PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

Engenharia Elétrica – Ênfase em Telecomunicação

Estudo de Eficiência em Conservação de Energia Elétrica

Gualter Ataíde Vieira Júnior

Tarciso Colodetti

Poços de Caldas

2008

Gualter Ataíde Vieira Júnior
Tarciso Colodetti

Estudo de Eficiência em Conservação de Energia Elétrica

Monografia apresentada à disciplina de trabalho de conclusão de curso, do curso de Engenharia Elétrica – Ênfase em Telecomunicação, como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheiro de Telecomunicação

Orientador: Prof. Rony Mark da Silva

Poços de Caldas
2008

V657e

ATAIDE, Gualter Vieira Júnior; COLODETTI, Tarciso.

Estudo de Eficiência em Conservação de Energia Elétrica. Poços de Caldas, MG. 2008.
120 p.

Orientador: Prof. Rony Mark da Silva
Dissertação (Graduação) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Graduação em Engenharia Elétrica com Ênfase em Telecomunicação.
Bibliografia

1. Conservação de energia elétrica. 2. Eficiência Energética. 3. Metodologias para diagnóstico energético. 4. Estudos em conservação de energia elétrica.

CDU-620.9

Gualter Ataíde Vieira Júnior
Tarciso Colodetti

Estudo de Eficiência em Conservação de Energia Elétrica

Monografia apresentada a disciplina trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de engenheiro eletricista pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Poços de Caldas, 2008.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. M.Sc. Rony Mark da Silva (orientador) – PUC MINAS

_____

Prof. Dr. Luiz Fernando Delboni - PUC Minas

_____

Prof. M.Sc. Lideir Viana – PUC Minas

DEDICATÓRIA

Eu, Gualter, dedico este trabalho aos meus amigos e familiares, que sempre acreditaram no meu sucesso e, acima de tudo, dedico este trabalho em especial ao meu pai Gualter, à minha mãe Rita, às minhas irmãs e ao meu irmão, que sempre me apoiaram em todos os momentos, e que me ajudaram a conquistar esta importantíssima etapa de minha vida.

Eu, Tarciso, dedico este trabalho à minha mãe Nadir, ao meu pai Mansueto e ao meu filho Pedro.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por iluminar e guiar nossos caminhos, permitindo a conclusão de mais uma etapa em nossas vidas.

Agradecemos ao apoio do PROCEL EDUCAÇÃO, subprograma do PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, cuja secretaria executiva pertence à Eletrobrás, empresa do Ministério de Minas e Energia, que doou livros didáticos e informações que ajudaram a enriquecer este trabalho.

Agradecemos ao nosso Professor e Orientador Rony Mark da Silva, pelo grande auxílio, paciência e atenção, para que este trabalho, apesar das dificuldades, pudesse ser realizado.

Não podemos deixar de agradecer um dos principais motivadores deste trabalho: Luiz Augusto Monteiro, que foi de fundamental importância, disponibilizando informações sobre o assunto e ajudando na criação deste trabalho.

Eu, Gualter, agradeço primeiramente a meus pais, Gualter A. Vieira e Rita C. de Souza Vieira, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões e que me ensinaram o caminho correto a ser seguido na vida, além de terem me proporcionado um futuro digno e próspero através do investimento que fizeram na minha educação.

Agradeço também às minhas irmãs, ao irmão e minhas sobrinhas, que sempre estiveram nos momentos difíceis e nos momentos alegres da minha vida.

Agradeço ainda à minha namorada Talita e sua família, por toda a força e carinho que me deram para a conquista de mais uma etapa de minha vida.

Eu, Tarciso, agradeço aos meus pais por tudo. Agradeço aos amigos que fiz nos estágios e que me ensinaram tanto para eu ser um possível bom profissional, Virgílio Campos, Marcelo Ventura, Lucas Abud e Sérgio Cocato. À minha namorada Aline, que agüentou todas as minhas flutuações de humor e nunca aceitou ficar longe de mim. À Elizabeth e ao Nestor por seus exemplos de comportamento e sabedoria. Ao meu filho, Pedro, que esteve comigo nos últimos semestres e me fez focar em meus objetivos e sempre foi um grande exemplo de estudante que sabe da importância do conhecimento e dos estudos. À minha irmã Amábili que me ajudou na hora certa e nos momentos difíceis e à minha sobrinha Elvira que me enchia de alegria quando eu conversava com ela pelo telefone. Ao meu irmão Marcelo que,

mesmo distante, me fazia sentir o valor de meus esforços e propósitos. À minha cadela Vela que esteve comigo todos os dias de sua vida me fazendo companhia.

É com muita alegria que agradecemos aos meus amigos de faculdade dos momentos difíceis de estudo para as provas, de desconcentração após as mesmas, do apoio nos segundos definitivos das avaliações. E não posso deixar de citar os nomes deles: Danyllo, Danyell, Demétrius, Miller, Eduardo Motta, Rodrigo Roig, Leandro Letti, Eduardo Villani, Breno Perin, Daniel Nascimento, Fábio José, Antônio Augusto.

Agradecemos também aos professores Marcos Trevisan, Rafael, Tia Márcia, Lideir, Fábio Murback, Henrique, Ivo, João, Marcolino, Sindy, Cláudio Corrêa, Marcelo, Sônia, Ana Paula, Maria Tereza, Delboni, Robertão, Artur e Rodrigo, que nos acompanharam em nossa jornada durante a faculdade, nos instruindo e nos educando para que sejamos homens de caráter e bons profissionais.

Enfim agradecemos a todos que contribuíram para a concretização dessa etapa em nossas vidas.

“Quando eu nasci, Papai do céu apontou o dedo para mim, e disse:
- Esse é “o cara.”

Romário

“É melhor atirar-se à luta em busca de dias melhores, mesmo correndo o risco de perder tudo, do que permanecer estático, como os pobres de espírito, que não lutam, mas também não vencem, que não conhecem a dor da derrota, nem a glória de ressurgir dos escombros. Esses pobres de espírito, ao final de sua jornada na Terra não agradecem a Deus por terem vivido, mas desculpam-se perante Ele, por terem apenas passado pela vida.”

Autor Desconhecido

RESUMO

Este estudo trata dos conceitos de eficiência energética e sua utilização na elaboração de propostas de tomada de decisão no que se refere à otimização do consumo de energia elétrica, em particular, para algumas empresas da cidade de Poços de Caldas-MG. Será apresentada uma visão do cenário energético no Brasil, focando o sistema de transformação de energia na unidade consumidora, utilizando-se de diagnósticos energéticos e ferramentas de engenharia para viabilizar a otimização das instalações elétricas, garantindo a eficiência no consumo e redução dos custos e perdas no processo. Ao final, são feitos estudos de casos que possibilitam demonstrar a importância da utilização inteligente da energia, com ganhos possíveis de eficiência produtiva e econômica.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Consultoria, Conservação de Energia.

ABSTRACT

This project deals with the concepts of energy efficiency and its use in the elaboration of decision making proposals for optimization use of the electric energy, in particular, for some companies in the city of Poços of Caldas-MG. It will be presented an overview of the energetic scenary in Brazil, particularly the system of energy transformation in the customer unit , using energy diagnosis and engineering toos to make possible the otimization of electrical plants, in order to maintain the efficiency in the consuption and reducing costs and losses in this process. At the end, cases are presented that demonstrates the importance of the intelligent use of the energy, with possible profits of productive and economic efficiency.

Key-words: Energy Efficiency, Consulting, Conservation of Energy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ILUSTRAÇÃO DA CADEIA DE USO DE ENERGIA 2001 33
FIGURA 2: ETAPAS DE UM PROGRAMA DE USO RACIONAL DE ENERGIA - 2006 39
FIGURA 3: ETAPAS DE UMA AUDITORIA ENERGÉTICA APRESENTADA POR NOGUEIRA, 1990 41
FIGURA 4: ALGORITMO ADAPTADO DOS ESTUDOS ENERGÉTICO, PROPOSTO PELOS AUTORES DESTE TRABALHO 45
FIGURA 5: CRITÉRIO DE INCLUSÃO DAS ESTRUTURAS TARIFÁRIAS 60
FIGURA 6: ESTRUTURA TARIFÁRIA CONVENCIONAL 61
FIGURA 7: ESTRUTURA TARIFÁRIA HOROSAZONAL AZUL 62
FIGURA 8: ESTRUTURA TARIFÁRIA VERDE 63
FIGURA 9: FLUXOGRAMA DE TAREFAS PARA ENQUADRAMENTO TARIFÁRIO. 68
FIGURA 10 – PAP 77
FIGURA 11 – CARACTERÍSTICA DA CARGA NA REDE ELÉTRICA 77
FIGURA 12 - ALGORITMO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE FP 80
FIGURA 13 - DIAGRAMA DOS TIPOS DE INSTALAÇÕES DE BANCO DE CAPACITORES 82
FIGURA 14 - EXEMPLO DE CÁLCULO DE FP 83
FIGURA 15 - FLUXOGRAMA PARA OTIMIZAÇÃO EM MOTORES 91
FIGURA 16 - ETAPAS DE REALIZAÇÃO DE CONSULTORIA DE CONSERVAÇÃO DE ELETRICIDADE EM ILUMINAÇÃO 104

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL - 2007 26
TABELA 2: OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL – 2007 27
TABELA 3: FATURA DE ELETRICIDADE DE UM CONSUMIDOR INDUSTRIAL – 2007/08 71
TABELA 4: HISTÓRICO DE CONSUMO DE POTÊNCIA – 2007/08 72
TABELA 5: GASTOS COM CONSUMO DE REATIVO - 2008 74
TABELA 6: DEMONSTRAÇÃO DE PERDAS NO SISTEMA - 2008 74
TABELA 7: DESCRIÇÃO DOS DADOS MEDIDOS E NOMINAIS DOS MOTORES - 2008 86
TABELA 8: DESCRIÇÃO DOS MOTORES E DO FATOR DE POTÊNCIA MEDIDO E CALCULADO - 2008 86
TABELA 9: ECONOMIA POR MÊS COM O BANCO DE CAPACITORES - 2008 87
TABELA 10: DESCRIÇÃO DOS DADOS NOMINAIS E MEDIDOS - 2008 100
TABELA 11: VALORES DE FP E IC 100
TABELA 12: RELAÇÃO DE CONSUMO DOS MOTORES - 2008 101
TABELA 13: ÍNDICES DE LUMINÂNCIA 107
TABELA 14: CLASSIFICAÇÃO DAS LUMINÁRIAS 109
TABELA 15: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS 110
TABELA 16: LÂMPADA INCANDESCENTE PARA ILUMINAÇÃO GERAL 112
TABELA 17: LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA 113
TABELA 18: LÂMPADA FLUORESCENTE TUBULAR 113
TABELA 19: INCANDESCENTES X FLUORESCENTES COMPACTAS - 2008 116

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - FC 56
EQUAÇÃO 2 - FP 57
EQUAÇÃO 3 – FATURAMENTO TIPO CONVENCIONAL 64
EQUAÇÃO 4 - FATURAMENTO TIPO HORO-SAZONAL AZUL 64
EQUAÇÃO 5 - FATURAMENTO TIPO HORO-SAZONAL VERDE 65
EQUAÇÃO 6 - FATURAMENTO DE ENERGIA REATIVA 66
EQUAÇÃO 7 - FATURAMENTO DE DEMANDA REATIVA 66
EQUAÇÃO 8- FP 76
EQUAÇÃO 9 - POTÊNCIA APARENTE 77
EQUAÇÃO 10 - FATOR DE POTÊNCIA 77
EQUAÇÃO 11 - COSΦ 77
EQUAÇÃO 12 - DETERMINAÇÃO DE IC PELO MÉTODO DA POTÊNCIA ABSORVIDA 93
EQUAÇÃO 13: DETERMINAÇÃO DE IC PELO MÉTODO DA ROTAÇÃO 94
EQUAÇÃO 14: RENDIMENTO 95
EQUAÇÃO 15: GASTOS COM MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO 96
EQUAÇÃO 16: RENDIMENTO 96
EQUAÇÃO 17: VARIAÇÃO DE RENDIMENTO 96
EQUAÇÃO 18 - DETERMINAÇÃO DE K 108
EQUAÇÃO 19 - LUMINÂNCIA MÉDIA 111
EQUAÇÃO 20 - FLUXO TOTAL 111
EQUAÇÃO 21 - Nº DE LUMINÁRIAS 113

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.
ANP – Agência Nacional de Petróleo.
BEN – Balanço Energético Nacional.
CODI – Comitê de Distribuição de Energia Elétrica
CONPET – Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
FUPAI – Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria.
GLD – Gerenciamento do Lado da Demanda
INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética.
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LED – Diodo de Emissão de Luz
MEB – Matriz Energética Brasileira.
MME – Ministério de Minas e Energia
NBR – Norma Brasileira de Regulamentação
OIE – Oferta Interna de Energia.
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PIB – Produto Interno Bruto.
PND – Programa Nacional de Desenvolvimento.
PNE – Programa Nacional de Energia.
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio ao Empreendedor.
CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18
1.1 Justificativa 18
1.2 Objetivos 19
1.2.1 Objetivo Geral 19
1.2.2 Objetivos Específicos 19
1.3 Metodologia 20
1.4 Estrutura do Trabalho 20
2 REVISÃO DA LITERATURA 22
3 A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL 24
3.1 Breve Histórico 24
3.2 O Mercado Atual de Energia: Fatos e Números 25
3.3 A importância da eficiência energética em conservação de energia elétrica.. 32
4 CONSULTORIA EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 36
4.1 Conceito 36
4.2 Metodologia para uma Consultoria em Eficiência Energética 40
4.2.1 Levantamento de dados gerais da empresa 41
4.2.2 Análise do perfil de consumo da empresa 41
4.2.3 Estudos em campo para diagnóstico energético 42
4.2.4 Desenvolvimento dos estudos técnicos de racionalização e otimização de energia. 43
4.2.5 Estudo econômico e financeiro das alternativas de redução de perdas. 44
4.2.6 Recomendações e Conclusões 44
4.3 Otimização do consumo de energia nas indústrias 45
5 TARIFAÇÃO 47
5.1 Introdução 47
5.2 Definição dos Indicadores do sistema de energia elétrica 48
5.2.1 Energia 48
5.2.2 Consumo de Energia Elétrica 48
5.2.3 Energia Elétrica Ativa 49
5.2.4 Energia Elétrica Reativa 49
5.2.5 Carga Instalada 49
5.2.6 Horário de ponta 49
5.2.7 Horário fora de ponta 50

5.2.8 Período úmido *51*
5.2.9 Período seco *51*
5.2.9 Demanda *52*
5.2.10 Demanda faturável *53*
5.2.11 Demanda contratada *53*
5.2.12 Demanda de ultrapassagem *55*
5.2.13 Demanda medida *55*
5.2.14 Demanda Média *55*
5.2.15 Fator de carga (FC) *56*
5.2.16 Potência *57*
5.2.17 Potência Aparente (Pap) *57*
5.2.18 Fator de Potência (FP) *57*
5.3 Enquadramento da Tensão de Fornecimento **58**
5.4 Enquadramento da estrutura tarifária **59**
5.4.1 Estrutura tarifária convencional *61*
5.4.2 Estrutura tarifária horo-sazonal *62*
5.5 CÁLCULO DAS FATURAS **63**
5.5.1 Tarifa Convencional *63*
5.5.2 Tarifa Horo-Sazonal Azul *64*
5.5.3 Tarifa Horo-Sazonal Verde *65*
5.5.4 Cálculo de faturamento de excedentes (UFER, UFDR) *65*
5.6 Fluxograma **67**
5.7 Método do trabalho para otimização tarifária **68**
5.8 Estudo de caso **70**
5.9 Recomendação e conclusão **75**
6 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA **76**
6.1 Introdução **76**
6.2 Fluxograma **80**
6.3 Método de Trabalho **80**
6.4 Estudo de caso **84**
6.4.1 Apresentação e objetivos *84*
6.4.2 Metodologia *85*
6.4.3 Recomendações e Conclusões *87*
7 ADEQUAÇÃO DA FORÇA MOTRIZ **89**
7.1 Introdução **89**
7.2 Fluxograma **90**

7.3 Método de Trabalho ... 91
7.3.1 Determinação do IC ... 93
7.4 Dicas de otimização do sistema motriz ... 97
7.4 Estudo de caso ... 98
7.4.1 Apresentação e objetivos ... 98
7.4.2 Metodologia e Conclusão ... 99
8 ILUMINAÇÃO ... 102
8.1 Introdução ... 102
8.2 Fluxograma ... 103
8.3 Método de trabalho ... 104
8.4 Cálculo de iluminação ... 105
8.3.1 Escolha do nível de iluminamento (E) ... 106
8.3.2 Determinação do fator do local (K) ... 108
8.3.3 Escolha das lâmpadas e das luminárias ... 108
8.3.4 Determinação do Fator de Utilização (Fu) ... 111
8.3.5 Fator de manutenção (Fm) ... 111
8.3.6 Determinação do Fluxo Total (ΦT) ... 111
8.3.7 Cálculo do Número de Luminárias ... 112
8.3.7 Distribuição das luminárias ... 113
8.4 Estudo de viabilidade econômica das recomendações ... 114
8.5 Dicas de Iluminação ... 114
8.6 Estudo de caso ... 115
8.6.1 Apresentação e objetivos ... 115
8.6.2 Metodologia e recomendação ... 115
9 CONCLUSÃO ... 118
10 REFERÊNCIAS ... 120

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica hoje para a realização de trabalho possui grande importância nas estratégias e políticas de nações em todo o mundo. A utilização de combustíveis derivados do petróleo, ou seja, não reutilizáveis, vem ocasionando grandes problemas para todo o planeta. A intervenção do governo nessa problemática tem sido na criação de programas que conscientizem e desenvolvam planos racionais de qualidade na geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica no setor residencial, comercial, industrial e público. Usar bem a energia e de forma eficiente é uma forma de obter a melhor produtividade da empresa, com benefícios ambientais e econômicos.

As políticas das concessionárias determinam a tarifação de energia elétrica utilizada pelos consumidores. Uma correta adequação do plano de tarifação pago por uma unidade consumidora é de grande importância para se traçar políticas de combate ao desperdício e obter economia dentro de uma instalação.

O gasto com energia elétrica é um elemento de decisão nos planos de crescimento de uma empresa. Agregar valor ao produto final através da eficiência no consumo de energia leva o consumidor à otimização do consumo de eletricidade, proporcionando um menor custo no produto final, mantendo a qualidade e gerando novas rendas para investimentos futuros.

Por tudo isso, este trabalho busca mostrar os conceitos relacionados à área de eficiência energética, quais parâmetros devem ser levados em consideração para maximizá-la em uma empresa e como implementar medidas que levem a esta melhora no aproveitamento energético. Apresenta ainda como deve funcionar uma consultoria nesta área, através do desenvolvimento de fluxogramas que ilustram os métodos, raciocínios e parâmetros para tomadas de decisão no ramo de eficiência energética, particularmente no mercado de consumidores de energia elétrica dos tipos industrial e comerciais.

1.1 Justificativa

O estudo de Eficiência Energética busca o melhor aproveitamento energético dos sistemas, melhorando a relação de energia consumida em relação ao produto produzido. A Eficiência Energética reduz o consumo energético (elétrico, térmico, hidráulico, pneumáticos e outros) por unidade de produto produzido. Dessa forma, pode-se reduzir o consumo de energia e manter a produtividade, ou manter o mesmo consumo de energia e ser mais produtivo. Portanto, esse trabalho se justifica devido à importância da implementação da Eficiência Energética nos processos industriais, visando proporcionar benefícios ambientais, econômicos e financeiros às empresas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho objetiva detalhar os conceitos de eficiência em conservação de energia elétrica e demonstrar a sua importância no combate ao desperdício de consumo de energia elétrica em empresas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar e estudar os conceitos básicos de eficiência energética;
- Estudar e estruturar como se faz um trabalho de consultoria na área de eficiência energética;
- Identificar e mapear os pontos de desperdícios de energia elétrica e suas causas em empresas;
- Apresentar estudo de casos que demonstrem os conceitos desenvolvidos.

1.3 Metodologia

Para a realização desse trabalho, primeiramente foram feitas pesquisas baseadas na leitura de textos técnicos com o objetivo de obter conhecimento sobre energia elétrica e eficiência energética. Foram utilizados livros, artigos técnicos, sites e outras fontes de literatura sobre o cenário de consumo e demanda de energia elétrica no Brasil.

O segundo passo foi a elaboração de uma proposta de metodologia de consultoria em eficiência energética como ação de investigação e análise do sistema de energia elétrica do consumidor.

Finalmente foram feitos estudos de casos nos sistema consumidores de eletricidade visando esclarecer e aplicar os conceitos desenvolvidos ao longo do trabalho.

1.4 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho e descreve seus objetivos e os métodos utilizados para realização do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura sobre a Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos.

O Capitulo 3 apresenta o cenário atual de oferta e consumo de energia elétrica no Brasil.

O Capítulo 4 apresenta uma proposta de metodologia para consultoria no ramo de eficiência energética

O Capítulo 5 apresenta os conceitos de Tarifação de Eletricidade e o estudo de caso quanto à questão da tarifação em uma unidade consumidora.

O Capítulo 6 apresenta os conceitos de Fator de Potência e o estudo de caso quanto à questão de excesso de energia reativa na unidade consumidora.

O Capítulo 7 apresenta os conceitos de Sistema Motriz e o estudo de caso quanto à questão de funcionamento dos motores na unidade consumidora.

O Capítulo 8 apresenta os conceitos de Iluminação e o estudo de caso quanto à questão de tecnologias de lâmpadas, luminárias em relação à luminância.

No Capítulo 9 é encontrada a conclusão deste trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Conforme Haddad, J. et al (2001, p. 96),

> Com a difusão da importância da sustentabilidade dos sistemas energéticos e sobretudo com a elevação dos preços relativos dos combustíveis em meados da década de setenta, emergia a necessidade do uso racional da energia, quer no âmbito das empresas, quer no cenário institucional. Desde então a chamada "conservação de energia" tem sido considerada como um recurso energético adicional, em muitos casos mostrando maior economicidade do que as alternativas disponíveis (Santos, A. H., et. al, FUPAI, 2001, p. 96.)

Nota-se pela citação anterior, que a busca por uma utilização mais eficiente da energia não começou nesta década, sendo uma preocupação antiga. Utilizando-se de técnicas específicas, pode-se dizer que, mesmo que os valores de redução de consumo de energia pareçam pequenos quando comparados aos custos totais de uma empresa, a energia não possui substituta, sendo um recurso muitas vezes não renovável e/ou de difícil obtenção, o que justifica o esforço por melhor utilizá-la. Isso expande a noção que se tem deste problema para além da questão meramente econômica, abrangendo também a área ambiental.

Nos dizeres de Gardia, Eduardo Crestana, et al (2007, p.2),

> Entre os vários custos gerenciáveis em uma empresa, seja do setor industrial ou comercial, a energia vem assumindo, cada vez mais, uma importância crescente, motivada pela redução de custos decorrentes do mercado competitivo, pelas incertezas da disponibilidade energética ou por restrições ambientais. De qualquer forma, seja qual for a motivação, promover a eficiência energética é essencialmente usar o conhecimento de forma aplicada, empregando os conceitos da engenharia, economia e administração aos sistemas energéticos. Contudo, dada a diversidade e complexidade desses sistemas, é interessante apresentar técnicas e métodos para definir objetivos e ações para melhorar o desempenho energético e reduzir as perdas nos processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia (Santos, A. H., et. al FUPAI ,2007, p.2).

Portanto, percebe-se que as consultorias em eficiência energética constituem um passo essencial para obter-se um diagnóstico preliminar para se formular um estudo de redução de desperdícios de energia. Este profissional, encarregado de efetuar a gestão da energia, tem os desafios de avaliar a quantidade de energia ou

demanda energética necessária ao atendimento das necessidades atuais e futuras da empresa, bem como adquirir ou contratar no mercado essa disponibilidade energética.

Conforme Nogueira, Luiz A. Horta et al (2001, p.100),

> A gestão energética de uma instalação existente aborda as seguintes medidas:
> - Conhecimento das informações relacionadas com os fluxos de energia, as ações que influenciam estes fluxos, os processos e atividades que utilizam a energia e a relacionam com um produto ou serviço;
> - Acompanhamento dos índices de controle como, por exemplo, consumo de energia, custos específicos, fator de utilização e os valores médios, contratados, faturados e registrados de energia;
> - Atuação nos índices com vista a reduzir o consumo energético através da implementação de ações que buscam a utilização racional de energia. (Santos, A. H., et. al, FUPAI, 2001, p.100).

O procedimento de trabalho de uma consultoria nesta área inicia-se com o diagnóstico da realidade energética de uma empresa, para estudar soluções possíveis de implantação na redução de perdas.

De acordo com dados divulgados pela CPFL Energia, 2005,

> Estudos sobre as mais diversas modalidades de desperdício revelam que, anualmente, o Brasil "joga pelo ladrão" US$ 50 bilhões. Só em energia elétrica, quase US$ 5 bilhões se perdem em luzes desnecessariamente acesas, longos banhos, máquinas desreguladas e mal dimensionadas, e equipamentos e processos de fabricação obsoletos (não eficientes). A indústria, dentro de expectativas otimistas, está desperdiçando 25% da energia que consome, devido às falhas na manutenção e à utilização inadequada de equipamentos e processos de fabricação, (CPFL Energia, 2005).

Portanto, a utilização eficiente e racional da energia na conciliação dos custos de investimento e dos custos operacionais é sempre desejável. Lembrando que combater o desperdício de energia é adequar o consumo, a utilização dos equipamentos e os profissionais capacitados à correta aplicação dos conceitos da engenharia e análise econômica.

