia e demanda), bem como os indicadores de consumo específico e intensidade elétrica. Por meio das análises, notou-se que cabem medidas de uso racional de energia elétrica nessas empresas quanto à melhoria do fator de carga e modulação de carga, que, por sua vez, podem levar à melhores indicadores de consumo específico e intensidade energética.

### *Palavras Chaves:*

Eficiência energética, Indústria, Setor metalúrgico, Consumo de energia

## **Abstract**

During good part of 2001 and the beginning of 2002, Brazil faced the supplying crisis of electric energy. Given the necessity to assure the energy supply, it becomes advantageous to invest in energy efficiency. With such measures, investments in the electric sector are postponed, mainly under the optics of offer, when, the construction of new plants are minimized and, consequently the investments in transmission systems. Specifically in the industrial sector, the energy efficiency is very important, once, this sector is responsible for good part of energy demand in the country; therefore, studies related to the electric energy consumption in this sector are important. Being thus, objectifying itself to reach better results, in this segment, regarding the use of electric energy, the characterization of its use is necessary. A more detailed analysis of the main quantities related to electric energy at industrial plants, may point out the best practices that lead to a more efficient use of this input. In this work, specifically, three metallurgical companies in the State of Sao Paulo were evaluated, regarding the profile of the use of electric power. The main parameters of electric energy were examined (load factor, power factor, energy consumption and demand), as well as, the indicators of specific consumption and energy intensity. Based on this analysis it was noted that some measures of rational use of energy can be applied in these companies, such as, the improvement of load factor and load modulation that can lead best pointers of specific consumption and energy intensity.

### *Key Words:*

Energy efficiency, Industry, Metallurgical sector, Energy consumption.

## Lista de Figuras

Figura 2.1 - Resultados acumulados pelo PROCEL .....	7
Figura 2.2 - Investimentos do PEE no setor industrial.....	9
Figura 2.3- Variação da Energia Final, Útil e do Potencial de Economia de Energia .....	14
Figura 3.1 - Participação dos segmentos consumidores do aço no Brasil em 2008.....	16
Figura 3.2 - Faturamento e participação da indústria automobilística no valor adicionado .....	17
Figura 3.3 - Participação (%) da indústria de metais não-ferrosos na formação do PIB .....	19
Figura 3.4 - Perfil do consumo de energia elétrica no Brasil em 2009 .....	21
Figura 3.5- Consumo da energia elétrica no segmento metalúrgico em 2009 .....	21
Figura 3.6 - Consumo de energia elétrica e produção no setor metalúrgico no Brasil .....	22
Figura 3.7 – Evolução da oferta e consumo de energia elétrica (GWh) .....	24
Figura 3.8 – Evolução do consumo de energéticos no segmento não-ferrosos e outros da metalurgia .....	24
Figura 3.9 – Ações de eficiência energética nos usos finais do segmento outros da metalurgia ...	27
Figura 3.10 – Fluxograma produção transformador de solda .....	29
Figura 4.1– Diagrama elétrico simplificado dos quadros de distribuição das empresas A e B .....	31
Figura 4.2 – Esquema radial simplificado da empresa C .....	32
Figura 4.3 – Medição dos parâmetros de energia elétrica utilizando o SAGA 4000.....	33
Figura 4.4 – Medição dos parâmetros de energia elétrica utilizando o SAGA4500, RE 6081 .....	33
Figura 4.5 – Etapas de um programa do uso racional de energia.....	36
Figura 5.1 – Empresa A conjunto 1 – demanda registrada e contratada, de setembro de 2009 a agosto de 2010 .....	50
Figura 5.2 – Empresa A conjunto 2 – demanda registrada e contratada, de setembro de 2009 a agosto de 2010 .....	51

Figura 5.3 – Empresa B - demanda registrada e contratada, de setembro de 2009 a agosto de 2010 .....	51
Figura 5.4 – Empresa C, conjunto 1 – demanda registrada e contratada de setembro de 2009 a agosto de 2010.....	52
Figura 5.5 – Empresa C, conjunto 2 – demanda registrada e contratada de setembro de 2009 a agosto de 2010 .....	53
Figura 5.6 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia - empresa A, conjunto 1 .....	61
Figura 5.7 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia - empresa A, conjunto 2.....	61
Figura 5.8 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa B – chave 1 .....	62
Figura 5.9 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa B, chave 2 .....	63
Figura 5.10 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa B, chave 3 .....	63
Figura 5.11 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE 1.....	65
Figura 5.12 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE 2.....	65
Figura 5.13 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE 3.....	65
Figura 5.14 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE 4.....	66
Figura 5.15 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE5.....	66

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Produção brasileira de metais não-ferrosos primários em 2008 e .....	18
Tabela 3.2 – Produção brasileira de ferro-ligas em 2008.....	20
Tabela 3.3 – Indicadores de consumo específico do segmento metalúrgico .....	23
Tabela 4.1 – Características das cabines de transformação da empresa A .....	34
Tabela 4.2 – Característica da cabine de transformação da empresa B .....	34
Tabela 4.3– Características cabines de transformação da empresa C .....	35
Tabela 4.4 – Principais equipamentos elétricos da empresa A, conjuntos 1 e 2.....	37
Tabela 4.5 – Principais equipamentos elétricos da empresa B, por chave do quadro de .....	38
Tabela 4.6 – Linhas de produção da empresa C, por cabine de transformação .....	38
Tabela 4.7 – Tarifas da concessionária CPFL Paulista .....	40
Tabela 4.8 – Tarifas da concessionária AES Eletropaulo .....	41
Tabela 5.1 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa A, conjunto 1 .....	47
Tabela 5.2 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa A, conjunto 2 .....	47
Tabela 5.3 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa B.....	48
Tabela 5.4 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa C, conjunto 1.....	48
Tabela 5.5 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa C, conjunto 2.....	49
Tabela 5.6 – Indicadores de consumo específico da produção das empresas analisadas.....	54
Tabela 5.7 – Fator de carga médio das empresas analisadas .....	56
Tabela 5.8 – Custo médio de energia (R\$/kWh) das empresas analisadas no trabalho .....	57
Tabela 5.9 – Custo Médio de Energia (R\$/kWh) com correção de FP.....	58
Tabela 5.10 – Intensidade elétrica por empresa .....	59
Tabela 5.11 – Fator de carga nos ramais principais da empresa A .....	60

Tabela 5.12 – Fator de carga por chave de alimentação da empresa B.....62

Tabela 5.13 - Fator de carga por subestação de transformação da empresa C.....64

## Lista de Siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
BEN	Balanco Energético Nacional
BEU	Balanco de Energia Útil
BNDES	Banco de Desenvolvimento Econômico e Social
CEC	Custo de Energia Conservada
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CME	Custo Marginal de Expansão
CMP	Custo Médio por Projeto
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
C,T&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FINEP	Financiadora Nacional de Pesquisa
LED	<i>Light Emission Diode</i>
MAPEE	Modelo para a Avaliação do Potencial de Economia de Energia
MEC	Ministério da Educação
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
M&V	Medição e Verificação
NIPE	Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético

OECD	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
P&D	Programa de Pesquisa e Desenvolvimento
PDE	Plano Decenal de Energia
PEE	Programas de Eficiência Energética
PIB	Produto Interno Bruto
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RGR	Reserva Global de Reversão
ROL	Receita Operacional Líquida
SINDIPEÇAS	Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores
UC	Unidade Consumidora
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
VA	Valor Adicionado

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivo .....	3
2	Eficiência Energética no Brasil .....	5
2.1	Contextualização.....	5
2.2	Os principais programas de eficiência energética no Brasil .....	6
2.2.1	A experiência nacional .....	7
2.2.2	Fontes de financiamento.....	9
2.3	Dificuldades para a expansão da eficiência energética.....	11
2.4	O Plano Nacional de Energia 2030 de Eficiência Energética.....	12
2.6	O Balanço de Energia Útil.....	13
3	Setor metalúrgico .....	15
3.1	Caracterização do segmento metalúrgico .....	15
3.2	Consumo de energia elétrica no setor metalúrgico .....	20
3.2.1	Consumo de energia elétrica no estado de São Paulo no segmento de metais não-ferrosos e outros da metalurgia .....	23
3.3	– Barreiras para a eficiência energética no setor metalúrgico .....	25
3.4	– Os PEEs no setor da metalurgia.....	26
3.5	Caracterização das empresas analisadas e de seus processos de produção.....	27

4 Metodologia para obtenção dos dados do insumo energia elétrica .....	30
4.1 - Sistema de aquisição de dados .....	30
4.2 Caracterização dos ramais de entrada.....	34
4.3 Metodologia empregada .....	36
4.3.1 Diagnóstico do uso da energia elétrica .....	36
4.3.2 Quadros de distribuição .....	37
4.4 Análise do perfil de utilização da energia elétrica.....	39
4.4.1 Demanda de potência.....	39
4.4.2 Análise da opção tarifária .....	40
4.4.3 Fator de carga .....	41
4.4.3 Fator de potência .....	42
4.5 Indicadores de eficiência energética.....	43
4.5.1 Consumo específico de energia (CE) .....	43
4.5.2 Custo Médio de Energia ( $CM_{Energia}$ ).....	44
4.5.3 Intensidade Elétrica (IE).....	45
5 Resultados e Discussões.....	46
5.1 - Perfil de utilização da energia elétrica.....	46
5.1.1 Análise do enquadramento tarifário.....	46
5.1.2 Otimização da demanda de potência .....	49
5.2 Análise dos indicadores de eficiência energética das instalações.....	54
5.2.1 Consumo específico de energia (CE) .....	54
5.2.2 Fator de carga (FC).....	56
5.2.3 Custo Médio da Energia ( $CM_{Energia}$ ).....	57
5.2.4 Intensidade Elétrica (IE).....	59

5.3 Análise das medições.....	59
5.3.1 – Comportamento da carga em termos de potência ativa e fator de carga .....	59
6 Conclusões .....	67
Referências .....	69
Anexo A – Rotina de trabalho.....	76
Anexo B – Analisador portátil modelos: SAGA 4000, SAGA 4500, RE 6081 e RE 6000 .....	79
Anexo C – Questionário disponibilizado on-line às indústrias do segmento metalúrgico .....	82
Anexo D – Mark Plus IV 2.0.....	91

# 1 Introdução

Ao longo do tempo o preço da energia elétrica no Brasil foi um fator inibidor da adoção de medidas de conservação de energia. Como consequência, sucessivos governos reduziram as tarifas de energia elétrica como parte das políticas públicas para baixar a inflação em curto prazo. Entretanto, ocasionalmente, predominava uma política contrária, que buscava o realismo tarifário. Em decorrência disso, havia grandes oscilações na tarifa média que, somadas à alta inflação, criaram problemas adicionais de planejamento, tanto para os fornecedores de energia como para os consumidores (POOLE; GELLER, 1997).

Durante boa parte de 2001 e o início de 2002, o Brasil enfrentou a crise do abastecimento de energia elétrica. Para conter a demanda de energia, nesse período, foram impostas metas mensais de consumo a todos os consumidores, o que, em algumas indústrias, representou cortes na produção. Entretanto, promover eficiência energética não se traduz em cortes de energia e sim em seu uso racional, eliminando-se os desperdícios.

Esse racionamento de energia elétrica trouxe o conhecimento e a discussão da população às questões da eficiência energética e conservação de energia. Na busca de ações adequadas à eficiência energética, deve-se visualizar o prazo necessário para serem formadas políticas públicas consistentes e alinhadas às atividades sócio-econômicas do País (REIS *et al*, 2005).

Nesse contexto, torna-se imprescindível a criação de programas de eficiência energética que busquem alternativas tecnológicas adequadas a cada segmento da economia. A principal experiência brasileira se dá por meio do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), executado pela Eletrobrás, que tem por objetivo promover a racionalização do consumo de energia elétrica, visando à eliminação do desperdício e a redução de custos e investimentos setoriais (PROCEL/ELETROBRÁS, 2010).

Dada a necessidade dos programas de eficiência energética destinados aos diversos segmentos da economia, foram criados subprogramas no âmbito do PROCEL, sendo um deles o PROCEL Indústria, que tem por objetivo dar suporte aos diversos segmentos industriais, buscando a melhoria do desempenho energético das indústrias.

A experiência internacional mostra que a grande maioria dos países industrializados já vem adotando políticas públicas que visam melhorar a eficiência energética de suas instalações industriais. Pode-se citar, por exemplo, o Japão que, através da integração de políticas tecnológicas, energéticas e ambientais, atingiu um dos níveis de intensidade energética mais baixos entre os países da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) (REIS *et al*, 2005).

Sendo assim, são essenciais políticas públicas adequadas à realidade brasileira, onde as barreiras de ordem técnica, econômica e social devem ser levadas em consideração para que melhores resultados sejam atingidos. Desse modo, em muitos dos casos, a redução no consumo de energia pode resultar da reestruturação de um processo de produção, somado aos programas de treinamento e conscientização dos colaboradores de uma determinada empresa.

Investir em eficiência energética significa postergar investimentos do setor elétrico, principalmente sob a ótica da oferta, pois a construção de novas usinas é minimizada e, conseqüentemente, os investimentos nos sistemas de transmissão.

O segmento industrial possui considerável relevância quanto à demanda de energia na matriz elétrica brasileira. Contudo, os esforços apresentados pelo Governo para viabilizar mecanismos de incentivo à eficiência energética – através de programas cuja finalidade é promover o uso racional da energia elétrica, como: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL); o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e; os Programas de Eficiência Energética (PEE) das concessionárias distribuidoras de energia elétrica, supervisionado pela Agência Nacional e Energia Elétrica (ANEEL) – ainda são ínfimos se comparados ao potencial de redução do consumo de energia elétrica existente no país.

Particularmente, o segmento metalúrgico compreende seis grupos de atividades: a produção de ferro-gusa e de ferroligas, siderurgia, fabricação de tubos (exceto em siderúrgicas), metalurgia de metais não-ferrosos, fundição e outros produtos metalúrgicos acabados. Nesse segmento têm-se empresas com perfil energo-intensivo, ou seja, aquelas que utilizam muita energia, e outras em que a utilização de energéticos é menos intensa, caracterizadas por empresas não energo-intensivas. No que se refere às ações de eficiência energética no segmento industrial, em especial nos setores não energo-intensivos, a principal barreira à implantação de tais medidas está na falta de informação e capacitação de seus agentes (LEITE *et al*, 2010).

Sendo assim, objetivando alcançar melhores resultados, nesse segmento, quanto ao uso da energia elétrica, ressalta-se a importância da caracterização de seu uso. Em consonância, de uma análise mais detalhada das principais grandezas relativas à energia elétrica nas instalações industriais, pode-se apontar melhores práticas que levem ao uso eficiente desse insumo.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo desta dissertação é caracterizar o uso da energia elétrica e avaliar as perspectivas de ganhos de eficiência no consumo deste energético em três empresas de diferentes ramos do segmento metalúrgico no Estado de São Paulo.

Desse modo, no intuito de estruturar com clareza e objetividade, este trabalho foi dividido em 6 capítulos. O Capítulo 2, denominado Eficiência Energética no Brasil, versa sobre os principais programas de incentivo à eficiência energética no país e as fontes de financiamento aos projetos dessa natureza. Também foram apontadas as principais barreiras, de ordem técnica e econômica, encontradas em literatura que ainda impedem a expansão da eficiência energética no país.

No Capítulo 3, nomeado Setor metalúrgico foi realizada uma breve caracterização do setor quanto ao consumo de energia elétrica na metalurgia e, em especial, no segmento outros da metalurgia, enfoque deste trabalho. Este capítulo também caracterizou as três empresas analisadas e de forma sucinta descreveu alguns dos processos de produção empregados nestas.

O Capítulo 4, Metodologia para obtenção dos dados do insumo energia elétrica, objetivou a caracterização do sistema de aquisição de dados utilizado durante a pesquisa, descreveu a metodologia empregada para o diagnóstico do uso da energia elétrica. E por fim, neste capítulo foi apresentada uma breve revisão sobre os principais parâmetros que são relacionados a eficiência energética analisados ao longo do trabalho.

O Capítulo 5 apresenta as análises relativas ao uso da energia elétrica nas empresas em questão. Foi realizada uma breve análise sobre os ganhos que podem ocorrer caso medidas de eficiência energética fossem adotadas pelas empresas em questão.

Por fim, têm-se o Capítulo 6, denominado Conclusões, onde são apresentadas as principais opiniões a respeito deste trabalho, bem como algumas propostas que podem ser realizadas em trabalhos futuros.

## **2 Eficiência Energética no Brasil**

### **2.1 Contextualização**

O aumento no consumo de energia elétrica, embora também possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, trás consigo algumas externalidades. Para atender a demanda de energia, novas usinas geradoras, sistemas de transmissão e distribuição devem ser construídos. No entanto, tais empreendimentos estão quase sempre associados a grandes investimentos, longos prazos para a conclusão das obras e significativos impactos ambientais.

A série histórica do setor industrial do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2010, do Ministério de Minas e Energia (MME), mostra que no período de 2000 a 2009, de um modo geral, a tendência tem sido o aumento no consumo de eletricidade no País.

Neste contexto, o uso eficiente da energia elétrica surge como uma opção estratégica para conter a expansão do consumo sem comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico. Com essa prática disponibiliza-se a energia não consumida a outro consumidor, reduzindo-se a necessidade de expansão do sistema. Conseqüentemente, investimentos em novos empreendimentos para geração de energia são postergados.

Como efeito, se insere os ganhos ambientais agregados à matriz elétrica brasileira por meio das ações de eficiência energética, que vem se tornando uma medida passível, cada vez mais representativa, de ser utilizada na redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa na cadeia de produção da energia (CGEE, 2008). Apesar da redução do consumo de energia não refletir diretamente na redução de emissão desses gases, esta possibilita a redução indireta, pois, a energia elétrica evitada não precisa ser gerada e os referidos gases não são emitidos (GEDRA, 2009).

Esses são alguns dos argumentos que justificam destacar a eficiência energética quando se analisa em perspectiva a oferta e o consumo de energia. Tal motivação se justifica mesmo em um país como o Brasil, em que o custo de produção da energia é, de modo geral, economicamente competitivo e cuja matriz energética está associada a fontes renováveis (EPE, 2010 b).

Em 2008, incluindo os recursos da Reserva Global de Reversão (RGR) foram investidos, através do PROCEL, aproximadamente R\$40 milhões na execução de projetos de eficiência energética, que por sua vez, proporcionaram uma economia de energia estimada em 4,1 mil GWh. Com esta economia postergaram-se investimentos na ordem de R\$2,7 bilhões (ELETROBRÁS, 2009).

De acordo com a CNI/ELETROBRÁS (2009), do montante de R\$161 milhões investidos nos últimos 10 anos em projetos de eficiência energética na indústria, foi gerada uma economia de 626 GWh, que resulta em um Custo de Energia Conservada (CEC) de R\$79/MWh. Com o custo marginal de expansão do sistema de energia elétrica estimado pela EPE (Plano Decenal 2007/2016) em R\$138/MWh, a eficiência energética no referido setor torna-se uma alternativa viável, pois a mesma quantidade de energia pode ser disponibilizada a preços mais atrativos.

## **2.2 Os principais programas de eficiência energética no Brasil**

Um programa de conservação de energia tem por finalidade diminuir a demanda de energia útil e, principalmente, aumentar a eficiência de conversão nos usos finais sem que se tenha prejuízos nas atividades econômicas (Gorla, 2009). Dessa forma, se ganha com o aumento da competitividade dos bens e serviços produzidos.

Promover a eficiência energética é, essencialmente, utilizar o conhecimento de forma aplicada, empregando os conceitos de engenharia, da economia e da administração aos sistemas energéticos. O uso eficiente e racional da energia é um objetivo a ser buscado em qualquer conjuntura, em que a conciliação dos custos de investimento e dos custos operacionais em bases corretas é sempre desejável (MARQUES *et al*, 2006).

Os mecanismos para a promoção ao uso eficiente da eletricidade se dividem, essencialmente, em dois grupos:

- os tecnológicos, que se referem aos investimentos em equipamentos e instalações/processos, que permitem a redução das perdas;

- os comportamentais, que são realizados por meio de ações educativas da população, incentivando as mudanças de hábito que reduzam o consumo.

### 2.2.1 A experiência nacional

Em 1985 foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), criado em 1985, com o objetivo de promover o uso racional do consumo de energia elétrica, visando à redução do desperdício de energia e conseqüente redução de custos e investimentos setoriais. Os resultados acumulados pelos PROCEL nos últimos cinco anos são apresentados na Figura 2.1.

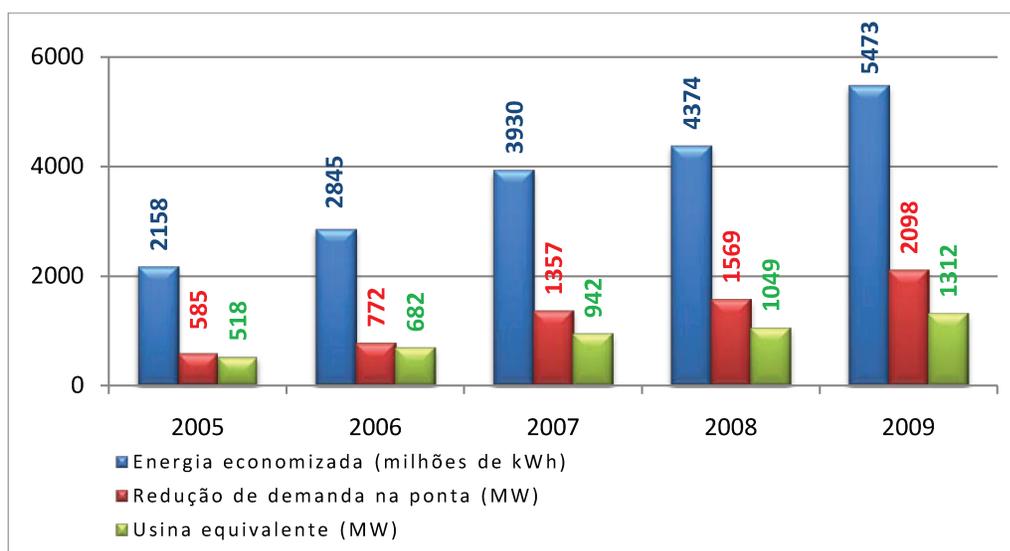


Figura 2.1 - Resultados acumulados pelo PROCEL

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do PROCEL (2009)

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), cujo produto principal é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), classifica os equipamentos elétricos em níveis de eficiência. De modo geral, os produtos caracterizados pela faixa “A” da ENCE são contemplados com o Selo PROCEL, que identifica os equipamentos mais eficientes, dentro de cada categoria, estimulando, dessa forma, a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes.

O PROCEL é composto por subprogramas, sendo um deles, o PROCEL Indústria que, em seu escopo, contempla o suporte aos diversos segmentos industriais buscando a melhoria do desempenho energético das indústrias. O foco deste subprograma está no projeto de otimização de sistemas motrizes, que é um dos maiores responsáveis pelo consumo de energia elétrica no setor industrial.

Este subprograma conta com a participação de agentes do setor, como por exemplo, a Confederação Nacional da Indústria (CNI), as federações estaduais de indústrias do País, as indústrias interessadas e as universidades públicas.

No intuito de reconhecer e incentivar as ações de eficiência energética no País, o Governo criou, em dezembro de 1993, o Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. A premiação, instituída pelo Ministério de Minas e Energia, é uma iniciativa da ELETROBRAS/PROCEL e da PETROBRAS/CONPET.

Esta premiação anual é concedida a várias categorias, tais como: Edificações, Imprensa, Empresas do Setor Energético, Indústrias, Micro e Pequenas Empresas, Órgãos e Empresas da Administração Pública. Em seu escopo, são premiados os melhores projetos que efetivamente adotaram medidas que levaram à redução do consumo de energia, com reflexos positivos no meio ambiente e que despertaram a consciência antidesperdício (ELETROBRÁS, 2010).

Já a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) supervisiona o Programa de Eficiência Energética (PEE) e o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), os quais realizam, entre outros, atividades voltadas a eficiência energética. As principais diretrizes para elaboração do PEE e P&D são definidas na Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e pelas resoluções da ANEEL, específicas para eficiência energética (GUARDIA *et al*, 2010).

Entretanto, os consumidores industriais ainda não são o foco dos investimentos realizados por meio dos PEEs e do Procel. No estudo realizado pela CNI/ELETROBRÁS (2009), a média dos recursos destinados pelo PEE para o setor industrial no período analisado de 1998 a 2006, foi de apenas 9%. O gráfico da Figura 2.2 ilustra os investimentos do PEE, separados por ciclo de aprovação na ANEEL e a parcela destinada aos projetos do setor industrial.

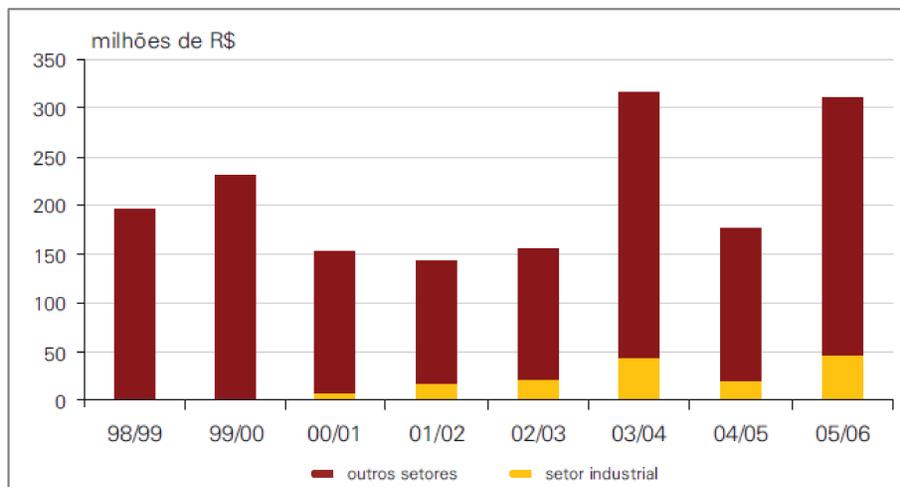


Figura 2.2 - Investimentos do PEE no setor industrial

Fonte: Relatório CNI/ELETROBRÁS (2009)

Um ajuste no foco do PEE destinado ao setor industrial poderia conduzir a ganhos de ordem econômica, social e ambiental. Entretanto, se faz necessário um plano estratégico destinado ao setor, de forma que as políticas públicas necessárias sejam bem definidas, reduzindo, dessa forma, os erros de estratégia para se alcançar as metas (CNI/ELETROBRÁS, 2009).

### 2.2.2 Fontes de financiamento

As fontes de financiamento para promoção da eficiência energética no Brasil ocorrem através dos programas específicos do Governo Federal, sendo a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e o Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) os agentes financeiros utilizados, atuando, respectivamente, mediante os Fundos Setoriais e o PROESCO.

Em 2006, o BNDES criou uma linha de financiamento específica de apoio a projetos de eficiência energética, o PROESCO, que atende as “intervenções que comprovadamente contribuam para a economia de energia, aumentem a eficiência global do sistema energético, ou promovam a substituição de combustíveis de origem fóssil por fontes renováveis” (BNDES, 2010).

As condições de financiamento do PROESCO se baseiam nas diretrizes do chamado BNDES Finem, uma linha de financiamento com objetivos e condições específicas que atendem a diversos nichos de clientes. Os projetos elegíveis ao financiamento do PROESCO se enquadram em duas categorias: as operações de apoio direto, ou seja, aquelas realizadas diretamente com o BNDES; e as operações de apoio indireto, que são aquelas realizadas por meio de instituições financeiras credenciadas.

Os investimentos plausíveis de financiamento podem ser realizados através de ações que busquem a otimização dos sistemas motrizes, térmicos, iluminação, refrigeração, processos eletroquímicos, melhoria da qualidade de energia, correção do fator de potência, dentre outras medidas.

Bernades *et al* (2009) destacam a importância de se fazer uso de um plano de medição específico que atenda as características únicas de um projeto de eficiência energética, uma vez que metodologias de medição e verificação quando bem definidas, ajudam a compreender as reais necessidades e as prioridades desses projetos, resultando em normativas mais eficientes e eficazes quanto à aplicação de recursos.

A FINEP é uma empresa pública vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), que apóia ações de Ciência, Tecnologia & Inovação (C,T&I) de instituições públicas e privadas. A FINEP gerencia 16 Fundos Setoriais, instrumentos de financiamento de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação no País. O CT-ENERG, Fundo Setorial de Energia, é um desses fundos, que é destinado a financiar programas e projetos na área de energia, inclusive no que se refere a eficiência energética no uso final.

A fonte de financiamento provém de uma porcentagem, que varia entre 0,75% e 1%, do faturamento líquido das empresas concessionárias de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (FINEP, 2011). As instituições de pesquisa e desenvolvimento nacionais reconhecidas pelo MCT, assim como as instituições de ensino superior credenciadas junto ao Ministério da Educação (MEC) são passíveis de utilização dos recursos do CT-ENERGE (GUARDIA *et al*, 2010).

### 2.3 Dificuldades para a expansão da eficiência energética

Geller (2003) aborda algumas das dificuldades que ainda impedem a implementação dos projetos de eficiência energética no mundo. De acordo com o autor, algumas dessas barreiras tendem a diminuir com o avanço da parcela de participação da eficiência energética no mercado; contudo, outras barreiras persistirão a não ser que sejam confrontadas por meio da intervenção de políticas públicas. Apresenta-se um resumo das principais barreiras apontadas por Geller e, complementarmente, pode-se encontrar maiores detalhes a respeito destes tópicos na obra de referência.

- a) Infra-estrutura de fornecimento limitada: indisponibilidade de tecnologias eficientes no uso da energia, especialmente, nos países subdesenvolvidos.
- b) Problemas de qualidade: qualidade inferior de alguns produtos eficientes, fabricados principalmente na China, que não resistem às exigências de desempenho. Destaca-se também a baixa qualidade das auditorias energéticas realizadas em países como a Inglaterra e Tailândia.
- c) Informação e treinamento insuficientes: Consumidores, engenheiros e administradores desconhecem, ou não compreendem como otimizar processos a luz da eficiência energética.
- d) Falta de financiamento: deficiência no financiamento dos projetos de eficiência energética com taxas de juros atraentes.

Reis (2005) cita outros empecilhos, destacando os custos e incertezas relacionadas a novas tecnologias sob a ótica do consumidor e dos fabricantes de equipamentos, assim como a falta do conhecimento aprofundado sobre as vantagens econômicas e ambientais na visão do consumidor/investidor.

No que se refere às barreiras da eficiência energética no setor industrial, o relatório elaborado pela CNI/ELETROBRÁS em 2009 identificou alguns problemas específicos de cada setor, ressaltando que as pequenas e médias empresas possuem necessidades diferenciadas. Dentre as barreiras apontadas no referido relatório, destacam-se: a legislação desfavorável aos investimentos em energia, a aversão aos riscos técnicos decorrentes de novas tecnologias e, por fim, a racionalização da energia compete com outras prioridades de investimento dentro de uma indústria.

Vale ressaltar que o PROCEL, por meio de pesquisas de posse e hábitos de consumo de vários setores da economia, tenta sanar, paulatinamente, esta lacuna, que dificulta definir objetivos adequados à realidade brasileira, sobre os programas de eficiência energética nos planos estratégicos do Governo.

## **2.4 O Plano Nacional de Energia 2030 de Eficiência Energética**

O Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 orienta as tendências e limita as alternativas de expansão do setor energético do País. Ele também caracteriza uma das primeiras medidas do Governo no intuito de se estabelecer o planejamento em eficiência energética em longo prazo no País. Tal documento é composto por uma série de estudos que visam fornecer os dados para formulação de políticas públicas, indicando quais são as possíveis estratégias a serem adotadas pelo Governo para a promoção das metas propostas.

No que se diz respeito à eficiência energética, são preconizados no PNE 2030 uma série de recomendações em usos finais, como:

a) motores elétricos: quanto ao uso dos motores elétricos, foram consideradas três medidas de eficiência energética.

- o uso de motores de alto rendimento;

- a adequação da potência do motor à carga;

- o uso de acionadores como os conversores de frequência e reguladores de tensão.

b) calor de processo: para calor de processo são sugeridas algumas medidas para melhoria na eficiência do processo, como o tratamento da água, o isolamento da caldeira e das linhas de vapor, a manutenção dos purgadores.

Já a manutenção através da limpeza das superfícies de condensação, a adequada drenagem de condensado e retirada do ar (NOGUEIRA *et al*, 2005 *apud* PNE 2030) são medidas de baixo custo que podem ter boa repercussão na eficiência do sistema, representando economia de energia elétrica.

c) aquecimento direto: os principais melhoramentos em aquecimento direto na indústria têm sido obtidos em fornos elétricos e se refletem na densidade de potência, dada em kW/m<sup>2</sup> de parede de

forno (SOLERO, 2000 *apud* PNE, 2030). Pode-se aumentar a eficiência energética no uso de fornos melhorando a isolamento, os sistemas de controle, aprimorando o aproveitamento do forno através de planejamento e controle da produção, ou seja, fazendo uso de carregamentos mais próximos da carga nominal, menores intervalos entre bateladas, otimizando o tempo no abrir e fechar portas.

d) iluminação artificial: sugere-se o uso de iluminação natural, que pode ser mais bem explorado, juntamente com a manutenção periódica, principalmente em galpões com pés-direitos altos, com a reposição de lâmpadas, reatores e acessórios danificados e a limpeza dos refletores.

Neste sentido, torna-se imprescindível a adoção de atividades ainda pouco exploradas, tais como os planos de medição e verificação (M&V) nos projetos a serem implementados. Conhecer os dados do consumo de energia elétrica antes e depois da prática das medidas de conservação de energia é fundamental.

Desta forma, os estudos do governo brasileiro estão buscando a definição das metas, prazos e da continuidade da energia conservada. De acordo com o PNE 2030, para que se disponha de uma base de dados mais confiável, deve-se conhecer:

- Os investimentos associados a cada medida de conservação implantada;
- A economia anual de energia que se espera obter com tais medidas;
- O período de amortização de tais investimentos;
- As taxas de desconto dos investidores;
- As informações sobre a posse e os hábitos de uso dos equipamentos afetados por estas medidas.

Com isto, é possível determinar e efetuar a análise econômica com o custo de expansão em longo prazo, determinando a viabilidade ou não da ação.

## **2.6 O Balanço de Energia Útil**

O uso eficiente de energia está associado à noção de conservação de energia. O objetivo de um programa de conservação não é somente conservar energia, mas também o trabalho, porque é este que mede a eficiência produtiva da energia. Um dos procedimentos necessários para a avaliação do desempenho energético consiste na comparação de dados entre a quantidade

de energia final que é consumida nos diversos setores de atividades e nos diferentes usos finais, e a energia útil efetivamente consumida para a produção do bem ou serviço (BERMANN, 2002).

Neste contexto é preciso conhecer o Balanço de Energia Útil (BEU), que é uma ferramenta que permite processar as informações setoriais do BEN para obter estimativas da energia final aplicada aos usos finais, tais como: força motriz, calor de processo, aquecimento direto, refrigeração, iluminação, eletroquímica e outros usos (BEU, 2005).

Através do Modelo para a Avaliação do Potencial de Economia de Energia (MAPEE), um conjunto de planilhas processa os dados referentes ao consumo de energia final por fonte de energia, cujos resultados são as estimativas do potencial de economia de energia, com base nos rendimentos de referência para os processos considerados, com o mesmo nível de desagregação.

A Energia Final é composta pela soma de duas parcelas: a energia útil e a energia perdida. Esta, por sua vez, é composta pela soma do potencial de economia de energia (estimado pelo MAPEE) com a energia não recuperável (apurada por diferença). A Figura 2.3 resume os resultados da aplicação do BEU para os anos de 1984, 1994 e 2004.

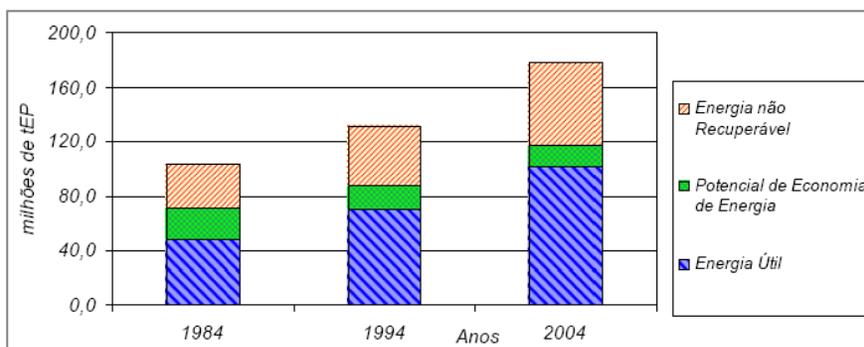


Figura 2.3- Variação da Energia Final, Útil e do Potencial de Economia de Energia

Fonte: BEU, 2005

## 3 Setor metalúrgico

### 3.1 Caracterização do segmento metalúrgico

O segmento da metalurgia básica compreende diversas atividades como a siderurgia, produção de ferro-gusa e de ferroligas, metalurgia de metais não-ferrosos, fundição e o segmento denominado outros da metalurgia. Dentre esses seis grupos de atividades, destacam-se em receita de vendas, a siderurgia, a metalurgia de metais não-ferrosos e, por fim, o segmento de fundição (CETESB, 2010).

O parque produtor de aço brasileiro é representado por 14 empresas privadas, controladas por 9 grupos empresariais, operando com 28 usinas. Em 2009, a indústria do aço foi responsável pela produção, de 26,5 milhões de toneladas de aço bruto, levando o país a ocupar a 9ª posição no *ranking* da produção mundial (IAB, 2010 a).

De acordo com Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico 2009, a metalurgia, em 2008, obteve um faturamento de US\$ 76 bilhões, sendo a siderurgia responsável por 51% desse montante, ou seja, US\$ 38,76 bilhões. O Valor Adicionado (VA) da metalurgia representou US\$ 41 bilhões, 2,6% do PIB nacional e 8,5% do valor adicionado da indústria<sup>1</sup>.

A produção do aço é um indicador do estágio de desenvolvimento econômico do país, visto que seu consumo cresce proporcionalmente às atividades econômicas correlatas à metalurgia, como por exemplo, a construção civil, a indústria automobilística, o comércio, a manufatura, meios de comunicação, entre outros.

Também utilizado nas cadeias produtivas dos bens de capital, equipamentos que não são produzidos para consumo imediato, e sim, para produzir outros bens e serviços como alimentos, eletrodomésticos, material de higiene e limpeza, automóveis, etc, o aço é umas das matérias primas básicas destinadas à produção dos bens de capital utilizados na cadeia de produção de produtos industrializados (IAB, 2010 b). A Figura 3.1 apresenta o percentual da distribuição do aço no País nos principais segmentos consumidores do insumo.

---

<sup>1</sup> Em termos macroeconômicos, o valor adicionado constitui-se da receita de venda dos bens produzidos por uma entidade, deduzidos os custos dos insumos adquiridos de terceiros (matérias-primas, serviços, bens intermediários). É, portanto, o quanto a entidade contribuiu para a formação do PIB do País.

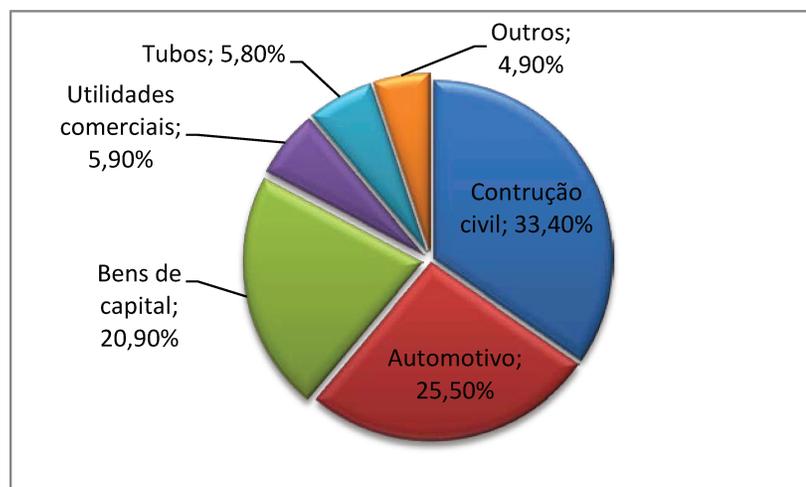


Figura 3.1 - Participação dos segmentos consumidores do aço no Brasil em 2008

Fonte: IAB, 2010 b

Constata-se que os principais segmentos consumidores do aço no País são: construção civil, automotivo e de bens de capital, sendo os dois últimos segmentos responsáveis pela produção de bens duráveis, como os automóveis e os eletrodomésticos. Na construção civil, o aço está presente em parte das obras, ou é usado como material principal.

Cabe lembrar que, no segmento automotivo, cuja atividade econômica é correlata à metalurgia, estão instaladas 19 empresas montadoras de veículos, com 40 fábricas localizadas em 8 Estados brasileiros. Em 2009 foram produzidos 3.182.293,00 unidades de autoveículos (automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus) (ANFAVEA, 2010).

A relevância da indústria automobilística pode ser demonstrada pelo total de empregos diretos e indiretos gerados, de modo que, em 2009, foram empregados cerca de 124.478 trabalhadores. E nesse mesmo ano, esta indústria foi responsável por 19,8% do PIB industrial do país, com faturamento<sup>2</sup> de US\$ 68.179 milhões (Anfavea, 2010). A Figura 3.2 apresenta o faturamento e a participação da indústria automobilística no valor adicionado do Brasil no período de 1966 a 2009.

<sup>2</sup> Faturamento sem impostos.

Preços reais de 2009 (IGP-DI média) convertidos em dólar pela taxa média de 2009.

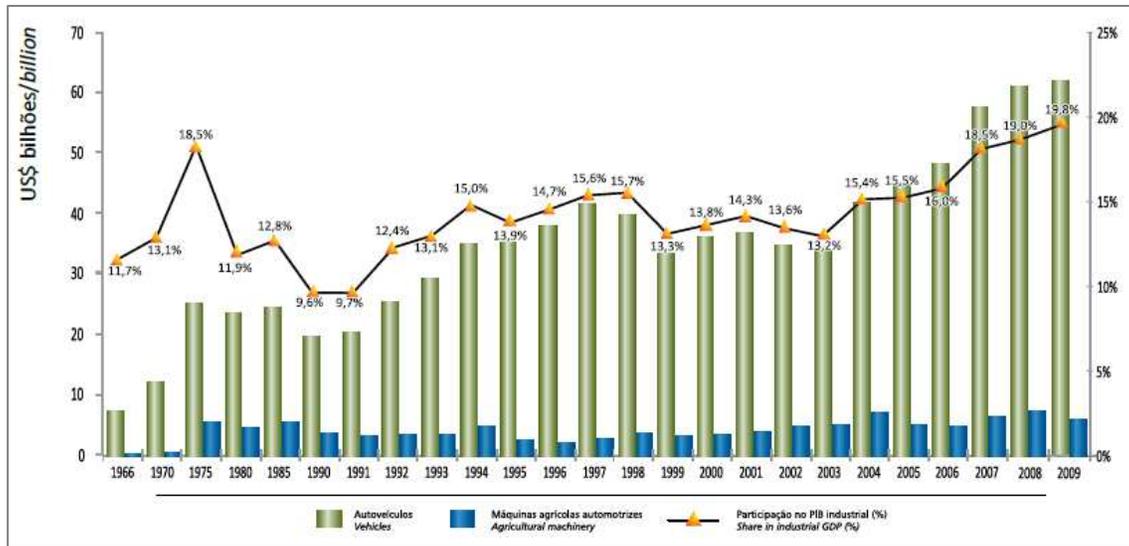


Figura 3.2 - Faturamento e participação da indústria automobilística no valor adicionado industrial do Brasil

Fonte: Anfavea, 2010

Integrando a cadeia produtiva do setor automotivo, também se destaca a indústria de autopeças. As empresas associadas ao Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS) estão localizadas em 11 Estados, são 729 unidades industriais das empresas associadas.

O faturamento<sup>3</sup> da indústria de autopeças, em 2009, foi da ordem de US\$ 34.927 milhões (Anfavea, 2010). O Estado de São Paulo representa 70% do faturamento total do segmento de autopeças do País. Os volumes de exportação e importação, em 2009, representaram respectivamente, 58% e 49,2% do total do País (SINDIPEÇAS, 2010).

Ainda fazendo parte do segmento da metalurgia básica, tem-se o setor denominado fundição, que se caracteriza pela produção de bens intermediários – como por exemplo, lingote de aço produzido nas siderúrgicas – fornecidos para empresas de diversos segmentos, destacando-se as indústrias automobilísticas, de construção ferroviária e naval, de bens de capital (principalmente máquinas e implementos agrícolas) e de base, como a siderúrgica (lingoteiras e cilindros). Outros importantes demandantes de fundidos são o setor de mineração e fabricação de

<sup>3</sup> Faturamento com ICMS e sem IPI.

Faturamento convertido em dólar pela taxa média de 2009.

cimento (corpos moedores e peças de desgaste) e, ainda, o de extração/refino de petróleo (válvulas e outras peças) (SIMÕES e BAJAY, 2010a).