3 A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

3.1 Breve Histórico

No Brasil, a história da utilização de energia elétrica advém do final do séc. XIX com a instalação das primeiras centrais de distribuição de energia. A partir do séc. XX, a estruturação do sistema brasileiro aconteceu com base em investimentos estrangeiros. Porém, essa situação mudou a partir do racionamento do ano de 1940, com a reestruturação do sistema elétrico brasileiro e com a criação da Comissão Estadual de Energia Elétrica em 1943, da Companhia Hidroelétrica do São Francisco em 1946 e das Centrais Elétricas de Minas Gerais em 1952. A partir deste novo cenário, onde as concessionárias estrangeiras foram compradas pelo governo federal, o poder do desenvolvimento dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no país passou por um grande processo de aumento de consumo e demanda dos consumidores

Conforme Maria P. S. Martins (Monografia de Pós Graduação – MBA em Engenharia Elétrica, 1999, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ), a partir do período conhecido como milagre brasileiro (1968-1973), ocorreu expressiva expansão da economia, com conseqüente aumento da renda per capita nacional bem como do consumo per capita de energia elétrica. Ao longo da década de 70, o consumo de energia elétrica por unidade do produto evoluiu de 0,162 kWh/US$ para 0,215 kWh/US$ e o consumo per capita de 430 kWh/hab. para 1.025 kWh/hab. Como conseqüência, a participação da eletricidade no balanço energético nacional saltou de 17% para 28%. Nos anos 80, o consumo de energia elétrica foi impulsionado pela maturação dos projetos industriais previstos no II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), implantados a partir do final dos anos 70 bem como pela queda constante do nível tarifário.(Maria P. S. Martins, MBA em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 1999, p. 5).

Assim, a influência da energia elétrica no balanço energético demonstra ser um grande atrativo para conhecimentos que qualifiquem o sistema de geração, transmissão, distribuição bem como transformação dentro das unidades fabris dos consumidores.

Até este momento, o setor elétrico é monopolizado pelo estado, porém, a partir dos últimos anos, começou a passar por profundas mudanças, sendo as principais:

- Privatização das concessionárias que não dispunham de recursos para investir na expansão do sistema;
- Desregulamentação do setor;
- O Estado passa a realizar funções de órgão regulador através da agência Nacional de Petróleo (ANP) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL);
- Aparece a figura dos produtores independentes, autoprodutores e concessionários de serviço público.

Estas medidas visavam aumentar a atratividade do setor energético e conseguir, no setor privado, os recursos necessários para satisfazer a crescente demanda de energia. Como conseqüência, a sociedade acaba se beneficiando com a retomada dos projetos paralisados e a viabilização de novos projetos, já com recursos oriundos da iniciativa privada, visando, não só o atendimento das crescentes demandas dos consumidores, como também a recuperação dos atrasos existentes no programa de obras conforme Maria Paula de Souza Martins. (Maria P. S. Martins, MBA em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 1999, p. 7).

3.2 O Mercado Atual de Energia: Fatos e Números

Conforme Balanço Energético Nacional (BEN, 2008 ano base 2007), foram concluídos os levantamentos que compõem uma idéia concisa da Oferta Interna de Energia (OIE) e de outras estruturas energéticas. Tais levantamentos indicam que a demanda total de energia no Brasil atingiu 238,3 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo, correspondente a 41,87.109J), montante 5,4% superior à demanda verificada em 2006. A Tabela 1 faz um resumo da oferta interna de energia no Brasil.

Tabela 1
Oferta de energia no Brasil - 2007

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		07/06 %	Estrutura %	
	2006	2007		2006	2007
NÃO-RENOVÁVEL	**124.207**	**129.065**	**3,9**	**54,9**	**54,2**
PETRÓLEO E DERIVADOS	85.287	89.224	4,6	37,7	37,4
GÁS NATURAL	21.716	22.239	2,4	9,6	9,3
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	13.537	14.340	5,9	6,0	6,0
URÂNIO (U3O8) E DERIVADOS	3.667	3.263	-11,0	1,6	1,4
RENOVÁVEL	**101.880**	**109.263**	**7,2**	**45,1**	**45,8**
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	33.537	35.506	5,9	14,8	14,9
LENHA E CARVÃO VEGETAL	28.589	28.644	0,2	12,6	12,0
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	32.999	37.508	13,7	14,6	15,7
OUTRAS RENOVÁVEIS	6.754	7.606	12,6	3,0	3,2
TOTAL	**226.086**	**238.328**	**5,4**	**100,0**	**100,0**

Fonte: BEN 2008.

O aumento na oferta total de energia se deu com incremento no uso das fontes renováveis (hidráulica, biomassa, eólica e outras). De fato, houve crescimento de 7,2% na energia proveniente dessas fontes, enquanto que as não-renováveis (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e urânio) cresceram 3,9%. Com isso, a energia renovável passou a representar 45,8% da Matriz Energética Brasileira (MEB) em 2007.

Outra questão importante a ser considerada é a necessidade de energia elétrica na execução de tarefas nos setores da indústria, comercial e serviços, residencial, público e rural. O gráfico 1 mostra como é o perfil de consumo brasileiro de energia com relação às suas fontes :

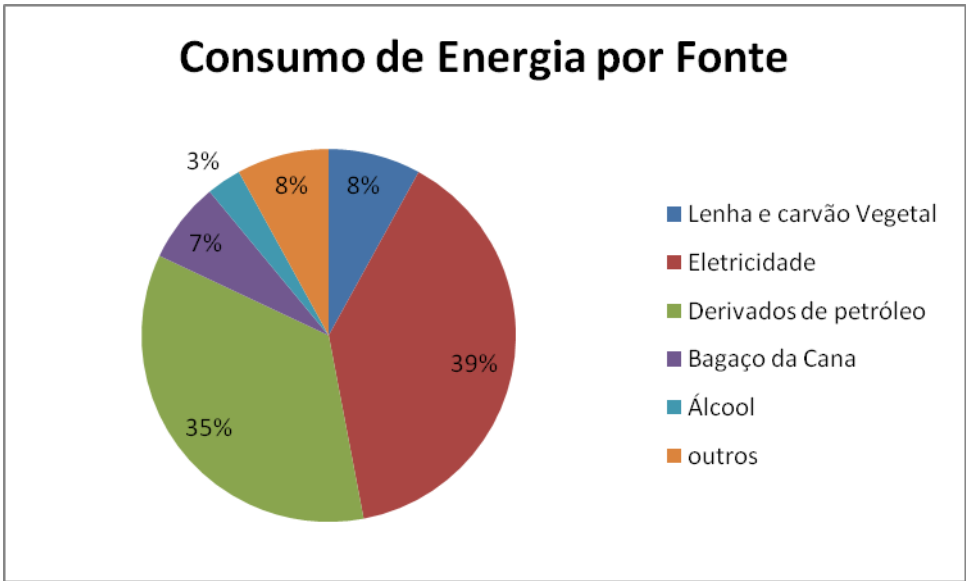

Gráfico 1 - Energia para uso final no Brasil - 2007
Fonte: BEN 2008.

É possível verificar a grande utilização da energia elétrica pelos consumidores no Brasil. A influência da utilização de energia elétrica no consumo de energia é uma questão técnica e sócio-econômica que deve ser levada em conta na elaboração de estratégias de política econômica.

Analisando agora mais especificamente a energia elétrica, conforme a tabela 2, a versão preliminar da Oferta de Energia Elétrica do país em 2007 mostra crescimento de 5,2% em relação a 2006, atingindo um montante de 484,5 TWh, incluindo 45,2 TWh de geração de autoprodutores (9,3% de participação) e 38,5 TWh de importação líquida (7,9%). Na composição da matriz de oferta, os destaques ficam com os incrementos da geração hidráulica de 7,3%, da biomassa, de 12,3% e dos derivados de petróleo, de 10,4%. Os decréscimos na oferta ficam por conta do carvão mineral (10,7%), energia nuclear (10,5%) e gás natural (3,6%).

Tabela 2
Oferta de energia elétrica no Brasil – 2007

Especificação	GWh		07/06 %	Estrutura %	
	2006	2007		2006	2007
Hidroelétrica	348.805	374.378	7,3	75,7	77,3
Nuclear	11.754	12.307	-10,5	3	2,5
Gás Natural	18.258	17.608	-3,6	4	3,6
Carvão Mineral	7.222	6.454	-10,6	1,6	1,3
Derivados do Petróleo	12.374	13.663	10,4	2,7	2,8
Biomassa	14.959	16.794	12,3	3,2	3,5
Gás Industrial	3.964	4.838	22	0,9	1
Importação	41.164	38.480	-6,5	8,9	7,9
Total	460.500	484.520	5,2	100	100

Fonte: BEN 2008.

Conforme pode-se observar na tabela 2, do total produzido no Brasil, a energia hidroelétrica continua com supremacia na matriz de oferta de energia elétrica, representando 77,3% do total. Em seguida aparece a geração a gás natural, com 3,6%, e a biomassa na terceira posição, com 3,5% de participação. Destaque-se o forte incremento na geração eólica, de pouco mais de 236 GWh em 2006, para 559 GWh em 2007. O gráfico 2, mostra melhor a divisão de nossa matriz energética elétrica.

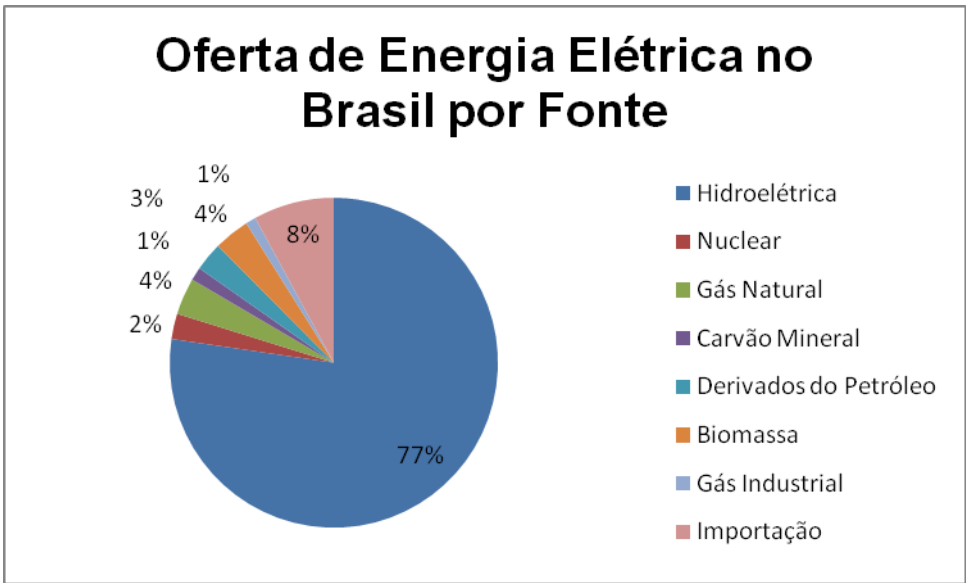

Gráfico 2: Matriz da oferta de energia elétrica – 2007
Fonte: BEN 2008.

No Brasil, as características físicas e geográficas foram determinantes para a implantação de um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hidráulica. Como cerca de 25% de todo o potencial hidrelétrico conhecido corresponde a usinas em operação e em construção, estima-se que pelo menos nas duas próximas décadas, as fontes hidráulicas continuarão a desempenhar importante papel no atendimento à crescente demanda de energia elétrica. O Brasil possui um grande potencial de geração de energia com base em fontes renováveis. Com grande incidência de luz solar, para geração fotovoltaica principalmente na região equatoriana, extenso litoral, muitos rios com correnteza e grandes relevos que favorecem a geração de eletricidade pelo vento e movimento das marés. Ainda, o Brasil é um grande produtor de álcool e possui políticas governamentais para aumentar a participação dessa fonte na matriz energética nacional. Esses são indicadores de oportunidades de se produzir energia sem afetar o meio ambiente.

Conforme publicado no jornal PROCEL, 2006, em países em desenvolvimento como o Brasil, o crescimento do consumo de energia elétrica é de 3 a 5% ao ano. Para atender a este consumo, novas usinas geradoras, sistemas de transmissão e distribuição foram e devem continuar a serem construídas, (Jornal on-line, Eletrobrás/PROCEL, 2006).

De acordo com o crescimento do consumo de energia é importante fazer uma relação gráfica entre o consumo e o Produto Interno Bruto (PIB), que é um indicador de desenvolvimento. O gráfico 3 mostra a relação entre o Produto Interno Bruto

(PIB) e o consumo brasileiro de energia elétrica que permite visualizar a relação entre consumo de energia e desenvolvimento econômico:

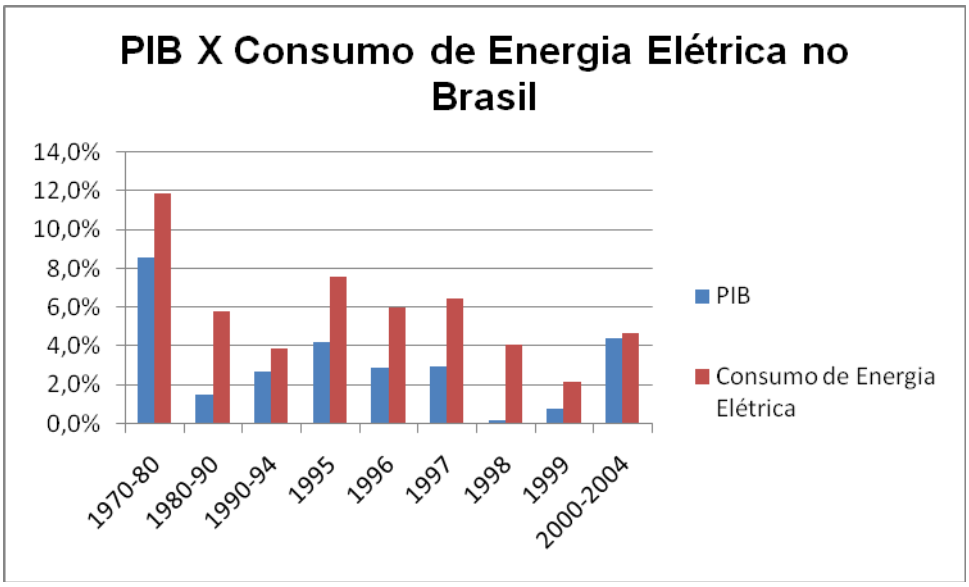

Gráfico 3: PIB X Consumo – 2005
Fonte: ANEEL

Observado o potencial de uso de eletricidade no Brasil para diversas atividades, é possível ver a oportunidade de investimentos no setor gerando maior qualidade da energia e mais serviços agregando valor e emprego.

Conforme BEN, em 2007 o consumo final de energia foi de 411,9 TWh sendo constituído por 47% de uso industrial, 22% de uso residencial, 23% de uso comercial, público e rural e 8% de uso em outros setores.

O gráfico 4 possibilita identificar as parcelas dos setores da economia no consumo de energia:

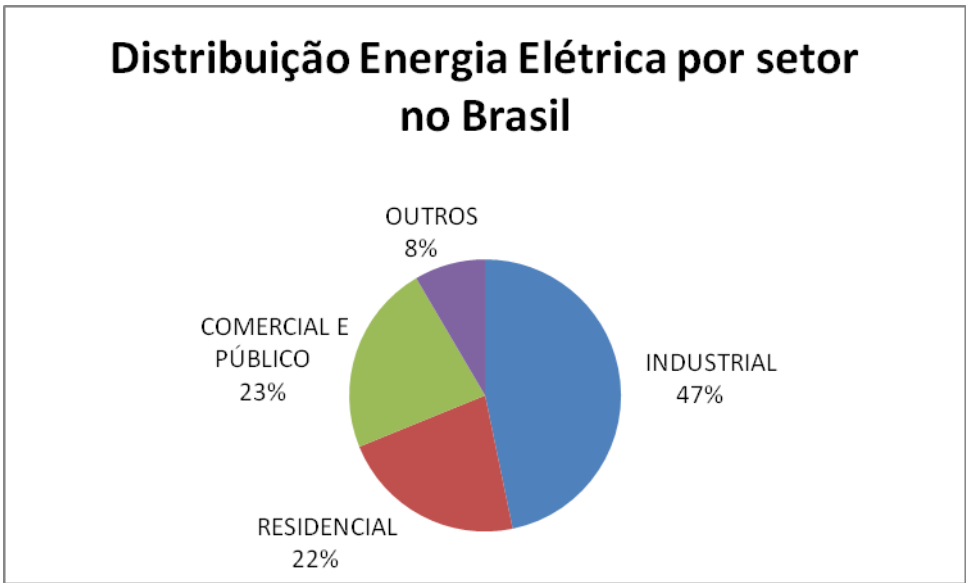

Gráfico 4: Matriz de Consumo Final de Energia elétrica por Setor – 2007
Fonte: BEN 2008

Dentro do cenário de consumo setorizado de energia elétrica no Brasil, as indústrias são responsáveis por expressivas parcelas de desperdício de energia, pois são suas maiores consumidoras. Os sistemas motrizes são responsáveis por 50% do total de energia elétrica consumida nas indústrias e compreendem, predominantemente, acionamento eletroeletrônico, motor elétrico, acoplamento motor carga, carga mecânica acionada (bombas, compressores, ventiladores, exaustores e correias transportadoras) e instalações (transporte e consumo de fluidos). Essa significativa parcela no uso final de energia elétrica revela uma oportunidade de estudos para ações de combate ao desperdício de energia elétrica. O gráfico 5 mostra como está distribuída a energia dentro do setor industrial:

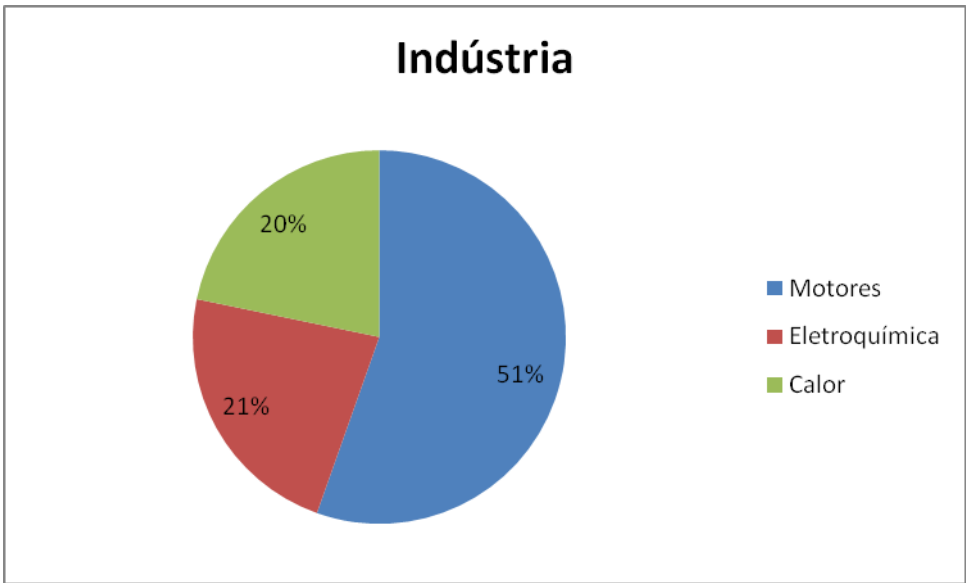

Gráfico 5: Consumo de energia elétrica no setor industrial – 2001
Fonte: BEN 2008

Dentro do setor Residencial, o maior consumo de energia elétrica é na atividade de refrigeração, com 32%, mas o consumo neste setor vem aumentando, isto deve ao aumento do PIB, onde o consumidor vem ganhando um poder de compra maior, e estas compras geralmente são de utensílios domésticos que fazem uso de energia. É possível ver no gráfico 6 como fica a distribuição do consumo no setor residencial:

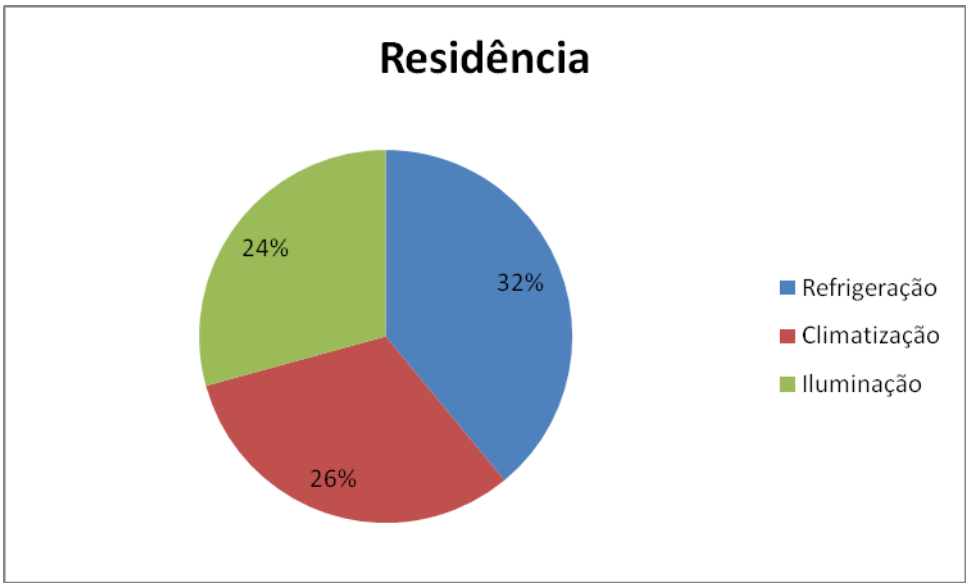

Gráfico 6: Consumo de energia elétrica no setor residencial – 2001
Fonte: BEN 2008

Já no setor comercial e de serviços, o maior consumo se dá com gastos de iluminação, com 44%, seguido de climatização e refrigeração, conforme gráfico 7.

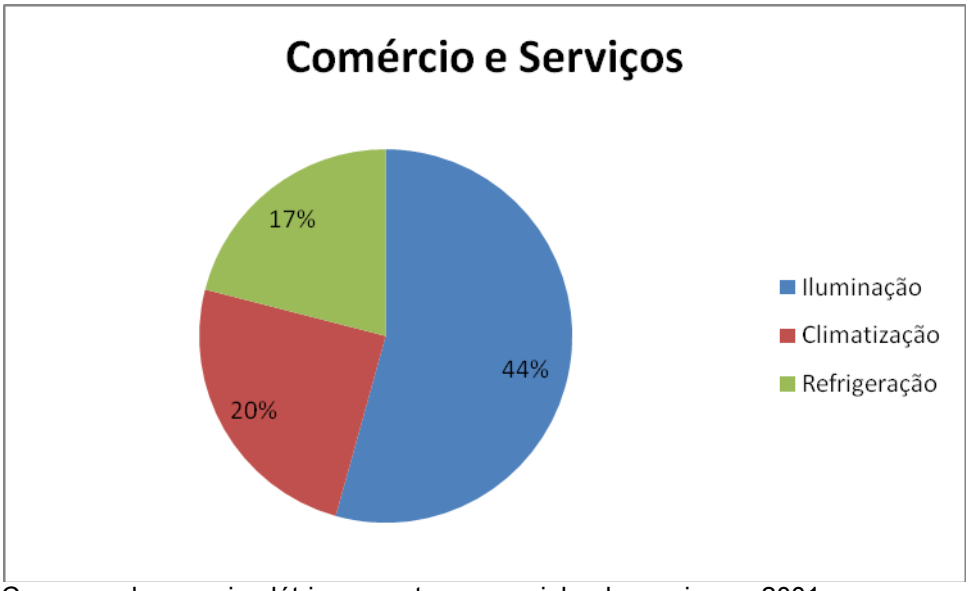

Gráfico 7: Consumo de energia elétrica no setor comercial e de serviços – 2001
Fonte: BEN 2008

Com base no cenário energético brasileiro, da matriz de oferta e da observação do consumo nos setores, verifica-se que o consumo de energia no Brasil tem aumentado a necessidade de obtenção de novas fontes supridoras e se constituído em um desafio a ser superado permanentemente. Fica clara a importância de se ter uma política de conservação de eletricidade como medida estratégica para todos os consumidores. O país precisa de gerenciamento de desperdícios e qualidade na produção para garantir a continuidade da produção agregando valor ao produto apenas com a conservação e correta utilização de eletricidade.

3.3 A importância da eficiência energética em conservação de energia elétrica

Qualquer atividade em uma sociedade só é possível com o uso intensivo de uma ou mais formas de energia. O uso desta energia passa por uma série de etapas de transformação, desde como ela é encontrada até a parte de uso final. A figura 1 ilustra a cadeia de uso da energia, mostrando sua transformação em cada etapa.

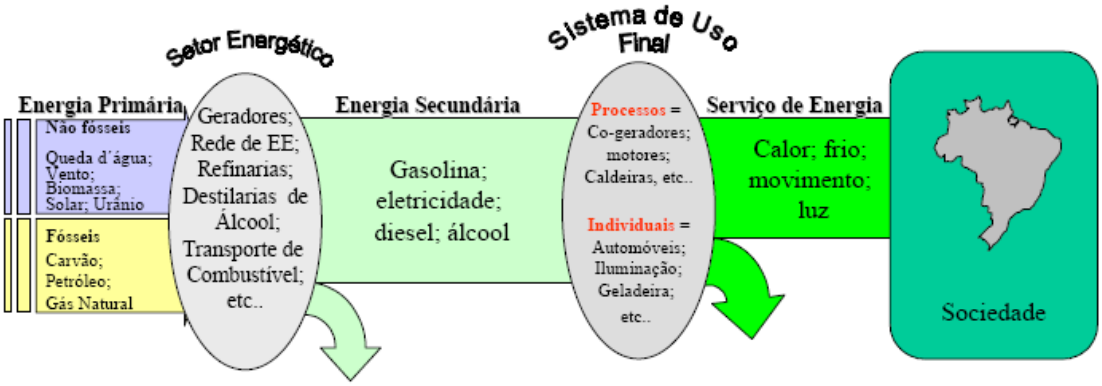

Figura 1: Ilustração da cadeia de uso de energia 2001
Fonte: Instituto Nacional de Eficiência Energética

Dentre as diversas formas de energia, o que mais interessa para a sociedade é o serviço de energia para consumo final, um exemplo da disposição destes serviços é a eletricidade, gasolina, gás natural, álcool, etc.

A energia é utilizada em diversos sistemas diferentes como em lâmpadas para iluminação, motores elétricos, automóveis ou em sistemas inteiros de uma fábrica. Todos estes equipamentos e sistemas transformam a energia, onde, parte dela é sempre perdida para o meio. Um exemplo prático disso é uma lâmpada simples, o propósito dela é iluminar, mas na transformação desta energia parte se converte em luz e outra é perdida em calor.