Ainda de acordo com Simões e Bajay (2010a) *apud* Brasil (2007) há cerca de 1,4 mil empresas que fabricam fundidos no Brasil, sendo 94% de pequeno e médio portes e 6% de grande porte. A capacidade instalada das fundições é equivalente a 3,7 Mt ao ano, contudo, com investimentos da ordem de US\$ 500 milhões até 2011 a capacidade instalada deverá ser de 4,0 Mt.

Já o segmento industrial de metais não-ferrosos inclui a produção de alumínio, chumbo, cobre, estanho, magnésio, níquel, silício e zinco. A Tabela 3.1 apresenta a produção primária destes metais no Brasil em 2008. A referida Tabela não contempla os dados do magnésio, pois a única empresa produtora deste metal no País, a Rima Industrial S.A., não tem esse dado divulgado (SIMÕES e BAJAY, 2010b).

Tabela 3.1 – Produção brasileira de metais não-ferrosos primários em 2008 e posição no ranking mundial de produção.

<b>Metal</b>	<b>Produção (toneladas)</b>	<b>Posição no ranking mundial</b>
<b>Alumínio</b>	1.661.100	6°
<b>Zinco</b>	248.874	13°
<b>Cobre</b>	383.846	19°
<b>Silício metálico</b>	219.598	4°
<b>Níquel</b>	35.806	12°
<b>Estanho</b>	10.797	7°
<b>Chumbo</b>	142.450	27°
<b>Total</b>	<b>2.299.952</b>	-

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Anuário Estatístico da Metalurgia (2009)

Conforme a Tabela 3.1, nota-se que as produções de alumínio, zinco, cobre e silício metálico responderam pela quase totalidade da produção total de metais não-ferrosos no Brasil em 2008. Destaca-se a produção do alumínio, fazendo com que o País esteja entre os principais produtores mundiais do minério. A caracterização técnica da produção dos metais não-ferrosos

relacionados na Tabela 3.1 pode ser encontrada detalhadamente em Simões e Bajay (2010b). O gráfico da Figura 3.3 mostra a evolução da indústria de metais não-ferrosos na formação do PIB nacional.

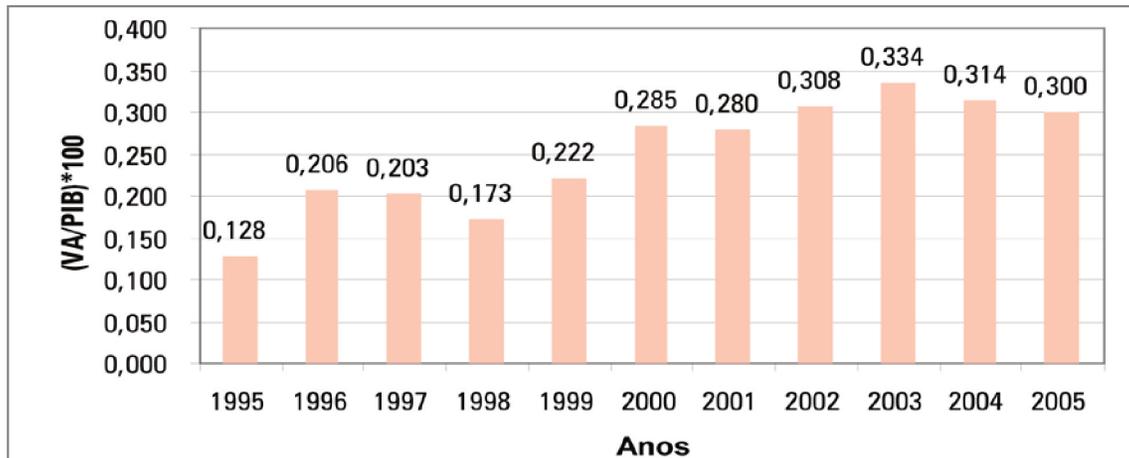


Figura 3.3 - Participação (%) da indústria de metais não-ferrosos na formação do PIB no Brasil no período de 1995 a 2005

Fonte: SIMÕES e BAJAY (2010b)

Constata-se que houve um aumento da participação do segmento de metais não-ferrosos na formação do PIB nacional no período analisado, de 0,128% para 0,3 % em 2005. Ainda de acordo com Simões e Bajay (2010b), este segmento industrial se caracteriza por um comportamento cíclico do seu VA, por conta do comportamento cíclico de seus principais produtos no mercado internacional.

Por fim, tem-se o segmento de ferro-ligas, que são ligas de ferro com outros elementos químicos, como manganês, silício, cromo, níquel, nióbio, entre outros. Cada um desses elementos dá uma propriedade especial ao ferro, como, aumento da dureza, resistência a corrosão, maleabilidade. Como produtos da indústria brasileira desse segmento, destacam-se ferro-ligas de manganês, ferro-silício, ferro-cromo e ligas de níquel (LEITE *et al*, 2010). A Tabela 3.2 apresenta os dados da produção brasileira no segmento de ferro-ligas no ano de 2008.

Tabela 3.2 – Produção brasileira de ferro-ligas em 2008

<b>Ferro-ligas</b>	<b>Produção (toneladas)</b>
Ferro-ligas à base de manganês	1.661.100
Ferro-ligas à base de silício	182.790
Ferro-ligas à base de cromo	199.324
Ferro-ligas à base de níquel	26.694
Ferro-ligas especiais	186.853
<b>Total</b>	<b>2.256.761</b>

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Anuário Estatístico da Metalurgia (2009).

Como mostra a Tabela 3.2, nesse segmento destaca-se a produção de ferro-ligas à base de manganês, utilizadas na fabricação de praticamente todos os tipos de aço e fundidos de ferro. Já o ferro-silício destina-se à produção de aços comuns e as ligas de cromo têm como aplicação principal a fabricação de aço inoxidável (MME, 2009).

Estatísticas macroeconômicas, tais como faturamento e valor adicionado, não foram encontradas para este segmento industrial.

Como pode ser observado, ao longo dessa sessão, a metalurgia é um segmento heterogêneo que engloba vários ramos de atividades. O sub-segmento denominado “Outros da metalurgia”, enfoque deste trabalho, é bem heterogêneo formado por um grande conjunto de empresas muitas delas, de pequeno porte, que fabricam uma grande diversidade de produtos, como, por exemplo, parafusos, porcas, arames, transmissão para carros, eixos, dentre outros. Dados macroeconômicos consolidados a respeito do sub-segmento não foram encontrados.

### **3.2 Consumo de energia elétrica no setor metalúrgico**

O setor industrial ocupa uma posição estratégica na economia brasileira, já que seu crescimento ou retração se propaga aos demais setores da atividade econômica. Esse segmento é responsável por mais de 40% do consumo final de energia elétrica no País. O gráfico da Figura

3.4 mostra o consumo de energia elétrica no setor industrial em 2009 e a sua desagregação nos diversos segmentos que compõem a indústria.

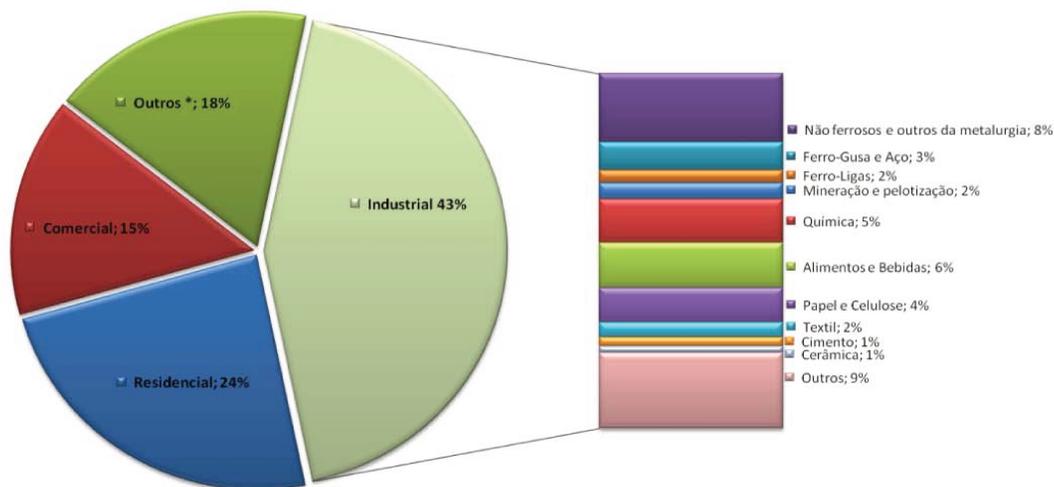


Figura 3.4 - Perfil do consumo de energia elétrica no Brasil em 2009

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (2010)

Constata-se que a parcela do consumo de energia elétrica por parte do setor industrial representou 43% do consumo total deste insumo no País. É interessante mencionar, nesse contexto, que a energia elétrica representa, em média, 30% dos custos variáveis da indústria nacional de ferro-ligas e de silício metálico (MME, 2009). O gráfico da Figura 3.5 ilustra o consumo de energia elétrica no segmento da metalurgia.

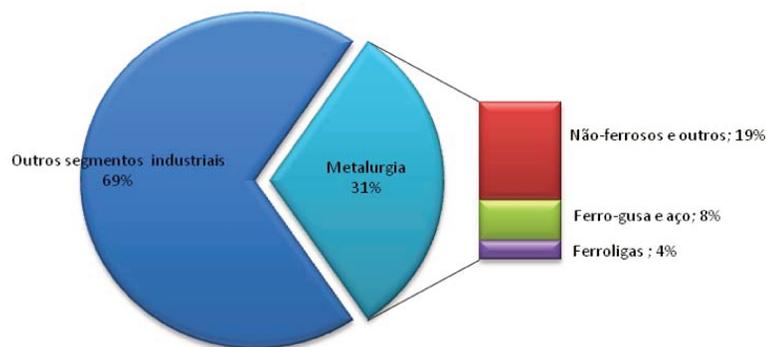


Figura 3.5- Consumo da energia elétrica no segmento metalúrgico em 2009

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (2010)

Os gráficos das Figuras 3.4 e 3.5 mostram a relevância do setor industrial quanto ao consumo de eletricidade na matriz elétrica brasileira. O setor metalúrgico, em 2008, foi responsável por 31% do consumo total de energia elétrica na indústria brasileira. O segmento de metais não-ferrosos e outros da metalurgia representam a maior parcela desta.

O gráfico da Figura 3.6 mostra a produção em toneladas do setor metalúrgico, acompanhado do consumo de eletricidade correspondente, no período de 2005 a 2009.

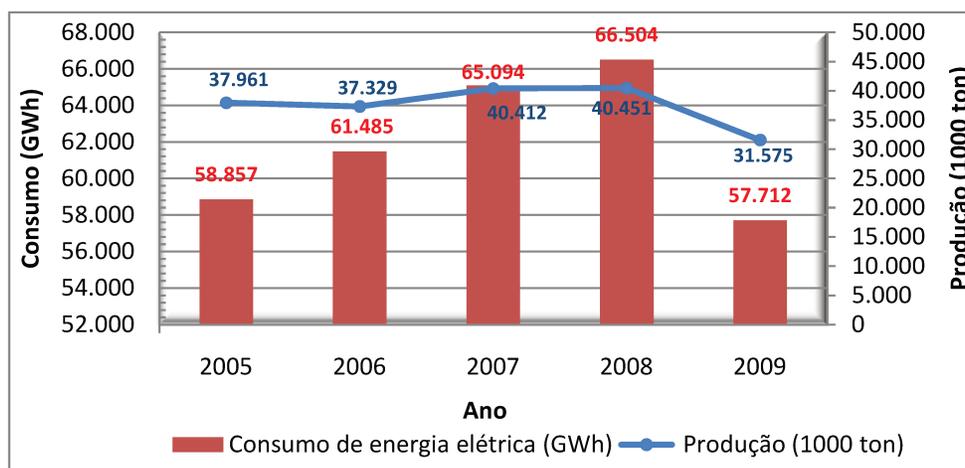


Figura 3.6 - Consumo de energia elétrica e produção no setor metalúrgico<sup>4</sup> no Brasil de 2005 a 2009

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (2010)

Pode-se observar que o consumo de energia elétrica no segmento metalúrgico esteve em constante expansão; todavia, devido aos reflexos da crise econômica internacional, em 2009, houve uma retração do segmento na produção gerada e no consumo de energia elétrica, como pode ser observado ao longo do período da Figura 3.6. A partir dos dados apresentados nessa Figura foram calculados os indicadores de consumo específico de energia elétrica que estão indicados na Tabela 3.3. Observa-se a tendência crescente do consumo específico, revelando oportunidades significativas, de ganhos, de eficiência energética.

<sup>4</sup> Soma ferro-gusa e aço, ferro-ligas e não-ferrosos e outros metalúrgicos.

Tabela 3.3 – Indicadores de consumo específico do segmento metalúrgico

ANO	2005	2006	2007	2008	2009
Produção (1000 t)	37.961	37.329	40.412	40.451	31.575
Consumo de eletricidade (GWh)	58.857	61.485	65.094	66.504	57.712
Consumo Específico (MWh/t)	1,55	1,647	1,611	1,644	1,828

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN (2010).

A energia elétrica é um insumo estratégico em qualquer atividade industrial. A disponibilidade desse insumo é fundamental para que se mantenha a competitividade no cenário mundial. Dada a experiência acumulada ao longo dos anos, no País e no exterior, é cada vez mais evidente o fato que se pode reduzir uma parcela do consumo de energia por meio de iniciativas de eficiência energética.

Conforme projeções do governo federal, através dos estudos realizados pela EPE, é esperado que a indústria como um todo obtenha ganhos em eficiência energética de 9.243 GWh, de acordo com estudos para o Plano Decenal de Energia (PDE) 2010-2019 (EPE, 2010).

### **3.2.1 Consumo de energia elétrica no estado de São Paulo no segmento de metais não-ferrosos e outros da metalurgia**

O Estado de São Paulo se destaca pela sua importância no cenário socioeconômico do Brasil. Em 2008 foi responsável por 33% do PIB nacional a preços correntes. A indústria de transformação paulista, nesse mesmo período, contou com um crescimento de 4,4% de seu VA. De um modo geral, todos os segmentos apresentaram taxas positivas, com destaque para máquinas, aparelhos e materiais elétricos, produtos farmacêuticos e automobilísticos (SEADE, 2011).

Dada a relevância do setor industrial do Estado de São Paulo, a eficiência energética torna-se uma ferramenta estratégica ao desenvolvimento da economia, devido não só aos ganhos postergados em investimentos necessários à expansão do sistema elétrico (geração, transmissão e distribuição), bem como a contribuição indireta da redução dos impactos ambientais e sociais. A

Figura 3.7 mostra a evolução da oferta e do consumo de energia por setores no Estado de São Paulo. A evolução do consumo de energia no segmento industrial paulista é notória.

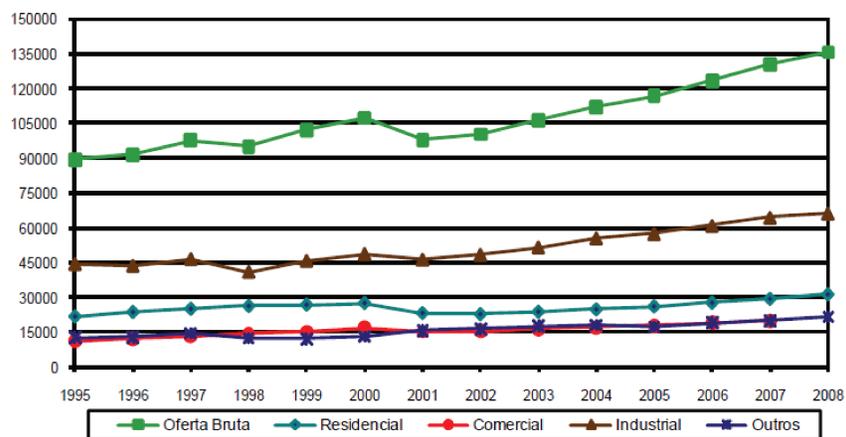


Figura 3.7 – Evolução da oferta e consumo de energia elétrica (GWh)

Fonte: BEN-SP (2009)

A Figura 3.8 ilustra a evolução do consumo de energia elétrica no segmento não ferrosos e outros da metalurgia. Dados desagregados desses dois segmentos não foram encontrados no Balanço Energético do Estado de São Paulo 2009.

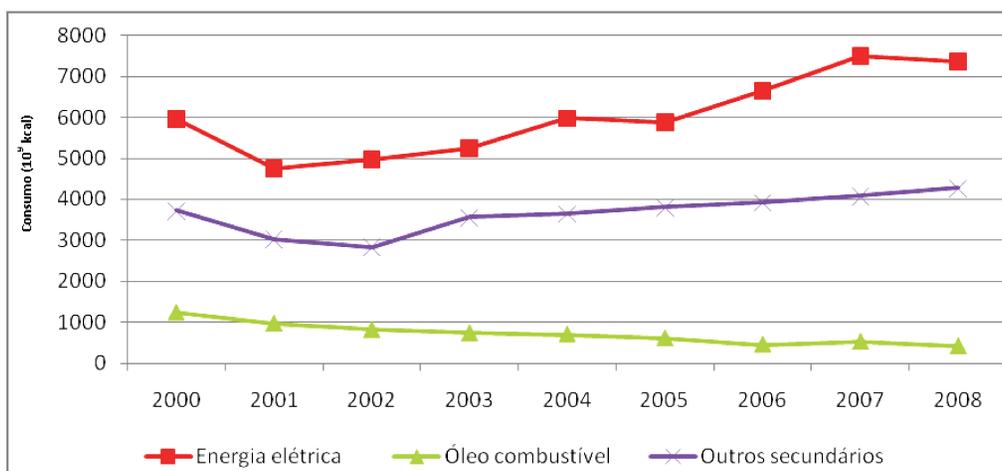


Figura 3.8 – Evolução do consumo de energéticos no segmento não-ferrosos e outros da metalurgia

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do BEN-SP (2009)

Pode-se observar, na Figura 3.8, que a parcela de energéticos mais representativa nos segmentos não-ferrosos e outros da metalurgia refere-se ao consumo da energia elétrica seguida do consumo de óleo combustível usado, geralmente, para geração de energia no horário de ponta.

### **3.3 – Barreiras para a eficiência energética no setor metalúrgico**

Através da parceria Eletrobras/Procel, CNI e da consultoria do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) foi elaborado um estudo que gerou uma série de relatórios relacionados à eficiência energética na indústria, disponíveis no portal do *Procel Info*. Tais relatórios caracterizaram a experiência brasileira em eficiência energética, as principais oportunidades e barreiras para o desenvolvimento do mercado de eficiência energética no País.

Nos relatórios de oportunidades de eficiência energética para a indústria dos segmentos de ferro-ligas, fundidos e metais não-ferrosos, foram apontadas as principais barreiras ao uso racional (Leite *et al*; Simões a e b, 2010) sendo elas:

- Estrutura legal pouco atrativa para cogeração, ou produção de energia independente;
- Necessidade de treinamento de pessoal para identificar oportunidades de eficiência energética e para fazer a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis;
- Indisponibilidade de determinadas tecnologias;
- Racionalização do uso de energia compete com outras prioridades de investimento;
- Elevados investimentos iniciais;
- Incerteza quanto aos preços de energia e altos custos iniciais dos investimentos, devido aos impostos de importação;
- Restrições ao financiamento (específico para o setor de ferro-ligas).

A principal barreira à implantação de ações de eficiência energética nos setores não energo-intensivos, a exemplo do segmento outros da metalurgia, está na falta de informação e capacitação sobre o assunto. Esse segmento carece de técnicos qualificados capazes de difundir

as vantagens de implementar ações de eficiência energética. Dificuldades de financiamento por parte das empresas, de pequeno ou médio porte, também são citadas (LEITE *et al* 2010).

### **3.4 – Os PEEs no setor da metalurgia**

No relatório divulgado pela CNI/ ELETROBRÁS/PROCEL denominado “Estudos de Caso”, que teve uma consultoria dos pesquisadores da Universidade Federal de Itajubá (Unifei) foram analisados 217 projetos de eficiência energética, com o propósito de identificar experiências concretas e explorar possibilidades de incremento da eficiência energética nas indústrias do País.

Dentre os segmentos industriais analisados, destacam-se a siderurgia, minerais metálicos, minerais não metálicos, fundição, automotivo e outros da metalurgia. Como as empresas analisadas nesse trabalho pertencem ao segmento, outros da metalurgia, nessa sessão apresenta-se os resultados do relatório para esse segmento.

No segmento outros da metalurgia foram investidos R\$ 6 milhões entre 2003 e 2005, sendo o quarto maior investimento entre os segmentos industriais analisados no projeto. Com 14 projetos implementados, a economia gerada foi de 31 GWh/ano. O custo médio por projeto (CMP) foi de R\$ 428 mil, para um Custo da Energia Conservada<sup>5</sup> (CEC) (anualizado) de 60 R\$/MWh (Guardia *et al*, 2010b).

Fazendo um paralelo com o Custo Marginal de Expansão (CME) do sistema elétrico brasileiro, estimado em R\$ 138/MWh (PDE, 2007), pode-se afirmar que as ações de eficiência energética no segmento tem sido uma alternativa viável.

A Figura 3.7 ilustra quais foram os principais usos finais em que se implementaram ações de eficiência energética no segmento outros da metalurgia.

---

<sup>5</sup> O tempo médio de duração das ações de eficiência energética adotado foi de 10 anos e uma taxa de desconto anual de 12%

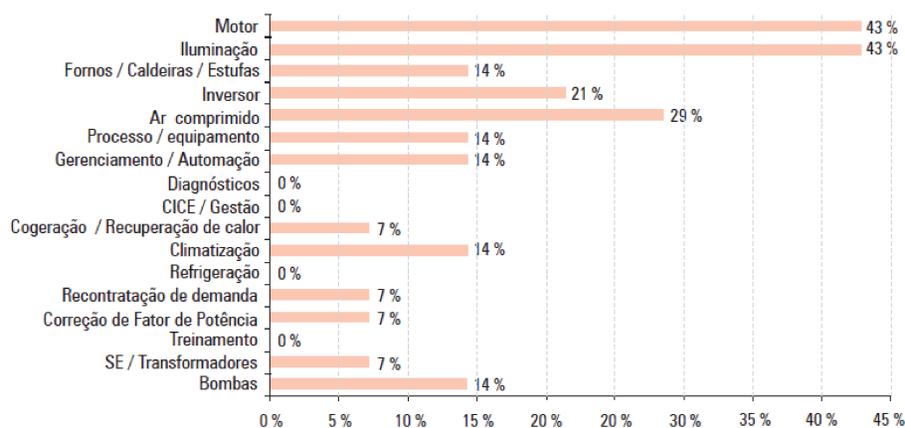


Figura 3.9 – Ações de eficiência energética nos usos finais do segmento outros da metalurgia

Fonte: Guardia *et al*, 2010b

Constata-se na Figura 3.7, que a substituição do sistema de iluminação e a de motores foram as ações mais implementadas, adotadas por 43% das empresas. Outras medidas adotadas ocorreram nos sistemas de ar comprimido, na aplicação de inversores, climatização, bombas, entre outros.

Ainda de acordo com Guardia *et al* (2010b), nesse segmento observa-se um intenso uso de sistemas de ar comprimido, seja para o acionamento de máquinas, ou para a movimentação de produtos. Ações como a substituição dos compressores de ar e a redução de vazamentos, produzem ganhos de eficiência energética. Máquinas bobinadeiras são comuns e o controle da velocidade pode representar um potencial de redução de consumo de energia com a aplicação de inversores de frequência. Nenhuma empresa apresentou projetos para implantação da Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE), ou sistema similar de gestão energética.

### 3.5 Caracterização das empresas analisadas e de seus processos de produção

Esse trabalho foi realizado no Estado de São Paulo no período de agosto a outubro de 2010 em três empresas do segmento outros da metalurgia. Essas empresas estão localizadas nos municípios de Diadema, Jundiaí e Matão.

Por serem empresas cujas atividades de produção são distintas, descreve-se, sucintamente, quais são os principais produtos fabricados, bem como, os processos de produção empregados.

A empresa **A** trabalha com processos de trefilação, laminação a frio, endireitamento, retífica, polimento e descascamento de aços especiais, inoxidáveis e ligas especiais (*Inconel*® *Hastelloy*®, Níquel, Cobre Berílio e Titânio). Como produtos acabados têm-se fitas e fios para resistências, parafusos (quadrados, sextavados, retangulares, chatos e abaulados) lâminas encruadas, barras redondas e arames. A instalação industrial possui 13 anos de operação e conta com 96 funcionários. Sua produção mensal situa-se em torno de 30 t.

A empresa **B** fabrica peças torneadas e estampadas destinadas ao mercado automobilístico como: pinos, pivôs, buchas, porcas, parafusos, eixos, etc. Essas peças são fabricadas em cobre, latão, aço (corte-livre) e alumínio. A instalação industrial também possui 13 anos de operação e conta com 57 funcionários. Sua produção mensal situa-se em torno de 400.000 peças.

A empresa **C** fabrica equipamentos para soldagem, como transformadores, retificadores, cabeçotes tracionadores de arame eletrodo para soldagem MIG/MAG<sup>6</sup> e arco submerso, fontes TIG<sup>7</sup>, fontes MIG/MAG, conversores/geradores de solda, oficinas rurais e geradores de energia. A instalação industrial possui 100 anos de operação e conta com 430 funcionários. Sua produção mensal situa-se em torno de 86.000 kVA de potência em máquinas produzidas.

A descrição da rotina de trabalho das atividades de chão de fábrica e escritório das empresas analisadas encontra-se no Anexo A.

A trefilação é um dos processos de fabricação empregados nas empresas A e C e consiste na fabricação de arames e barras finas de metal. Esse processo se baseia na tração do metal, através de uma matriz chamada trefila ou trefiladeira, aplicada na saída da matriz. Geralmente a parte metálica apresenta simetria circular, embora isto não seja um requisito necessário. As aplicações desse procedimento são voltadas para produção de fios elétricos, cabos, barras, arames, dentre outros.

A Figura 3.10 ilustra o fluxograma para a montagem e produção de transformador de solda.

---

<sup>6</sup> *Metal Inert Gas; Metal Active Gas*

<sup>7</sup> *Tungsten Inert Gas*

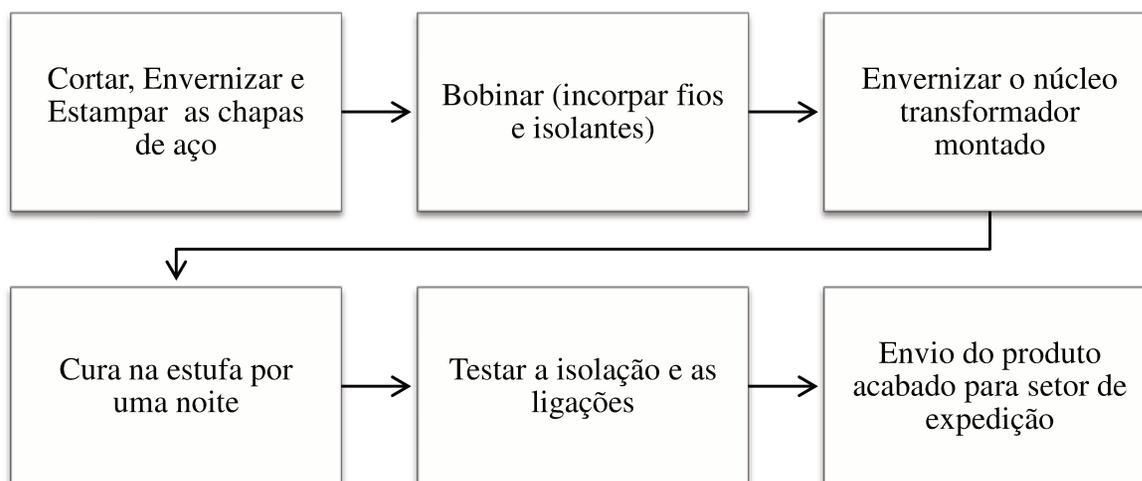


Figura 3.10 – Fluxograma produção transformador de solda

Fonte: Elaboração própria

## **4 Metodologia para obtenção dos dados do insumo energia elétrica**

Esse trabalho buscou caracterizar o perfil do uso do insumo de energia elétrica de algumas empresas do segmento metalúrgico do estado de São Paulo. Sendo assim, são descritas, de forma sucinta, as etapas que possibilitaram a realização desse trabalho.

Na primeira etapa, disponibilizou-se um questionário *on-line*, que teve por objetivo identificar, de forma preliminar, quais são os processos produtivos, insumos energéticos e os principais equipamentos utilizados no processo de produção de cada uma das empresas.

Após serem analisadas as informações obtidas na primeira etapa, foram realizadas visitas às instalações industriais de cada uma das empresas, onde se pode detalhar, sempre que possível, as informações obtidas na etapa 1. Nessa etapa, também foram determinados os circuitos onde seriam instalados os analisadores de energia.

Na última etapa, foram instalados os analisadores de energia elétrica, que realizaram as medições nas instalações elétricas das empresas, possibilitando a obtenção de dados sobre o consumo de energia elétrica. Essas medições foram realizadas durante uma semana típica de operação das empresas, caracterizando o consumo de energia durante o processo de produção.

De posse das informações registradas pelos analisadores, pode-se caracterizar o perfil do consumo da energia elétrica nessas empresas e determinar quais são os parâmetros necessários a estimativa do potencial de eficiência elétrica em cada uma das empresas analisadas. Desse modo, vislumbra-se, quando possível, reduzir os dispêndios com a energia elétrica por meio de ações de eficiência elétrica.

### **4.1 - Sistema de aquisição de dados**

Para aquisição de dados das grandezas elétricas foram instalados os seguintes analisadores portáteis de energia elétrica: *SAGA 4000*, *SAGA 4500*, *RE 6081* e *RE 6000*. A medição de

corrente é realizada através de três sensores tipo alicate que permitem a instalação do equipamento sem interrupção da carga. O conjunto medidor e alicates possuem classe de exatidão de 1%.

O intervalo de registro para medição de demanda foi programado para 15 minutos, como determina a resolução normativa N° 456, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Ao final de cada medição os *softwares Leitor Plawin SAGA 4500* e *ANL 6000*, programas de leitura e análise para o *Windows®*, foram usados para gerar planilhas de dados contendo as diferentes grandezas elétricas, para posterior análise no *software Excel*. As características técnicas e ilustrações dos analisadores portáteis SAGA, modelos 4000 e 4500, RE 6081 e RE 6000 encontram-se no Anexo B.

As empresas A e B, por não serem de grande porte, são alimentadas por um único ponto de suprimento; o esquema elétrico dessas empresas está representado na Figura 4.1.

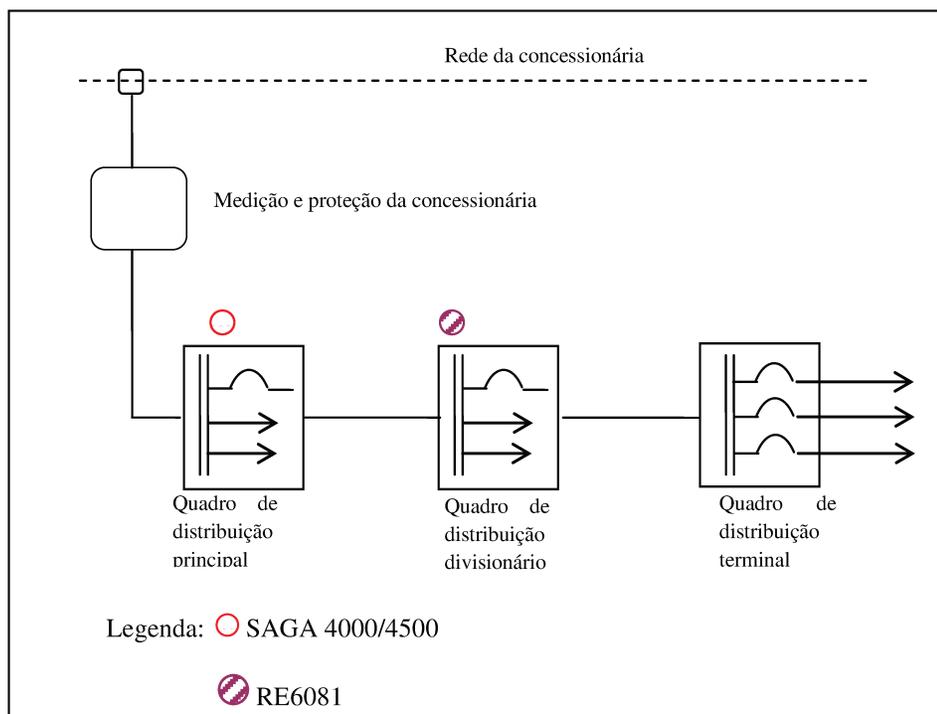


Figura 4.1– Diagrama elétrico simplificado dos quadros de distribuição das empresas A e B  
Fonte: Elaboração própria

A Figura 4.2 ilustra o esquema radial da empresa C e os respectivos locais onde foram instalados os analisadores de energia. Esta empresa possui cinco subestações de transformação alimentadas por dois pontos de suprimento distintos.

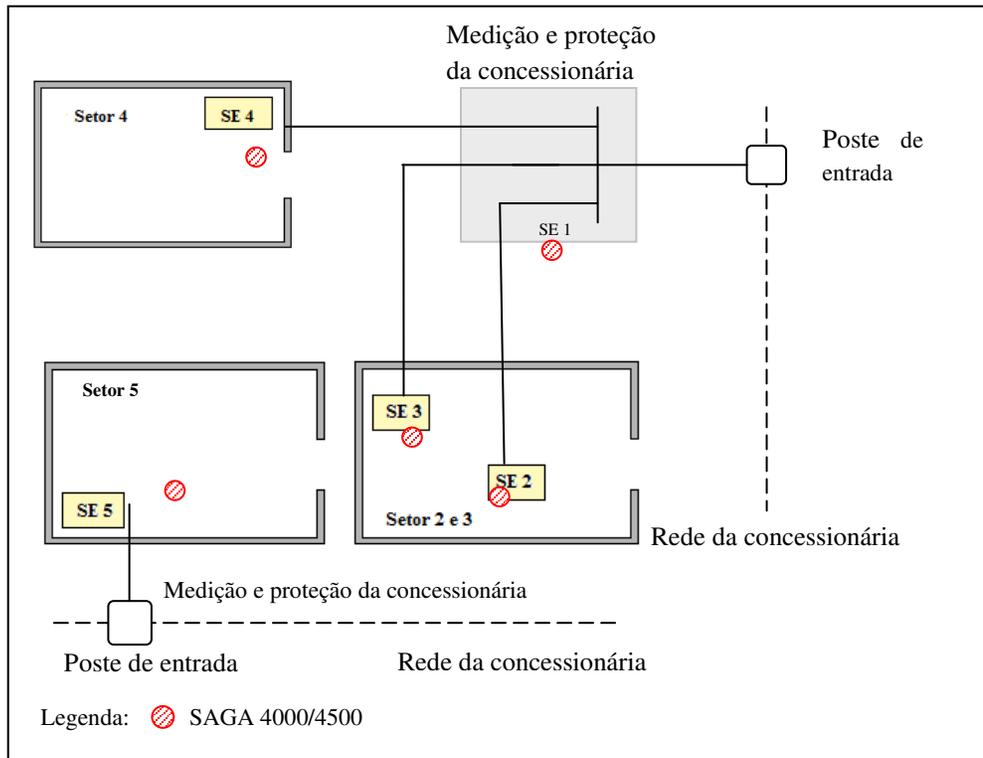


Figura 4.2 – Esquema radial simplificado da empresa C

Fonte: Elaboração própria

A Figura 4.3 ilustra o esquema de medição utilizando o analisador portátil de energia SAGA 4000. Já a Figura 4.4 ilustra o esquema de medição onde foram utilizados simultaneamente os analisadores portáteis de energia SAGA 4500, RE 6081 e RE 6000.

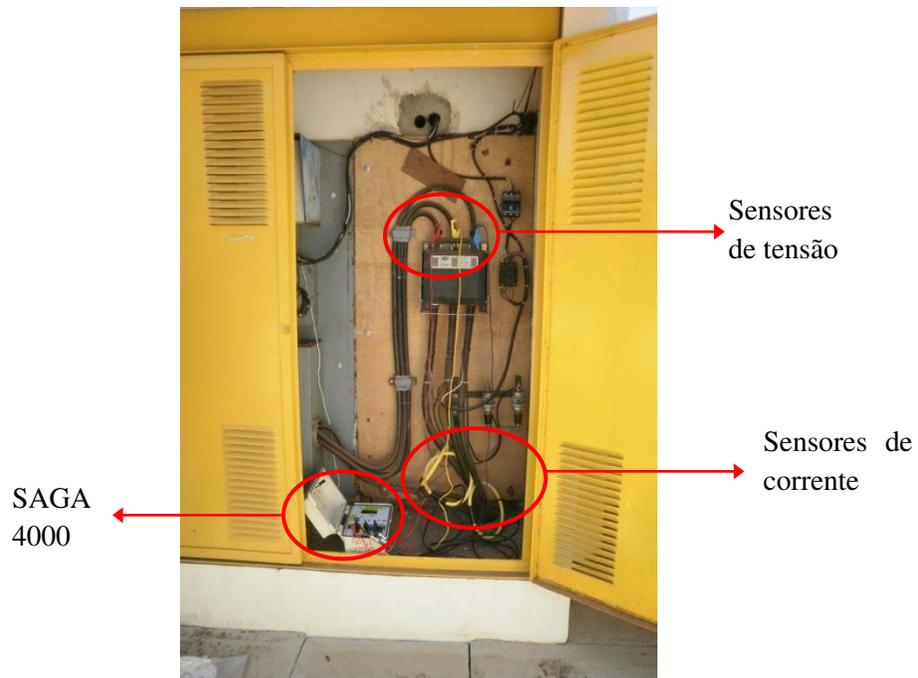


Figura 4.3 – Medição dos parâmetros de energia elétrica utilizando o SAGA 4000.

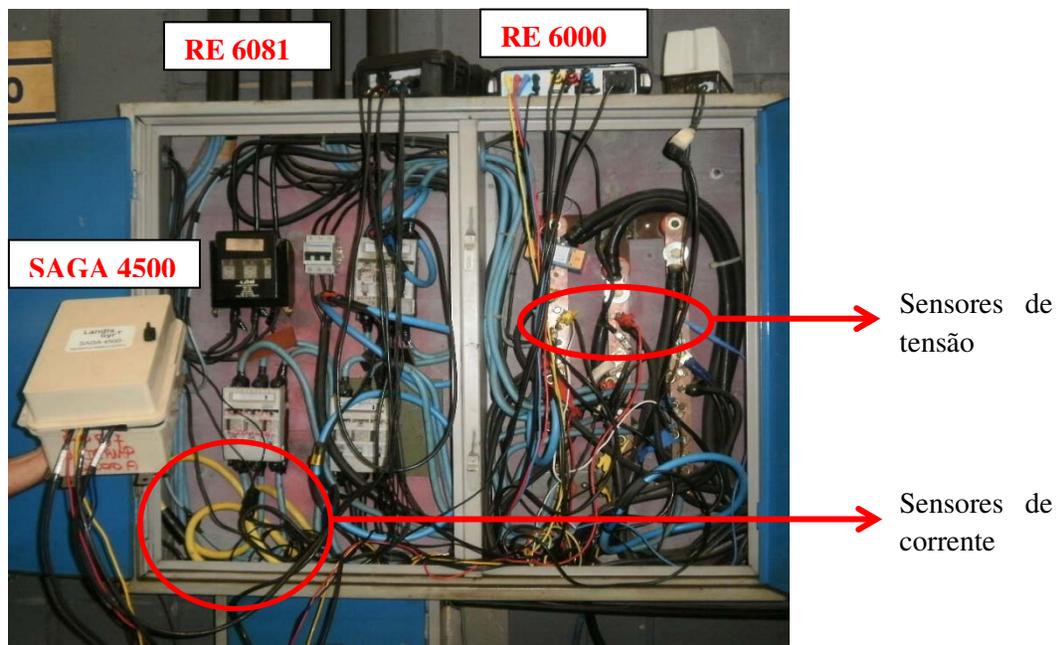


Figura 4.4 – Medição dos parâmetros de energia elétrica utilizando o SAGA4500, RE 6081 e o RE 6000

## 4.2 Caracterização dos ramais de entrada

A empresa A recebe a energia elétrica, em média tensão (13,8 kV), em dois pontos distintos, denominados de conjunto 1 e conjunto 2. A mesma está enquadrada na tarifa horo-sazonal verde, subgrupo A4, classe industrial, sendo a concessionária distribuidora de energia elétrica a AES Eletropaulo. A demanda contratada para o conjunto 1 é de 200 kW e para o conjunto 2 é de 60 kW. As características nominais dos transformadores que atendem os conjuntos 1 e 2 da empresa A são descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características das cabines de transformação da empresa A

Identificação	Potência nominal do trafo (kVA)	Tensão nominal primária (kV)	Tensão nominal secundário (V)
Conjunto 1	250	13,8	220/440
Conjunto 2	225	13,8	220/440

Fonte: Elaboração própria

A empresa B recebe a energia elétrica em um único ponto de alimentação, em média tensão (13,8 kV), está enquadrada na tarifa horo-sazonal verde, subgrupo A4, classe industrial, e sua concessionária distribuidora de energia elétrica é a CPFL Piratininga. A demanda contratada é de 80 kW. As características nominais do transformador que atende a empresa B estão na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Característica da cabine de transformação da empresa B

Identificação	Potência nominal do trafo (kVA)	Tensão nominal primária (kV)	Tensão nominal secundário (V)
Conjunto 1	225	13,8	220/440

Fonte: Elaboração própria

A empresa C também recebe a energia elétrica, em média tensão (13,8 kV), em dois pontos distintos, denominados de conjunto 1 e conjunto 2 e está enquadrada na tarifa horo-sazonal verde, subgrupo A4, classe industrial e sua concessionária distribuidora de energia é a CPFL Paulista.

O conjunto 1 possui quatro cabines de transformação, enquanto o conjunto 2 possui apenas uma cabine de transformação. A demanda contratada para o conjunto 1 é de 900 kW e para o conjunto 2 é de 35 kW. As características nominais dos transformadores que atendem os conjuntos 1 e 2 da empresa C estão descritas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3– Características cabines de transformação da empresa C

Identificação	Potência nominal do trafo (kVA)	Tensão nominal primária (kV)	Tensão nominal secundário (V)
Cabine 1 – Conjunto 1 Teste máquinas e manutenção	112,5	13,8	134/230
Cabine 2 – Conjunto 1 Rebobinagem e escritório	225	13,8	134/230
Cabine 3 – Conjunto 1 Estamparia e usinagem, produtos especiais, conjunto de geradores, máquinas posicionadeiras	225	13,8	134/230
Cabine 4 – Conjunto 1 Reforma de fios magnéticos	225	13,8	134/230
Cabine 5 – Conjunto 2 Alternadores	112,5	13,8	134/230

Fonte: Elaboração própria

## 4.3 Metodologia empregada

### 4.3.1 Diagnóstico do uso da energia elétrica

Na primeira etapa desse trabalho foi disponibilizado um questionário on-line, que é reproduzido no Anexo C, destinado aos responsáveis pela manutenção e utilidades das empresas do setor metalúrgico, com a finalidade de identificar o perfil do consumo da energia elétrica e o porte de cada uma das empresas analisadas.

A segunda etapa consistiu na realização do diagnóstico energético em campo, que teve por finalidade identificar as condições de uso e quantificar quais seriam as utilidades presentes nas unidades fabris. O diagrama da Figura 4.5 indica as etapas adotadas na realização desse trabalho.

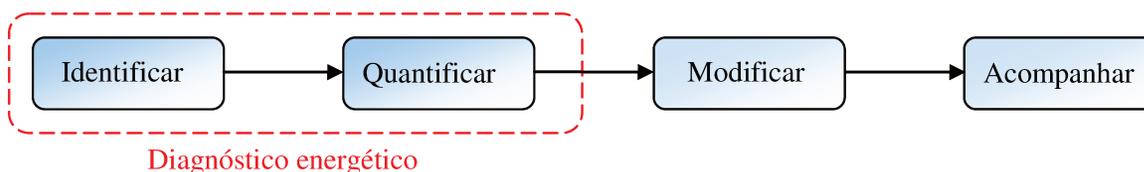


Figura 4.5 – Etapas de um programa do uso racional de energia

Fonte: Marques *et al*, 2006.

Durante a etapa de quantificação foram realizadas as medições em campo com o auxílio dos analisadores de energia, que permitiram obter os dados necessários às análises que são posteriormente apresentadas nesse trabalho.

As etapas de modificação e acompanhamento não fizeram parte do escopo do trabalho, devido não só às limitações de tempo impostas pelo cronograma da pesquisa, bem como pelo fato da adoção das medidas de eficiência elétrica aqui sugeridas estarem sujeitas à análise de viabilidade econômica de implantação por parte dos empresários envolvidos.