A evolução do sistema de eletricidade do Brasil está num momento de qualificação do consumo de energia dentro das unidades consumidoras. Portanto, medidas de controle e prevenção de perdas assim como automatização do sistema de produção vêm se juntando à idéia de otimização dos processos pois isso garante maior produtividade com menor custo de produção. Sendo assim, é visto com grande potencial de favorecimento neste processo a utilização de medidas inteligentes de utilização de energia elétrica junto à instalação elétrica e elementos motrizes ou de consumo de energia elétrica.

A eficiência energética é a própria conservação de energia. Esta geralmente reduz o impacto ambiental do uso da energia tanto a nível setorizado como globalmente.

Melhorar a eficiência significa reduzir o consumo de energia em qualquer das etapas de transformação para produzir um determinado serviço. Ela é um instrumento barato e de alto rendimento que permite reduzir as demandas de energia, e conseqüentemente, poupar investimentos, ao mesmo tempo em que

contribui de maneira significativa para os esforços de aumento da produtividade e competitividade.

A eficiência energética atende os interesses do Programa Nacional de Energia promovendo o desenvolvimento e valorizando os recursos energéticos com investimentos vinculados a modernização das unidades produtivas.

A conscientização dos consumidores para a utilização racional de energia elétrica é um indicador que mostra o grau de aceitação de medidas de eficiência energética na produção. Esta conscientização também pode ser tornar uma realidade no setor de prestação de serviços. Os benefícios da mesma têm favorecido a fixação da idéia de eficiência energética no país conforme a evolução do mercado e das tecnologias.

As perspectivas de consumo tendem a se modificar e não diminuir com o passar do tempo, assim, torna-se importante a consciência da utilização de energia alternativa ou cogeração na geração de energia, bem como na transformação dela em energia mecânica na unidade consumidora utilizando medidas inteligentes e equipamentos mais eficientes no uso da energia no uso final.

Todavia, tal objetivo deve levar em conta as severas limitações motivadas principalmente pelo esgotamento gradativo das reservas de combustíveis fósseis, pelo aquecimento global e pelas emissões de dióxido de carbono.

O conhecimento do atual cenário energético mundial contribui para o estudo do caso brasileiro, na medida em que as experiências internacionais possam ser examinadas à luz da nossa realidade, analisando-se criteriosamente a viabilidade de sua transposição, ainda que parcial, para nosso país.

É necessário, em contrapartida, reconhecer que o setor energético brasileiro apresenta singularidades distintas e que o aumento da oferta de energia em nosso país é uma condição indispensável para permitir a aceleração do nosso desenvolvimento e a superação das desigualdades sociais. Isso dependerá do êxito a ser alcançado no esforço de expansão da oferta, em conformidade com novas diretrizes, tornando-se indispensável também, considerar a adoção de novas tecnologias e a introdução de práticas de racionalização do uso e de conservação de eletricidade.

Abarcando uma visão social, da saúde e do bem estar do ser humano no planeta, a eficiência energética deve ser considerada de grande importância por que é a própria conservação do meio ambiente.

O pleno atendimento às demandas de energia, das indústrias, dos meios de transporte, das residências, etc. - representa fator indispensável para assegurar o contínuo desenvolvimento de nosso planeta.

O tema eficiência energética tem estreita relação com processos de sustentabilidade e preservação ambiental. Para cada motor mais eficiente instalado em uma indústria, cada luminária de menor consumo energético fincada num poste da Iluminação Pública ou ainda para cada aquecedor solar doado para população de baixo poder aquisitivo, são economizados água, gás, combustíveis fósseis e outras matérias primas utilizadas no processo de geração de energia

Pensar na eficiência energética apenas como medida política para solução de crises emergenciais é uma forma errada de encarar as oportunidades, economias e avanços que a tecnologia e o desenvolvimento geral podem trazer aos novos panoramas que estão próximos de acontecer.

4 CONSULTORIA EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

4.1 Conceito

Segundo Neves L.T.Jr, (2002),

> consultoria é uma prestação de serviços onde a atividade é exercida por um profissional denominado Consultor. Geralmente no trabalho de uma consultoria, existem etapas claras de ação, são elas: a investigação ou levantamento de informações, a identificação ou constatação de causas, o estudo de alternativas viáveis, a proposição de soluções e, em alguns casos o acompanhamento e assessoramento na implementação das medidas recomendadas para solucionar os problemas existentes na empresa, (Neves L.T.Jr, SEBRAE/SC, 2002).

O trabalho de consultoria pode ser realizado nas mais diversas áreas, (Finanças, RH, Tecnologia, Eficiência Energética, etc.), de maneira abrangente, englobando a empresa como um todo, ou parcialmente, trabalhando em setores ou problemas específicos.

Para Nogueira, Luiz A. Horta et al (2001, p.134),

> A consultoria em Eficiência Energética – E.E tem como objetivos a conscientização da importância da eficiência energética, a otimização do uso das fontes energéticas pelos processos produtivos, o aumento da oferta de empregos pelo desenvolvimento de novas oportunidades e a promoção do desenvolvimento econômico sustentável (Santos, A. H., et. al FUPAI, 2001, p.134).

Desta maneira, o estudo de uma Consultoria em Eficiência Energética faz uso de metodologias desenvolvidas para avaliar os diversos aspectos que o tema energia é abordado dentro das empresas, nas questões práticas e operacionais.

O Sistema de Consultoria em E.E. busca sistematizar uma forma de análise dos diversos aspectos internos relacionados ao consumo e uso das fontes de energia, visando a melhoria da energia consumida em relação ao produto produzido,

permitindo um comparativo de desempenho que possibilite uma visão clara de como se encontra a empresa.

O principal objetivo da Consultoria em E.E. é o de permitir as empresas que tenham uma visão global de sua situação em relação a consumo de energia, envolvendo questões relativas às condições específicas de utilização de energia. A implementação de uma consultoria em eficiência energética nos processos industriais e comercias proporciona benefícios ambientais, econômicos e financeiros às empresas, podendo esta empresa definir e adotar ações mais adequadas para melhoria de seu desempenho em termos de seu consumo energético.

Como observado nos capítulos anteriores, o crescente aumento de demanda e a elevação dos preços relativos dos combustíveis são de onde emergiu o interesse de realizar um trabalho voltado para eficiência energética, abordando a conservação de energia nos sistemas motrizes, iluminação e tarifário.

De acordo com Nogueira L.A.H. et al (2006, p.131), a chamada “conservação de energia” ou “eficiência energética” tem sido considerada como um recurso energético adicional, em muitos casos mostrando mais economia do que as alternativas disponíveis, (Santos, A. H., et. al, FUPAI, 2006, p.131).

Para efetuar uma consultoria na área de eficiência energética, no âmbito de conservação de energia, necessita-se de um engenheiro ou um profissional capacitado com um bom conhecimento na área de mecânica e elétrica e um ou mais técnicos que lhe auxiliarão no processo de aquisição de dados.

Alguns instrumentos de medida necessários utilizados pelo profissional da área para fazer o levantamento de dados para um diagnóstico energético são basicamente: termômetro digital com várias pontas sensoras, analisador de gases, medidor de velocidade de fluidos, psicômetro, tacômetro, luxímetro, multímetro, além de utilizar-se de programas de computadores para fazer simulações e análise de investimentos futuros para auxiliá-lo na consultoria.

Conforme Nogueira L.A.H. et al (2006, p.143),

> a ferramenta analítica básica para a identificação de perdas energéticas em sistemas elétricos e mecânicos é a Termodinâmica, especialmente através de sua Primeira Lei, que permite a contabilidade dos fluxos em uma dada fronteira. No entanto, reconhecendo que o fluxos energéticos têm também qualidade, tem sido sugerida a análise pela Segunda Lei, sendo possível demonstrar, por exemplo, que fluxos energéticos de igual valor, mas sob

> temperaturas diferentes, têm qualidades ou disponibilidades termodinâmicas distintas, (Santos, A. H., et. al FUPAI, 2006, p.143).

O responsável técnico pela gestão de energia, além de tornar cada vez mais eficientes as instalações, sistemas e equipamentos deve responder a dois desafios: avaliar o montante de energia ou demanda energética necessária ao atendimento de suas necessidades atuais e futuras, bem como adquirir ou contratar no mercado essa possibilidade energética.

A gestão e a otimização energética passa por uma avaliação permanente de sua matriz energética, estabelecendo estratégias de curto, médio e longo prazo, nos montantes de aquisição de energia elétrica e auto-produção, evitando nesse caso o custo do transporte de energia elétrica, além da forma ou energético mais apropriado ou viável (óleo combustível, gás natural, GLP, lenha, biomassa, etc.).

Para que se adote qualquer iniciativa que tenha por objetivo a racionalização ou uso inteligente de energia em qualquer empresa, é preciso conhecer e diagnosticar a realidade energética, para estabelecer as prioridades, implementar os projetos de melhoria e redução de perdas e acompanhar seus resultados em um processo contínuo. Esta abordagem é válida para instalações novas, em caráter corretivo, em empresas industriais ou comerciais, (Haddad, J, et. al).

Para Nogueira L.A. H. et al (2006, p.124),

> a utilização de estudos eficientes e racionais da energia é um objetivo a ser buscado em qualquer conjuntura, onde a conciliação dos custos de investimento e dos custos operacionais em bases corretas é sempre desejável. E, mesmo lembrando que conservar energia é se limitar à correta aplicação dos conceitos da engenharia e análise econômica, a questão de implementar a adequada gestão dos fluxos energéticos procede às etapas mostradas na figura 2 a seguir. Naturalmente que cabem diversas realimentações entre estas etapas (Santos, A. H., et. al FUPAI, 2006, p.13).

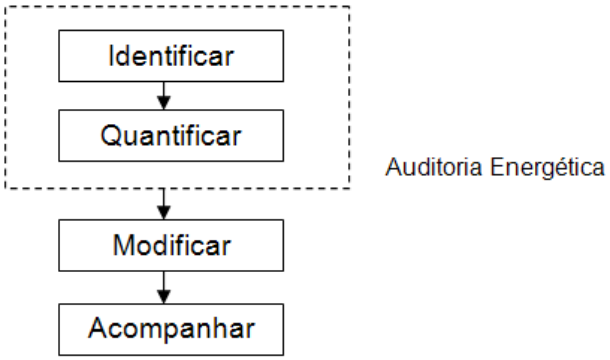

Figura 2: Etapas de um programa de uso racional de energia - 2006
Fonte: Eletrobrás/ PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / FUPAI, Itajubá, 2006

Em outros termos, é preciso conhecer e diagnosticar a realidade energética para então estabelecer as prioridades, implementar as recomendações de projetos de melhoria e redução de perdas e acompanhar seus resultados, em um processo contínuo. Esta abordagem é valida para instalações novas, em caráter preventivo, ou instalações existentes, em caráter corretivo, em empresas industriais ou comerciais. Das quatro etapas anteriores, a análise ou estudo energético atende às duas primeiras, identificando e quantificando os fluxos energéticos ao longo do processo produtivo de bens e serviços.

Os estudos de consultoria energética constituem um instrumento essencial de diagnóstico preliminar básico para obter as informações requeridas para a formulação e acompanhamento das recomendações de redução de desperdício de energia.

A seguir são apresentados os dados que, em geral, são requeridos para um estudo em uma indústria, adaptado de Kenney (1984).

- Consumo mensais de água, energia elétrica e combustíveis, ao longo de um ano;
- Plantas, desenhos e esquemas detalhados das instalações;
- Balanços energéticos e de material, atualizados, para cada unidade;
- Temperaturas e pressão nos pontos relevantes, valores medidos e de projeto;
- Características elétricas dos equipamentos e valores medidos associados;
- Considerações sobre as especificações do produto, de caráter energético;
- Considerações ambientais e de locação da empresa;
- Perspectivas de alterações no processo.

É fácil perceber que, dos dados acima, apenas uma parte está imediatamente disponível para o consultor. Diversas informações devem resultar de medidas em

campo, consultas a fabricantes e entrevistas com os responsáveis pela empresa. Algumas vezes não se dispõe de desenhos atualizados, daí a necessidade de um levantamento preliminar cuidadoso.

4.2 Metodologia para uma Consultoria em Eficiência Energética

Aqui são apresentados os elementos para a realização de estudos energéticos, sobretudo em pequenas e médias empresas, abordando-se os procedimentos e os requerimentos tipicamente observados e baseando-se em atividades concretas desenvolvidas em empresas industriais e comerciais de Poços de Caldas e região.

Deve-se mencionar aqui que grande parte destas atividades foram realizadas com a ativa cooperação e envolvimento direto do técnico em eletrotécnica Luiz Augusto Monteiro, cuja a experiência foi essencial e permitiu o desenvolvimento de estudos energéticos junto a empresas de Poços de Caldas e região, onde proporcionou aos autores deste trabalho os dados necessários aos capítulos finais desta monografia.

Qualquer estudo dos fluxos energéticos em uma empresa com o propósito de racionalizar o uso de eletricidade e/ou combustíveis ou reduzir os custos com energia pode ser considerado uma auditoria energética, não sendo obrigatório seguir as metodologias padronizadas expostas no tópico anterior. Considerando uma abordagem bem genérica a ser adaptada caso a caso, a seqüência de atividades apresentada na figura 3 pode ser adotada para o desenvolvimento de um estudo para consultoria energética:

1 – Levantamento de dados gerais da empresa

⇩

2 – Estudos de fluxos de materiais e produtos

⇩

3 – Caracterização do consumo energético

⇩

4 – Avaliação das perdas de energia

⇩

5 – Desenvolvimento dos estudos técnicos e econômicos das alternativas de redução de perdas

⇩

6 – Elaboração das recomendações e conclusões

Figura 3: Etapas de uma auditoria energética apresentada por Nogueira, 1990
Fonte: Fonte: Eletrobrás/ PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / FUPAI, Itajubá, 2006

Cada uma dessas etapas tem atividades relacionadas que estão desenvolvidas nos itens a seguir.

4.2.1 Levantamento de dados gerais da empresa

Nesta etapa deve-se obter:

- Identificação da Empresa;
- Localização e Instalações;
- Nome da Pessoa para Contato;
- Horários de Funcionamento;
- Produtos, Insumos e Resíduos.

4.2.2 Análise do perfil de consumo da empresa

Nesta etapa deve-se são feitas as seguintes análises :

- Análise de consumo da empresa;
- Análise das últimas 12 contas de energia.

As contas de energia elétrica fornecida pela concessionária constituem uma fonte de dados relativamente confiável e de fácil acesso, revelando informações muito importantes sobre o uso da energia elétrica na instalação.

É importante observar que as informações disponíveis nesta fonte, são calculadas para um período de aproximadamente 30 dias, não permitindo inferir sobre o comportamento diário ou semanal da instalação. Por outro lado, um histórico de conta de, no mínimo, 12 meses, possibilita analisar a evolução do consumo e da demanda da instalação, prever as tendências, os parâmetros a serem contratados para os períodos futuros e monitorar a sazonalidade do consumo, ou seja, seu comportamento ao longo dos meses e épocas do ano.

A análise das contas permite a elaboração do cenário atual de consumo e do contrato feito entre a concessionária e o consumidor. Uma análise mais detalhada da fatura de energia permite ao consultor avaliar possíveis desperdícios de energia, como: gastos com Energia Reativa ou Demanda Reativa, multas pagas por ultrapassagem de demanda, consumo excessivo de energia no Horário de Ponta (HP) e baixo fator de potência. O mesmo cenário montado da empresa servirá também como base de referência para verificações dos resultados obtidos com as modificações implementadas, se houver.

4.2.3 Estudos em campo para diagnóstico energético

Nesta etapa deve-se efetuar os seguintes estudos:

- Análise das instalações elétricas;
- Quantificação da carga instalada;
- Levantamento de sistema de distribuição de energia (cabos de energia);
- Levantamento de sistema de Iluminação;
- Aquisição de dados específicos (corrente elétrica [A], tensão [V], torque [T], rotação [η], resistência [Ω].) de: entrada de energia elétrica; transformadores; quadros de distribuição de circuitos; equipamentos elétricos; dispositivos de

segurança; sistemas de iluminação, ar condicionado, refrigeração, ar comprimido, caldeiras, fornos e estufas entre outros.

A coleta de dados necessários para elaboração da avaliação técnica deverá ter como foco principal os sistemas de transformação e distribuição de energia elétrica, bem como os diversos equipamentos associados a cada uso final considerado.

Deve ser considerada uma das etapas mais importantes do diagnóstico energético. Todos os dados necessários à determinação das ações que levem à redução do desperdício e à otimização do uso da energia da instalação serão obtidos neste momento. Os resultados finais do diagnóstico dependem diretamente da precisão das informações coletadas. A equipe técnica que realiza esta etapa deve ser bem treinada e dispor de equipamentos confiáveis.

4.2.4 Desenvolvimento dos estudos técnicos de racionalização e otimização de energia.

Para auxiliar os estudos técnicos, é comum utilizar-se de métodos como a representação do fluxo energético de um sistema através do diagrama de Sankey. Uma referencia de literatura que aborda este diagrama é Conservação de Energia – Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações, Ed. FUPAI, 2006 p.139. Este diagrama é uma forma gráfica de representar os fluxos energéticos na empresa, desde sua entrada até os usos finais, caracterizando as diversas transformações intermediárias e as perdas associadas.

Outro importante recurso para ajudar nestes estudos é a utilização de softwares como o BDMotores e Mark IV Plus, que são programas computacionais disponibilizados pela Eletrobrás, que servem como auxilio para análise de desempenho de sistemas de iluminação, motores elétricos, quadros de distribuição, transformadores, etc.

4.2.5 Estudo econômico e financeiro das alternativas de redução de perdas.

Nesta última parte pode-se determinar a viabilidade do investimento na implementação das melhorias e sugestões feitas nos itens anteriores ajudando o empresário na tomada de decisão quanto à viabilidade do projeto. É possível simular diferentes cenários de investimento e comparar os indicadores econômicos de cada um deles.

No entanto, a abrangência dos cálculos econômicos e financeiros necessita de um estudo mais detalhado para fazer a análise financeira na tomada de decisão.Neste trabalho, será abordada apenas a questão de potencial de conservação de consumo de energia.

4.2.6 Recomendações e Conclusões

Como resultado destas atividades, pode ser preparado então o relatório, que é um documento que sintetiza o trabalho de levantamento do empreendido e deve-se apresentar, de forma convincente, as recomendações e conclusões.

É muito importante que conste uma síntese, indicando as ações recomendadas em nível de projeto/concepção (substituição ou alteração de sistemas), operação e manutenção, com as prioridades correspondentes, em uma matriz.

Observa-se que os passos descritos nos itens apresentados se propõem a separar a avaliação da situação real encontrada (estudos energéticos), que retrata o quadro encontrado, dos estudos prospectivos (análise de racionalização de energia), que definem condições a serem atingidas.

A metodologia para uma consultoria pode apresentar diferentes etapas que podem ser efetuadas de forma independente. Ela não é rigorosa e podem ser apresentadas as sugestões e alternativas para uso inteligente dos sistemas elétricos, térmicos e mecânicos na seqüência imediata de sua avaliação, dependendo do consultor e do caso em estudo.

Baseado na metodologia apresentada por Nogueira os autores deste trabalho propõem um padrão para auxiliar o consultor fazer o diagnóstico e montar seu plano de ação. O padrão proposto é mostrado na figura 4 a seguir.

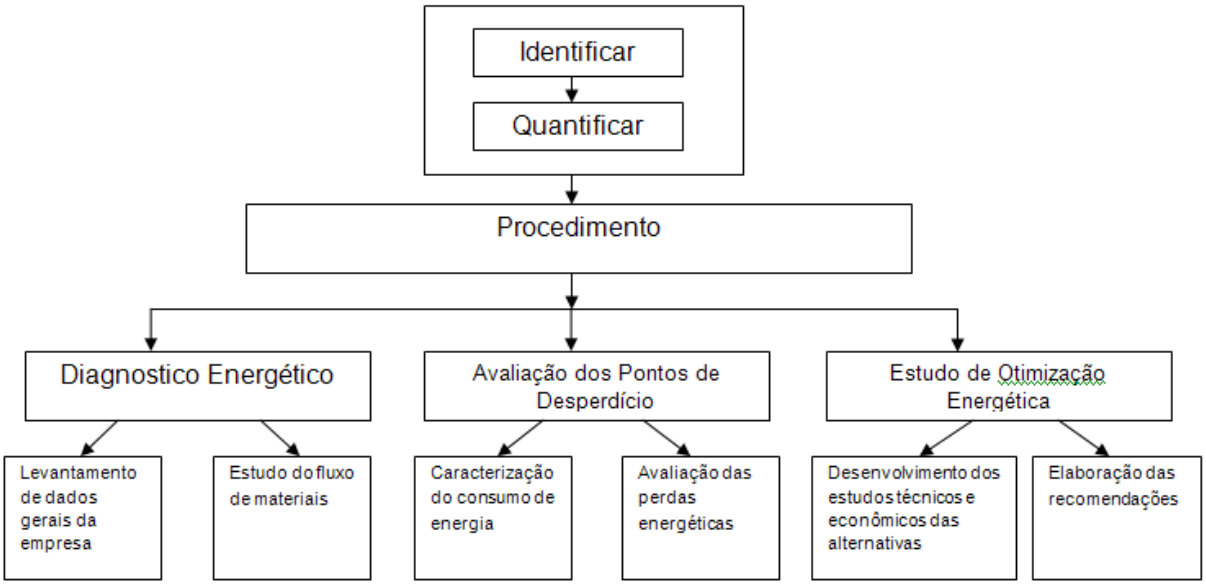

Figura 4: Algoritmo adaptado dos estudos energético, proposto pelos autores deste trabalho

4.3 Otimização do consumo de energia nas indústrias

A parcela com gastos em eletricidade pode ser um custo baixo quando comparado ao total dos gastos de produção em uma indústria, porém, a energia não possui substituto senão a própria energia. Sendo assim, é de vital importância adequar o consumo à produção, mantendo ou melhorando a qualidade bem como garantindo a empresa no mercado competitivo. Afinal, ao diminuir-se os custos operacionais para fabricação de produtos finais mantendo o mesmo preço de mercado, aumenta-se o lucro e, por conseqüência, a capacidade de investimento da empresa, que pode ser utilizada, por exemplo, para o aumento de sua produtividade.

No estudo de otimização do uso final de energia elétrica nas instalações, onde são utilizadas informações de consumo e demanda específicos aos processos, deve-se ter a idéia clara de como é o fluxo de eletricidade dentro da instalação, observando e quantificando a distribuição das cargas e sua eficiência para possível

análise de possibilidade de modificação e conseqüentes propostas de melhorias no sistema elétrico da empresa.

Mesmo quando o consumidor possui uma estrutura tarifária adequada à demanda de potência, consumo de energia ativa e reativa e modalidade tarifária mais específica as suas características, faz-se necessário analisar as instalações e os elementos motrizes em seus estados de funcionamento bem como o ambiente de trabalho. O emprego de políticas eficientes no processo vem para garantir a qualidade dos produtos com a melhoria das condições funcionais dos equipamentos

Muitos são os indicativos que podem fazer a relação do custo de operação e do estado de funcionamento dos equipamentos do processo com o consumo de energia agregado.

O uso eficiente da energia elétrica nas indústrias garante a qualidade dos produtos com a melhoria das condições funcionais dos equipamentos e a redução dos desgastes e deteriorização, possibilitando ao consumidor dar ênfase no planejamento e na prevenção de acidentes, na proteção ambiental e no controle da poluição.

Os capítulos a seguir apresentarão conceitos e maneiras específicas da utilização das informações de consumo e carga de maneira a otimizar o uso da energia elétrica nas indústrias.

5 TARIFAÇÃO

Neste capítulo são apresentados em detalhes todos os conceitos envolvidos na distribuição e consumo de energia elétrica, seus parâmetros, tarifação e, ao final, um estudo de caso, aplicando-se uma metodologia de otimização, utilizando-se o enquadramento tarifário como ponto de economia de energia e redução de custos para uma empresa.

5.1 Introdução

O sistema tarifário de energia elétrica do Brasil é um conjunto de normas e regulamentos que tem por finalidade estabelecer o valor monetário da eletricidade para as diferentes classes de unidades consumidoras. Atualmente, o principal instrumento regulatório que estabelece e consolida essas normas são as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica é a Resolução ANEEL nº 456, publicada no D.O.U. de 29 de novembro de 2000.

Conforme Nogueira, L. Augusto et al (2006, p.149), a análise dos elementos que compõem a estrutura tarifária é indispensável para uma tomada de decisão quanto ao uso eficiente de energia. A conta de energia é uma síntese dos parâmetros de consumo, refletindo a forma como a mesma é utilizada, (Santos, A. H., et. al et al, FUPAI, 2006, p.149).

O resultado desta análise permite que o instrumento contratual entre a concessionária e o consumidor tornar-se adequado às necessidades deste, podendo implicar em redução de despesas com a eletricidade.

A seguir são descritos os principais conceitos e definições utilizadas para caracterizar o sistema elétrico baseados nos instrumentos legais mencionados acima. Estes conceitos serão utilizados para poder-se entender o perfil de consumo da unidade consumidora e diagnosticar possíveis gastos indevidos com energia e demanda reativa, ultrapassagem, ociosidade, e possível mau enquadramento do sistema tarifário.

5.2 Definição dos Indicadores do sistema de energia elétrica

5.2.1 Energia

Em física, Energia é a capacidade de realizar trabalho e pode ser expressa de muitas formas diferentes (potencial, cinética, química, etc.) No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de energia é o Joule (J), equivalente ao trabalho resultante ao exercer a força de um Newton (N) pela distância de um metro. Neste trabalho utilizaremos a unidade chamada tep (tonelada equivalente de petróleo).

5.2.2 Consumo de Energia Elétrica

Quantidade de potência elétrica (kW) consumida num intervalo de tempo. Sua unidade básica é o kWh. O gráfico 8 mostra uma curva típica de consumo de uma unidade consumidora situada em Poços de Caldas sem utilização de autoprodução ou outra forma de energia alternativa.