### 4.3.2 Quadros de distribuição

Os analisadores de energia auxiliam a identificar perdas que são consequência do desequilíbrio de correntes e do desbalanço de tensões. Desse modo, para uma análise qualitativa, realizaram-se medições de temperatura nos fusíveis dos cabos de alimentação dos quadros de distribuição, com auxílio de um termômetro com mira a laser, objetivando identificar se os mesmos estavam operando em condições normais de trabalho.

A Tabela 4.4 descreve quais são os principais equipamentos atendidos pelas duas chaves do quadro interno de distribuição da empresa A, conjunto 1. Como o conjunto 2 da mesma empresa tem por principal finalidade a expedição do material beneficiado e conta com um número menor de equipamentos que o conjunto 1, realizou-se apenas uma medição do quadro geral de distribuição, para caracterizar o seu consumo de energia.

Tabela 4.4 – Principais equipamentos elétricos da empresa A, conjuntos 1 e 2

<b>Local</b>	<b>Equipamentos</b>
<b>Chave 1</b> <b>Conjunto 1</b>	Trefiladeira 3 cabeças, trefiladeira 2 cabeças, conjunto de resistências elétricas de imersão utilizadas para tratamento térmico, tornos de usinagem
<b>Chave 2</b> <b>Conjunto 1</b>	Tornos de usinagem
<b>Quadro Geral</b> <b>Conjunto 2</b>	Laminadora à frio, forno elétrico (em desuso por falta de demanda)

Fonte: Elaboração própria

A empresa B possui apenas um quadro de distribuição, destinado à alimentação de toda a instalação elétrica em seu interior. A Tabela 4.5 descreve os principais equipamentos, que são alimentados por cada uma das chaves do quadro de distribuição.

Tabela 4.5 – Principais equipamentos elétricos da empresa B, por chave do quadro de distribuição

	<b>Equipamentos</b>
<b>Chave 1</b>	Rosqueadeira, fresadora, prensa, furadeira, prensa hidráulica, torno, lixadeira, retífica, solda ponto, laminadora, dobradeira, esmeril, serra circular, mig TMC 370E, torno multifuso.
<b>Chave 2</b>	Prensas, torno de usinagem, torno multifuso.
<b>Chave 3</b>	Torno multifuso, compressor de ar, chanfradeira, retífica, torno mecânico, torno automático com auto controle, torno automático sem auto controle, politriz, lixadeira, jato de areia, centrifuga a óleo, tambor rotativo

Fonte: Elaboração própria

A empresa C possui 5 cabines de transformação em seu parque fabril. Não foram nomeados todos os equipamentos alimentados por cada uma dessas cabines, por uma questão de objetividade. Essas cabines foram nomeadas de acordo com a linha de produção que cada uma delas atende, conforme mostra a Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Linhas de produção da empresa C, por cabine de transformação

	<b>Linha de produção</b>
<b>Cabine 1</b>	Teste de máquinas e manutenção
<b>Cabine 2</b>	Rebobinagem e escritório
<b>Cabine 3</b>	Estamparia e usinagem, produtos especiais, conjunto de geradores, máquinas posicionadeiras
<b>Cabine 4</b>	Reforma de fios magnéticos
<b>Cabine 5</b>	Alternadores

Fonte: Elaboração própria

As medições realizadas nos quadros de entrada e cabines de transformação objetivaram caracterizar a configuração atual dos transformadores instalados nas indústrias. Desse modo, pôde-se identificar oportunidades, ou não, de melhoria quanto ao carregamento dos transformadores.

#### **4.4 Análise do perfil de utilização da energia elétrica**

##### **4.4.1 Demanda de potência**

De acordo com Haddad (2004), “a análise da demanda tem por objetivo a sua adequação às reais necessidades de uma unidade consumidora”. Quando se pretende reduzir ou até mesmo eliminar, as ociosidades ou ultrapassagens de demanda devem ser analisadas com mais afinco os seguintes itens nas unidades consumidoras:

- Potência contratada
- Potência medida
- Potência efetivamente faturada

Baseando-se nas medições realizadas pelos analisadores de energia, pode-se conhecer o perfil da demanda solicitada à rede durante uma semana típica de operação das unidades fabris.

Ainda de acordo com Haddad (2004), para assegurar mínimas despesas mensais com a parcela referente à energia elétrica, é fundamental que sejam contratados valores de demanda adequados às reais necessidades da empresa. Esse procedimento deve ser observado tanto quando se faz a opção da estrutura tarifária, bem como na renovação periódica dos contratos.

#### 4.4.2 Análise da opção tarifária

Para análise do enquadramento tarifário foram cadastradas as 12 últimas faturas de energia elétrica (agosto de 2009 a julho de 2010) no software Mark Plus IV, desenvolvido pelo Centro de Pesquisa em Energia Elétrica – CEPEL, da Eletrobrás. Maiores detalhes a respeito do software Mark Plus encontram-se no Anexo D.

O software em questão avalia o custo anual do consumo de energia elétrica e de demanda contratada de energia elétrica. Esta análise permite identificar as oportunidades de redução dos dispêndios com a energia elétrica. Através de um novo enquadramento tarifário ou com a adequação da demanda contratada nas empresas objetos de estudo deste trabalho, foi possível avaliar a possibilidade de redução da demanda máxima, que se relaciona com eficiência elétrica.

A Tabela 4.7 apresenta as tarifas para o fornecimento de energia elétrica da distribuidora CPFL Paulista para as categorias de tarifas convencional, horo-sazonal azul e verde para os clientes de alta tensão, subgrupo A4 (2,3 a 25 kV).

Já a Tabela 4.8 apresenta as tarifas para o fornecimento de energia elétrica da distribuidora AES Eletropaulo para as mesmas categorias de tarifas.

Tabela 4.7 – Tarifas da concessionária CPFL Paulista

TARIFAS	Demanda R\$ kWh <sup>-1</sup>		Consumo R\$ MWh <sup>-1</sup>				Ultrapassagem R\$ kWh <sup>-1</sup>	
	Ponta	Fora Ponta	Período seco		Período úmido		Ponta	Fora Ponta
			Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta		
<b>Azul A4 (2,3 a 25 kV)</b>	27,79	6,36	248,66	159,16	225,93	145,97	83,37	19,08
<b>Verde A4 (2,3 a 25 kV)</b>	6,36		894,18	159,16	871,45	145,97	19,08	
<b>Convencional A4</b>	26,35		161,35				79,05	

Fonte: Resolução Homologatória, ANEEL n° 961 de 06/04/2010.

Disponível em: [www.cpfll.com.br/Informa%C3%A7%C3%B5es/TaxaseTarifas/tabid/206/Default.aspx](http://www.cpfll.com.br/Informa%C3%A7%C3%B5es/TaxaseTarifas/tabid/206/Default.aspx)

Tabela 4.8 – Tarifas da concessionária AES Eletropaulo

TARIFAS	Demanda R\$ kWh <sup>-1</sup>		Consumo R\$ MWh <sup>-1</sup>				Ultrapassagem R\$ kWh <sup>-1</sup>	
	Ponta	Fora Ponta	Período seco		Período úmido		Ponta	Fora Ponta
			Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta		
<b>Azul A4 (2,3 a 25 kV)</b>	28,37	6,84	197,34	122,62	178,37	111,61	85,11	20,52
<b>Verde A4 (2,3 a 25 kV)</b>	6,84		856,09	122,62	837,12	111,61	20,52	
<b>Convencional A4</b>	20,45		138,01				61,35	

Fonte: Resolução Homologatória, ANEEL n° 832 de 16/06/2009.

Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh2009832.pdf>

#### 4.4.3 Fator de carga

O fator de carga (FC) é um indicador que informa como uma empresa utiliza a energia elétrica que lhe é disponibilizada pela concessionária. Esse indicador varia de 0 (zero) a 1 (um) e mostra a relação entre o real consumo de energia e a demanda de potência máxima, multiplicada pelo número de horas, dentro de um determinado espaço de tempo (ROCHA e MONTEIRO, 2005).

O intervalo de tempo é convencionado em 730 horas por mês, que representa o número médio de horas em um mês genérico do ano [(365 dias/12 meses) x 24 horas].

Para análise do fator de carga na estrutura tarifária horo-sazonal verde, cujas tarifas de energia são diferenciadas para o horário de ponta e fora de ponta, as 730 horas são divididas em dois intervalos de tempo distintos. Para o horário de ponta o intervalo de tempo médio mensal é de 66 horas, que equivale a 3 horas do horário de ponta multiplicadas por 22 dias úteis do mês. Por conseguinte, para o horário fora de ponta, tem-se 664 horas, resultado da diferença entre as 730 horas do mês e as 66 horas do horário de ponta (MARQUES, 2006).

Desta forma o fator de carga na ponta ( $FC_p$ ) e o fator de carga fora da ponta ( $FC_{fp}$ ), podem ser calculados através das equações (4.1) e (4.2), respectivamente:

$$FC_p = \frac{\text{consumo mensal na ponta}}{\text{demanda mensal (kW) x 66}} \quad (4.1)$$

$$FC_{fp} = \frac{\text{consumo mensal fora da ponta}}{\text{demanda mensal (kW) x 664}} \quad (4.2)$$

#### 4.4.3 Fator de potência

O fator de potência (FP) é definido como a relação entre a potência ativa (potência que é consumida na execução de trabalho) e a potência aparente. Esta última é uma composição vetorial entre a potência ativa e a reativa. A potência reativa, apesar de necessária para o funcionamento de equipamentos como motores elétricos e lâmpadas fluorescentes, não produz trabalho e, portanto, seu consumo deve ser minimizado

Esse índice varia de 0 (zero) a 1 (um). Dessa forma, quanto mais próximo de 1 for o fator de potência, menor será a corrente indutiva que circula pelos condutores e, portanto, menores serão as perdas (COPEL, 2005).

A resolução N° 456 da ANEEL, de 2000, estabeleceu o limite mínimo do fator de potência em 0,92; valores inferiores implicam no pagamento da energia reativa consumida. Logo, a adequação do FP aos limites mínimos estabelecidos implica na eliminação de uma série de

inconvenientes como, por exemplo: quedas e flutuações de tensão, subutilização da capacidade instalada, sobrecarga nos equipamentos de manobra, dentre outros.

O FP será analisado através dos dados registrados pelos analisadores portáteis de energia elétrica mencionados na seção 4.1.

#### **4.5 Indicadores de eficiência energética**

Marques (2006) afirma que a “eficiência energética aumenta quando se consegue realizar um serviço e/ou produzir um bem com uma quantidade de energia inferior a que era usualmente consumida”. Dentre os indicadores de eficiência energética que melhor quantificam essa melhoria destacam-se:

- Consumo específico de energia (CE);
- Fator de carga (FC);
- Custo médio de energia ( $CM_{Energia}$ );
- Intensidade elétrica (IE).

##### **4.5.1 Consumo específico de energia (CE)**

O indicador de consumo específico de energia (CE) permite a análise do consumo (kWh) em relação ao produto gerado, ou serviço prestado; assim obtêm-se os indicadores de desempenho passíveis de comparação a padrões estabelecidos no País e no exterior. Em decorrência desse indicador, projetam-se padrões mais eficientes de consumo de energia elétrica, considerando-se a utilização de produtos e processos de melhor desempenho energético. (MARQUES, 2006).

Como indicado por Marques (2006), para o cálculo do consumo específico de energia de cada empresa utilizou-se a relação (4.3):

$$CE_i = \frac{CA}{QP} \left( \frac{kWh}{t} \right) \quad (4.3)$$

Onde:

CA: consumo de energia (kWh)

QP: produção física, em (t) quando disponível, ou alguma outra unidade

Com os dados do consumo de energia elétrica, extraídos das faturas de energia ao longo de um ano e de posse da informação da produção física no mesmo período, um ano, foram calculados os indicadores de consumo específico para cada uma das empresas.

#### 4.5.2 Custo Médio de Energia ( $CM_{Energia}$ )

O Custo Médio de Energia, também conhecido como custo unitário de energia, relaciona o custo total da fatura com o consumo de energia ao longo de um mesmo mês de referência (MARQUES, 2006). Esse índice é calculado através da relação (4.4):

$$CM_{Energia} = \frac{\text{Custo total da fatura}}{\text{Consumo de energia no mês}} \left( \frac{R\$}{kWh} \right) \quad (4.4)$$

### 4.5.3 Intensidade Elétrica (IE)

A intensidade elétrica (IE) é a divisão do consumo específico (CE) (kWh/unidade de produção) pelo valor unitário de produção (P) (R\$/unidade de produção), ao longo de um mesmo período de referência. Assim, quando se divide um pelo outro, resulta kWh/R\$; ou seja, consumo de energia elétrica por valor agregado pela produção. Tal indicador é calculado através da relação

$$IE = \frac{\text{Consumo Específico}}{\text{Valor unitário da produção}} \left( \frac{kWh}{R\$} \right) \quad (4.5)$$

Quando não se dispõe de dados sobre o valor agregado, o valor unitário de produção, pode-se utilizar dados de faturamento no lugar dos dados de valor agregado.

## **5 Resultados e Discussões**

Neste capítulo são apresentadas as análises relativas ao uso da energia elétrica, que se dividem em:

- análise do enquadramento tarifário;
- análise da demanda de potência;
- análise dos indicadores de eficiência energética: fator de carga, consumo específico, custo médio da energia e intensidade energética.

### **5.1 - Perfil de utilização da energia elétrica**

#### **5.1.1 Análise do enquadramento tarifário**

As estimativas dos custos contempladas nessa seção foram obtidas através do software *Mark Plus 2.0*, que ajudou a verificar se alguma alteração no enquadramento tarifário traria vantagens a cada uma das indústrias analisadas. Para efeitos de comparação mantiveram-se as respectivas demandas contratadas da tarifa horo-sazonal verde (indicadas na seção 4.2) de cada uma das empresas. Já para a tarifa horo-sazonal azul, através dos históricos das faturas de energia elétrica definiram-se os valores médios para a demanda contratada na ponta e fora da ponta. Nesta análise também se considera que a carga instalada e o consumo de energia elétrica das unidades consumidoras (UCs) não sofram grandes alterações.

Nas próximas Tabelas são apresentados os resultados obtidos com as simulações das análises tarifárias através do *software Mark Plus 2.0*. Nas Tabelas 5.1 e 5.2 tem-se a uma

estimativa dos custos anuais da energia elétrica com as tarifas horo-sazonal verde e horo-sazonal azul da empresa A, nos seus conjuntos 1 e 2 respectivamente.

Tabela 5.1 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa A, conjunto 1

	<i>Tarifa horo-sazonal verde</i>	<i>Tarifa horo-sazonal azul</i>
Consumo (R\$)	112.746,10	85.740,89
Demanda contratada (R\$)	23.385,37	111.765,70
Ultrapassagem (R\$)	-	-
Gasto anual total (R\$)	136.131,50	197.506,30

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5.2 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa A, conjunto 2

	<i>Tarifa horo-sazonal verde</i>	<i>Tarifa horo-sazonal azul</i>
Consumo (R\$)	11.216,45	9.019,96
Demanda contratada (R\$)	7.015,61	14.256,46
Ultrapassagem (R\$)	-	-
Gasto anual total (R\$)	18.232,06	23.278,41

Fonte: Elaboração própria

A análise das faturas de energia elétrica dos conjuntos 1 e 2 da empresa A indicou que no período de setembro de 2009 a agosto de 2010, a modalidade tarifária horo-sazonal verde ainda é mais adequada que a modalidade tarifária horo-sazonal azul, tanto para o conjunto 1 quanto para o conjunto 2.

A Tabela 5.3 apresenta os resultados obtidos através da simulação para a empresa B.

Tabela 5.3 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa B

	<i>Tarifa horo-sazonal verde</i>	<i>Tarifa horo-sazonal azul</i>
Consumo (R\$)	46.909,10	35.676,27
Demanda contratada (R\$)	8.268,00	40.342,52
Ultrapassagem (R\$)	1.093,61	-
Gasto anual total (R\$)	56.270,71	76.018,78

Fonte: Elaboração própria

A análise das faturas de energia elétrica da empresa B no período de novembro 2009 a dezembro de 2010 revelou que a modalidade tarifária horo-sazonal azul não seria mais vantajosa que a modalidade tarifária horo-sazonal verde.

Nas Tabelas 5.4 e 5.5 têm-se uma estimativa dos custos anuais da energia elétrica com as tarifas horo-sazonal verde e azul para a empresa C, nos seus conjuntos 1 e 2, respectivamente.

Tabela 5.4 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa C, conjunto 1

	<i>Tarifa horo-sazonal verde</i>	<i>Tarifa horo-sazonal azul</i>
Consumo (R\$)	408.084,50	352.774,30
Demanda contratada (R\$)	86.984,64	382.041,80-
Ultrapassagem (R\$)	-	-
Gasto anual total (R\$)	495.069,10	734.816,10

Fonte: Elaboração própria

A análise das faturas de energia elétrica da empresa C, conjunto 1, indicou que, no período de agosto de 2009 a julho de 2010, a modalidade tarifária horo-sazonalverde ainda é mais vantajosa que a modalidade tarifária horo-sazonal azul.

Tabela 5.5 – Estimativa do gasto anual com energia elétrica da empresa C, conjunto 2

	<i>Tarifa horo-sazonal verde</i>	<i>Tarifa horo-sazonal azul</i>
Consumo (R\$)	17.083,36	16.119,00
Demanda contratada (R\$)	3.311,85	25.011,54
Ultrapassagem (R\$)	2.931,81	-
Gasto anual total (R\$)	23.327,02	41.130,53

Fonte: Elaboração própria

A análise das faturas de energia elétrica da empresa C, conjunto 2, indicou que, no período de setembro de 2009 a agosto de 2010, a modalidade tarifária horo-sazonal verde ainda é mais vantajosa que a modalidade tarifária horo-sazonal azul

Como, na tarifa azul, o valor da demanda no horário de ponta é três vezes maior que o valor da demanda fora da ponta, esta modalidade tarifária só é vantajosa para empresas que conseguem reduzir significativamente sua demanda no período da ponta.

As tarifas horo-sazonais verde e azul ainda são uma das propostas tarifárias mais adequadas ao consumidor industrial. Jannuzzi *et al* (2006) analisaram, a viabilidade de se implantar uma nova modalidade tarifária horo-sazonal no horário das 22h00min horas às 06h00min, no entanto, os custos associados com mão de obra inviabilizaram a proposta.

### 5.1.2 Otimização da demanda de potência

Objetivando a adequação da demanda de potência contratada às reais necessidades de cada empresa, foram analisadas, através do histórico de um ano das faturas de energia elétrica, a demanda de potência contratada e a demanda de potência medida. Tais itens podem ser usados como indicadores de um adequado gerenciamento energético.

Com uma análise mais minuciosa das faturas de energia elétrica pode-se assegurar mínimas despesas mensais, por meio de um contrato de demanda que atenda às reais necessidades da unidade consumidora (UC) evitando, dessa forma, custos desnecessários como, por exemplo, o faturamento por ultrapassagem de demanda contratada, ou, ainda, uma demanda contratada maior do que a demandada pela UC.

Quando uma UC trabalha com valores de demanda de potência contratada e demanda de potência registrada próximos a um mesmo valor, tem-se um contrato de demanda adequado ao perfil de consumo UC, ou seja, paga-se por aquilo que realmente é necessitado (MARQUES, 2006).

Nos gráficos que seguem têm-se um indicativo do perfil de demanda contratada e registrada ao longo de um ano de cada uma das empresas analisadas, de acordo com o *software Mark Plus 2.0*.

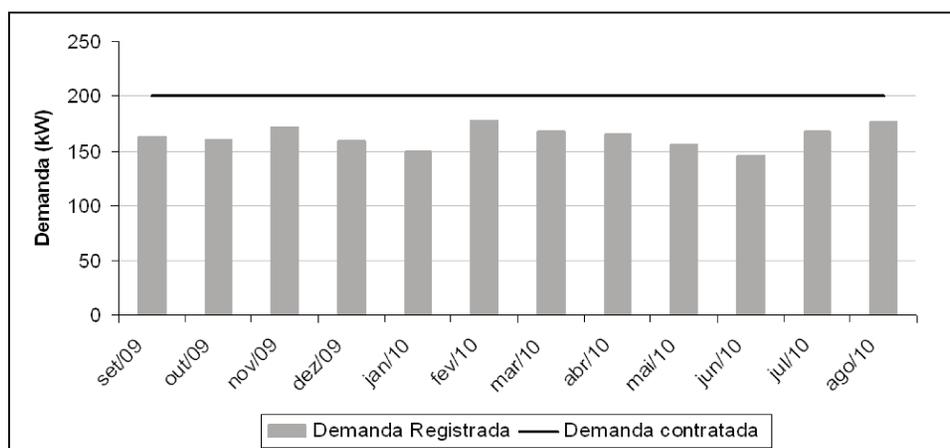


Figura 5.1 – Empresa A conjunto 1 – demanda registrada e contratada, de setembro de 2009 a agosto de 2010

Fonte: Elaboração própria

Observa-se no gráfico da Figura 5.1 que a demanda solicitada pela empresa “A”, conjunto 1 é inferior a demanda contratada, ou seja, paga-se por uma demanda de energia que não é utilizada. Desse modo, é indicada uma alteração no contrato de demanda de 200 kW para 182 kW, mantendo-se o mesmo enquadramento tarifário (horo-sazonal verde); disto, resultaria numa economia anual de R\$ 2.125,94.

A Figura 5.2 ilustra o comportamento da demanda registrada, ao longo de um ano, na empresa A, conjunto 2.

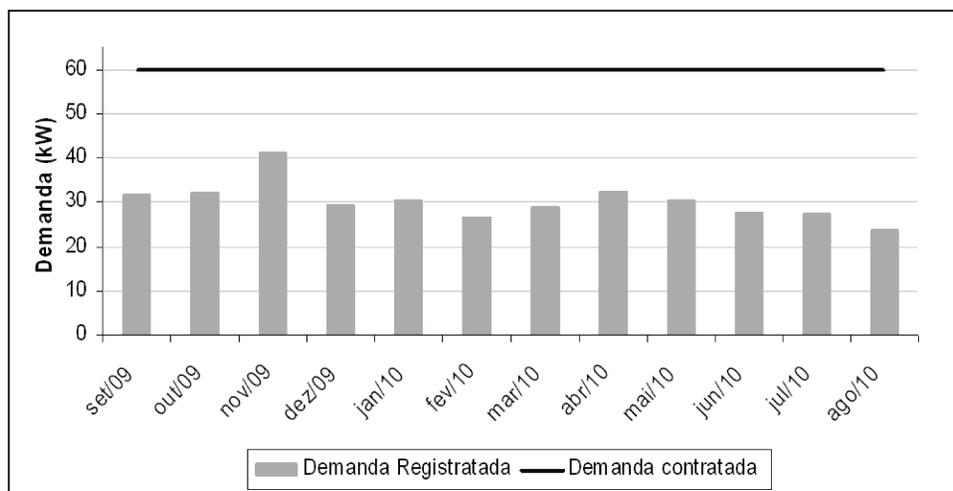


Figura 5.2 – Empresa A conjunto 2 – demanda registrada e contratada, de setembro de 2009 a agosto de 2010

Fonte: Elaboração própria

Assim como no caso anterior, pode-se observar na Figura 5.2 que a demanda solicitada pela empresa A conjunto 2 é bem inferior à demanda contratada. Uma alteração no contrato de demanda de 60 kW para 54,5 kW, mantendo-se o mesmo enquadramento tarifário (horo-sazonal verde), resultaria em economia anual de R\$ 637,78. O comportamento da demanda registrada, ao longo de um ano, na empresa B é ilustrado na Figura 5.3.