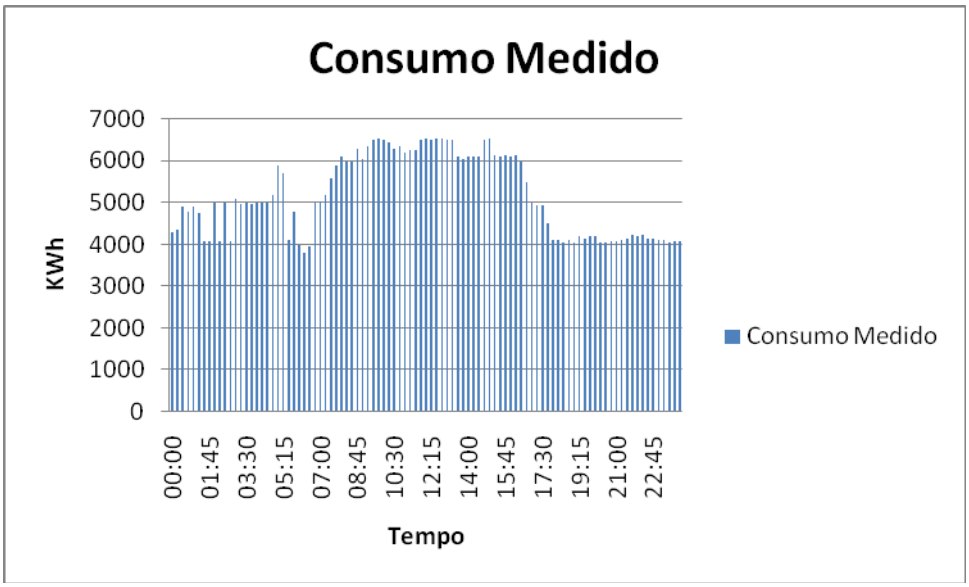

Gráfico 8: Curva típica diária de demanda em uma unidade consumidora
Fonte: Dados da Pesquisa

5.2.3 Energia Elétrica Ativa

Energia elétrica que efetivamente pode ser convertida em outra forma de energia e que pode ser transformada em trabalho, expressa em quilowatts-hora (kWh).

5.2.4 Energia Elétrica Reativa

Energia elétrica que circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-ampère-reativo-hora (kVArh). Essa energia também pode ser denominada “energia magnetizante”, pois, é utilizada em equipamentos como motores, transformadores e reatores que fazem uso dessa energia.

5.2.5 Carga Instalada

Soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora, em condições de entrar em funcionamento, expressa em quilowatts (kW).

5.2.6 Horário de ponta

Período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da paixão, “Corpus Christ”, dia de finados e os demais feriados por lei federal , considerando as características do seu sistema elétrico. Neste horário, existe um aumento do uso de eletricidade, que decorre de diversos fatores. Neste horário, a

iluminação pública e os chuveiros elétricos nas residências são ligados, exercendo forte influência na curva de carga da concessionária. Outro componente que contribui para o aumento do consumo de energia é a demanda das indústrias pois muitas empresas permanecem trabalhando nesse horário. O comércio, com a iluminação das vitrines, principalmente nos shopping centers (que encerram suas atividades entre 21h e 22h) também ajudam a elevar o consumo no horário de ponta.

No horário de ponta, o atendimento de cada novo consumidor tem custo adicional para a concessionária, porque exige a ampliação do sistema. Além do componente de carga ao longo do dia, o mercado de energia é afetado também pela disponibilidade média de água nos mananciais. O gráfico 9 mostra a curva típica de fornecimento de potência de uma concessionária

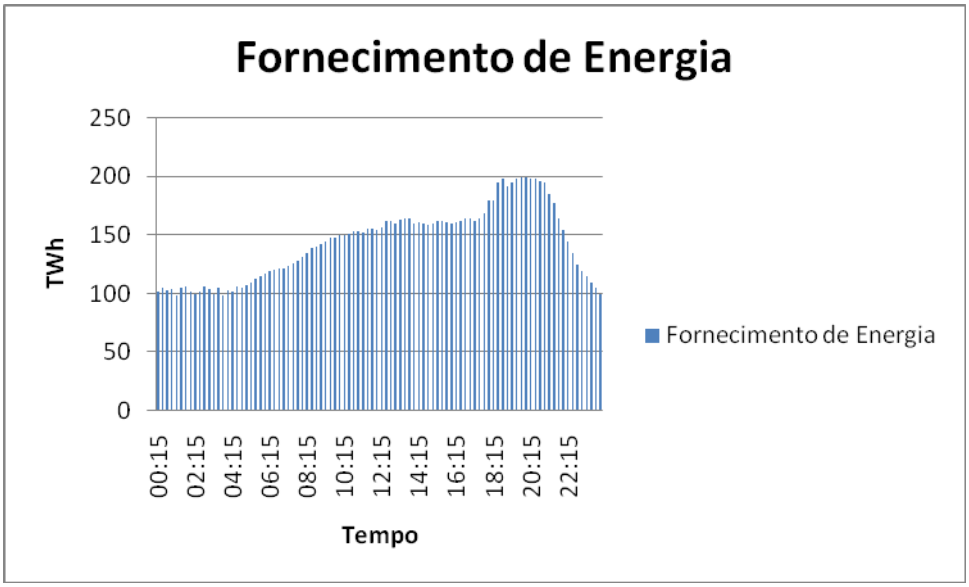

Gráfico 9: Curva de fornecimento de energia de uma concessionária
Fonte: Dados da Pesquisa

5.2.7 Horário fora de ponta

Período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.

5.2.8 Período úmido

Período de 5 (cinco) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte. Sendo o período de maior precipitação pluviométrica.

5.2.9 Período seco

Período de 7 (sete) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro.

O fornecimento de energia no período seco impõe a necessidade de construir grandes reservatórios para estocagem de água. Eventualmente, é necessário colocar em operação usinas térmicas alimentadas por combustíveis derivados do petróleo, o que implica aumento de custos para as concessionárias.

O gráfico 10 mostra o nível dos reservatórios no Brasil nos anos observados. As curvas mostram que após o período das chuvas é que acontece o instante de máximo acúmulo de água nas barragens de toda a rede fluvial do país. A partir daí acontece a diminuição do nível de água devido às características climáticas do país.

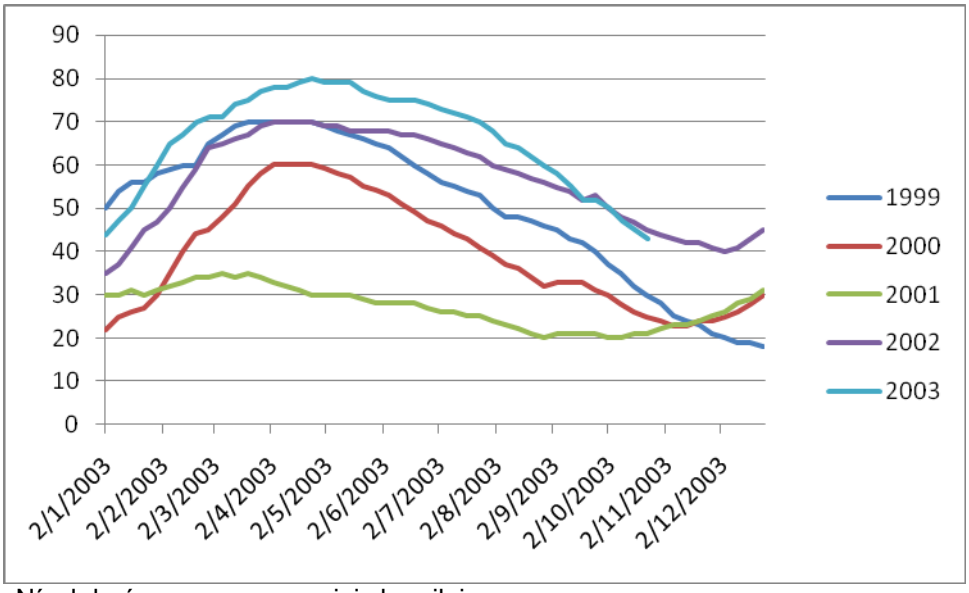

Gráfico 10: Nível de água nos mananciais brasileiros
Fonte: CPFL, Evolução da eficiência energética no Brasil, 2003

Se a empresa recebe energia elétrica em alta tensão (Grupo A), pagará de acordo com o contrato firmado com a concessionária, pelos valores de consumo (kWh) e demanda (kW) nas opções de tarifa convencional, horo sazonal verde ou azul.

Empresas com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e com demanda de potência de 30 kW a 299 kW podem optar por qualquer uma das modalidades tarifárias. Já as empresas com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e com demanda de potência igual ou superior a 300 kW devem optar pela modalidade horo sazonal e, as empresas com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV são enquadradas, obrigatoriamente, na modalidade de tarifação horo sazonal azul.

5.2.9 Demanda

Média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado. Por exemplo: em uma instalação elétrica há 4 motores de 30 kW (40cv) que são acionados da seguinte maneira:

0-3 minutos (2 motores) = 60 kW

3-10 minutos (4 motores) = 120kW

10-15 minutos (1 motor) = 30kW

$$D = (600kW \times 3\,\text{min} + 120kW \times 7\,\text{min} + 30kW \times 5min) + 15 = 78kW\ (105cv)$$

Assim, conhecer o processo de trabalho da unidade consumidora, conhecendo sua forma de funcionamento e utilização de energia, é de grande importância para o ajuste tarifário, junto à concessionária, mais adequado ao consumidor.

5.2.10 Demanda faturável

Valor da demanda de potência ativa, identificado de acordo com os critérios estabelecidos e considerada para fins de faturamento, com aplicação da respectiva tarifa, expressa em quilowatts (kW). Ela é o maior valor das demandas registrada e contratada.

5.2.11 Demanda contratada

Demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

Cabe ao usuário, com base nas cargas instaladas e processos produtivos, definir o valor de demanda necessário.

As concessionárias utilizam deste valor para definir os equipamentos para atender a solicitação de serviço, como: transformadores, dispositivos de proteção e/ou eventualmente até a subestação.

Os valores de demanda contratada (em kW) são independentes do consumo registrado (em kW.h). No caso de se verificar demanda que supere em mais de 10% o limite contratado, o consumidor pagará o excesso. O valor da tarifa de ultrapassagem é três vezes o valor da tarifa básica, tanto para o horário fora de ponta quanto para o horário de ponta.

A verificação de demanda é feita pelo equipamento registrador da concessionária, instalado no ponto de medição da unidade consumidora, que a cada 15 minutos gera um registro para fins de faturamento. O gráfico 11 mostra o perfil de demanda de potência da unidade consumidora e a curva da demanda contratada, no horário de ponta e fora de ponta:

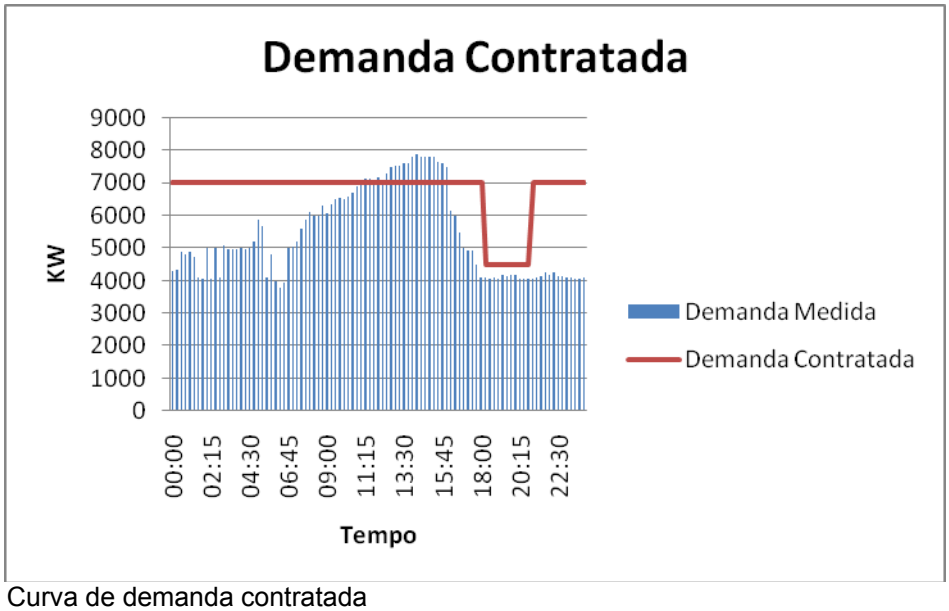

Gráfico 11: Curva de demanda contratada
Fonte: Dados da Pesquisa

Conforme o tipo de estrutura tarifária o consumidor pode, com base nas informações da demanda e do processo produtivo, adequar a demanda contratada ao valor mais próximo da utilização de energia na unidade consumidora. Para a melhor adequação da demanda contratada à realidade do processo é necessário que a curva da demanda contratada esteja próxima da curva da demanda medida, ou seja, quanto menor a ociosidade ou a ultrapassagem da contratada mais adequada está a estrutura tarifária utilizada.

5.2.12 Demanda de ultrapassagem

Parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW). Para efeito de faturamento, custa 3 vezes mais que o valor de ponta ou fora de ponta, conforme o caso.

5.2.13 Demanda medida

Maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 minutos durante o período de faturamento, normalmente considerada 1 mês o que equivale a 3000 intervalos, expressa em quilowatts (kW).

5.2.14 Demanda Média

Relação entre a quantidade de energia elétrica utilizada durante um período de tempo definido e esse mesmo período. O gráfico 12 ilustra essa relação:

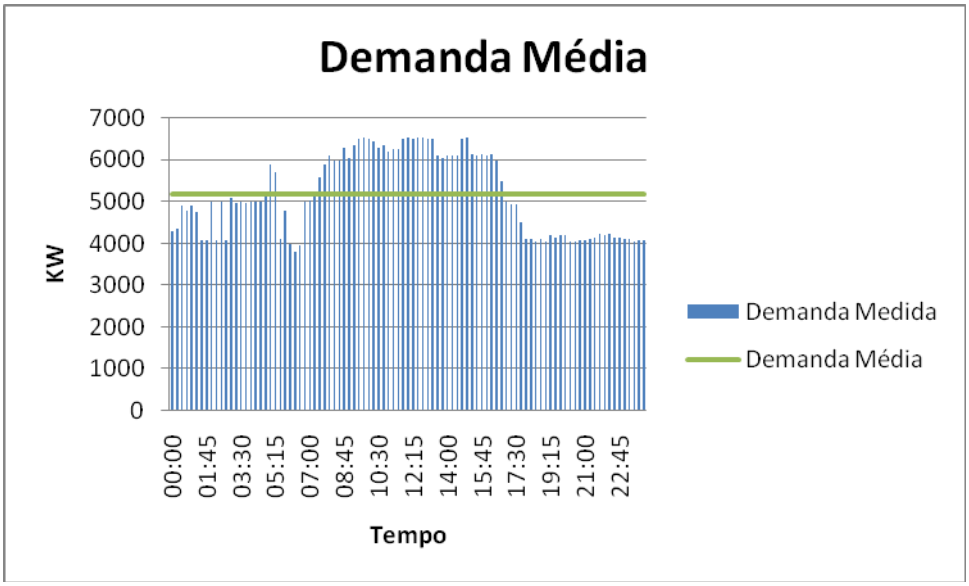

Gráfico 12: Curva de consumo e valor médio
Fonte: Dados da Pesquisa

A linha da curva da Demanda média proporciona a evidência da existência de ultrapassagens e ociosidades. Observações importantes na análise de consumo.

5.2.15 Fator de carga (FC)

É a razão entre o consumo de energia kWh no mês (na ponta e fora de ponta) e a demanda registrada máxima (ponta e fora de ponta). Multiplicada pelo nº médio de horas no mês pode-se conseguir o FC. A equação mostra essas relações:

A Equação 1 mostra:

$$FC = \frac{CA}{h.DR}$$

Equação 1 - FC

Sendo que:

FC: Fator de Carga do mês na ponta e fora de ponta;
CA: Consumo de energia em kWh na ponta e fora de ponta;
h: nº médio de horas por mês, sendo, geralmente 66 horas para ponta e 664 horas para o período fora de ponta;
DR: Demanda Registrada máxima de potência no mês na ponta e fora de ponta, kW.

Conforme Haddad, J. et al, (2006, p.188), para obter um FC mais elevado existem 3 formas básicas:

- Aumentar o nº de horas trabalhadas (ou seja, aumentando-se o consumo de kWh), porém aumentando-se a demanda de potência;
- Otimizar a demanda de potência, conservando-se o mesmo nível de consumo de kWh;
- Atuar simultaneamente nos dois parâmetros acima citados, (Santos, A. H., et. al, FUPAI, 2006, p.188).

5.2.16 Potência

Quantidade de energia elétrica solicitada na unidade de tempo, expressa em Quilowatts (kW).

5.2.17 Potência Aparente (Pap)

Resultado da soma vetorial da potência ativa (W) – parcela efetivamente transformada em potência mecânica, térmica e luminosa – com a potência reativa (Var). Numericamente corresponde à raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétrica ativa e reativa, consumidas num mesmo período especificado.

5.2.18 Fator de Potência (FP)

Quociente entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativas e reativas, consumidas num mesmo período especificado, e seu valor varia entre 0 e 1, conforme indicado na equação abaixo.

Conforme Equação 2:

$$FP = \frac{E_{attv}}{\sqrt{\left(E_{attv}{}^{2} + E_{reat}{}^{2}\right)}}$$

Equação 2 - FP

Conforme legislação brasileira, o fator de potência deverá ter como limite mínimo o valor de 0,92. Caso ocorra valores menores o consumidor será penalizado. O registro do fator de potência ocorre em intervalos horários. Para o cálculo da fatura seleciona-se o menor valor ocorrido no mês em questão. Assim, dentre 700 registros mensais, seleciona-se o menor.

5.3 Enquadramento da Tensão de Fornecimento

Para uma unidade consumidora ser ligada ao sistema elétrico de distribuição, a concessionária deverá observar alguns limites de operação e assim definir qual é a tensão de alimentação adequada àquele consumidor. Esses limites de operação necessários para a caracterização da tensão de fornecimento são:

- Tensão secundária de distribuição: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW;
- Tensão primária de distribuição inferior a 69 kV: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda contratada ou estimada pelo interessado, para o fornecimento, for igual ou inferior a 2500 kW; e
- Tensão primária de distribuição igual ou superior a 69 kV: quando a demanda contratada ou estimada pelo interessado, para o fornecimento, for superior a 2500 kW.

Conforme a resolução 456, as unidades consumidoras são divididas em grupos de nível de tensão de fornecimento para a aplicação das tarifas específicas conforme mostra o quadro 1:

Grupo A – Alta tensão		Grupo B – Baixa tensão	
A1	230 kV ou mais	B1	Residencial
A2	88 a 138 kV	B1	Residencial Baixa Renda
A3	69 kV	B2	Rural
A3a	30 a 44 kV	B3	Não Residencial Nem Rural
A4	2,3 a 13,8 kV	B4	Iluminação Pública
AS	2,3 a 13,8 kV (subterrâneo)		

Quadro 1: Grupos de tensão de fornecimento
Fonte: RES. 456/2000 ANEEL.

Neste estudo foi feito apenas análises das contas dos consumidores do Grupo A, pois para os consumidores atendidos em baixa tensão (Grupo B), esta análise resume-se a um acompanhamento mensal do consumo de energia elétrica.

5.4 Enquadramento da estrutura tarifária

A ferramenta de análise da estrutura tarifária é de grande importância para o início dos trabalhos de conservação de consumo de energia de uma instalação elétrica. Com o passar dos anos, o mercado de energia elétrica passou por grandes estruturações, sendo a regulamentação por normas, decretos e leis a forma legal de comercialização da energia elétrica. O órgão regulamentador do sistema tarifário vigente é a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, autarquia sob regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia – MME.

Para a adoção de estratégias para a otimização do uso de energia elétrica faz-se necessário o perfeito conhecimento da sistemática de tarifação. Pois, a legislação brasileira permite às concessionárias calcular as faturas em função do consumo, demanda, fator de potência e, ainda, de outros diferentes tipos de tarifas.

O critério para inclusão de enquadramento de um consumidor nas estruturas tarifária segue algumas condições estabelecidas por cada modalidade, conforme Resolução ANEEL nº 456, Art. 53:

- Estrutura tarifária convencional: Para as unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 KV, sempre que for contratada demanda inferior a 300 KW e não tenha havido opção pela estrutura tarifaria horo-sazonal nos termos do item 4;
- Compulsoriamente na estrutura tarifaria horo-sazonal, com a aplicação da tarifa azul: Para as unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado e com tensão de fornecimento igual ou superior 69KV;
- Compulsoriamente na estrutura tarifária horo-sazonal, com a aplicação da tarifa azul, ou verde se houver opção do consumidor: para as unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado e com tensão de fornecimento inferior a 69 KV, quando:
    - A demanda contratada for igual ou superior a 300 KW em qualquer seguimento hora-sazonal; ou
    - A unidade consumidora faturada na estrutura tarifária convencional houver apresentado, nos últimos 11 ciclos de faturamento, três

registros consecutivos ou seis alternados de demandas medidas iguais ou superiores a 300 KW;

- Opcionalmente na estrutura tarifária horo-sazonal, com aplicação da tarifação azul ou verde, conforme opção do consumidor: Para as unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado e com tensão de fornecimento inferior a 69 KV, sempre que a demanda contratada seja inferior a 300 KW.

A figura 5 abaixo ilustra os critérios de inclusão das estruturas tarifárias:

Figura 5: Critério de inclusão das estruturas tarifárias
Fonte: ICF Exército Brasileiro.

Conforme Haddad, J. et al (2006, p.179),

> a otimização tarifária é a escolha da tarifa mais conveniente para a unidade consumidora, considerando-se o seu regime de funcionamento, as características do seu processo de trabalho, bem como a oportunidade/possibilidade de se fazer modulação da carga (Santos, A. H., et. al FUPAI, 2006, p.179).

De maneira geral, para determinar o melhor sistema de tarifação, é preciso considerar:

- Os valores médios mensais de consumo e de demanda em cada um dos segmentos de ponta e fora de ponta;
- Os valores médios mensais a serem faturados em casa um dos segmentos horo-sazonais, ou os valores respectivos de demanda e

consumo para tarifação convencional; e, também, os valores de ultrapassagem que porventura ocorram;

- As possibilidades de deslocamento do horário de trabalho de diversos equipamentos para minimizar o consumo e a demanda no segmento de ponta;
- As despesas mensais com cada um dos sistemas tarifários.

5.4.1 Estrutura tarifária convencional

Estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano.

Com este tipo de tarifa, não existe diferença de preço ao longo das horas, nem são levados em consideração os períodos do ano. Esta é denominada tarifa convencional. As empresas são tarifadas pelo consumo de energia e pela maior demanda. É indicada para empresas que utilizam processo contínuo de produção ou prestação de serviços, sem possibilidade de modulação, e também para empresas cuja maior demanda de energia elétrica ocorre no horário de ponta. A figura 6 mostra como é a estrutura tarifária convencional:

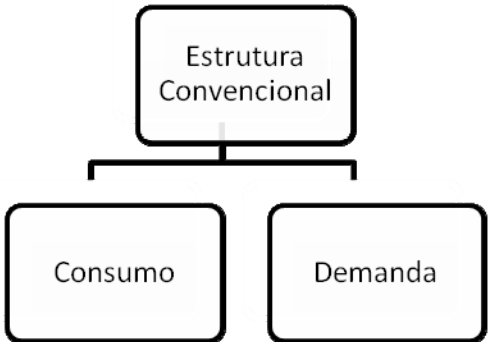

Figura 6: Estrutura tarifária convencional
Fonte: ANEEL 2004

5.4.2 Estrutura tarifária horo-sazonal

Estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, conforme especificação a seguir: O objetivo dessa estrutura tarifária é racionalizar o consumo de energia elétrica ao longo do dia e do ano, motivando o consumidor a consumir mais energia elétrica nos horários do dia e nos períodos do ano em que ela for mais barata.

- Tarifa Azul: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo e demanda de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, conforme figura 7:

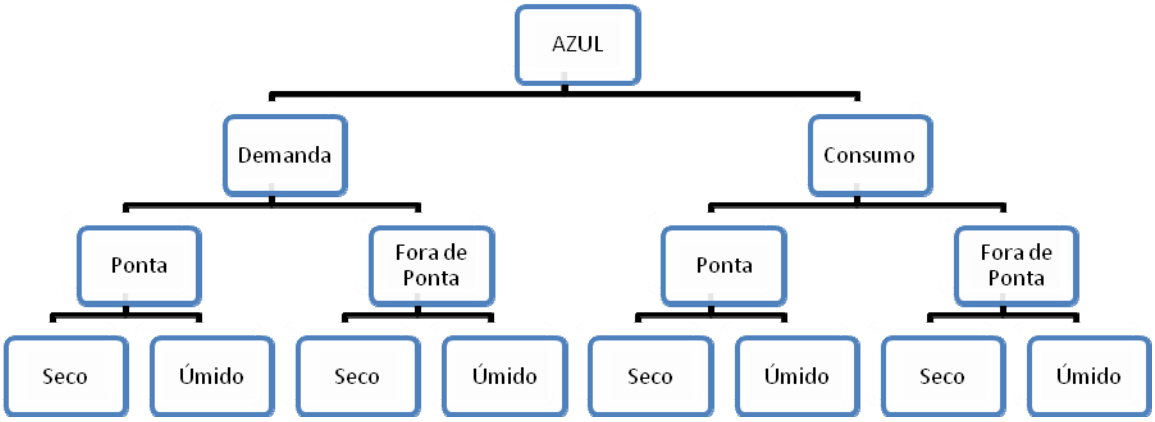

Figura 7: Estrutura tarifária horosazonal azul
Fonte: ANEEL 2004.

- Tarifa Verde: modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência. Para fazer parte da estrutura tarifária

verde a instalação elétrica deve ter no mínimo 500 kW de demanda. Caso o registrador apresente algum consumo (energia) para o horário de ponta, este será faturado pela tarifa correspondente, que é cerca de dez vezes a tarifa para o horário fora de ponta, conforme figura 8:

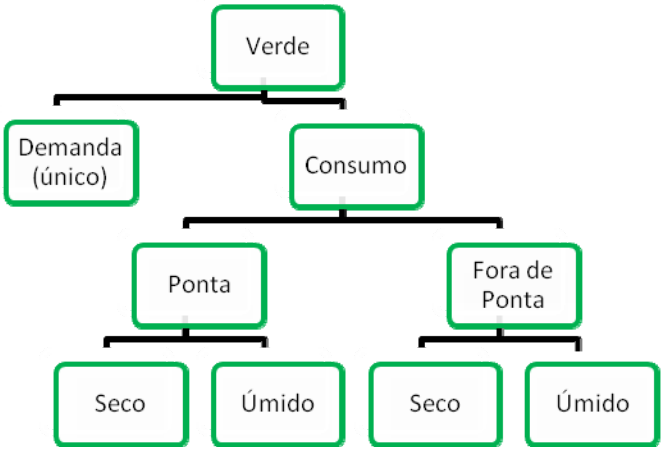

Figura 8: Estrutura tarifária verde
Fonte: ANEEL 2004

5.5 CÁLCULO DAS FATURAS

A fatura de energia elétrica é a nota fiscal que apresenta a quantidade total que deve ser paga pela prestação de serviço público de energia elétrica. O valor líquido da fatura é o valor em moeda corrente, resultante da aplicação das respectivas tarifas de fornecimento, sem incidência de imposto, sobre os componentes de consumo de energia elétrica ativa, de demanda de potência ativa, de uso do sistema, de consumo de energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes.