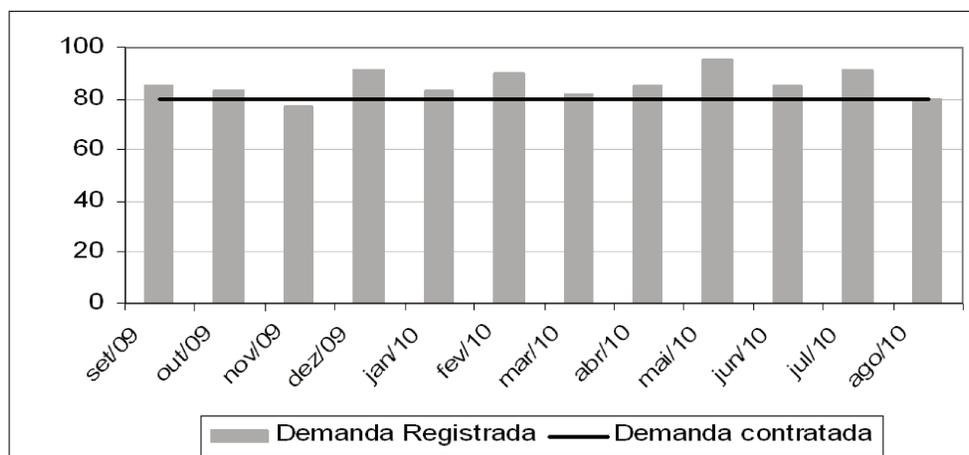


Figura 5.3 – Empresa B - demanda registrada e contratada, de setembro de 2009 a agosto de 2010

Fonte: Elaboração própria

Constata-se, no gráfico da Figura 5.3, que a demanda contratada de 80 kW é inferior à demanda solicitada pela referida UC. No período analisado, em alguns meses ocorreu a ultrapassagem de demanda, resultando em custos desnecessários que podem ser evitados com uma adequação do contrato de demanda.

A tolerância para ultrapassagem da demanda contratada para o grupo A4 (estabelecido pelo artigo 56 da resolução normativa da ANEEL N° 456/2000) é de 10%, sendo o valor da tarifa de ultrapassagem três vezes maior que o valor da tarifa normal de fornecimento. Entretanto, o artigo 93 da resolução normativa da ANEEL N° 414/2010, que entrará em vigor em abril de 2011, altera o limite de ultrapassagem para 5% e a tarifa de ultrapassagem passa a ser duas vezes a tarifa normal de fornecimento.

Isto posto, uma adequação do contrato de demanda torna-se interessante, evitando, dessa forma, o pagamento desnecessário de demanda de ultrapassagem. Sugere-se uma alteração no contrato de demanda de 80 kW para 86,4 kW, mantendo a tarifa horo-sazonal verde, resultando numa economia anual de R\$ 1.232,47.

As Figuras 5.4 e 5.5 ilustram o comportamento da demanda registrada, ao longo de um ano, na empresa C conjuntos 1 e 2.

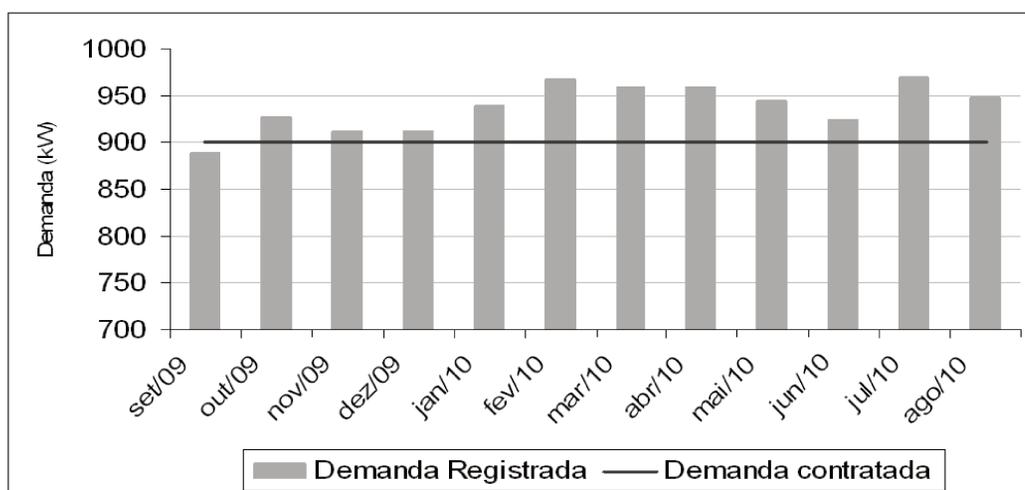


Figura 5.4 – Empresa C, conjunto 1 – demanda registrada e contratada de setembro de 2009 a agosto de 2010.

Fonte: Elaboração própria

Observa-se, no gráfico da Figura 5.4, que o contrato de demanda está adequado ao perfil de consumo da UC, uma vez que o limite de ultrapassagem de demanda (990 kW), de acordo com a Resolução Normativa N° 456, não foi atingindo. Entretanto, caso haja, por parte da empresa um planejamento de expansão do parque fabril, tornar-se-ia interessante realizar uma alteração no contrato de demanda, evitando, assim, dispêndios com a parcela referente à ultrapassagem de demanda.

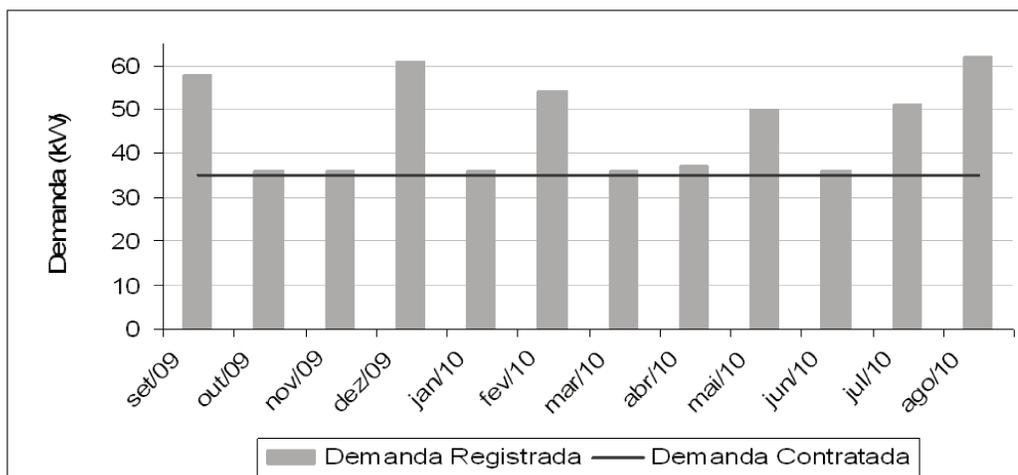


Figura 5.5 – Empresa C, conjunto 2 – demanda registrada e contratada de setembro de 2009 a agosto de 2010.

Fonte: Elaboração própria

A Figura 5.5 indica que o contrato de demanda da empresa C conjunto 2 não está adequado ao seu perfil de consumo. Como a referida UC está enquadrada na tarifa horo-sazonal verde, consumidor A4, com uma demanda contratada de 35 kW, a tolerância para ultrapassagem da demanda é de 38,5 kW.

Contudo, no período analisado, observa-se que os valores de demanda registrados foram superiores ao valor de demanda contratada, o que levou ao faturamento da parcela de demanda de ultrapassagem. Sugere-se uma alteração no contrato de demanda de 35 kW para 56,4 kW, mantendo a tarifa horo-sazonal verde, que resultaria em uma economia anual de R\$ 997,72.

As simulações realizadas nessa seção proporcionaram identificar qual enquadramento tarifário mais se adequava ao perfil de consumo de cada uma das empresas proporcionando,

conseqüentemente, um menor custo médio da energia. Desta análise de adequação demanda pode-se estimar uma demanda evitada de 280 kW ao longo de um ano.

## 5.2 Análise dos indicadores de eficiência energética das instalações

### 5.2.1 Consumo específico de energia (CE)

A Tabela 5.6 apresenta os consumos específicos das três empresas analisadas. Apesar destas empresas pertencerem ao segmento metalúrgico, seus produtos finais são bem distintos. Por isso, a necessidade de ser calculado, a priori, o consumo específico com unidades de produção distintas. A metodologia utilizada para o cálculo deste indicador foi apresentada no capítulo 4.

Tabela 5.6 – Indicadores de consumo específico da produção das empresas analisadas

<i>Empresa</i>	<i>Período Analisado</i>	<i>Consumo médio mensal (kWh)</i>	<i>Produção média mensal</i>	<i>Consumo Específico (CE)</i>
A (conjunto 1 e 2)	Jan./2010 a Jul./2010	39.350,67	28,85 t	1,36 MWh/t
B	Nov./2009 a Out./2010	15.366,64	401.090,0 peças	0,04 kWh/peça
C, conjunto 1	Set./2009 a Ago./2010	166.399,91	79.787,26 kVA	2,09 kWh/kVA
C, conjunto 2	Set./2009 a Ago./2010	7.072,58	6.551,66 kVA	1,08 kWh/kVA

Fonte: Elaboração própria

Seria ideal que os indicadores de consumo específico da Tabela 5.6 estivessem na mesma unidade de produção; entretanto, devido a essas empresas fabricarem produtos diversos não foi possível, nesta etapa, padronizar tais indicadores.

Como o setor metalúrgico é muito heterogêneo, o consumo específico médio ( $CE_M$ ) do setor de 1,82 MWh/t, apresentado na Tabela 3.3, não seria um boa referência para se fazer uma análise da empresa A. Numa primeira análise, pode-se constatar que o CE da empresa está abaixo do indicador de referência, contudo, conforme dados apresentados ao longo do trabalho vislumbra-se que existem oportunidades da redução desse indicador, como por exemplo, uma possível troca dos motores usados para acionar as trefiladeiras. Tais motores foram fabricados em 1940, cujos rendimentos são bem inferiores aos dos motores de alto rendimento existentes no mercado. Além da troca desses motores, pode ser realizada a correção do fator de potência que é apresentado ao longo deste capítulo.

O indicador de consumo específico de energia (CE) obtido para a empresa B foi igual a: 0,04 kWh/peça. Como o próprio nome diz, esse é apenas um indicador do consumo médio de energia por peça fabricada, não representando, neste caso, o consumo de energia por peça produzida, uma vez que outras variáveis devem ser levadas em consideração para se obter esse indicador como, por exemplo, o peso da peça e quais equipamentos estão envolvidos no processo de fabricação.

Como o tempo destinado a obtenção desses dados era limitado, sugere-se para um próximo trabalho que tais informações sejam obtidas. Assim ter-se-ia um indicador real do consumo de energia por peça produzida.

Os valores de produção da empresa C, conjunto 1 e 2 se referem à soma da potência nominal em kVA do total de máquinas produzidas pela empresa. Tais equipamentos já foram caracterizados no capítulo 3.

A significativa diferença entre os indicadores de CE da empresa C conjunto 1 e 2, se deve ao fato de, no conjunto 1, fazerem parte do processo de fabricação usinagem, zincagem, fundição, estamparia, rebobinagem, sendo utilizados equipamentos como dobradeiras, laminadoras a frio, trefiladeiras, tornos, fornos elétricos, estufas, dentre outros equipamentos que demandam uma significativa quantidade de energia elétrica.

Enquanto isso, no conjunto 2, é realizado, praticamente, a etapa de montagem dos alternadores de energia, fazendo parte do processo máquinas que não demandam uma quantidade representativa de energia, com exceção, de uma estufa elétrica destinada ao tratamento térmico do verniz dos transformadores, rotores e estatores.

### 5.2.2 Fator de carga (FC)

Como todas as empresas analisadas estão enquadradas na tarifa horo-sazonal verde, foram calculados os fatores de carga médio na ponta ( $FC_{MP}$ ) e fora de ponta ( $FC_{MFP}$ ). A metodologia empregada foi apresentada no capítulo 4. Esse indicador foi calculado a partir dos dados do histórico de um ano das faturas de energia elétrica disponibilizadas por cada uma das empresas. A Tabela 5.7 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 5.7 – Fator de carga médio das empresas analisadas

<i>Empresa</i>	<i>Período analisado</i>	<i>FC<sub>MP</sub></i>	<i>FC<sub>MFP</sub></i>
A - Conjunto 1	Set./2009 a Ago./2010	0,26	0,19
A - Conjunto 2	Set./2009 a Ago./2010	0,05	0,17
B	Nov./2009 a Out./2010	0,21	0,25
C - Conjunto 1	Set./2009 a Ago./2010	0,10	0,26
C - Conjunto 2	Set./2009 a Ago./2010	0,04	0,24

Fonte: Elaboração própria

Pode ser observado na Tabela 5.7 que a indústria B apresentou os melhores índices de FC tanto na ponta quanto fora da ponta, isso indica um melhor uso da energia por parte dessa empresa. Todavia, os valores médios dos FC obtidos indicam que há potencial para

racionalização do uso da energia, pois as empresas analisadas estão muito longe dos valores ideais, ou seja, mais próximos de 1 (um).

De acordo com Marques (2006), um melhor FC pode ser obtido com o aumento do número de horas trabalhadas, ou seja, aumenta-se o consumo de kWh, porém, conserva-se a demanda de potência, ou ,então, se pode optar pela otimização da demanda, conservando, assim, o mesmo nível de consumo de kWh. Quanto mais próximo de 1 estiver o FC menor será o custo do kWh.

### 5.2.3 Custo Médio da Energia ( $CM_{Energia}$ )

Para o calculo do custo médio da energia foram utilizados os dados das faturas de energia elétrica disponibilizadas pelas empresas. Foram considerados apenas custos com o consumo e com a demanda de energia elétrica, sendo desconsiderados os custos com tributos e outros tipos de encargos. A Tabela 5.8 apresenta os valores do custo médio de energia obtido por meio do histórico de um ano das faturas de energia elétrica.

Tabela 5.8 – Custo médio de energia (R\$/kWh) das empresas analisadas no trabalho

<i>Empresa</i>	<i>Período analisado</i>	<i>CM<sub>Energia</sub></i>
A, conjunto 1	Set./2009 a Ago./2010	0,26
A, conjunto 2	Set./2009 a Ago./2010	0,40
B	Nov./2009 a Out./2010	0,25
C, conjunto 1	Set./2009 a Ago./2010	0,27
C, conjunto 2	Set./2009 a Ago./2010	0,26

Fonte: Elaboração própria

As empresas A, conjunto 2 e C, conjunto 1, ao longo do período analisado, pagaram uma parcela significativa por faturamento de reativo na ponta e fora de ponta, bem como demanda reativa. A Tabela 5.9 apresenta quais seriam os valores do  $CM_{Energia}$  nesse período, caso fosse realizada a correção de fator de potência (FP) nessas UCs.

Tabela 5.9 – Custo Médio de Energia (R\$/kWh) com correção de FP

<i>Empresa</i>	$CM_{Energia}$
A, conjunto 2	0,31
C, conjunto 2	0,24

Fonte: Elaboração própria

O faturamento por demanda reativa ocorre, geralmente, devido ao baixo fator de potência. Para que não ocorra o faturamento dessa parcela de energia deve-se fazer a correção do fator de potência, por meio de banco de capacitores.

A instalação de banco capacitores, contudo, deve ser precedida de algumas medidas operacionais que podem levar à diminuição da necessidade de energia reativa, como o desligamento de motores e outras cargas indutivas ociosas ou superdimensionadas (HADDAD, 2004).

A correção do fator de potência é uma das medidas de eficiência energética que podem ser adotadas por uma empresa. Além da redução significativa com a parcela do custo com a energia elétrica, outras vantagens são oferecidas, como o aumento da capacidade dos equipamentos de manobra, o aumento da vida útil das instalações e equipamentos elétricos, e redução das perdas por efeito Joule<sup>8</sup> nos cabos condutores, dentre outras.

<sup>8</sup> Ocorre quando por dissipação de potência na forma de calor. Surge pela passagem de uma corrente (I) por um condutor de determinada resistência. Esse perda é determinada pela equação:  $P=R.I^2$ .

## 5.2.4 Intensidade Elétrica (IE)

Para a análise do indicador de intensidade elétrica foram usados os dados do consumo específico apresentados na Tabela 5.6. por falta de informações sobre valor agregado foi utilizado a relação faturamento por unidade de produção (VP) de cada empresa, sempre, no mesmo período de referência. A Tabela 5.10 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 5.10 – Intensidade elétrica por empresa

<i>Empresa</i>	<i>Período analisado</i>	<i>CE</i>	<i>VP</i>	<i>IE</i>
A Conjunto 1 e 2	Set./2009 a Ago./2010	1,36 (MWh/t)	100.188,61 (R\$/t)	13,61 (Wh/R\$)
B	Nov./2009 a Out./2010	0,04 (kWh/peça)	1,04 (R\$/peça)	38,51 (Wh/R\$)
C - Conjunto 1	Set./2009 a Ago./2010	2,09 (kWh/kVA)	66,52 (R\$/kVA)	33,96 (Wh/R\$)
C - Conjunto 2	Set./2009 a Ago./2010	1,08 (kWh/kVA)	131,04 (R\$/kVA)	7,86 (Wh/R\$)

Fonte: Elaboração própria

## 5.3 Análise das medições

### 5.3.1 – Comportamento da carga em termos de potência ativa e fator de carga

Para análise do comportamento da carga em termos de potência ativa foram elaborados gráficos de um dia típico de operação de cada uma das empresas analisadas neste trabalho. Um dos dados registrados pela medição é a potência ativa (W). A partir desse dado pode-se obter o fator de carga (FC), que é a relação entre a demanda média e a demanda máxima. Desse modo, pode-se avaliar se as empresas utilizam de forma adequada a energia elétrica.

Os dados apresentados na Tabela 5.12 se referem ao fator de carga da empresa A, nos conjuntos 1 e 2. Nessa empresa foram realizadas medições na saída do principal ramal de alimentação de cada um dos conjuntos. Desse modo, as análises aqui apresentadas se referem à empresa como um todo, pois não foram realizadas medições nos principais equipamentos elétricos ou em uma linha de produção específica.

Tabela 5.11 – Fator de carga nos ramais principais da empresa A

Empresa A	Período da medição	Demanda Máxima Registrada (kW)	Demanda Média (kW)	FC <sub>médio</sub>
Conjunto 1	13/09/2010 a 18/09/2010	156,85	62,16	0,40
Conjunto 2	13/09/2010 a 18/09/2010	21,40	6,37	0,30

Fonte: Elaboração própria

Os fatores de carga apresentados na Tabela 5.12 são referentes ao período analisado. Para se obter um valor do fator de carga mais representativo, seria necessário realizar medições para um intervalo de tempo maior. Contudo, em um análise preliminar pode-se concluir que há a possibilidade da melhoria de tal indicador, visto que os valores obtidos não estão próximos de um, situação que indica um aproveitamento ideal da energia disponibilizada pela concessionária. A Figura 5.6 ilustra o comporta da potência ativa (kW) durante um dia típico de operação da empresa A conjunto 1.

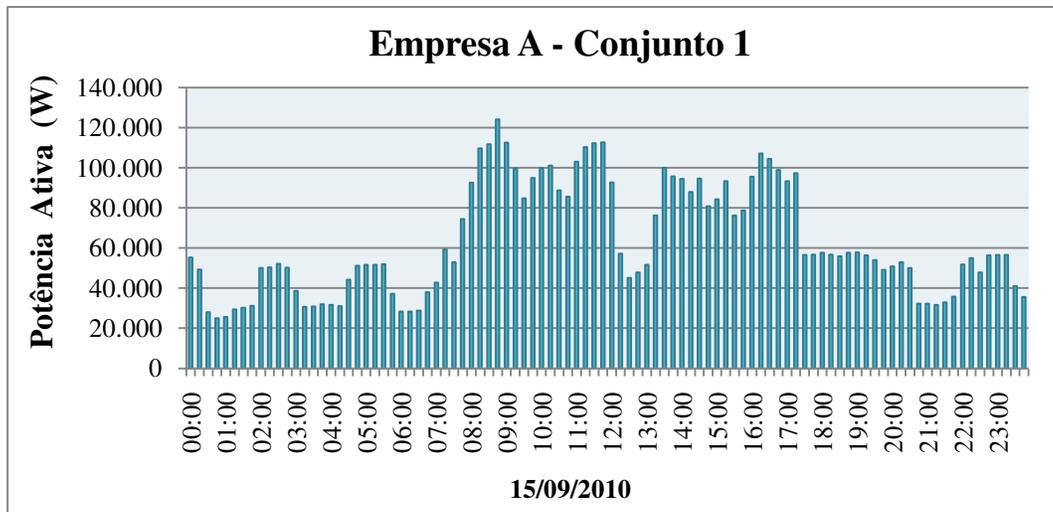


Figura 5.6 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia - empresa A, conjunto 1

Fonte: Elaboração própria

Contata-se na Figura 5.6 que a modulação da carga da empresa não está adequada. A diferença entre a potência ativa máxima e a potência ativa média registradas, é considerável. Como essa diferença se manteve ao longo da semana analisada esse é um dos fatores, que leva a empresa a obter o FC inferior a 0,5. A Figura 5.7 ilustra o comportamento da demanda de potência ativa da empresa A, conjunto 2.

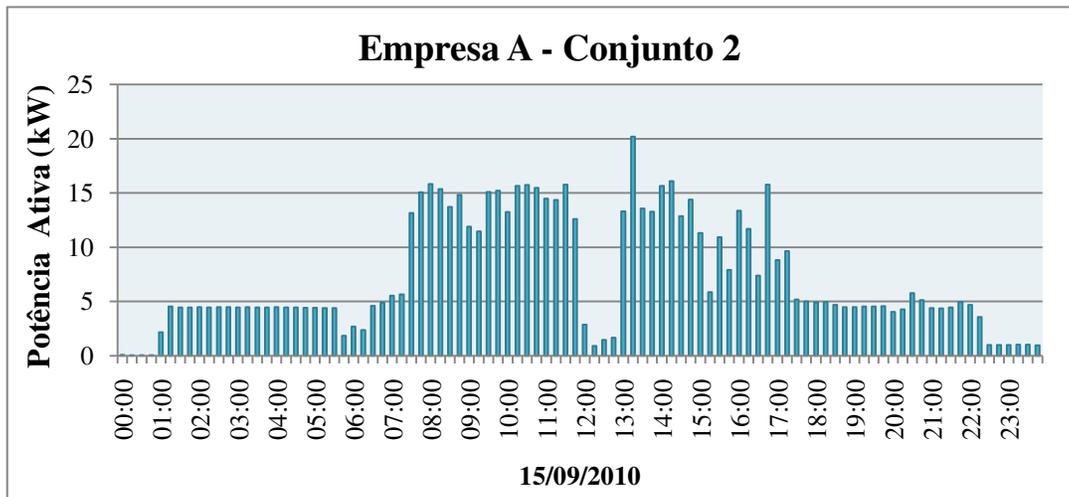


Figura 5.7 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia - empresa A, conjunto 2

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 5.7 tem-se uma situação semelhante à encontrada no conjunto 1 da empresa A, uma inadequada modulação da carga, com diferenças consideráveis da relação potência ativa máxima e a potência ativa média registradas ao longo do dia, que levam a um FC pequeno.

A Tabela 5.12 mostra os valores do FC para a empresa B, por chave de alimentação, do seu quadro de distribuição principal.

Tabela 5.12 – Fator de carga por chave de alimentação da empresa B

Empresa B	Período da medição	Demanda Máxima Registrada (kW)	Demanda Média (kW)	FC <sub>médio</sub>
Chave 1	20/09/2010 a 25//09/2010	28,43	9,92	0,34
Chave 2	20/09/2010 a 25//09/2010	5,54	1,01	0,18
Chave 3	20/09/2010 a 25//09/2010	41,8	13,76	0,33

Fonte: Elaboração própria

Novamente, os FCs apresentaram valores inferiores a 0,5, indicando um mau uso da energia elétrica na empresa B. As Figuras 5.8, 5.9 e 5.10 mostram o comportamento da demanda de potência ativa durante um dia típico de operação da empresa, para cada uma das chaves que alimentam os principais equipamentos elétricos da empresa, já descritos no capítulo 4.

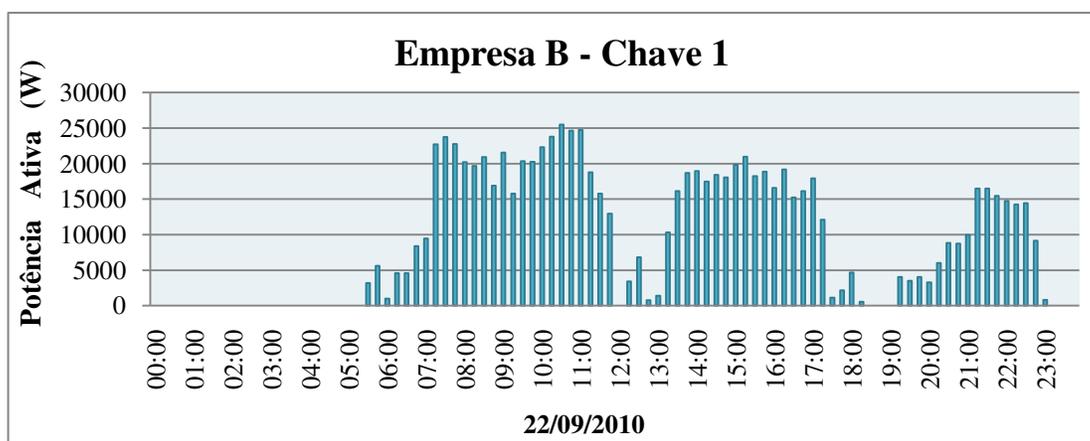


Figura 5.8 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa B – chave 1

Fonte: Elaboração própria

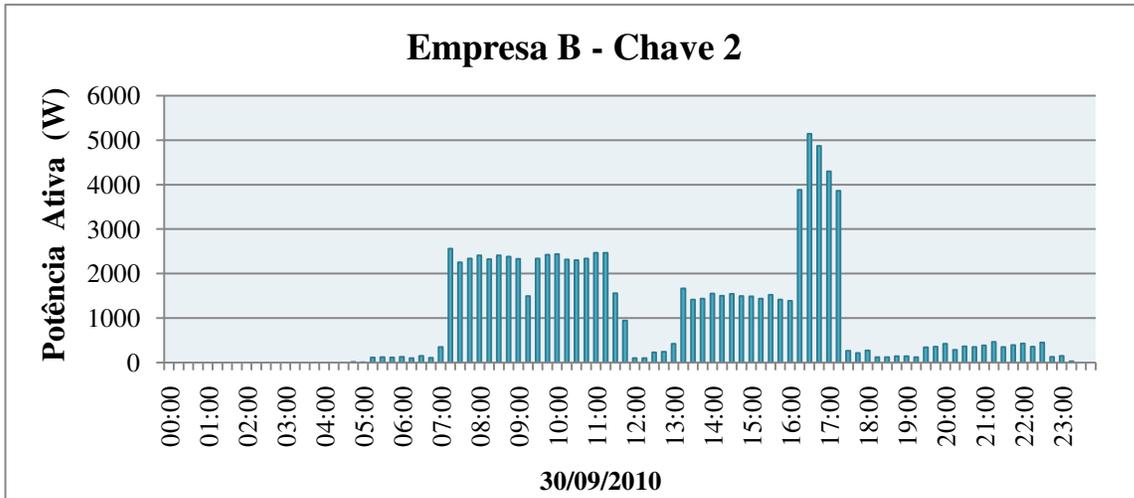


Figura 5.9 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa B, chave 2

Fonte: Elaboração própria

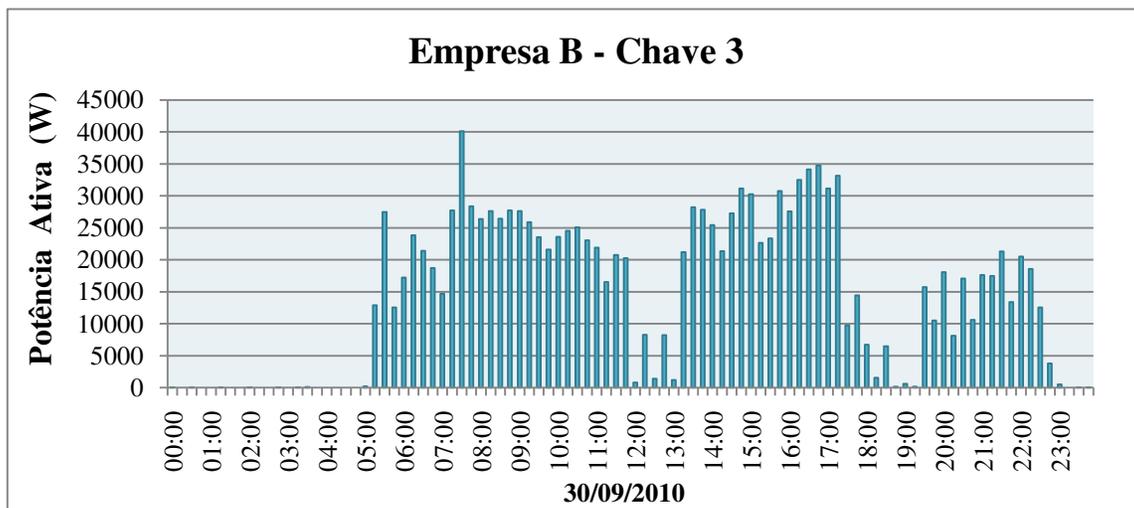


Figura 5.10 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa B, chave 3

Fonte: Elaboração própria

Na empresa B pode-se constatar que também não há uma adequada modulação da carga, o que é traduzido, pelo baixo fator de carga encontrado ao longo da semana analisada. As chave 1 e 3 foram as que apresentaram o melhor desempenho na empresa.

A Tabela 5.13 apresenta os FCs encontrados para a empresa C, por subestação (SE) de transformação medida.

Tabela 5.13 - Fator de carga por subestação de transformação da empresa C

Empresa C	Período da medição	Demanda Máxima Registrada (kW)	Demanda Média (kW)	FC <sub>médio</sub>
SE 1	06/09/2010 a 11/09/2010	162,60	55,67	0,34
SE 2	30/08/2010 a 04/09/2010	153,13	79,09	0,51
SE 3	06/09/2010 a 11/09/2010	133,43	35,8	0,26
SE 4	30/08/2010 a 04/09/2010	137,70	42,38	0,30
SE 5	30/08/2010 a 04/09/2010	67,32	14,50	0,21

Fonte: Elaboração própria

Os fatores de carga encontrados para a empresa C também indicam um mau uso da energia elétrica. Um baixo FC se reflete em um custo unitário da energia maior; contudo, a atuação de medidas de eficiência energética pelo FC exige uma análise mais detalhada dos períodos de medição. Em alguns casos, como indica Morales (2007), há a necessidade de uma quantidade maior de períodos para a caracterização, com relação à sazonalidade da empresa.

As Figuras 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15 ilustram o comportamento da demanda de potência ativa, de cada subestação analisada, durante um dia típico de operação da empresa.

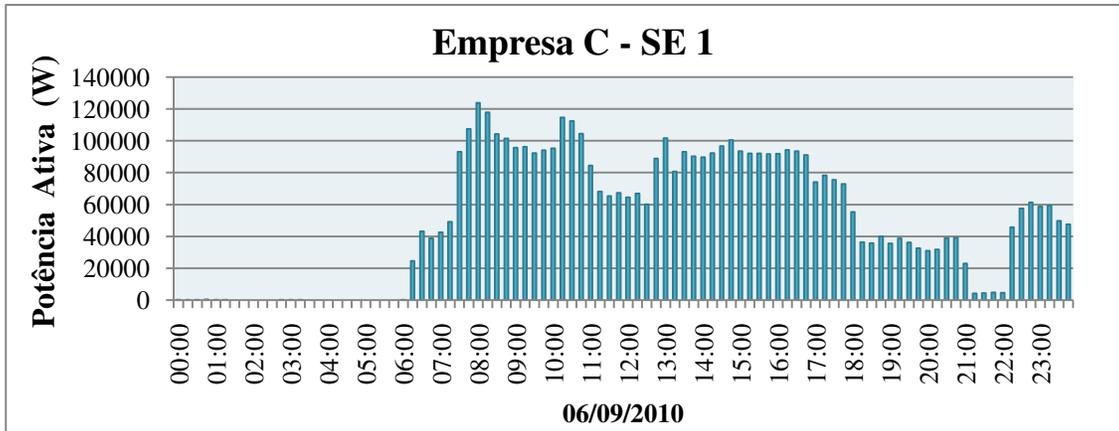


Figura 5.11 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE 1  
 Fonte: Elaboração própria

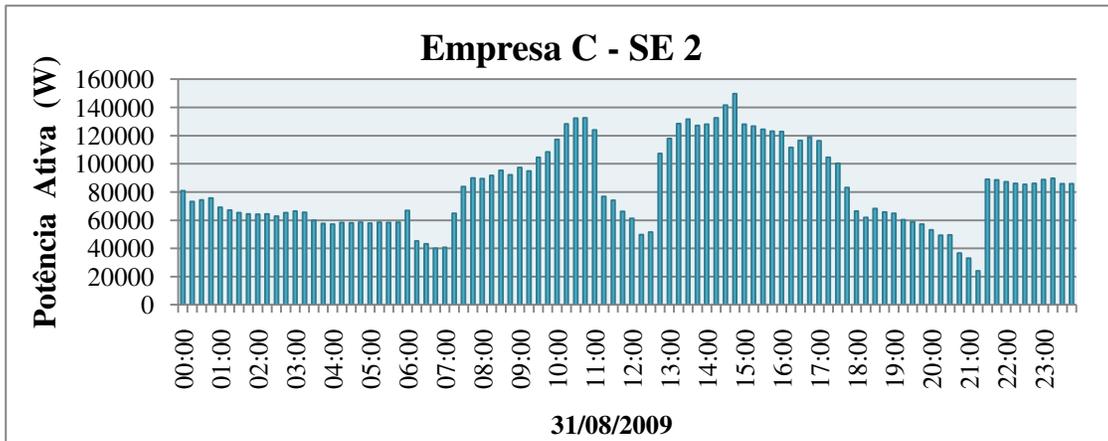


Figura 5.12 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE 2  
 Fonte: Elaboração própria

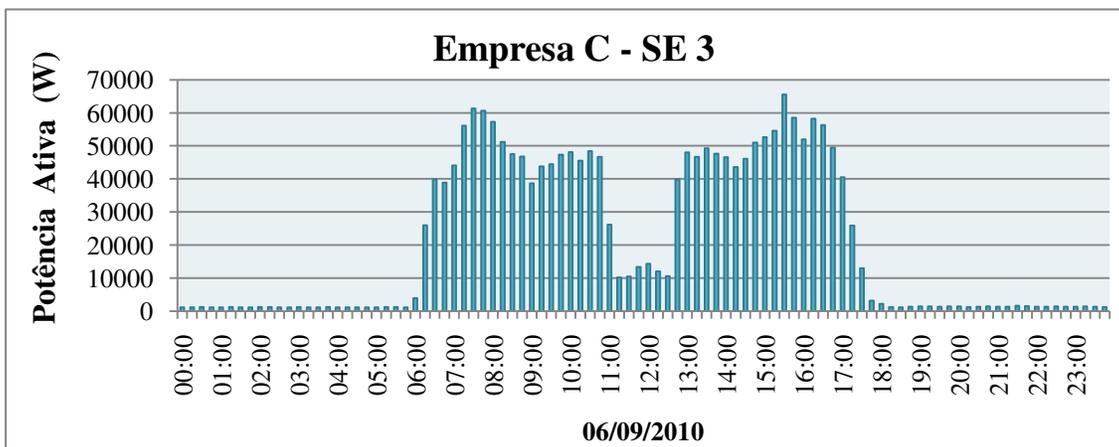


Figura 5.13 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE 3  
 Fonte: Elaboração própria

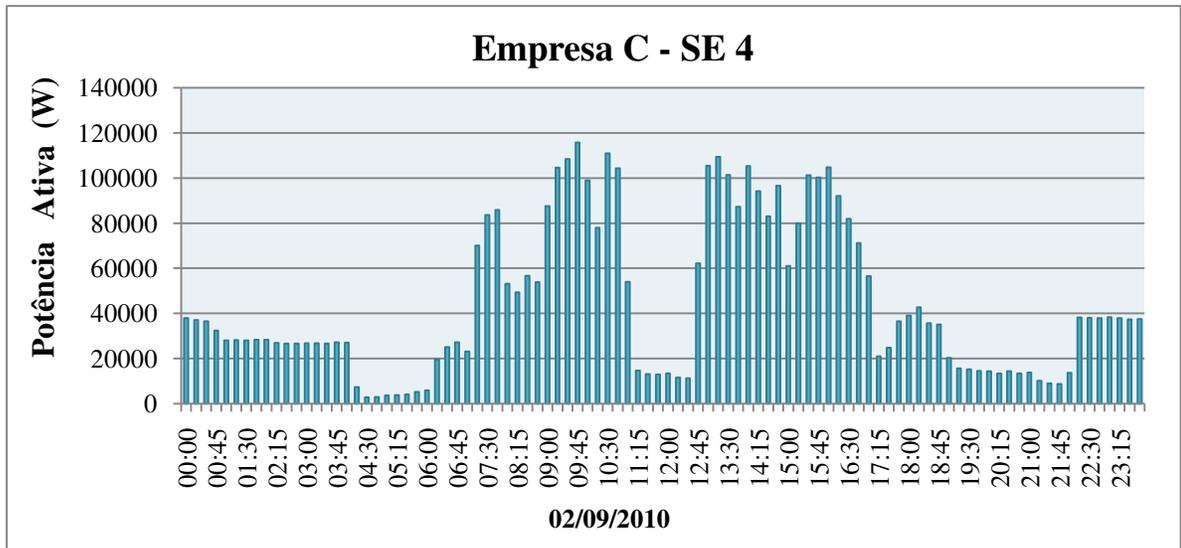


Figura 5.14 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE 4

Fonte: Elaboração própria

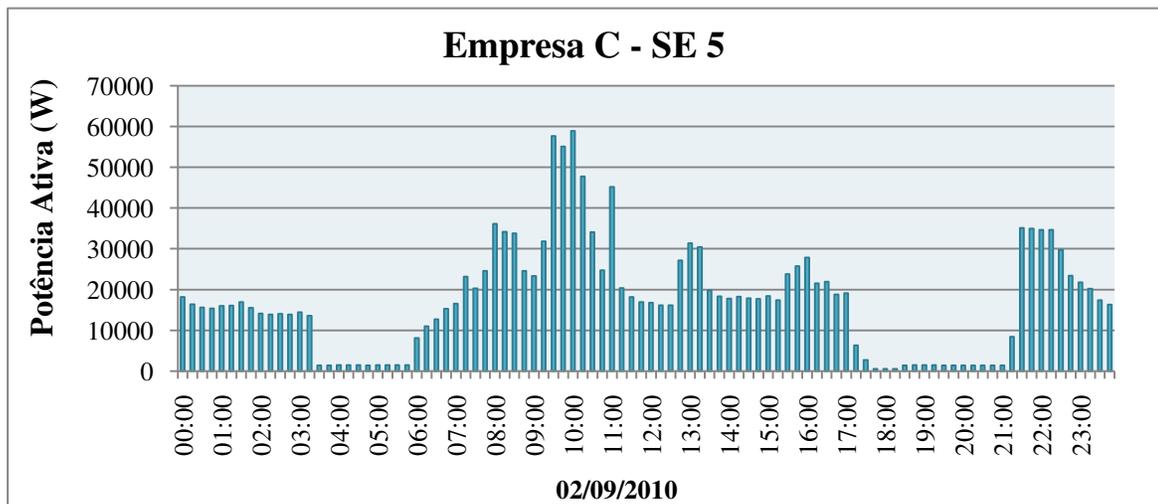


Figura 5.15 – Demanda de potência ativa ao longo de um dia – empresa C, SE5

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar nas Figuras aqui apresentadas que ainda há uma diferença significativa entre as potências ativas máximas registradas em cada uma das subestações e as respectivas potências médias. Dessa relação resultaram os FCs não muito satisfatórios já apresentados na Tabela 5.13.

## 6 Conclusões

Em função dos resultados, foi possível concluir que existem oportunidades de melhoria do uso da energia elétrica nas empresas analisadas no que se diz respeito a algumas das variáveis relativas à eficiência elétrica que provavelmente podem ser otimizadas por meio de medidas voltadas ao uso racional da energia elétrica.

Pode-se citar, por exemplo, a correção do fator de potência através da instalação de bancos capacitores.

A melhoria do fator de carga através de um plano de ação para o acionamento de cargas instaladas nas instalações fabris.

Através de uma análise mais detalhada por meio de uma auditoria energética nessas empresas, pode-se apontar os principais pontos onde se possa obter um melhor aproveitamento do uso da energia, como por exemplo, sistemas de ar comprimido e a troca de motores antigos como os encontrados no chão de fábrica por motores de alto rendimento. A substituição dos equipamentos antigos por mais novos deverá passar por uma análise da viabilidade econômica da substituição dos mesmos.

Observou-se que nas empresas analisadas não existem cronogramas para a manutenção preventiva. São realizadas apenas manutenções corretivas. Manutenções preventivas bem realizadas e somadas a boas práticas de operação dos equipamentos são indicadores do uso eficiente da energia. Esse pode ser um dos pontos que pode ser abordado pelos empresários.

Em nenhuma das indústrias analisadas há um acompanhamento das faturas de energia, logo, custos desnecessários com o faturamento de energia reativa não são detectados e paga-se por uma parcela indevida que poderia ser eliminada por meio da correção do fator de potência. Tampouco há controladores de demanda.

De modo geral, há oportunidades para ações de eficiência elétrica nas empresas analisadas, contudo, faz-se necessário que sejam realizadas medições nos equipamentos elétricos sugeridos. Desse modo, se terá maior segurança em sugerir quais são as possíveis medidas de eficiência elétrica a serem tomadas. Neste caso, também deve ser realizada uma análise da viabilidade econômica da implantação dessas possíveis medidas.

Na empresa A, conjunto 2 sugere-se medições nas trefiladeiras de 2 e 3 cabeças cujos motores foram fabricados na década de 40.

Na empresa B sugere-se medições nos motores que acionam os tornos de usinagem, chanfradeiras e tornos multiuso. Uma análise mais detalhada no sistema de ar comprimido seria interessante, visto que, essa é a utilidade mais usada no chão de fábrica.

Na empresa C, também, sugere-se medições nos motores do sistema de ar comprimido e uma análise mais detalhada das linhas de distribuição, visto que, há índices de vazamento nessas linhas.

O sistema de iluminação está adequado ao chão de fábrica das empresas, contudo, já está disponível no mercado a tecnologia de iluminação a LED (Light Emission Diode), que tem maior vida útil e maior eficiência (lúmens/watt). Um projeto que analisasse a viabilidade técnica e econômica desse tipo de tecnologia nos casos estudados também seria interessante.

Neste trabalho não foi realizada a análise dos distúrbios relacionados à qualidade da energia elétrica como, harmônicas, desequilíbrios de tensão, variação de frequência, *flicker*, *notching* quanto ao consumo de energia elétrica nas unidades fabris. Esta seria uma das análises que poderiam ser realizadas nos próximos trabalhos. Por fim, sugere-se analisar qual seria o impacto das ações de eficiência elétrica na redução dos gases causadores do efeito estufa na matriz elétrica brasileira.

## Referências

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200110295.pdf>, acesso em: 20/10/2010.

\_\_\_\_\_. Lei Nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei20009991.pdf>, acesso em: 20/10/2010.

\_\_\_\_\_. Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>, acesso em: 20/10/2010.

\_\_\_\_\_. Resolução Nº 456, de 29 de novembro de 2000. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres2000456.pdf>, acesso em: 20/10/2010.

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira.** 2010. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario.html>, acesso em: 03/01/2011.

BEN-SP. Balanço Energético do Estado de São Paulo 2009 (Ano base 2008). Disponível em: [http://www.energia.sp.gov.br/balanco\\_2009\\_2008.pdf](http://www.energia.sp.gov.br/balanco_2009_2008.pdf) Acesso: 03/01/2011

BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê? para quem? - Crise e alternativas para um país sustentável.** São Paulo: Editora Livraria da Física/FASE, 2002. v. 01. 139 p.