A partir de agora, serão mostradas as formas de tarifação nas modalidades convencional e horo-sazonal conforme Haddad, J (FUPAI, 2006 p. 162).

5.5.1 Tarifa Convencional

Somente aplicável de forma opcional aos consumidores dos tipos A3a, A4 e AS. Essa escolha é a uma especialidade de empresas de alta tensão com demanda abaixo de 300 kW. Tem-se:

$$Ft = Dfat \times Td + C \times Tc$$

Equação 3 – Faturamento tipo convencional

Em que,

- Ft – Valor da fatura, R$
- Dfat – Valor da demanda faturável, kW
- Td – Tarifa de demanda, R$/kW
- C – Consumo de energia elétrica medido no mês, kWh
- Tc – Tarifa de consumo, R$/kWh

5.5.2 Tarifa Horo-Sazonal Azul

Conforme Manual de Tarifação do PROCEL (2001 p.10), essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária no qual se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta. Embora não seja explícita, a Resolução 456 permite que sejam contratados valores diferentes para o período seco e para o período úmido. Assim, a equação que define o preço pago com energia elétrica é dada por (Manual de Tarifação - PROCEL, 2001 p.10):

$$Ft = Dfatp \times Tdp + Dfatfp \times Tdfp + Cp \times Tcp + Cfp \times Tcfp$$

Equação 4 - Faturamento tipo horo-sazonal azul

Em que,

- Ft – Valor da fatura, R$

- Dfatp – demanda faturada no horário de ponta, kW
- Tdp – tarifa de demanda de ponta, R$/kW
- Dfatfp – demanda faturada no horário fora de ponta, kW
- Tdfp – tarifa de demanda fora de ponta, R$/kW
- Cp – consumo medido no mês – horário de ponta, kWh
- Tcp – tarifa de consumo no horário de ponta, R$/kWh
- Cfp – consumo medido no mês – horário fora de ponta, kWh
- Tcfp – tarifa de consumo no horário fora de ponta, R$/kWh

5.5.3 Tarifa Horo-Sazonal Verde

$$Ft = Dfat \times Td + Cp \times Tcp + Cfp \times Tcfp$$

Equação 5 - Faturamento tipo horo-sazonal verde

Em que,

- Ft – Valor da fatura, R$
- Dfat – demanda faturada, kW
- Td – tarifa da demanda, R$/kW
- Cp – consumo medido no mês – horário de ponta, kWh
- Tcp – tarifa de consumo no horário de ponta, R$/kWh
- Cfp – consumo medido no mês – horário fora de ponta, kWh
- Tcfp – tarifa de consumo no horário fora de ponta, R$/kWh

5.5.4 Cálculo de faturamento de excedentes (UFER, UFDR)

Como já foi visto a respeito do fator de potência reflete a proporção entre energia ativa e a energia reativa, numa instalação elétrica.

O faturamento de energia e demanda reativa excedente, quando o fator de potência verificado na unidade consumidora for inferior a 0,92, será realizado a conforme descrito a seguir.

O excedente pode ser devido ao excesso de energia indutiva ou de energia reativa capacitiva. Dessa forma, para não pagar por esses excedentes, a unidade consumidora deve manter o fator de potência, durante todo tempo, no mínimo, em 0,92, indutivo ou capacitivo.

Conforme Res.456 Art. 65 da ANEEL, para unidade consumidora faturada na estrutura tarifária horo-sazonal ou na estrutura tarifária convencional com medição apropriada, o faturamento correspondente ao consumo de energia elétrica e à demanda de potência reativas excedentes, será calculado de acordo com as seguintes fórmulas:

$$FER\ (p) = \sum_{t=1}^{n} \left[CA_t \times \left(\frac{f_r}{f_t} - 1 \right) \right] \times TCA\ (p)$$

Equação 6 - Faturamento de energia reativa

$$FDR\ (p) = \left[MAX_{t=1}^{n} \left(DA_t \times \frac{f_r}{f_t} \right) - DF_{(p)} \right] \times TDA\ (p)$$

Equação 7 - Faturamento de demanda reativa

Onde,

- $FER\ (p)$ – valor do faturamento, por posto horário “p”, correspondente ao consumo de energia reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referencia “f_r”, no período de faturamento;
- CA_t – consumo de energia ativa medida em cada intervalo de 1 (uma) hora “t”, durante o período de faturamento;
- f_r – fator de potencia de referencia igual a 0,92;
- f_t – fator de potencia da unidade consumidora, calculado em cada intervalo “t” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, considerando as definições dispostas na observação 1 apresentada neste item;

- $TCA\ (p)$ – tarifa de energia ativa, aplicável ao fornecimento em cada posto horário “p”;
- FDR – valor do faturamento, posto horário “p”, correspondente à demanda de potencia reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potencia de referencia “f_r” no período de faturamento;
- DA_t – demanda medida no intervalo de integralização de 1 (uma) hora “t”, durante o período de faturamento;
- $DF_{(p)}$ – demanda faturável em cada posto “p” no período de faturamento;
- $TDA\ (p)$ – tarifa de demanda de potencia ativa aplicável ao fornecimento em cada posto horário “p”;
- MAX – função que identifica o valor Maximo da fórmula, dentro dos parênteses correspondentes em cada posto horário “p”;
- t – indica intervalo de 1 (uma) hora, no período de faturamento;
- p – indica posto horário, ponta ou fora de ponta, para as tarifas horo-sazonais ou período de faturamento para tarifa convencional; e
- n – numero de intervalos de integralização “t”, por posto horário “p”, no período de faturamento.

Conforme Manual de Tarifação do PROCEL (2001, p.11), em todas as modalidades tarifárias, sobre a soma das parcelas incide o ICMS, com alíquotas variando entre 20 e 25% dependendo do Estado. Ainda, as tarifas são diferenciadas por concessionária e os reajustes tarifários anualmente homologados pela ANEEL (Manual de Tarifação - PROCEL, 2001, p.11).

5.6 Fluxograma

Na busca de um modelo que ilustre o conceito de uma consultoria para o caso de tarifação, foi criado pelos autores deste trabalho o fluxograma mostrado na figura 9. O estudo de racionalização da energia aborda o consumo de energia e potência medidos e o contrato de fornecimento junto à concessionária procurando adequar ao melhor grupo de fornecimento e modalidade tarifária.

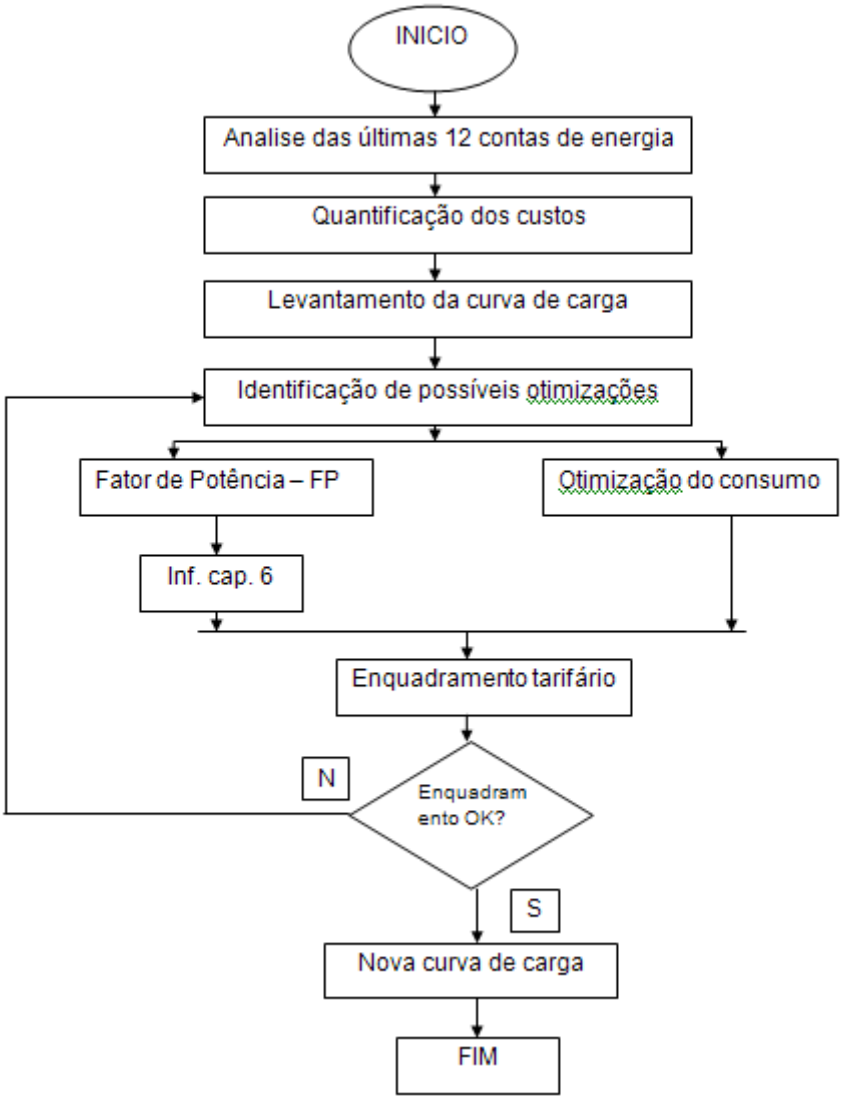

Figura 9: Fluxograma de tarefas para enquadramento tarifário.

5.7 Método do trabalho para otimização tarifária

O método deste trabalho mostra como identificar oportunidades de redução dos gastos com energia elétrica a partir das contas mensais e tem como referência o manual de administração de energia fornecida pela empresa Eletropaulo Metropolitana de São Paulo.

As compreensões da forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas contas de luz são fundamentais para tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética.

A conta de luz reflete o modo como a energia elétrica é utilizada e sua análise por um período de tempo adequado permite estabelecer relações importantes entre hábitos e consumo. Lembrando que, quanto maior for o histórico de contas, mais precisa será a análise dos custos com energia elétrica.

Os dados importantes a serem observados na conta de energia elétrica são: dados gerais do contrato atual, demanda contratada, medida e faturada, preços das tarifas, análise da demanda, excedentes, reativos, ultrapassagem e ociosidade.

De acordo com o fluxograma ilustrado anteriormente, a análise da conta de energia foi dividida em três indicadores de oportunidade, sendo:

- Correção de fator de potência;
- Demanda contratual; e
- Enquadramento tarifário.

O primeiro indicativo de oportunidade não será abordado neste caso específico de sistema de tarifação e sim no capítulo 6 onde é abordada toda a temática de correção de fator de potência, isto porque, para fazer o estudo de fator de potencia é necessário que se tenha uma análise mais detalhada da instalação consumidora, não podendo ser feita apenas pela observação da conta de energia.

O segundo indicativo mostra que com a Resolução 456 é permitido fazer a revisão anual do contrato com a concessionária. O objetivo da análise é calcular um valor de demanda contratada tal que nos 12 meses seguintes se pague o mínimo possível na parcela da conta referente à demanda.

Deve-se, nesse ponto, considerar a possibilidade de reduções nas demandas contratadas em função de alterações nos principais sistemas consumidores, com a redução das cargas instaladas e a introdução de controles automatizados para a modulação ótima da carga.

Nesta abordagem é importante que o consultor monte o perfil de consumo de acordo com o período de análise, para que seja possível uma futura comparação para uma eventual melhoria na adequação do sistema tarifário.

A última análise a ser realizada é aquela relativa à seleção do grupo e modalidade tarifária mais adequada. Como as informações registradas nas contas de luz das modalidades de tarifação convencional são insuficientes para analisar vantagens ou desvantagens quando comparada às modalidades horo-sazonais, nem sempre esta análise pode ser realizada sem um bom conhecimento de engenharia elétrica e sem medições confiáveis. No entanto, a partir das modalidades tarifárias

horo-sazonais, pode-se avaliar a possibilidade de mudança para a modalidade convencional. Entretanto, em caso de ser uma instalação nova e que consumidor não sabe, exatamente, o valor da demanda contratada, ele tem um período de 3 meses para saber qual será o valor de contrato junto à concessionária. A otimização tarifária mais conveniente para a unidade consumidora é feita considerando-se o seu regime de funcionamento, as características do seu processo de trabalho, bem como a oportunidade/possibilidade de se fazer modulação de carga. A simulação realizada com os dados obtidos nas contas de energia elétrica confirma, ou não, a tarifa utilizada como a mais conveniente, e com os fatores de carga vigentes e a legislação tarifaria em vigor, aponta a tarifa que proporciona o menor custo médio.

De maneira geral, para determinar o melhor sistema de tarifação, é preciso considerar:

Os valores médios mensais de consumo e de demanda em cada um dos segmentos de ponta e fora de ponta;

- Os valores médios mensais a serem faturados em cada um dos segmentos horo-sazonais, ou os valores respectivos de demanda e consumo para tarifação convencional – e também, os valores de ultrapassagem que porventura ocorram;
- As possibilidades de deslocamento do horário de trabalho de diversos equipamentos para minimizar o consumo e a demanda no segmento de ponta;
- As despesas mensais com cada um dos sistemas tarifários.

A análise tarifária mostra-se como opção de redução do custo médio da energia da mesma forma que a correção do fator de potência ou a otimização da demanda contratada eliminando ultrapassagens ou ociosidades.

5.8 Estudo de caso

Aqui, mostra-se como identificar oportunidades de redução dos gastos com a energia elétrica a partir das contas mensais. Inicialmente mostra-se como tratar o consumo de reativos e em seguida, utilizando uma planilha EXCEL, como

determinar a demanda a ser contratada com a concessionária e qual o melhor enquadramento tarifário.

Para o estudo de eficiência energética quanto à otimização do sistema tarifário, foram utilizados históricos de 13 meses de consumo de 1 (uma) empresa da cidade de Poços de Caldas que, gentilmente, cedeu cópias das contas de consumo de energia para serem feitas as análises de adequação e viabilidade econômica. No entanto, pediram que não fossem divulgados os nomes das empresas por questões de estratégia de mercado. Abaixo serão mostradas as considerações, cálculos e tabelas baseadas nos cálculos das planilhas do PROCEL.

Para mostrar como determinar a demanda a ser contratada, usamos como exemplo o histórico de consumo da empresa, que vamos chamar de “A”.Essa empresa está enquadrada na tarifa horo-sazonal Verde, sub-grupo A4 com demanda contratada de 100 kW. A leitura da conta de luz cobre o período que vai do dia 10 do mês anterior a 10 do mês do pagamento. A tabela 3 mostra o consumo de demanda e energia nos horários de ponta e fora de ponta bem como o faturamento com excesso de reativo:

Tabela 3
Fatura de eletricidade de um consumidor industrial – 2007/08

	DEMANDA(kW)		Ener.Ativa (KWh)		Peridodo S/U	Demanda cont. (KW)	
Mês refer.	HP	HFP	HP	HFP		HP	HFP
fev/08		113	4920	49692	U	0	100
jan/08	113	119	4059	38253	U	0	100
dez/07	121	121	3936	42927	S	0	100
nov/07	117	117	4797	50799	S	0	100
out/07	137	148	6027	54366	S	0	100
set/07	130	140	3936	45141	S	0	100
ago/07	124	127	6150	54858	S	0	100
jul/07	122	128	4797	44526	S	0	100
jun/07	123	130	4305	48339	S	0	100
mai/07	123	123	4059	39729	U	0	100
abr/07	112	116	4059	39483	U	0	100
mar/07	106	112	3813	38745	U	0	100

Fonte: Dados da pesquisa

O primeiro passo é registrar, mês a mês, a demanda medida informada nas contas de luz do histórico. A tabela 4 mostra esses valores:

Tabela 4
Histórico de consumo de potência – 2007/08

Mês referência	Demanda
fev/07	121
mar/07	112
abr/07	116
mai/07	123
jun/07	130
jul/07	128
ago/07	127
set/07	140
out/07	148
nov/07	117
dez/07	121
jan/08	119
fev/08	113

Fonte: Dados da pesquisa

De posse dos dados do histórico de consumo da empresa "A", torna-se importante buscar ilustrar o comportamento, ou perfil, de demanda do consumidor. Isso é possível a partir da curva característica da demanda em função do tempo de amostragem conforme mostrado no gráfico 13. A análise da demanda medida em função da contratada é fundamental para fazer análises de ultrapassagem e ociosidade.

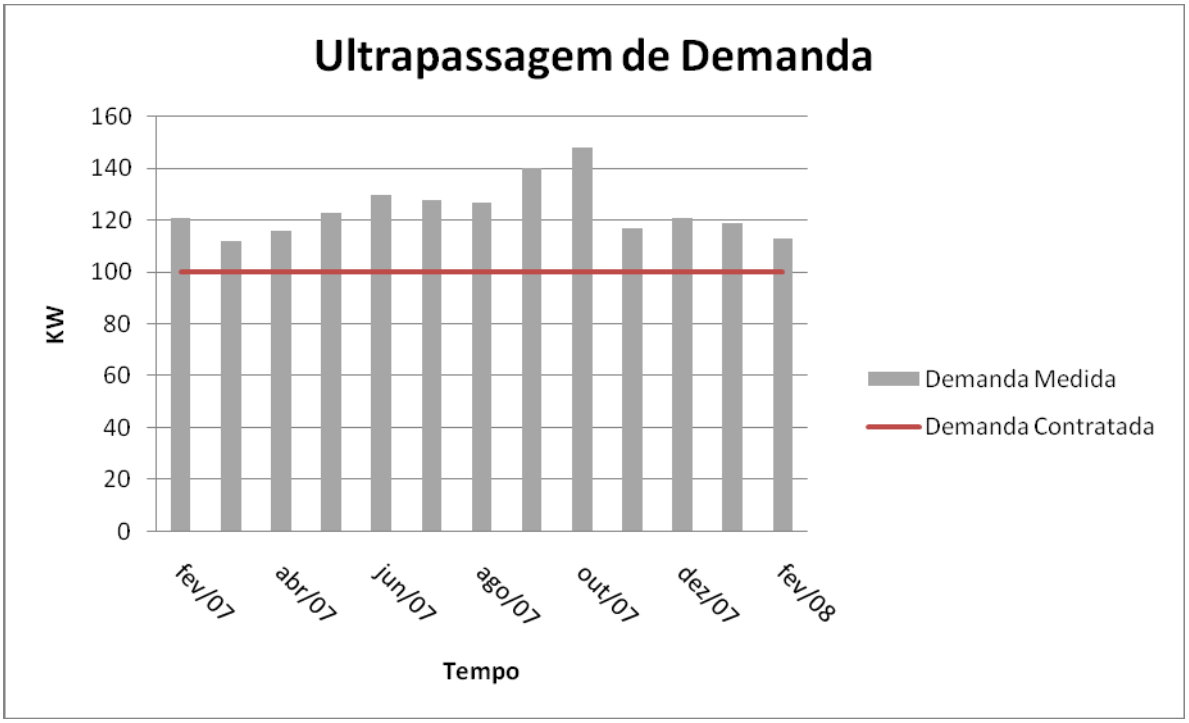

Gráfico 13 - Demandas faturadas e contratada - 2008
Fonte: Dados da pesquisa

O gráfico 13 mostra que a demanda de potência consumida é superior à contratada em todos os meses. Lembrando que o valor da tarifa de ultrapassagem é 3 vezes superior à demanda contratada, fica claro que o consumidor está pagando a energia elétrica com prejuízo, pois o contrato não está adequado ao processo da instalação.

Na empresa A, a máxima demanda medida foi de 148 kW em Outubro de modo que a demanda contratada não deve ser superior a 133,2 kW, ou seja, o consumidor tem uma margem de 10% da demanda contratada sem cobrança de ultrapassagem. Estes valores são mostrados no gráfico 14:

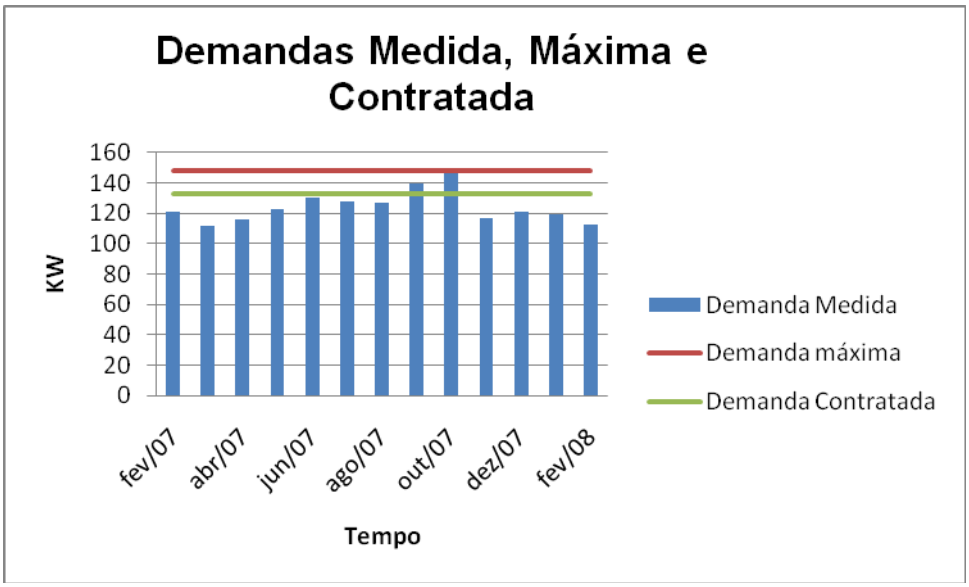

Gráfico 14 - Demandas faturada, contratada corrigida e máxima
Fonte: Dados da pesquisa

Conforme Ramalho, P. H. P Gama et al (2006 p.162), deve-se, nesse ponto, considerar a possibilidade de reduções nas demandas contratadas em função de alterações nos principais sistemas consumidores, com a redução das cargas instaladas e a introdução de controles automatizados para a modulação ótima da carga, (Santos A. H., et. al, FUPAI, 2006, p162).

Continuando a análise da conta de energia, é possível observar o pagamento de multa por energia e demanda reativa (FER e FDR).

A tabela 5 a apresenta os gastos com energia reativa (HP, HFP) e demanda reativa nas faturas mensais:

Tabela 5
Gastos com consumo de reativo - 2008

Mês	Energia Reativa						demanda		
	HFP			HP					
	qtde kWh	tarifa (R$/kW)	valor (R$)	qtde (kWh)	tarifa (R$/kW)	valor (R$)	qtde (kW)	tarifa (R$/kW)	valor (R$)
outubro	5658	0,22	1258	861	1,4	1211	6	17,7	106
novembro	6888	0,22	1532	861	1,4	1211	23	17,71	407
dezembro	4428	0,2	895	369	1,37	506	15	17,72	265
fevereiro	7503	0,2	1517	1107	1,37	1520	26	17,72	460

Fonte: Dados de pesquisa
Obs.: Não foi apresentada a fatura de energia do mês Janeiro de 2008.

A solução para o problema de excesso de reativo vem da correção do fator de potência que será abordado no caso específico do capítulo 6.

A tabela 6 demonstra as perdas no sistema elétrico referentes à energia reativa, demanda reativa e ultrapassagem da demanda contratada, para determinar estes valores foram desprezados os gastos com energia reativa e multas pagas em cada mês referente. Os valores citados na tabela 6 são uma simulação da otimização dos gastos com reativo, considerando nenhum consumo de reativo a partir das devidas correções necessárias no sistema:

Tabela 6
Demonstração de perdas no sistema - 2008

Referência	**Valor R$**	***%**
Outubro	5.124,95	18,37
Novembro	4.055,86	16,60
Dezembro	2.786,04	15
Fevereiro	4.189,64	18
TOTAL	16.156,50	17
Considerando, ainda, a Instalação de Gerador		
Outubro	9.879,84	35
Novembro	6.938,43	28
Dezembro	5.560,93	30
Fevereiro	7.516,77	32
TOTAL	**29.895,98**	**32**

Fonte: Dados da pesquisa
*Percentagem em relação ao valor total da fatura.
Obs.: Não foi apresentada a fatura de energia do mês Janeiro de 2008.

Supondo que houvesse um gerador de energia elétrica (a base de combustível fóssil – óleo diesel) na unidade consumidora, é possível calcular os gastos que poderiam ser evitados nos casos dos meses faturados. Para a simulação, foi utilizada a tarifa de R$ 0,34 na utilização do gerador. O valor deste gerador pode ser utilizado na análise econômica como custo de oportunidade de redução do consumo de energia no horário de ponta.

Por fim, a última análise é a adequação quanto à modalidade tarifária, onde, recorre-se à concessionária uma nova modalidade mais adequada à realidade do sistema de produção da unidade consumidora. Está mudança está prevista nas revisões da ANEEL.

5.9 Recomendação e conclusão

De acordo com a análise da conta, foram observadas energia e demanda reativa, ultrapassagem e ociosidade de demanda. Recomenda-se fazer uma análise de carregamento dos motores e correção do fator de potência. Deve ser salientado que a correção do fator de potência e redimensionamento dos motores reduzirá o consumo de energia e o nível de demanda.

Recomenda-se que seja feita uma análise de viabilidade na aquisição de um gerador de eletricidade para ser utilizado nos horários de ponta, onde o custo de energia é elevado.

Finalizamos com a recomendação da instalação de gerenciador de energia para gerenciamento da demanda no Horário de Ponta (HP) e no Horário Fora de Ponta (HFP). Evitando o uso de equipamentos em horas mais nobres.

6 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

6.1 Introdução

Como mencionado no capítulo 5 de tarifação, em uma instalação elétrica industrial, se a energia reativa ultrapassar limites definidos pela resolução 456 da ANEEL, o consumidor é multado, sendo incluídos em sua fatura, os itens correspondentes a energia reativa excedente e demanda reativa excedente. Estes valores são faturados pelo fator de potencia medido de hora em hora ou fator de potência mensal medido pela concessionária de energia.

Conforme Haddad, J. et al (2006, p.157), o Fator de Potência é uma medida que indica a quantidade da energia total fornecida que foi transformada em outras formas de energia, ou seja, uma medida de eficiência dos equipamentos (Santos, A. H., et. al, FUPAI, 2006, p.157).

O “fator de potência”, também conhecido pela designação “cos φ”, é o número que expressa, a cada instante, a relação entre a potência efetivamente utilizada (potência ativa em kW) e a potência total requerida (potência aparente em kVA). A potência total requerida, por sua vez, é igual à soma vetorial da potência ativa (kW) com a potência reativa (kVAr):

Equação 8:

$$\text{FATOR DE POTÊNCIA} = \frac{\text{POTÊNCIA REALMENTE UTILIZADA}}{\text{POTÊNCIA TOTAL REQUERIDA}} = \frac{(\text{kW})}{(\text{kVA})}$$

Equação 8- FP

O fator de potência pode ser expresso como sendo o cosseno do ângulo φ do triângulo de potências. Estas três potências formam o triângulo de potências apresentado na figura 10 a :

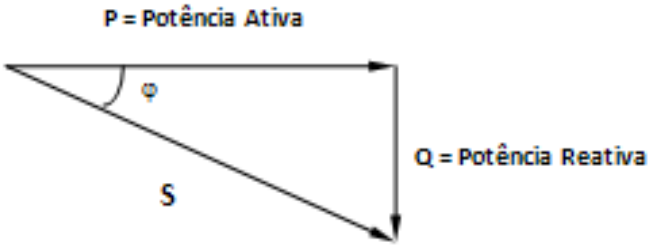

Figura 10 – Pap
Fonte: Manual de correção de potência, WEG - 2000

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$ = Potência Aparente

Equação 9 - Potência aparente

O fator de potência pode ser também calculado a partir dos consumos de energia ativa (kWh) e reativa (kvarh), através das expressões:

$$FP = \frac{P}{\sqrt{(P)^2 + (Q)^2}}$$

Equação 10 - Fator de Potência

$$FP = \cos \operatorname{arctg} \frac{Q}{P}$$

Equação 11 - cosΦ

O fator de potência pode ser indutivo (atrasado) ou capacitivo (adiantado), variando de 0 (potência totalmente reativa, carga puramente indutiva ou capacitiva) a 1 (potência totalmente ativa, carga puramente resistiva), conforme a figura 11

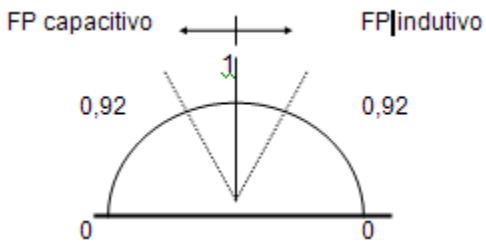

Figura 11 – Característica da carga na rede elétrica
Fonte: Manual do consumidor, CODI - 2000

Instalações consumidoras, em geral, possuem cargas predominantemente indutivas (transformadores, motores, reatores de lâmpadas fluorescentes, etc.), podendo a potência reativa solicitada pela carga ser fornecida totalmente pela concessionária ou gerada parcialmente por outra fonte de energia instalada junto à carga, podendo ser um banco de capacitores em alta e/ou baixa tensão instalados na carga, para diminuir o consumo de reativo.

Para atender às condições de fornecimento de energia elétrica no que se refere a fator de potência, uma instalação deve ter no mínimo o fator de potência igual a 0,92 indutivo no período das 6 às 24 horas, e 0,92 capacitivo no período de 24 às 6 horas, conforme estabelecido na Resolução da ANEEL nº 456/2000.

As conseqüências que um baixo fator de potência pode causar são:

- Perdas na Instalação em forma de calor, gerando um excesso de energia reativa provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos;
- Quedas de Tensão, geradas pelo aumento da energia reativa, podendo ocasionar interrupção do fornecimento de energia elétrica e a sobrecarga em certos elementos da rede;
- Subutilização da Capacidade Instalada. A energia reativa, ao sobrecarregar uma instalação elétrica, inviabiliza sua plena utilização, condicionando a instalação de novas cargas a investimentos que seriam evitados se o fator de potência apresentasse valores mais altos;
- Acréscimo na conta de energia elétrica por estar operando com baixo fator de potência.

De acordo com o manual de correção de fator de potência da WEG Motores, a correção do fator de potência através, principalmente, da instalação de capacitores tem sido alvo de muita atenção das áreas de projeto, manutenção e finanças de empresas interessadas em racionalizar o consumo de seus equipamentos elétricos, objetivando otimizar o uso da energia elétrica gerada no país.

Na prática, a instalação de banco de capacitores é uma forma de reduzir a circulação de energia reativa pelo sistema elétrico, consistindo em instalar capacitores junto às cargas indutivas, ficando a circulação de energia reativa limitada a estes equipamentos, e permitindo uma otimização do sistema.

O controle mais apurado do uso de energia reativa é mais uma medida adotada no estudo, visando estimular o consumidor, através da redução de perdas e

melhor desempenho de suas instalações, como também para o setor elétrico nacional, pela melhoria das condições operacionais e a liberação do sistema para atendimento a novas cargas com investimentos menores.

Para fazer a análise e diagnóstico da correção do fator de potência (FP), é necessário ir às instalações, para que se tenha uma análise mais detalhada dos equipamentos elétricos da empresa.

Neste estudo será abordado apenas a correção do fator de potência para diminuição de gastos com excedentes reativos, utilizando-se da instalação de capacitores.

6.2 Fluxograma

O fluxograma ilustra uma proposta dos autores deste trabalho para o auxilio na execução de um diagnóstico de baixo fator de potência de acordo com a legislação vigente.

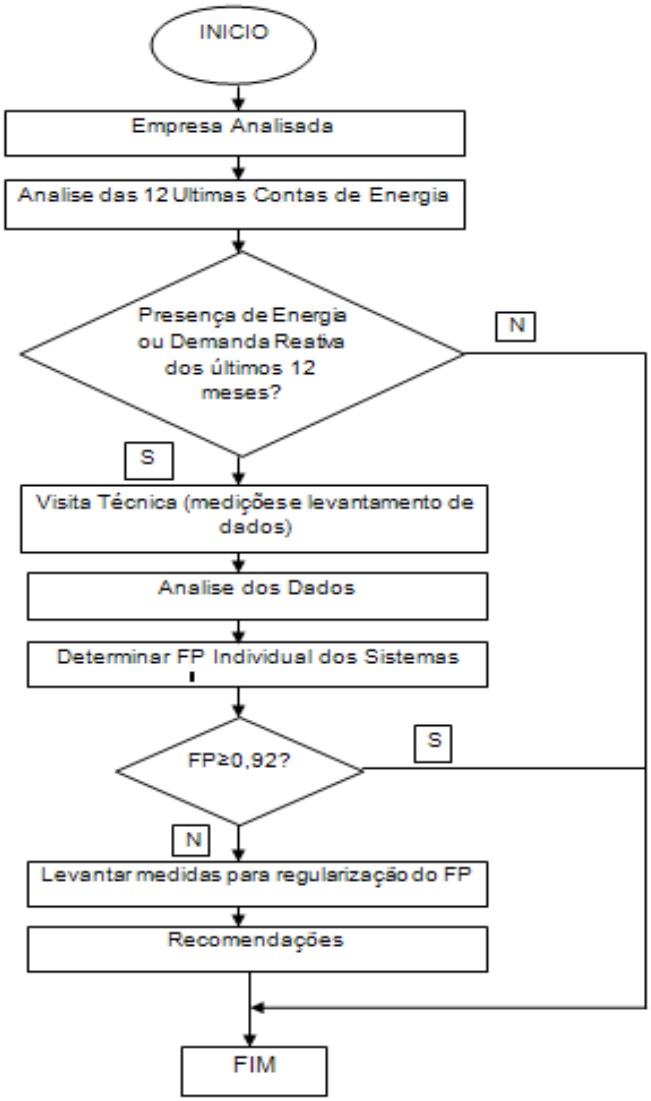

Figura 12 - Algoritmo do método de análise de FP

6.3 Método de Trabalho

Não existe uma regra geral para se corrigir o fator de potência de uma instalação. Cada caso exige uma análise criteriosa da utilização da demanda e energia reativas e das condições operacionais.

Assim o método abordado neste estudo foi através de recomendações e considerações diversas, do Manual de Correção de Fator de Potência, WEG Motores e do Manual de Orientação aos Consumidores – Energia Reativa, fornecido pelo Comitê de Distribuição de Energia Elétrica (CODI), que tem como objetivo orientar o leitor sobre algumas das práticas usuais empregadas, nos cálculos de correção do fator de potência e utilização de banco de capacitores.

De acordo com o manual da WEG devem-se seguir inicialmente duas etapas básicas:

1. Interpretar e analisar os parâmetros elétricos das instalações: nas empresas em operação, através das medições efetuadas;

- Consumo em quilowatt-hora;
- A energia reativa em quilovolt-ampère-reativo-hora;
- Demanda registrada em quilowatt;
- Número de horas trabalhadas durante o período de tempo das medições;
- Tipo de carga instalada.

2. Ter em mãos e interpretar as especificações técnicas de todos os materiais que serão empregados na execução do projeto.

A primeira providência para corrigir o baixo fator de potência é a análise das causas que levam à utilização excessiva de energia reativa.

A segunda é a interpretação para a eliminação das causas, que passa pela racionalização do uso de equipamentos, recomendando desligar motores em vazio, redimensionar equipamentos superdimensionados, redistribuir cargas pelos diversos circuitos, etc., podendo, eventualmente, solucionar o problema de excesso de reativo nas instalações (WEG Motores, 2008).

Segundo o Manual de Orientação aos Consumidores desenvolvido por, Comitê de Distribuição de Energia Elétrica – CODI (2008), quando se trata da correção de fator de potência é necessário utilizar a compensação através de banco de capacitores (Manual de Orientação aos Consumidores, CODI, 2008).

Existem várias alternativas para a instalação de capacitores em uma instalação, cada uma delas apresentando vantagens e desvantagens. Nesse sentido, a escolha da melhor alternativa dependerá de análises técnicas de cada instalação. Também como verificado no manual da WEG, a correção do fator de

potência pode ser feita instalando banco de capacitores de diferentes formas, tendo como objetivos a conservação de energia e a relação custo/benefício.

Está descrito e ilustrado a seguir algumas possibilidades de instalação de banco de capacitores:

1. Correção na entrada da energia de alta tensão: corrige o fator de potência visto pela concessionária, permanecendo internamente todos os inconvenientes pelo baixo fator de potência e o custo é elevado.
2. Correção localizada: é obtida instalando-se os capacitores junto ao equipamento que se pretende corrigir o fator de potência. Representa, do ponto de vista técnico, a melhor solução, apresentando as seguintes vantagens:
    - Reduz as perdas energéticas em toda a instalação;
    - Diminui a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos;
    - Pode-se utilizar em sistema único de acionamento para a carga e o capacitor, economizando-se um equipamento de manobra;
    - Gera potência reativa somente onde é necessário.
3. Correção mista: no ponto de vista “Conservação de Energia”, considerando aspectos técnicos, práticos e financeiros, torna-se a melhor solução. A figura 13 mostra todos os tipos de ligação de banco de capacitores dentro da instalação do consumidor desde a entrada em alta tensão até a implantação localizada nos elementos de consumo:

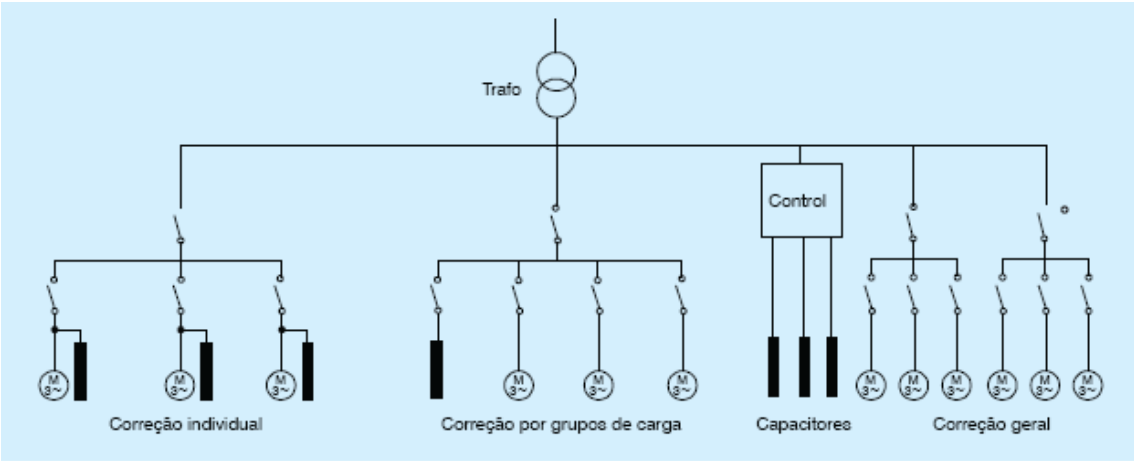

Figura 13 - Diagrama dos tipos de instalações de banco de capacitores
Fonte: Manual de correção de fator de potência, WEG - 2000

Para determinar o valor de kVAr que será utilizado para a correção de fator de potência é preciso fazer alguns cálculos simples ou utilizar de tabelas fornecidas pelos próprios fabricantes de capacitores.

Para ilustrar como se corrige o fator de potência, num caso simples, vamos considerar um exemplo uma instalação que tenha 80kW, e um fator de potência médio igual a 80% e se queira corrigi-lo para 92%. Portanto, é possível determinar a potência reativa a ser ligada a esta instalação para se obter o resultado desejado e definir meu banco de capacitores. Para uma melhor visualização é utilizado o método de resolução que utiliza o triângulo de potências. Conforme exemplo da figura14:

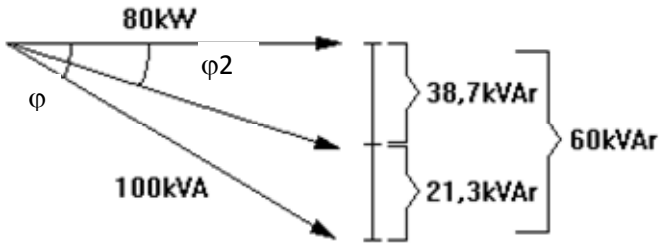

Figura 14 - Exemplo de cálculo de FP
Fonte: Análise de pesquisa

Com um cosφ = 0,80 tem-se;

$$kW = 80$$
$$kVA = \frac{80}{0,8} = 100$$
$$kvar = \sqrt{(100)^2 - (80)^2} = 60$$

Com um cosφ2 = 0,90 tem-se:

$$kW = 80$$
$$kVA = \frac{80}{0,90} = 88,85$$
$$kvar = \sqrt{(88,85)^2 - (80)^2} = 38,7$$

Assim o banco de capacitores necessário para compensar a energia reativa será a diferença da energia reativa de quando o motor estava com fator de potência de 0,80, menos a energia reativa calculada com o fator de potência desejado (0,90).

$$\text{kvar necessários} = 60 - 38{,}7 = 21{,}3$$

Para maior segurança e eficiência na operação do banco de capacitores, a WEG recomenda a consulta à norma P-NB-209 da ABNT e, ainda, considerar os seguintes aspectos:

- A instalação de capacitores deve ser feita em local onde haja boa ventilação e com espaçamento adequado entre as unidades;
- Após desligar, esperar algum tempo para religar ou fazer o aterramento de capacitor. Isso por que o capacitor retém a sua carga por alguns minutos, mesmo desligado;
- Proceder o aterramento dos capacitores antes de tocar sua estrutura ou seus terminais;
- Para capacitores ligados em alta tensão (13,8 kV, por exemplo), é sempre conveniente que as operações de ligar e desligar sejam feitas utilizando-se o disjuntor principal da instalação, antes de se abrir ou fechar a chave principal de capacitores, no caso de não haver dispositivos adequados de manobra sob carga;

6.4 Estudo de caso

6.4.1 Apresentação e objetivos

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência com a recomendação de utilização de banco de capacitores junto as cargas analisadas em uma empresa do ramo de Laticínios, localizada em Serrania/MG.

O estudo de correção do fator de potência visa o dimensionamento de capacitores, compreendendo a definição de sua potência e tensão nominais.

Para selecionar as cargas que representam potencial de economia na instalação, é necessário fazer o levantamento das cargas no regime de operação e obter as especificações técnicas e de processo das cargas analisadas.

Neste caso foram estudados 5 motores totalizando uma potência de 73 cv. Todo trabalho de avaliação das cargas se deu em motores, para eliminação dos desperdícios de energia reativa produzido pelo baixo fator de potência.

No entanto, neste trabalho, a fonte de dados para cálculos, simulações e propostas foi o banco de dados da empresa, além de medições feitas em campo e dados de fabricante referente aos equipamentos estudados.

Salientamos que é oportuno observar que, para as instalações de grande porte, o Estudo de Fluxo de Carga que faz uso de programa computacional específico, pode se apresentar como ferramenta auxiliar poderosa na pesquisa das causas e na análise das medidas a serem recomendadas para a correção do fator de potência.

6.4.2 Metodologia

A metodologia aplicada para o estudo presente das medidas de eficientização energética em motores foi dividida em 4 etapas:

- Identificação do problema na área;
- Obtenção de níveis de potencia ativa, aparente, reativa e fator de potência;
- Dimensionamento dos bancos de capacitores;
- Recomendação das otimizações para o sistema.

Para identificar problemas com baixo fator de potência é recomendado que se faça uma análise das últimas contas de energia elétrica para verificar se houve gastos com energia ou demanda reativa, cuja conseqüência é um baixo fator de potência. Em seguida, necessita-se que vá a campo fazer o levantamento dos dados para serem analisados.

Levantadas as informações, inicia-se o estudo com a análise das causas, para em seguida se proceder a um diagnóstico que indique as melhores soluções.

Para uma melhor interpretação dos dados obtidos, recomenda-se que monte um banco de dados das cargas analisadas com seus dados nominais e medidos, conforme tabela 7:

Tabela 7
Descrição dos dados medidos e nominais dos motores - 2008

Item	Descrição/Motores	Dados nominais					Dados medidos			
		Potencia		Rotação (RPM)	Fator de potencia	Corrente (A)	Potencia			Corrente (A)
		CV	KW				Aparente (KVA)	Efetiva (KW)	Reativa (KVAR)	
1	Agitador de agua da caixa nova	5	3,7	1750	0,81	7,6	3,6	2,4	2,7	10
2	Bomba de agua caldeira lenha	3	2,2	3600	0,8	8,7	2,7	2,2	1,2	7,9
3	Compressor Shulz	15	11	1750	0,83	39,3	13,5	10,5	8,4	38
4	Compressor de parafuso	25	18,5	1750	0,83	64,3	25,5	13,5	14,1	80
5	Compressor 02 - Amonia	25	18,5	1755	0,83	64,3	17,1	14,4	9	47,5

Fonte: Dados da pesquisa

Utilizando os dados da tabela acima e fazendo uso dos cálculos da equação mencionada anteriormente para determinar o fator de potência, é possível verificar os fatores de potência dos respectivos motores analisados. Os resultados são observados na tabela 8:

Tabela 8
Descrição dos motores e do fator de potência medido e calculado - 2008

Item	Descrição/Motores	FP Dados de placa	FP Medido
1	Agitador de agua da caixa nova	0,81	0,66
2	Bomba de agua caldeira lenha	0,8	0,88
3	Compressor Shulz	0,83	0,78
4	Compressor de parafuso	0,83	0,8
5	Compressor 02 - Amonia	0,83	0,84

Fonte: Dados da pesquisa

Pode-se verificar na tabela acima que o fator de potência dos itens 2, 4 e 5 não tiveram alteração significante no fator de potência, já os motores do item 1 e 3, tiveram uma queda no fator de potência. Mesmo assim, percebe-se que nenhum dos motores está de acordo com a resolução 456 da ANEEL.

Portanto recomenda-se fazer uma análise das condições de operação e carregamento dos motores para, por último, recomendar a instalação de banco de capacitores junto à carga.

É importante lembrar que neste estudo de caso de correção de fator de potência, já foi considerado a análise de nível de carregamento e condições

operacionais dos equipamentos analisados, contudo será utilizado a correção através de banco de capacitores.

O banco de capacitores permitirá um aumento do fator de potência, com isso, diminuindo gastos com excedentes de reativo.

É bom lembrar, que a correção do fator de potência, pode ser feita, até certo ponto, corrigindo-se as causas, o que levará à utilização de equipamentos de correção com menor potência.

A análise do banco de capacitor foi feita através do exemplo citado anteriormente no método de trabalho, onde se faz uma relação do fator de potência atual com o fator de potência desejado.

Tabela 9
Economia por mês com o banco de capacitores - 2008

Item	DescriçãoMotores	Fator de potencia corrigido	Economia R$	Capacitor	Modelo	Contator	Disjuntor
				KVAR	WEG	In	In
1	Agitador de agua da caixa nova	99%	116,11	2	UCW-T	X	X
2	Bomba de agua caldeira lenha	99%	46,89	1,5	UCW-T	X	X
3	Compressor Shulz	99%	267,59	1,5	UCW-T	X	X
4	Compressor de parafuso	99%	513,68	2 x 5 = 10	MCW	40	X
5	Compressor 02 - Amonia	99%	544,53	2 x 5 = 10	MCW5	40	40

Fonte: Dados da pesquisa

Como é apresentado na tabela 9 o novo fator de potência utilizado para os cálculos dos bancos de capacitores foi de 99%. Nesta mesma tabela já estão indicadas as economias por mês feitas, a potência em kVAr dos capacitores com seus respectivos modelos e sistema de proteção, quando necessário.

Todos os dados obtidos referentes a potência, modelo, contator e disjuntor dos capacitores foram baseados em dados retirados do catálogo de capacitores da WEG Motores, disponível no site da empresa.

6.4.3 Recomendações e Conclusões

Neste caso, a instalação de dispositivos de correção do fator de potência é recomendada, não só para a otimização do sistema de potência, como para evitar

gasto de dinheiro desnecessário com multas por operar com fator de potência abaixo de 92%.

Como apresentado no estudo, pode-se observar o potencial de economia e otimização do sistema que uma empresa pode ter com a utilização de tecnologias disponíveis no mercado, onde se consegue diminuir as despesas gastas com energia.

Quando o fator de potência é corrigido, elevando acima de 0,92 a empresa passa a utilizar a energia de forma mais correta e econômica, está ação pode ser obtida com a utilização de banco de capacitores que fornece vantagens como:

- Reduz as perdas energéticas em toda a instalação;
- Diminui a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos compensados;
- Melhora os níveis de tensão de toda a instalação;
- Acaba com gastos com reativo.

Além da utilização de banco de capacitores, uma boa tecnologia usada para diminuir o reativo é a utilização de máquinas síncronas pelo fato de consumirem o reativo da rede para gerar seu próprio campo magnético, reduzindo a percentagem de reativo na rede. Porém, estas máquinas são muito caras e têm algumas restrições que não fazem parte do escopo deste trabalho.

O fator de potência mostra também o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos. Valores altos de fator de potência (próximos a 1,0) indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento, além de representar uma sobrecarga para todo o sistema elétrico.

7 ADEQUAÇÃO DA FORÇA MOTRIZ

7.1 Introdução

Este estudo faz um levantamento das condições operativas dos motores elétricos existentes na empresa analisada. Uma vez que a produção de energia mecânica através de motores elétricos absorve grande parte da energia elétrica consumida pela indústria brasileira.

Conforme Bortoni E.C. et al (2006, p.87), estima-se que “os motores de indução são responsáveis pelo consumo de aproximadamente 25% de toda energia elétrica gerada no Brasil.” (Santos A. H. et al, FUPAI, 2006, p.87). Portanto, é de grande importância que se tenha uma atenção especial ao se tratar de adequação de motores elétricos.

Uma das causas mais comuns de operação ineficiente dos motores elétricos é o sobredimensionamento, ou seja, utiliza-se um motor com potência nominal superior à solicitada pela carga. Neste caso, o motor não terá dificuldade de acionar a carga, o que não é perceptível; esta situação não traz nenhuma perturbação aos usuários o que colabora para a sua perpetuação. Porém, ele estará tendo uma redução no seu rendimento, consumindo mais energia do que um outro motor dimensionado de forma adequada à carga a ser acionada.

Conforme Hurst J.(2007, p.30),

> o sobredimensionamento, isto é, o uso do motor com potência muito superior à necessária para o acionamento da carga, conta com uma considerável parcela dos problemas de eficiência encontrados na maioria das aplicações. De acordo com estudos do departamento de energia americano, cerca de 40% dos motores instalados na indústria operam a 40%, ou menos, de sua capacidade nominal, resultando em uma aplicação ineficiente. (Haddad J. et al, FUPAI, 2007, p. 30).

O subdimensionamento (sobrecarga) também provoca o sobreaquecimento, que é facilmente percebido. Deve-se lembrar que o sobreaquecimento tem como conseqüência a redução da vida útil do equipamento.

Neste estudo de dimensionamento de motores, não interessa a determinação exata do rendimento de trabalho dos motores, mas sim, do índice de carregamento do motor para a observação do seu eventual sobredimensionamento.

Um parâmetro de grande interesse para verificar o sobredimensionamento de um motor é o chamado índice de carregamento – (IC).

De acordo com Bortoni E.C. e Henrique A.M. (2006, p.411),

> se o valor IC estiver acima de 0,75, isto é, um carregamento superior a 75%, pode-se considerar que o motor está bem dimensionado, haja vista que o mesmo opera em região de operação com rendimento elevado. Se, no entanto, o fator de carregamento estiver abaixo de 75%, não se pode afirmar, categoricamente, que tal motor esteja sobredimensionado, mas sim, que há indícios de que esteja. Isto porque existem situações tais como em ciclos de carga severos ou em partidas de cargas com alta inércia o uso de motores sobredimensionados se faz necessário. (Santos A. H., et al, FUPAI, 2006, p.411).