BERNARDES, T. A. et al. Avaliação de resultados após implantação de um projeto de eficiência energética na UFMT. In: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2009, Belém. **Anais...** Belém: Universidade Federal do Pará, 2009. CD-ROM.

BUENO, Leda Gobbo de Freitas. **Diagnóstico do uso de energia elétrica de um frigorífico de frangos de corte enfatizando medidas de eficiência energética.** 2008. [s.n.]. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Areas\\_de\\_Atuacao\\_Meio\\_Ambiente/proesco.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atuacao_Meio_Ambiente/proesco.html), acesso: 01/11/2010.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/ca\\_ativas/metalurgico/metalurgico.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/ca_ativas/metalurgico/metalurgico.asp)  
Acesso em: 20/12/2010.

CNI/ELETOBRÁS. **Eficiência Energética na Indústria. O que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional.** Brasília, 2009.  
Disponível em: <http://www.cni.org.br/portal/data/pages/FF80808127357038012735CE928C067D.htm>, acesso: 15/09/2009.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Manual de Capacitação sobre Mudança do Clima e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.** Brasília, 2008.

COPEL. **Manual de Eficiência Energética da COPEL.** Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Diretoria de Distribuição (DDI). Novembro, 2005. Disponível em: [http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual/\\$FILE/manual\\_eficiencia\\_energ.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual/$FILE/manual_eficiencia_energ.pdf), acesso em: 16/08/2010.

EMRASUL. Manual eletrônico RE 6000.

Disponível em: <http://www.embrasul.com.br/manuais/re6000.html>, acesso em: 30/11/10.

ELETROBRÁS. Relatório Anual 2008. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia.** Disponível em: <http://www.premioconservacaoenergia.gov.br/main.asp?Team={C5458745-AAB-4EF6-9C51-3BC6A8FC7F87}>, acesso: 01/11/2010.

EPE. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos.** Série: Estudos de Energia. Nota Técnica: DEA 15/09. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019).** Série: Estudos de Demanda. Nota Técnica: DEA 14/10. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, 2010.

EPE/MME. **Balço Energético Nacional 2010.** Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME). Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Energia 2030.** Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2007. 12 v. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PNE/20080512\\_11.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_11.pdf), acesso em: 04/02/2010.

FINEP - Financiadora Nacional de Pesquisa. Disponível em: [http://www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/ct\\_energ/ct\\_energ\\_ini.asp](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/ct_energ/ct_energ_ini.asp), acesso: 03/01/2011

GELLER, H. S. **Revolução Energética: Políticas de um futuro sustentável.** Relume Dumara, 2003.

GEDRA, Ricardo Luis. **Análise de viabilidade financeira para obtenção de créditos de carbono em projetos de eficiência energética.** 2009. 113 p. Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GORLA, Filipe Debonzi. **Potencial técnico de conservação de energia na indústria brasileira.** 2009. [s.n.]. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GUARDIA, E. *et al.* **Oportunidades ações de eficiência energética para a indústria: histórico de programas.** Brasília – DF: CNI, 2010. 165 p. a

GUARDIA, E. *et al.* **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: estudo de casos: sumário executivo.** Brasília – DF: CNI, 2010. 61 p. b

HADDAD, J. **Guia Avançado: Energia Elétrica: Conceitos, Qualidade e Tarifação.** Rio de Janeiro. Dezembro, 2004.

IAB - Instituto Aço Brasil.

Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/parque.asp> a

Acesso em: 20/12/2010.

IAB - Instituto Aço Brasil.

Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/aplicacoes--bens-capital.asp> b

Acesso em: 20/12/2010.

IBGE. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), Versão 2.0.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/classificacoes/cnae2.0/defaulttab.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/classificacoes/cnae2.0/defaulttab.shtm), acesso em: 04/02/2010.

JANUZZI, G. M. et al. Resultado do Estudo de uma Nova Tarifa Horosazonal. In: XVII SENDI – SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2006, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/sendiplanilhatarifas.pdf>, acesso em: 12/11/2010.

LANDIS GYR. Disponível em:

<http://www.landisgyr.com.br/default.asp?opcao=29&subopcao=97>, acesso em: 30/11/10.

LEITE, A. A. F. *et al.* **Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria: relatório setorial: ferros-ligas.** Brasília – DF: CNI, 2010. 46 p.

MARQUES, M. C. S. et al. **Conservação de Energia: eficiência energética de equipamentos e instalações.** Itajubá, MG: Fupai, 2006. 596p.

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=327>, acesso em: 20/10/2010.

MME. **Balanco de Energia Útil.** Ministério de Minas e Energia (MME). Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ee.pucrs.br/~eberson/Balan%E7o%20de%20Energia%20%DAtil%202005.pdf>, acesso em: 04/02/2010.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico: Setor Metalúrgico.** Ministério de Minas e Energia (MME). Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2008. 128p. Disponível em: [www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/sgm/menu/publicacoes.html), acesso em: 03/11/2010.

MORALES, Clayton. **Indicadores de energia elétrica como ferramenta de apoio à gestão: Classificação por prioridades de atuação.** 2007. 113 p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

POOLE, A. D.; GELLER, H. O novo Mercado de serviços de eficiência energética no Brasil. Abril, 1997. Disponível em: [http://www.inee.org.br/down\\_loads/escos/escomerc.pdf](http://www.inee.org.br/down_loads/escos/escomerc.pdf), acesso em: 15/02/2010.

PROCEL/ELETOBRÁS. Programa Procel Disponível em: <http://www.eletobras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>, acesso em: 30/09/2010 a.

REIS, L. B. et al. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável.** Barueiri, SP: Manole, 2005. 415p.

ROCHA, Leonardo Resende Rivetti.; MONTEIRO, Marco Aurélio G.; **Gestão Energética.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional. Nota técnica: **PIB do Estado de São Paulo.** Disponível em: [http://www.seade.gov.br/produtos/pib/pdfs/pib\\_analise\\_2008.pdf](http://www.seade.gov.br/produtos/pib/pdfs/pib_analise_2008.pdf)

SINDIPEÇAS - Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores. ABIPEÇAS – Associação Brasileira da Indústria de Autopeças. **Desempenho do Setor de Autopeças 2010.** Disponível em: [http://www.sindipecas.org.br/ARQUIVOS/Desempenho\\_2010.pdf](http://www.sindipecas.org.br/ARQUIVOS/Desempenho_2010.pdf), acesso em: 03/01/2011.

SIMÕES, André Felipe. BAJAY, Sérgio Valdir. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: fundição.** Brasília – DF: CNI, 2010. 47 p. a

SIMÕES, André Felipe. BAJAY, Sérgio Valdir. **Oportunidades de eficiência energética para a Indústria: relatório setorial: metais não-ferrosos.** Brasília – DF: CNI, 2010. 85 p. b

## Anexo A – Rotina de trabalho

Tabela A1- Indústria A - Setor administrativo: Conjunto 1 e 2

Horário do turno	Dias da semana						
	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	Sábado	Domingo
07:30 – 11:30	x	x	x	x	x		
13:00 – 17:20	x	x	x	x	x		

Meses de funcionamento ao ano: 12 meses

Tabela A2 - Indústria A - Setor de produção: Conjunto 1 e 2

Horário do turno	Dias da semana						
	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	Sábado	Domingo
06:00 – 14: 00	x	x	x	x	x		
07:00 – 16:50	x	x	x	x	x		
14:00 – 22:00	x	x	x	x	x		
07:00 – 12:00						x	

Meses de funcionamento ao ano: 12 meses

### Indústria B

Tabela A3 - Indústria B - Setor administrativo

Horário do turno	Dias da semana						
	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	Sábado	Domingo
8:00 – 11:30	x	x	x	x	x		
13:00 – 17:00	x	x	x	x	x		

Meses de funcionamento ao ano: 12 meses

Tabela A4 - Indústria B - Setor de produção

Horário do turno	Dias da semana						
	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	Sábado	Domingo
06:00 – 11:00 14:00 – 23:00 Tornos de usinagem	x	x	x	x	x		
09:00 – 13:00 Tornos de usinagem						x	
07:00 – 11:40 13:00 – 17:15 Demais máquinas	x	x	x	x			
07:00 – 11:40 13:00 – 16:40 Demais máquinas					x		

Meses de funcionamento ao ano: 12 meses

Indústria C

Tabela A5 - Indústria C - Setor administrativo: Conjunto 1 e 2

Horário do turno	Dias da semana						
	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	Sábado	Domingo
8:00 – 11:00	x	x	x	x	x		
12:30 – 17:00	x	x	x	x	x		

Meses de funcionamento ao ano: 12 meses

Tabela A6 - Indústria C - Setor de produção: Conjunto 1

Horário do turno	Dias da semana						
	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	Sábado	Domingo
07:00 – 11:00	x	x	x	x	x	x	
12:30 – 17:00	x	x	x	x	x		

Meses de funcionamento ao ano: 12 meses

Tabela A7 - Indústria C - Setor de produção: Conjunto 2

Horário do turno	Dias da semana						
	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	Sábado	Domingo
07:00 – 11:00	x	x	x	x	x		
12:30 – 17:00	x	x	x	x	x		
06:00 – 11:00						x	

Meses de funcionamento ao ano: 12 meses

## **Anexo B – Analisador portátil modelos: SAGA 4000, SAGA 4500, RE 6081 e RE 6000**

Os analisadores portáteis SAGA modelos 4000 e 4500 são registradores eletrônicos de grandezas elétricas de sistemas elétricos monofásicos ou trifásicos, equilibrados ou não, usados em redes de distribuição, para instalação em cabines primárias ou em circuitos diversos de baixa tensão. As principais grandezas elétricas registradas pelos analisadores SAGA modelos 4000 e 4500 são:

- \_ Tensão mínima e máxima por fase
- \_ Tensão e corrente por fase
- \_ Potência ativa por fase e trifásica
- \_ Potência reativa com harmônica por fase e trifásica
- \_ Potência aparente por fase e trifásica
- \_ Correção de reativo por fase e trifásico
- \_ Fator de potência
- \_ Energia na ponta
- \_ Energia fora da ponta

As Figuras ilustrativas dos analisadores SAGA 4000 e 4500 estão ilustradas nas Figuras B1 e B2 respectivamente.



Figura B1 – Analisador de energia SAGA 4000

Fonte:ESB (2002) *apud* BUENO, 2008



Figura B2 – Analisador de energia SAGA 4500

Fonte: Landis Gyr, 2010

Os analisadores de energia do fabricante Embrasul modelos RE 6081 e RE 6000 possuem entrada trifásica de corrente e tensão. Os equipamentos permitem que sejam registradas diversas grandezas em intervalos de integração que variam de 100 ms à 30 min. Podem ser gerados relatórios e curvas de carga, que oferecem a leitura trifásica ou individualizada de cada grandeza no intervalo de tempo desejado pelo usuário. Também podem ser realizadas correções do FP em instalações com excesso de reativo. O módulo Harmônicas, disponível apenas para o modelo RE 6000, permite a medição e registro de harmônicas de tensão e corrente até a 50ª ordem. As principais grandezas elétricas registradas pelos analisadores RE 6000 e RE 6081 são:

- \_ Tensão e corrente, frequência e fator de potência
- \_ Potências: ativa, reativa e aparente
- \_ Energias: ativa, reativa capacitiva e indutiva

As Figuras B3 e B4 ilustram os analisadores RE 6081 e RE 6000 respectivamente.



Figura B3 - Analisador RE 6081  
Fonte: EMBRASUL, 2010



Figura B4 - Analisador RE 6000  
Fonte: EMBRASUL, 2010

## **Anexo C – Questionário disponibilizado on-line às indústrias do segmento metalúrgico**

NOVO REGISTRO

ID:

Respondente

Departamento/Cargo

Telefone para contato

E-mail

Indústria

Município

Estado

Tempo de operação da indústria

Pretende aumentar a produção ou implementar uma nova linha de produção? Qual?

Recorre a consultoria externa sobre a atividade produtiva da indústria?

Horário do início das atividades

Horário do término das atividades

Funcionamento dias/mês

Turnos de produção [Matutino]

[Vespertino]

[Noturno]

Com que frequência a indústria realiza paradas programadas para manutenção?

Horário de ponta

Utiliza geradores de energia elétrica no horário de ponta?

Qual a potência do grupo gerador?

Possui controlador de demanda?

Faz controle do fator de potência (FP) ?

Informar o fator de potência (FP)

Como é realizada a medição de energia elétrica na indústria?

É realizada medição de energia elétrica no interior da indústria?

Indique como é realizada essa medição [Equipamento principal]

Indique como é realizada essa medição [Setorial]

Indique como é realizada essa medição [Unidade de custo]

Indique como é realizada essa medição [Outros]

Qual o custo da energia elétrica em relação ao custo total da indústria? Qual o valor?

Possui sistema de geração de energia elétrica de emergência?

Qual a potência do grupo gerador?

A indústria já realizou alguma alteração de enquadramento tarifário? Qual e há quanto tempo?

A indústria utiliza algum dos energéticos indicados abaixo? [Óleo Diesel] [Consumo mensal (informar a unidade)] [Óleo Diesel] [Consumo específico (informar a unidade)]

A indústria utiliza algum dos energéticos indicados abaixo? [Óleo Diesel] [Consumo mensal (informar a unidade)] [Óleo Diesel] [Consumo específico (informar a unidade)]

A indústria utiliza algum dos energéticos indicados abaixo? [Óleo Diesel] [Consumo mensal (informar a unidade)] [Óleo Diesel] [Consumo específico (informar a unidade)]

A indústria utiliza algum dos energéticos indicados abaixo? [Óleo Diesel] [Consumo mensal (informar a unidade)] [Óleo Diesel] [Consumo específico (informar a unidade)]



A industria utiliza algum dos energéticos indicados abaixo? [Óleo Diesel] [Consumo mensal (informar a unidade)] [Óleo Diesel] [Consumo específico (informar a unidade)]

A industria utiliza algum dos energéticos indicados abaixo? [Óleo Diesel] [Consumo mensal (informar a unidade)] [Óleo Diesel] [Consumo específico (informar a unidade)]

A industria utiliza algum dos energéticos indicados abaixo? [Óleo Diesel] [Consumo mensal (informar a unidade)] [Óleo Diesel] [Consumo específico (informar a unidade)]

A industria utiliza algum dos energéticos indicados abaixo? [Óleo Diesel] [Consumo mensal (informar a unidade)] [Óleo Diesel] [Consumo específico (informar a unidade)]

A industria utiliza algum dos energéticos indicados abaixo? [Óleo Diesel] [Consumo mensal (informar a unidade)] [Óleo Diesel] [Consumo específico (informar a unidade)]

A industria possui algum sistema de autoprodução de eletricidade?

Qual energético utilizado? rodução Mensal (kWh)

Conhece seu fator de carga? Informar

Possui metas para redução do consumo de energia elétrica? São cumpridas?

A industria possui CICE (Comissão Interna de Conservação de Energia) ?

A empresa realiza alguma forma de avaliação do uso da energia elétrica em suas instalações ?

[Avaliação Geral da Instalação]

[Análise por equipamento principal]

[Utilidades]

[Outros]

Indicar as utilidades presentes na industria [Ar Comprimido]

Indicar as utilidades presentes na industria [Água Gelada]

Indicar as utilidades presentes na industria [Água Quente]

Indicar as utilidades presentes na industria [Água Resfriamento]

Indicar as utilidades presentes na industria [Fluído Térmico]

Indicar as utilidades presentes na industria [Fluído Refrigerante]

Indicar as utilidades presentes na industria [Vapor]

Indicar as utilidades presentes na industria [Outros]

É realizado algum diagnóstico para qualidade no uso da energia elétrica (Harmônicas, Sobretensão, Flicker)?

Quais dos itens abaixo são monitorados? [Harmônicas]

Quais dos itens abaixo são monitorados? [SWELL (Sobretensão)]

Quais dos itens abaixo são monitorados? [SAG (Subtensão)]

Quais dos itens abaixo são monitorados? [Flicker]

Quais dos itens abaixo são monitorados? [Desequilíbrio de tensão]

Informe a quantidade ou o percentual em relação do nível de tensão em que são alimentados os circuitos de iluminação [Quantidade]

Informe a quantidade ou o percentual em relação do nível de tensão em que são alimentados os circuitos de iluminação [Percentual]

[127 Vca] [220 Vca] 24 Vcc] [Outra]

[Qual (somente aplicável a Outra)?]

Indique, para os setores relacionados, a quantidade ou o percentual de participação das tecnologias para iluminação listadas a seguir [Quantidade]

Indique, para os setores relacionados, a quantidade ou o percentual de participação das tecnologias para iluminação listadas a seguir [Percentual]

Setor Administrativo

[Incandescente]      [Fluorescente Compacta]      [Fluorescente Tubular]      [LED]

[Outra] [Qual (somente aplicável a Outra)?]

Chão de fábrica

[Incandescente]      [Fluorescente Compacta]      [Fluorescente Tubular]      [LED]

[Vapor de Sódio AP\*]      [Vapor de Sódio BP\*\*]      [Vapor de Mercúrio] [Vapor Mista]

[Outra] [Qual (somente aplicável a Outra)?]

Iluminação externa/pátio

[Incandescente]      [Fluorescente Compacta]      [Fluorescente Tubular]      [LED]

[Vapor de Sódio AP\*]      [Vapor de Sódio BP\*\*]      [Vapor de Mercúrio] [Vapor Mista]

[Outra] [Qual (somente aplicável a Outra)?]

Há aproveitamento da iluminação natural na indústria?

Em qual setor(es)? [Administrativo]      [Chão de fábrica]      [Externo/Pátio]      [Outros]

Informe, de maneira aproximada, o tempo de utilização do sistema de iluminação nas áreas

[Administrativa] [horas/dia] [Administrativa] [meses/ano]

Informe, de maneira aproximada, o tempo de utilização do sistema de iluminação nas áreas

[Administrativa] [horas/dia] [Administrativa] [meses/ano]

Informe, de maneira aproximada, o tempo de utilização do sistema de iluminação nas áreas

[Administrativa] [horas/dia] [Administrativa] [meses/ano]

Informe, de maneira aproximada, o tempo de utilização do sistema de iluminação nas áreas [Chão de fábrica] [horas/dia] [Chão de fábrica] [meses/ano]

Informe, de maneira aproximada, o tempo de utilização do sistema de iluminação nas áreas [Externa/ Pátio] [horas/dia] [Externa/ Pátio] [meses/ano]

Utiliza sistema de bombeamento?Qual?

[Centrífugas] [Deslocamento positivo (pistão, engrenagem)]

Qual o sistema de controle utilizado?

[Liga-Desliga] [Válvula de restrição] [Controle através de inversores]

[Outros]

Qual a faixa de potência instalada do sistema de bombeamento?

Faz uso de algum sistema de ventilação, insuflamento ou exaustão?Qual?

Qual o sistema de controle utilizado?

[Liga-Desliga] [Damper] [Inversor para controle]

Qual a potência média instalada do sistema (indique a unidade)?

Qual o sistema de controle utilizado?

A indústria faz uso de sistema de ar comprimido e/ou vácuo? Qual?

Informe a forma de controle para o(s) sistema(s) indicado(s)

Informe e indique a unidade da potência média instalada para o(s) sistema(s) indicado(s)

Informe a porcentagem estimada de perdas devido a vazamentos para o(s) sistema(s) indicado(s)

Qual a potência média instalada do sistema de compressão de processo ? (indicar unidade)

Faz uso de eletrotermia na industria?

Por meio de:

[Resistência elétrica]

[Fornos de indução]

[Fornos a arco]

Informe e indique a unidade da potência instalada:

A indústria faz uso do sistema de correias transportadoras?

Qual o sistema de controle utilizado?

Informe a quantidade ou o percentual da participação dos motores elétricos da indústria nas faixas de potência indicadas abaixo

[até 1 CV]

[acima de 1 até 10 CV]

[acima de 10 até 40 CV]

[acima de 40 até 100 CV]

[acima de 100 até 300 CV]

[acima de 300 CV]

Informe a quantidade ou o percentual do nível de tensão em que são alimentados os motores da industrial

[em 127 V]

[em 220 V]

[em 380 V]

[em 440 V]

[Outro nível] [Qual?]

Informe a quantidade ou o percentual de participação das chaves de partida dos motores elétricos da indústria

[Partida Direta]

[Softstarter]

[Autotransformador]

[Estrela - Triângulo]

[Inversor de Frequência]

[Outra] [Qual?]

Informe a quantidade ou o percentual do tempo médio de aquisição dos motores/equipamentos elétricos da indústria para os períodos indicados abaixo

[Há menos de um ano]

[Entre dois e cinco anos]

[Entre seis e dez anos]

[Entre onze e quinze anos]

[Mais de quinze anos]

Qual o tipo do forno elétrico utilizado?

[Resistência Elétrica]            [Indução Eletromagnética]            [Arco Elétrico]

[Aquecimento Direto]            [Aquecimento Indireto]

Quantidade? Qual a capacidade nominal? [tonelada/hora]            [peça/hora]

Qual o peso (kg) da peça?

Qual a potência nominal (kW)?

Qual o uso?

[Batelada]            [Contínuo]            [Fusão]

Qual a finalidade?

[Tratamento Térmico]            [Fusão]

Quantidade (fornos com canal):

[Fornos com canal]            [Fornos com cadinho]

Qual a capacidade nominal? [tonelada/hora]            [peça/hora]

Qual o peso (kg) da peça?

Qual a potência nominal (kW)?

Qual o uso? (fornos com canal) [Batelada]            [Contínuo]

Qual a finalidade? [Fusão]            [Tratamento Térmico]

## Anexo D – Mark Plus IV 2.0

O Mark IV Plus é uma ferramenta para diagnóstico e gestão energética, de livre acesso, disponível para *download* no *website* do Procel Info. O programa foi desenvolvido através da parceria PROCEL e da Universidade Federal de Itajubá. Essa ferramenta analisa as informações de uma instalação elétrica, nele inseridos, fornecendo um relatório com a análise do consumo de energia e quais medidas de conservação de energia podem ser tomadas.

Cada módulo do programa opera sobre uma Tabela própria de um banco de dados do *Microsoft Access* que contém os dados inseridos em cada módulo, bem como os resultados adquiridos nas análises. Esses módulos são independentes, podendo ser executados individualmente. O módulo da análise econômica serve como ferramenta de auxílio para aos demais. Tal ferramenta apresenta os seguintes módulos de análise:

- Análise de contas de energia
- Análise econômica
- Ar condicionado central e ar condicionado de janela,
- Caldeiras
- Cogeração
- Condensadores a água
- Fornos e estufas
- Iluminação
- Motores
- Quadros de distribuição
- Refrigeração
- Transformadores
- Tubulações.