Como conseqüência do sobredimensionamento do motor elétrico cita-se, dentre outros, a redução do fator de potência e do rendimento e o aumento da corrente de partida causando sobreaquecimento dos condutores e equipamentos.

Ao substituir um motor sobredimensionado por um mais adequado ao acionamento, obtém-se um relativo aumento na eficiência do processo. Esta eficiência reflete não só na conservação de energia em si, mas também pode trazer outros benefícios, como, evitar desgaste desnecessário do motor, aumentar a vida útil do motor, dentre outras que, sempre que possível, devem ser considerados.

É fato que um motor bem dimensionado irá trabalhar em sua melhor região de funcionamento. Portanto, o conhecimento do valor do rendimento é importante quando se deseja realizar análise econômica de substituição, reparo ou compra de um motor.

7.2 Fluxograma

Este fluxograma ilustra o raciocínio adotado pelos autores para fazer a análise e diagnóstico do carregamento dos motores elétricos para verificar o seu dimensionamento em relação à carga.

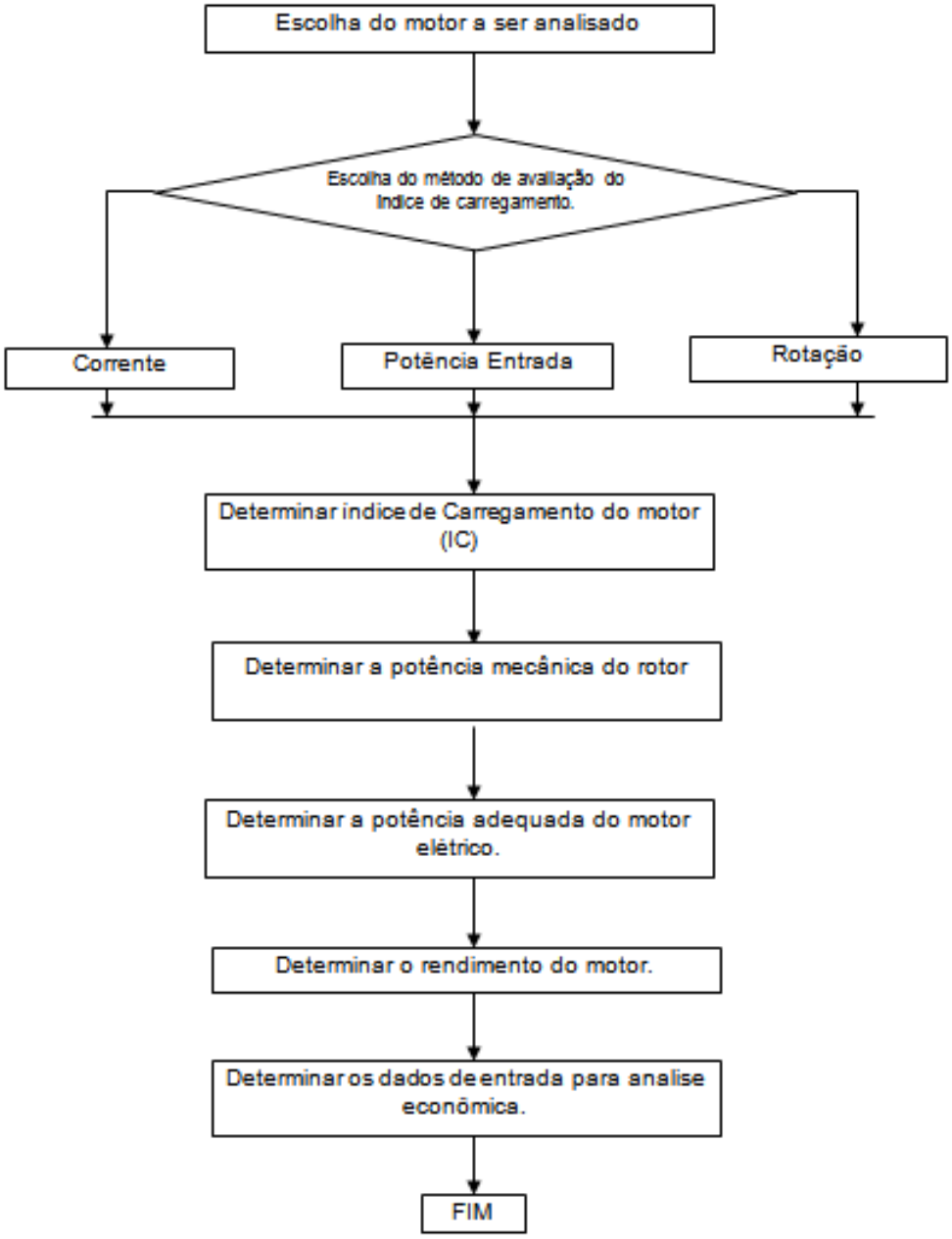

Figura 15 - Fluxograma para otimização em motores

7.3 Método de Trabalho

Conforme Boglietti A. (2007, p.94),

> a análise de desempenho de um motor pode ser realizada aplicando métodos normalizados ou não. Os métodos normalizados mais aplicados são os definidos pelas normas IEEE 112-B, IEC 34.2 e JEC 37. Em geral, o problema da determinação das condições de operação de um motor tem sido reduzido a um problema de medição de rendimento. Uma vez que a

> aplicação de métodos normalizados em campo é impraticável, vários trabalhos trazendo novas modelagens, sistemas de medição e métodos não-normalizados para determinação de rendimento em campo têm sido apresentados. (Haddad J. et al, FUPAI, 2007, p.94).

Portanto, ao invés de usar métodos não-normalizados para se obter em campo um valor discutível do desempenho do motor, o que se fez neste estudo foi a determinação do índice de carregamento do motor para a avaliação das reais condições de carregamento dos motores elétricos, devendo ser feita partindo-se da obtenção das diversas características de operação.

Alguns dos instrumentos usados para fazer as aquisições de dados do sistema motriz são amperímetro e wattímetro alicate, além de tacômetro digital. Estes resultados podem ser colocados em termos básicos (KWh, KW, A, V, T, n, η, Ω, etc.) ou especificados por unidade de produto. Os valores absolutos são bons indicadores da magnitude das perdas e dos fluxos energéticos, a informação adquirida em campo também ajudará na elaboração dos estudos técnicos.

Para cada situação são analisados os dados de entrada dos motores, tais como:

- Dados de Placa: identificação, marca, tensão, corrente nominal, potência nominal, unidade da potência, fases, rotação (RPM), fator de serviço;
- Dados obtidos do fabricante: Curva de Rendimento x Carga, Curva de Fator de Potência x Carga;
- Do ambiente das instalações do motor: é importante observar a localização e conservação e transmissão do setor, estado do motor, estado de conexão, estado de isolamento dos cabos, tipo e transmissão, estado da transmissão;
- Da operação: regime de funcionamento, dia por mês, fora de ponta e na ponta;
- Características da Carga: tipo de carga, tensão de alimentação, medida escolhida e valor das medições.

É importante lembrar que o erro na escolha do motor mais adequado implica em redução da vida útil do mesmo - no caso subdimensionado - ou perdas de energia elétrica nos casos de superdimensionamento.

7.3.1 Determinação do IC

Como é apresentado no fluxograma, o índice de carregamento pode ser determinado de várias formas, mas abordaremos apenas três neste estudo, como:

- Pela medição da corrente de linha;
- Pela medição da potência absorvida da rede; e/ou
- Pela medição da rotação.

Lembrando que todos os métodos são realizados em condições de funcionamento normal de trabalho sem considerar os estados transitórios ou de partidas.

7.3.1.1 Método da potência absorvida da rede

Segundo Shindo R. e Soares G.A (1998, p.176), “o melhor método para a determinação do carregamento de motores de indução trifásicos é a medição da potência de entrada”, (SHINDO R. e SOARES G.A., 1998, p. 176).

Este método considera a que o índice de carregamento é a relação entre a potência efetiva (P_e) medida do motor em funcionamento e a potência nominal (P_N) do motor adquirida nos dados de placa ou no catálogo do fabricante. Ou seja:

$$\text{IC} = \frac{P_E}{P_N}\ (KW)$$

Equação 12 - Determinação de IC pelo método da potência absorvida

7.3.1.2 Método pela medição da corrente elétrica do estator ou rotação

Estes dois métodos fazem uso de dados fornecidos por fabricante juntamente com dados de corrente e rotação medidos que servirão para tecerem-se análise técnicas sobre o carregamento de motores, porém serão explicados separadamente.

Para medição da rotação do motor pode ser utilizados tacômetro analógico/digital. De posse dos dados de placa, dados do fabricante e a medição feita em campo pode se obter o IC.

Conforme Guardia, E.C. (2007, p.95), o índice de carregamento pode ser facilmente estimado através de medição de campo usando a seguinte expressão, (Haddad J. et al FUPAI, 2007, p. 95).

$$IC = \frac{n_t}{n_N} \times \frac{n_S - n_t}{n_S - n_N}$$

Equação 13: Determinação de IC pelo método da rotação

Nestas expressões n é a rotação (RPM) e os índices t, N, e S significam trabalho, nominal, e síncrono, respectivamente.

Este método não é muito aplicável, devido à dificuldade de fazer as medições em campo em alguns motores.

Outra forma de se fazer a análise sobre o carregamento de motores é utilizando a medição da corrente de linha, onde através desta é possível determinar além do IC, o rendimento, potencia de trabalho, fator de potencia e outras informações.

Esta técnica, como foi dito anteriormente, faz uso de dados de catálogo do fabricante. A partir da medição feita em campo, levando a informação da corrente na curva do fabricante mostrada no catálogo de especificações dos motores, pode se determinar os índices de desempenho do motor e verificar quanto ao seu dimensionamento.

Após ser feita a análise do carregamento do motor atual, fica evidenciado, a partir do gráfico do fabricante, o nível de rendimento e FP facilitando a visualização para recomendar um novo motor com características de desempenho mais adequado.

Para exemplificar este método, é utilizado um motor de projeto padronizado com potência de 100 cv, 4 pólos, em 440 V, operando com uma corrente de 150 A. Levando a informação obtida da corrente na curva do fabricante, mostrada na

gráfico 15, pode-se obter a potência de trabalho, rendimento, FP e escorregamento. Neste caso, tem-se que a potência de trabalho deste motor é de, aproximadamente, 83%, ou seja 85 cv, com rendimento de 93%. Neste caso, percebe-se que pode-se empregar um motor mais próximo da potência da carga, por exemplo, um motor de 90 cv de alto rendimento. Nestas novas condições temos um rendimento de 95% e uma corrente de trabalho de 150 A. além do melhor rendimento, uma corrente menor reduzirá as perdas por efeito joule nos alimentadores, havendo também, uma pequena melhoria no FP.

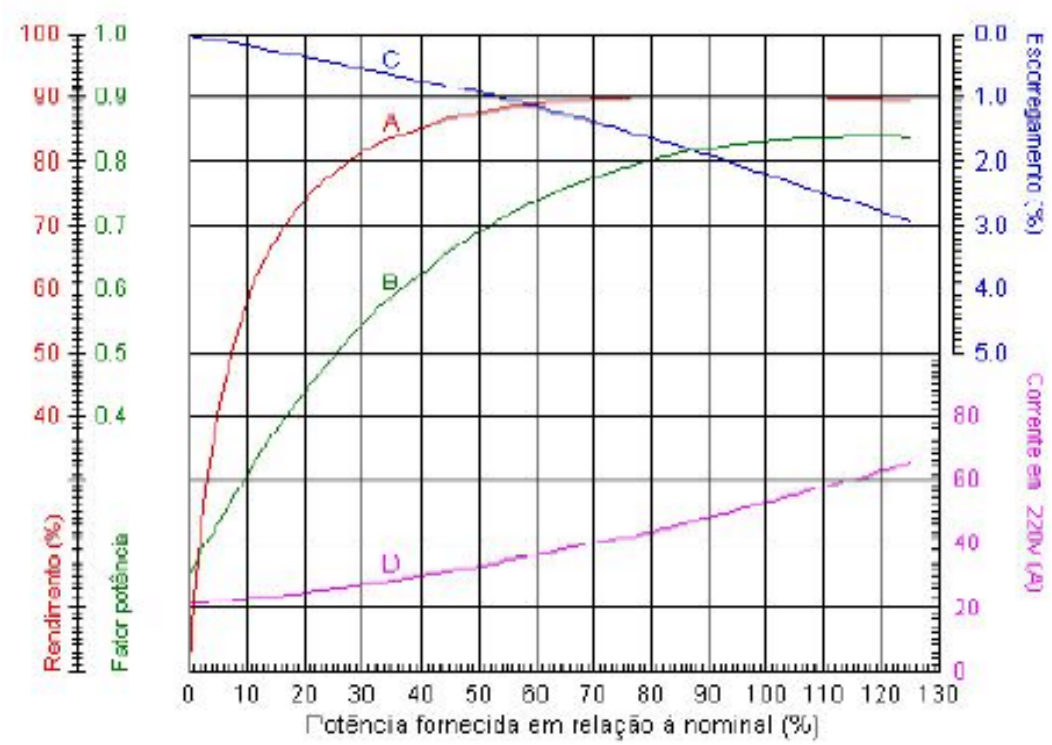

Gráfico 15- Gráfico da corrente
Fonte: Catálogo WEG – 2007

O rendimento é importante também na conservação de energia, pois ele é um indicador da relação da utilização de potência elétrica consumida com as perdas intrínsecas dos motores. Os motores de alto rendimento se apresentam como uma alternativa para a economia de energia em sistemas motrizes, pois possuem menores perdas nos elementos constituintes ocasionando um menor custo anual de operação.

$$\eta = \frac{P_{elet} - \sum Perdas}{P_{elet}}$$

Equação 14: Rendimento

Ainda, para fixar a necessidade de se analisar o rendimento dos motores, é interessante relacioná-lo com o custo de operação, ou seja, aumentando-se o rendimento diminui-se os gastos com manutenção e operação (CO). Conforme mostrado na equação abaixo:

$$CO = \sum \left(\frac{Pk \ .0{,}735}{\eta_k} \right) H_k \ .TE_k$$

Equação 15: Gastos com manutenção e operação

Onde η_k e H_k são o rendimento e o número de horas de trabalho por ano em uma dada potência P_k (cv), TE_k é a tarifa de energia no período especificado (R$/kWh) e K é o conjunto de todas as condições

Quando não é possível determinar o rendimento através do método da corrente, utiliza-se um valor aproximado do rendimento de operação. Podendo ser obtido de uma forma simples. Conforme equação abaixo:

$$\eta = \frac{IC \ .0{,}735 \ .P_N}{P_E} \times 100$$

Equação 16: Rendimento

Portanto, para fazer a avaliação do potencial de economia com a melhoria de rendimento dos motores elétricos, devido ao seu mau dimensionamento, utilizamos a equação a seguir:

$$\Delta\eta = \frac{1}{\eta 1} - \frac{1}{\eta 2}$$

Equação 17: Variação de rendimento

Onde:

- Δη - economia de energia, %
- η1 - rendimento do motor 1, %

- η2 - rendimento do motor 2, %

Por fim, é recomendado um estudo econômico da viabilidade da proposta recomendada. Para isso deve-se levar em consideração nesta análise, a utilização de parâmetros econômicos citados no capitulo de “consultoria”.

7.4 Dicas de otimização do sistema motriz

Algumas dicas são bastante úteis no combate ao desperdício de energia em motores elétricos, onde podemos destacar: Limpeza e Lubrificação, uso de motores de alto rendimento, políticas de manutenção e troca de motores velhos, uso de controladores eletrônicos de velocidade.

Conforme Costa E. B. e Henrique A. M. C. et al (2006, p.425),

> a limpeza e a lubrificação dos mancais são de suma importância. Neste sentido, pode-se verificar que o acúmulo de poeira e falta de lubrificação podem aumentar as perdas por atrito e ventilação em quase 50% reduzindo o rendimento de um motor em até 2%. (Santos A. H. et al, FUPAI 2006, p. 425).

Portanto, é imprescindível que se tenha uma política de manutenção preventiva para a garantia da qualidade do funcionamento dos motores.

Segundo Bortoni, E. Costa (2006), a substituição dos motores padrões por de alto rendimento podem acarretar uma redução de até 30% das perdas, o que significa uma real economia. (Santos A. H. et al, FUPAI, 2006, p. 402). O uso de motores de alto rendimento é aconselhável, principalmente, em processos contínuos, onde o motor opera mais de 7000 horas por ano. Nos demais casos, é importante fazer uma análise mais criteriosa da viabilidade econômica dessa substituição.

Segundo Santos A. H. et al (2006, p.432), uma regra prática usada na indústria é de que o custo do reparo deve ser inferior a 60% do preço do motor novo e de que o motor deve ser descartado após a terceira falha (Santos A. H. et al, FUPAI, 2006, p. 432). A cultura de reenrolamento de motores danificados deve ser

amplamente discutida, pois um motor reformado geralmente apresenta queda no seu rendimento. O aumento dos gastos com energia elétrica devido ao aumento do consumo desse motor, em muitos casos seria suficiente para comprar um motor novo.

Na prática, observa-se que para motores operando com cargas abaixo de 50% de sua potência nominal o fator de potência cai bruscamente. Nestes casos deve-se verificar a possibilidade, por exemplo, de se substituir os motores por outros de menor potência, com torque de partida mais elevado e mais eficiente.

Finalmente, o uso de inversores de freqüência para o controle de velocidade de motores se apresenta como uma alternativa muito eficiente que pode ser aplicada em substituição dos métodos tradicionais de controle de variáveis dos processos industriais, principalmente vazão e pressão em sistemas de bombeamento.

7.4 Estudo de caso

7.4.1 Apresentação e objetivos

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência com a substituição de motores elétricos em uma empresa do ramo de Laticínios, localizada em Serrania/MG.

Este estudo de eficiência energética representa uma das ações mais representativas para aplicação na indústria. A substituição de motores antigos ou mal dimensionados por novos com maior IC baseia-se no correto dimensionamento dos motores para suas aplicações.

Para selecionar os motores que representam potencial de economia na substituição é necessário conhecer as características de funcionamento no regime de operação e as especificações técnicas dos equipamentos.

Neste caso foram estudados 4 motores totalizando uma potência de 19 cv.

Todo trabalho de avaliação dos motores para eliminação dos desperdícios de energia deve, necessariamente, conter uma avaliação do motor com relação às características da aplicação, como: ambiente de trabalho e processo. No entanto,

neste trabalho, a fonte de dados para cálculos, simulações e propostas foi o banco de dados da empresa. Assim neste trabalho não serão consideradas as condições de ambiente e processo.

Um motor pode ser considerado bem dimensionado quando consome potencia numa faixa entre 75% e 100% de sua potencia nominal. Assim, após avaliações, um motor que esteja operando fora dessa faixa de carregamento é, em princípio, um candidato potencial a ser substituído por um motor melhor dimensionado. Porém, neste estudo só será avaliado os motores que estiverem abaixo de 50% de seu nível de carregamento.

7.4.2 Metodologia e Conclusão

A metodologia aplicada para o estudo presente das medidas de eficientização energética em motores foi dividida em 3 etapas:

I- Coleta de dados: coleta de dados técnicos e medições de grandezas elétricas em todos os motores da instalação. Deve ser considerada uma das etapas mais importantes do diagnóstico energético. Todos os dados necessários à determinação das ações que levem à redução do desperdício e à otimização do uso da energia da instalação serão obtidos neste momento.

II- Análise e interpretação técnica – interpretação de dados e medições obtidos em campo para elaboração dos cálculos elétricos visando à identificação do potencial de economia de energia no uso final e total da empresa, através de planilhas de cálculo;

III- Recomendação.

Para melhor interpretação do estudo deve ser montada uma tabela contendo todos os motores analisados com seus dados nominais e medidos conforme mostrada a tabela 10:

Tabela 10
Descrição dos dados nominais e medidos - 2008

Item	Descrição	Motor								
		Dados nominais					Dados medidos			
		Potência		Rotação (RPM)	Fator de potência	Corrente (A)	Potencia			Corrente (A)
		CV	KW				Aparente (KVA)	Efetiva (KW)	Reativa (KVAR)	
1	Bomba da torre de resfriamento	7,5	5,5	1740	0,82	20	6	5,1	3	16,9
2	Bomba de agua do abastecimento	1	0,75	3200	0,82	3,02	0,9	0,6	0,3	2,9
3	Bomba do poço artesiano	3	2,2	3600	0,8	8,9	3	2,2	1,2	8,5
4	Centrifuga	7,5	5,5	3600	0,82	20	7,5	1,2	7,2	21,4

Fonte: Dados da pesquisa

Utilizando dos dados da tabela acima e fazendo uso dos cálculos citados anteriormente, é possível determinar o índice de carregamento (IC), e conseqüentemente, o Fator de Potência (FP), observe os resultados na tabela 11. O IC é fundamental na determinação de sub ou sobredimensionamento de motores.

Tabela 11
Valores de FP e IC

Item	Descrição	FP	IC
1	Bomba da torre de resfriamento	0,85	92,70%
2	Bomba de agua do abastecimento	0,66	80%
3	Bomba do poço artesiano	0,88	100%
4	Centrifuga	0,16	21,8%

Fonte: Dados da pesquisa

A partir da análise dos valores calculados do IC, observou-se que dentre os quatro motores analisados, o motor da Centrifuga (nº4), está bem abaixo do limite adequado (21,8%) de funcionamento de 75% do carregamento nominal.

Para o caso analisado é recomendado que seja feita a substituição do motor da centrifuga por outro de menor potência,

Considerando a substituição do motor ineficiente, demonstraremos na tabela 12 os valores de placa do motor proposto .

Tabela 12
Relação de consumo dos motores - 2008

Potencia		Rotação (RPM)	Fator de potencia	Corrente (A)	Consumo R$/kWh
CV	KW				
7,5	5,5	3600	0,82	20	1211,42
3	2,2	3465	0,8	8,7	462,28

Fonte: Dados da pesquisa

Para o cálculo do consumo foi considerado a equação 15 onde, definimos o número de horas trabalhadas em 480 horas mensais e o valor pago por kWh de 0,38 reais. A potência de trabalho do motor velho era de 7,5 cv e a do motor novo é de 3 cv.Para os respectivos rendimentos, foi analisado os dados de placa dos motores com seus rendimento a 50%, 75% e 100%. No motor velho foi considerado o rendimento de 50%, já no motor novo foi considerado 75%.

Conforme apresentado na tabela acima, com a recomendação proposta, verifica-se que houve diminuição das potências nominais dos motores, aumento do fator de potência e queda da corrente. Todos estes fatores colaboram para o aumento do rendimento, liberação “espaço” na rede, diminuindo gastos com eletricidade e, conseqüentemente, agregando valor ao seu produto.

Finalmente, pode-se confirmar o potencial de conservação na substituição de um motor velho por um motor bem dimensionado à carga. Com a proposta de dimensionamento adequado é possível garantir a eficiência do uso adequado da energia e ainda reduzir o consumo e as demandas de manutenção.

8 ILUMINAÇÃO

8.1 Introdução

Conforme Yamachita, A et al (2006, p.213),

> a iluminação é responsável por, aproximadamente, 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Totalizando cerca de 17% do consumo total de energia elétrica do país. Estima-se que até 40% desta energia pode ser conservada com a utilização de sistemas de iluminação mais eficientes, compostos basicamente por lâmpadas, luminárias e reatores. Os principais grupos de lâmpadas são as incandescentes, led´s e as de descargas, (Santos A. H. et al, FUPAI, 2006 p. 213).

A eficiência de uma lâmpada é a relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida. Assim, quanto mais lumens conseguir emitir por watt de potência consumida, mais eficiente será a lâmpada.

Deve ser salientado que o estudo luminotécnico, que é responsável pela avaliação da conformidade do ambiente de trabalho, baseia-se em dados fornecidos por normas pertinentes e dados fornecidos pelo fabricante dos equipamentos. Pontos importantes a serem considerados no diagnóstico de eficiência na conservação de eletricidade na iluminação são:

- Tipo de ambiente a ser iluminado, considerando a utilização de climatização, necessidade de reprodução de cores e arquitetura;
- Altura do pé direito;
- Tipo de foco, direto, indireto ou aberto.

Este estudo norteia o consumidor para análise da viabilidade técnica e econômica da substituição de sistemas de iluminação instalado por sistemas de alta eficiência, visando a economia e a conservação de energia elétrica.

A NBR5413 fornece os índices mínimos e máximos de iluminamento para os mais variados locais de trabalho. Os níveis de iluminamento indicam o valor necessário para um determinado ambiente e tarefa e sua unidade é o lúmens (lm).

As características da iluminação existentes facilitam, em primeiro momento, a análise básica de ineficiência do sistema de iluminação. Esta análise baseia-se no tipo de local, tipo de lâmpada instalada, tipo de luminária, disposição das luminárias e poluição local.

Segundo ALVARES (1998),

> existe uma grande quantidade de ações que promovem o aumento da eficiência e da eficácia de um sistema de iluminação, sendo as principais as seguintes:
> - Emprego de tecnologia de iluminação mais adequada;
> - Promoção de iniciativas de máximo aproveitamento possível da iluminação natural;
> - Uso de detectores de presença;
> - Uso de equipamentos gerenciadores de energia;
> - Implementação de um programa de manutenção efetivo;
> - Conscientização e educação dos usuários.

Cabe ao profissional da área de projetos estabelecer, dentro destes índices, quais os valores a serem utilizados, qual o tipo de lâmpada e luminária que melhor se adapta às necessidades do ambiente.

8.2 Fluxograma

No instante em que o consultor finalizar a etapa 4 do método proposto por Nogueira, mostrado no item 4.2 deste trabalho., ele terá informações suficientes para averiguar a situação atual e confirmar a necessidade de uma consultoria específica na área de iluminação de uma instalação elétrica.

O processo de diagnóstico segue uma seqüência de tarefas proposta pelos autores para conseguir chegar a uma efetiva melhoria à instalação com garantias econômicas de viabilidade de implantação.

Com a análise de conformidade da instalação elétrica em relação à Norma Regulamentadora é possível determinar os problemas e, conseqüentemente, soluções para as inconformidades.

Para o estudo de melhorias e modernizações da atual instalação elétrica, é necessário considerar as informações do ambiente de trabalho e da tarefa

executada bem como a possibilidade de otimização do consumo devido a mudanças de horários de funcionamento e mudança de tecnologia. A figura 16 ilustra o fluxograma do método de consultoria em conservação de energia no âmbito de iluminação:

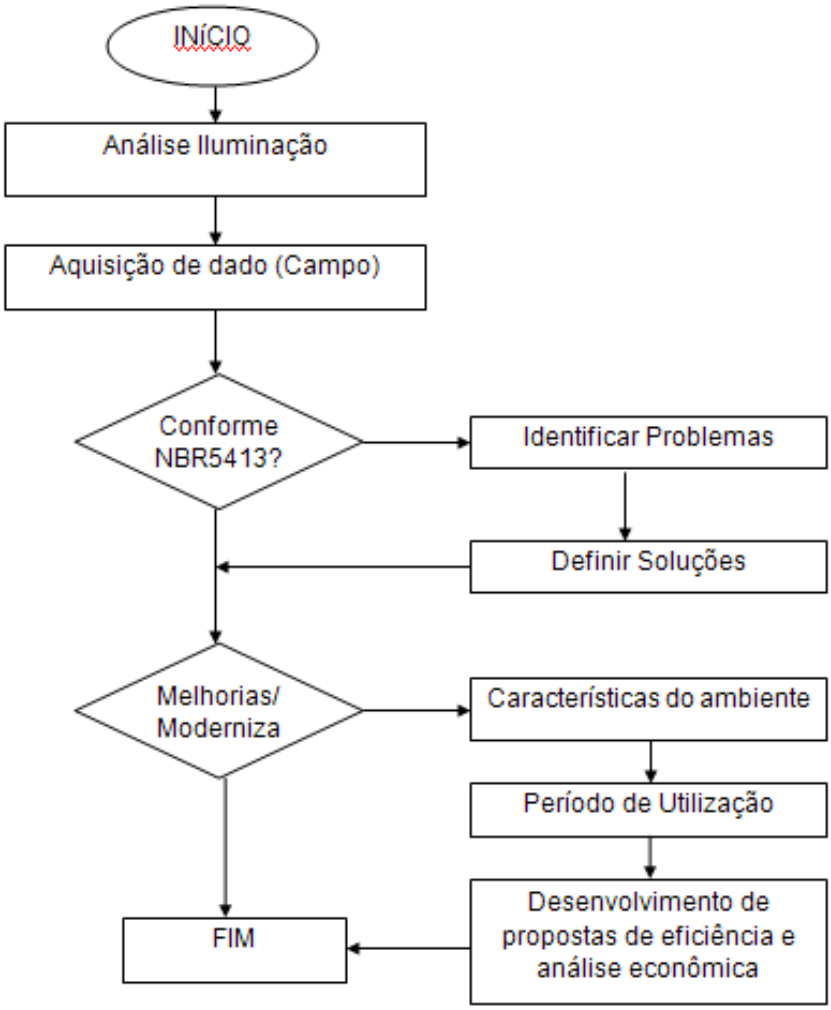

Figura 16 - Etapas de realização de consultoria de conservação de eletricidade em iluminação

8.3 Método de trabalho

As informações das condições das instalações e de funcionamento dos ambientes de trabalho de uma empresa permitem o cálculo da iluminação necessária para o local.

As informações necessárias ao diagnóstico do sistema de iluminação iniciam-se com a identificação das características do ambiente, da tarefa executada, da

distribuição das luminárias, da utilização de iluminação natural e da periodicidade da manutenção. Os dados importantes a serem analisados nos ambientes de trabalhos podem ser colhidos tanto com a avaliação de um consultor, como com a informação fornecida pelos usuários da empresa.

Após a análise do ambiente de trabalho e suas características específicas, bem como as possibilidades de melhorias, é possível, então, verificar a participação dos gastos de eletricidade. Assim, é analisada a periodicidade de utilização do sistema de iluminação no período mínimo de um mês.

Finalmente, é importante montar o cenário atual que se encontra a empresa. Este cenário servirá para fazer a verificação da adequação do sistema atual com as normas vigentes e permitirá, ainda, fazer uma análise para possíveis medidas de otimização e eficiência. Os dados necessários para montar este cenário são: a dimensão do ambiente, as condições de iluminação e a reflectância das paredes, as tecnologias utilizadas, a quantidade e distribuição das luminárias bem como o fator de manutenção.

A partir do estudo de eficientização, é possível montar o cenário de iluminação proposto, que será utilizado para comparação com sistema atual, possibilitando verificar se é viável fazer substituição do sistema de iluminação por outro de menor consumo de energia.

Com índices financeiros do tipo VPL, TIR, RBC, etc. a análise econômica permite visualizar, de forma clara, a viabilidade de um investimento destinado a implantação das propostas de melhorias.

O índice chamado de Pay-back (retorno de pagamento) é o tempo total para que o investimento retorne. Ou seja, um investimento de 1000 reais que produz lucro de 100 reais por mês vai ter um pay-back de 10 meses.

8.4 Cálculo de iluminação

Conforme Yamachita, A. Akira et al., para o estudo de iluminância nas instalações elétricas é utilizado o método dos lumens para calcular o número de lâmpadas e luminárias, levando em conta as dimensões e o tipo de ambiente que

será iluminado. Um roteiro que pode ser seguido para se fazer os cálculos necessários é o seguinte (Santos A. H. et al, FUPAI, 2006, p. 238):

- Escolha do nível de iluminamento (E);
- Determinação do fator do local (K);
- Escolha das lâmpadas e das luminárias;
- Determinação do fator de utilização (Fu);
- Fator de manutenção Fm
- Determinação do fluxo total (ΦT);
- Cálculo do número de luminárias;
- Distribuição das luminárias;
- Estudo de viabilidade econômica para implantação

8.3.1 Escolha do nível de iluminamento (E)

O nível de iluminamento é um dos parâmetros mais importantes na especificação de um sistema de iluminação, correspondendo à iluminância que deve ser medida na altura do campo de trabalho. Seu valor ideal está diretamente relacionado com o tipo de tarefa visual a ser realizada, em um determinado ambiente, e com a idade dos usuários do mesmo.

A primeira providência será a de escolher o nível médio de iluminamento em função do tipo de atividade visual que será desenvolvida no local. Para isso são utilizadas tabelas existentes na norma NBR-5413 que fornecem os valores mínimos, médios e máximos admissíveis para cada tipo de ambiente. A tabela 13 mostra alguns limites de iluminamento para diferentes tipos de ambientes:

Tabela 13
Índices de luminância

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 – 30 – 50 50 – 75 – 100 100 – 150 – 200 200 – 300 – 500	- Áreas públicas com arredores escuros. - Orientação simples para permanência curta. - Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos. - Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria; auditórios.
Iluminação geral para área de trabalho	500 – 750 – 1000 1000 – 1500 – 2000	- Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria; escritórios. - Tarefas com requisitos especiais; gravação manual; inspeção; indústria de roupa.
Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 – 5000 5000 – 7500 – 10000 10000 – 15000 – 20000	- Tarefas visuais exatas e prolongadas; eletrônica de tamanho pequeno. - Tarefas visuais muito exatas; montagem de microeletrônica. - Tarefas visuais muito especiais; cirurgia.

Fonte: NBR 5413 - 2008

Estes valores são utilizados de acordo com a necessidade de iluminação das tarefas que são executadas. O valor mais alto, das três iluminâncias deve ser utilizado quando:

- A tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes bastante baixos;
- Erros são de difícil correção;
- O trabalho visual é crítico;
- Alta produtividade ou precisão são de grande importância;
- A capacidade visual do observador está abaixo da média.

8.3.2 Determinação do fator do local (K)

A determinação do fator K é alcançada quando se tem as medidas de dimensões do ambiente a ser analisado. Para isso pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$$K = \frac{C.L}{(C+L).A}$$

Equação 18 - Determinação de K

Onde:

- C – Comprimento
- L – Largura do Local
- A – Altura da luminária ao plano de trabalho

8.3.3 Escolha das lâmpadas e das luminárias

Para ser feita a escolha das lâmpadas e das luminárias, devem ser levados em conta fatores como a adequada iluminação do plano de trabalho, custo, manutenção, estética, índice de reprodução de cores, aparência visual e funcionalidade.

A tabela 14 mostra as características de cada tipo de luminária disponível no mercado:

Tabela 14
Classificação das luminárias

Luminárias	Características Gerais
Embutidas	- Normalmente usadas com lâmpadas incandescentes comuns; - Apresentam baixo rendimento; - Normalmente apresentam problemas de superaquecimento; - Difícil manutenção.
Fechadas (lâmpadas fluorescentes)	- São encontradas com vários tipos de elementos de controle de luz (refletores espelhados com proteção visual, difusor prismático, etc.); - Rendimento moderado, dependendo do tipo de elemento de controle da luz; - Difícil manutenção; - Podem ser fixadas sobre a superfície do teto e, em alguns casos, podem ser embutidas; - Os que dispõem de refletores sem elementos de controle de luz apresentam melhor rendimento.
Abertas	- Podem ser encontradas com ou sem elementos de controle de luz; - Apresentam rendimentos superiores aos das luminárias fechadas; - Fácil manutenção; - Podem ser fixadas sobre a superfície do teto ou suspensas.
Spots	- São utilizadas com vários tipos de lâmpadas incandescentes refletoras ou coloridas; - Utilizados para iluminação direcional do fluxo luminoso; - Fácil manutenção; - Podem ser fixados sobre a superfície ou embutidos.
Projetores	- Encontrados em vários tamanhos; - Apresentam bom rendimento luminoso; - São fixados sobre as superfícies ou suspensos; - Podem ser usados com lâmpadas incandescentes comuns até lâmpadas a vapor de sódio; - Fácil manutenção, dependendo das condições do trabalho.

Fonte: Eficiência Energética “Teoria e Prática, 2007, p.66

A tabela 15 mostra as principais características das lâmpadas disponíveis no mercado:

Tabela 15
Principais características das lâmpadas

Lâmpada	Características Gerais
Incandescente Comum	- Excelente reprodução de cores - Baixa eficiência luminosa - Vida mediana: 1000 horas - Não exige equipamentos auxiliares - Grande variedade de formas
Incandescente halógena	- Excelente reprodução de cores - Vida mediana: 2000 horas - Eficiência luminosa maior que a incandescente comum - Exige equipamentos auxiliares, dependendo da tensão - Vários tamanhos, inclusive com refletores
Fluorescente	- Excelente a moderada reprodução de cores, dependendo do tipo - Boa eficiência luminosa - Vida mediana: 7500 a 20000 horas - Exige equipamentos auxiliares: reator e starter (partida convencional) ou só reator (partida rápida) - Forma tubular em vários tamanhos
Fluorescente compacta	- Boa reprodução de cores - Boa eficiência luminosa - Vida mediana: 3000 a 12000 horas - Exige equipamentos auxiliares (reator) - Pequenas dimensões
Mista	- Moderada reprodução de cores - Vida mediana: 8000 horas - Eficiência luminosa moderada - Não exige o uso de equipamentos auxiliares
Vapor de mercúrio	- Moderada reprodução de cores - Vida mediana: 12000 a 24000 horas - Boa eficiência luminosa - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator)
Vapor metálico	- Boa reprodução de cores - Vida mediana: 3000 a 20000 horas - Boa eficiência luminosa - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator)
Vapor de sódio alta pressão	- Pobre reprodução de cores - Alta eficiência de cores - Alta eficiência luminosa - Vida mediana: 12000 a 55000 horas - Exige o uso de equipamentos auxiliares (reator e ignitor)

Fonte: Eficiência Energética “Teoria e Prática – 2007, p.67

Com as informações técnicas das lâmpadas e luminárias disponíveis é possível encontrar a opção mais adequada à cada situação de trabalho encontrada.

8.3.4 Determinação do Fator de Utilização (Fu)

O fator de utilização é a razão do fluxo útil que incide efetivamente sobre um plano de trabalho e o fluxo total emitido. É um índice da luminária e influi no rendimento desta. Depende da distribuição de luz e do rendimento da luminária, da reflexão do teto, paredes e plano de trabalho ou piso, assim como do fator do local(K). Os catálogos dos fabricantes possuem o valor de Fu de cada tipo de luminária disponível no mercado.

8.3.5 Fator de manutenção (Fm)

É a razão da iluminância média no plano de trabalho, após certo período de uso, pela iluminância média obtida sob as mesmas condições da instalação nova. Em ambientes sujos, o rendimento da iluminação chega cair 20% do valor de quando novo

8.3.6 Determinação do Fluxo Total (ΦT)

Para se determinar o fluxo total pode-se utilizar a expressão abaixo, que determina o valor da iluminância média:

$$Em = \frac{\Phi T.Fu.Fm}{S}$$

Equação 19 - Luminância média

Portanto:

$$\Phi T = \frac{Em.S}{Fu.Fm}$$

Equação 20 - Fluxo total

Onde:

- Em – Iluminância Média (Nível de Iluminamento)
- S – Área do Ambiente
- Fu – Fator de Utilização
- Fm – Fator de Manutenção

As luminárias possuem um papel importante nos sistema de iluminação. Elas são responsáveis por distribuir, de forma adequada, a luz sobre o campo de trabalho. A escolha de uma luminária deve ser baseada nos fatores: atividade desenvolvida, tipo de iluminação desejada (direta, semi-direta, indireta, direta-indireta etc.),

8.3.7 Cálculo do Número de Luminárias

Cada tipo de lâmpada fornece certo valor de lumens (fluxo luminoso) conforme apresentadas nas tabelas a seguir. Assim, a iluminação de ambientes pode ser feita levando em conta o tipo de lâmpada e a luminância adequada. A tabela 16 as mostra:

Tabela 16
Lâmpada incandescente para iluminação geral

Tipo	**Potência (W)**	**Acabamento**	**Fluxo luminoso (lm)**		**IRC**	**Vida Mediana (horas)**
			127 V	220V		
Cristal	25	Claro	235	230	100	1000
	40		455	415		
	60		780	715		
	100		1470	1350		
	150		2430	2180		
	200		3325	3090		
Refletora	40	Sílica	305	280	100	2000
	60		535	460		
	100		1060	895		

Fonte: Eficiência Energética “Teoria e Prática” – 2007, p. 63

Tabela 17
Lâmpada fluorescente compacta

Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Temperatura de Cor (K)	IRC	Vida Mediana (horas)
7	400	3500	82	10000
13	850	3500	82	10000
23	1520	3500	82	10000

Fonte: Eficiência Energética "Teoria e Prática" – 2007, p. 63

Tabela 18
Lâmpada fluorescente tubular

Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Diâmetro (mm)	Temperatura de Cor (K)	IRC	Vida Mediana (hora)
14	1350	16	4000	85	20000
16	1070	25	4100	66	12000
20	1060	38	5520	70	12000
28	2900	16	4000	85	20000
32	2950	25	4100	80	20000
40	2700	38	5250	70	12000

Fonte: Eficiência Energética "Teoria e Prática" – 2007, p. 63

Através do número de lumens por luminárias (ΦL) tem-se o número de luminárias dado por:

$$n^{o}\ de\ luminárias = \frac{\Phi T}{\Phi L}$$

Equação 21 - nº de luminárias

8.3.7 Distribuição das luminárias

O espaçamento entre as luminárias depende de sua altura ao plano de trabalho (altura útil) e da sua distribuição de luz. Esse valor situa-se geralmente, entre 1 à 1,5 vezes o valor da altura útil em ambas as direções. O espaçamento até as paredes deverá ser a metade desse valor. Vale ressaltar que, se o número de luminárias calculadas resultar em valores incompatíveis com esses limites, os mesmos deverão ser ajustados para não se correr o risco do ambiente ficar com sombras. O ajuste é feito sempre elevando-se o número de luminárias ou mudando-se a sua distribuição pois são variáveis que afetam o rendimento da iluminação.

8.4 Estudo de viabilidade econômica das recomendações

Na análise da viabilidade econômica da racionalização do uso de iluminação utilizam-se parâmetros econômicos citados no método de Salazar, como, taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL), relação benefício-custo (RBC) e taxa de retorno do capital (TRC).

8.5 Dicas de Iluminação

Além das possibilidades de utilização de lâmpadas mais eficientes, outras medidas importantes para o uso otimizado da energia podem ser adotadas:

- Dar preferência ao uso de lâmpadas fluorescentes compactas com o Selo PROCEL Inmetro;
- Usar lâmpadas adequadas para cada tipo de ambiente verificando com o fornecedor quais os modelos mais adequados para cada aplicação, buscando tecnologias mais eficientes como os LED´s que possuem boa relação custo/benefício;
- Reduzir a carga de iluminação nas áreas de circulação, garagem, depósitos etc., observando sempre as medidas de segurança;
- Evitar pintar os tetos e paredes com cores escuras as quais exigem lâmpadas de maior potência;
- Manter limpas as luminárias. A sujeira reduz o fluxo luminoso em até 20%, exigindo maior número de lâmpadas acesas;
- Usar luminárias abertas, sem a utilização de difusores, para melhorar o nível de iluminância;
- Verificar a possibilidade de instalação de "timer" para controle da iluminação externa, letreiros e luminosos;
- Utilizar telhas transparentes e fazer a setorização das luminárias para aproveitar ao máximo a iluminação natural;

- Instalar a luminária em local adequado para facilitar a tarefa no plano de trabalho.

8.6 Estudo de caso

8.6.1 Apresentação e objetivos

O caso apresentado relata as ações de aumento de eficiência no sistema de iluminação realizada em uma empresa do ramo da industrial de laticínio localizada em Serrania/MG.

Este projeto teve por objetivo promover a eficientização através da substituição da tecnologia do sistema de iluminação atual por outra mais eficiente, promovendo a redução de consumo de energia e demanda de potência.

A análise do projeto teve apenas uma fase na qual foi avaliado o potencial de melhoria do sistema de iluminação com base na metodologia descrita abaixo.

8.6.2 Metodologia e recomendação

O sistema de iluminação atual utilizado nos galpões da área de produção da empresa é dividido em três tipos de lâmpadas. Constituindo de lâmpadas de descarga tipo Mercúrio de 150 W, lâmpadas mistas de 160 W e lâmpadas mistas de 250 W. A metodologia adotada para eficientização do sistema de iluminação foi baseada na substituição de tecnologias.

Os sistemas mais modernos conseguem produzir a mesma quantidade de luz utilizando menos energia. Hoje o mercado dispõe de lâmpadas compactas de 40 W com fluxo luminoso equivalente às lâmpadas mista de 160 W (25.000 lumens), sendo o rendimento das fluorescente 625 lumens por Watt e as mistas 156 lumens por Watt, isto é devido as características mais eficientes de construção dos novos equipamentos.

Atualmente, a utilização de lâmpadas incandescentes é totalmente reprovada na maioria dos casos. Além de poder ser substituída diretamente por uma lâmpada fluorescente compacta, sem depreciar a qualidade da iluminação e sem a necessidade de qualquer mudança na instalação elétrica, as lâmpadas incandescentes consomem mais energia e são menos duráveis. Um bom exemplo é comparar uma lâmpada incandescente de 60W/127V com uma lâmpada fluorescente compacta de 15W/127V da linha DULUX® EL LONGLIFE da marca OSRAM [41],veja na tabela 19:

Tabela 19
Incandescentes X Fluorescentes compactas - 2008

Tipo de Lâmpada	**Consumo (W)**	**Fluxo Luminoso (lm)**	**Vida Útil (h)**
Incandescente	60	864	750
Fluorescente compacta	15	900	15000

Fonte: Análise de pesquisa

Portanto é recomendada a substituição do sistema de iluminação atual pelo sistema com lâmpadas compactas de 40 W disponíveis no mercado, que proporcionara uma redução no consumo de demanda de energia mensal.

9 CONCLUSÃO

Para a continuidade do progresso da sociedade moderna, é incontestável a importância de energia elétrica para o desenvolvimento e sustentabilidade da economia, visando atender às necessidades dos consumidores, sejam elas na indústria, comércio ou residências. Isto torna a eficiência energética um referencial prioritário no que diz respeito a todas as formas de consumo de eletricidade.

Conforme mostradas ao longo do trabalho, as ações de Eficiência Energética conseguem otimizar a utilização de energia associada a uma atividade, contribuindo assim para a redução dos gastos com este produto. Estas ações, além de trazerem benefícios diretos para os consumidores, trazem também grandes benefícios à sociedade, pois promovem um alívio para os sistemas de suprimento de energia, contribuindo assim para reduzir os riscos de um racionamento de eletricidade.

Os estudos de casos demonstraram o potencial de redução dos gastos com energia elétrica nas indústrias, onde pode se utilizar de conceitos e métodos exemplificados neste trabalho, fazendo o uso eficiente da conservação da energia elétrica em iluminação, motores, adequação do sistema tarifário e fator de potência. Os resultados obtidos através dos dados levantados em campo nas diversas indústrias pesquisadas, mostram que a economia feita através do uso eficiente de energia é real e pode ser revertida em investimentos futuros para a empresa, aumentando sua produtividade.

Quanto ao papel do Engenheiro Eletricista na consultoria de eficiência energética, é necessário salientar que este é de suma importância no processo como um todo. É este profissional o responsável por orientar políticas gerenciais destinadas à eficiência energética, trabalhar em pesquisas e desenvolvimento de tecnologia de equipamentos e instalações eficientes. Somente este profissional capacitado pode delimitar até onde se deve racionalizar o uso da energia sem que se comprometa a qualidade dos produtos e serviços, bem como a segurança de quem os produz ou executa.

O Brasil tem tecnologia e recursos para implementar programas intensivos de conservação que permitam fornecer energia e sustentar o crescimento econômico. Grupos de pesquisa como o INEE (Instituto Nacional de Eficiência Energética), EPE(Empresa de Pesquisa Energética) e programas como PROCEL, PNE

(Programa Nacional de Energia) dão mostras da capacidade nacional e trabalham neste sentido, junto também com profissionais prestadores de serviços de consultoria. Mas a população em geral ainda desconhece a importância da questão energética e suas implicações sociais, econômicas e ambientais.

A conservação de energia, na medida em que avança em direção a níveis mais elevados de modificação na sociedade, está cada vez mais relacionada com aspectos éticos e comportamentais da população. Portanto, a questão da eficiência energética deve ser sempre considerada em qualquer relação que aborda alguma forma de utilização de energia.

Como proposta para trabalhos futuros é oportuno fazer o estudo econômico e financeiro da viabilidade das propostas de implementação das medidas de conservação diagnosticadas através dos estudos de casos mostrados. Para tanto, é necessário que o profissional calcule e faça uma análise dos indicadores econômicos que ajudam na tomada de decisão dos projetos de otimização de consumo de eletricidade como, por exemplo, o VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno), RBC (Relação Benefício-Custo) e TRC (Tempo de Retorno de Capital), dentre outros. Isso reforçaria ainda mais os resultados preliminares de economia com gastos de energia apresentados neste trabalho.

Finalmente, pode-se observar também através deste estudo, mais uma grande oportunidade de trabalho para o engenheiro eletricista seguir carreira como um profissional que busca a otimização do uso da energia elétrica nos mais diversos setores de produção e consumo, e ainda na qualidade e confiabilidade da utilização da mesma pela sociedade consumidora moderna. Isto, dentro do cenário atual de progressiva escassez de recursos naturais, assume um papel de fundamental importância para a garantia da sobrevivência humana de maneira sustentável.

10 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT “Iluminância de interiores - Especificação ”, NBR 5413, Brasil 1982.

BEN – Balanço Energético Nacional 2005, 2006, 2007, Ministério de Minas e Energia http:\\ www.eletrobras/procel.gov.br/procel2008. Acesso em 02 mar. 2008.

CEMIG – Companhia Elétrica de Minas Gerais. http://www.cemig.com.br. Acessado em 21de fev. 2008.

Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL Energia, http://www.cpfl.com.br/cpflnasescolas/cpfl_procel_curso_texto.asp. Acesso em 17 mar. 2008.

E.C.Bortoni; A.H.M. Santos;”Acionamentos com motores de indução trifásico” in Haddad, J. ET alii; “Conservação de energia – Eficiência Energética de Instalações e equipamentos”, 2ª Edição, Procel/Eletrobrás, 2006, pág. 36 – 41.

Eletrobrás Empresa Brasileira S.A. – Procel. Disponível em, http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={C8BE7744-955E-445F-9A06-6B00E4B3CE3B}. Acesso em 12 de fev. 2008.

Fitzgerald, A. E, Máquinas elétricas. 6ª Edição, Bookman, 2006.

FURNAS – Furnas Centrais Elétricas S.A, FURNAS Centrais Elétricas Estatísticas de consumo no Brasil, 2007.

Haddad, M. V., et. alli. Eficiência Energética: “Teoria e Pratica”1ª edição, Eletrobrás/ PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / FUPAI, Itajubá, 2007.

J. Hurst; “Raising the standard for electric motor efficiency”. InTech, April 2007, p. 30 – 34.

Jornal online Eletrobrás/PROCEL, 2006, http://www.eletrobras.com/ELB/main.asp?ViewID={D81425AF-257E-44E9-8B0F-1F885CD35D6D}. Acesso em 02 mar. 2008.

Ministério de Minas e Energia – PROCEL / Eletrobrás, “Manual de Iluminação Eficiente”, Brasil, 2002. http:\\ www.mme.gov.br/. Acesso em 25 fev. 2008.

PROCEL / Eletrobrás Metodologia de realização de diagnostico energético, Programa de Eficientização Industrial, Edson Szyszka e Márcio Américo.

PROCEL, Dados diversos “ http:\\ www.eletrobras.gov.br/procel2008 ”.Acesso em 25 de mar. 2008.

Resolução ANEEL nº 456, de 29 de novembro de 2000.

Santos, A. H., et. al Conservação de Energia: “Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações”1ª edição, Eletrobrás/ PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / FUPAI, Itajubá, 2001.

Santos, A. H., et. alli. Conservação de Energia: “Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações”3ª edição, Eletrobrás/ PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / FUPAI, Itajubá, 2001.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio ao Empreendedor, Neves L.T.Jr, SEBRAE/SC, 2002. Disponível em, http://www.sebrae-sc.com.br/newart/default.asp?materia=4006. Acesso em 12 mar. 2008

SHINDO R.; SOARES G.A., Avaliação da precisão de métodos práticos de determinação do carregamento de motores de indução trifásicos. In: CONFERÊNCIA DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, 1998, São Paulo. Anais...São Paulo: Tec Art, 1998, v.1. p. 175-180.´