

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá

2011

DANIEL GÂMBARO

ESTUDO SOBRE EFICÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA UNIDADE
INDUSTRIAL

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias

Guaratinguetá

2011

G18
8e

Gâmbaro, Daniel
Estudo sobre eficiência energética em uma unidade industrial / Daniel
Gâmbaro – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
82 f : il.
Bibliografia: f. 81

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias

1. Energia elétrica – conservação 2. Análise energética I. Título

CDU 620.9

ESTUDO SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA
UNIDADE INDUSTRIAL


DANIEL GÂMBARO

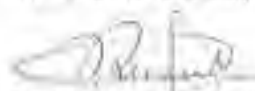
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. Samuel Francisco de Luccas
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. DIVALDO LUIZ SILVA RICCIULLI
UNESP-FEG


Prof. Dr. OSCAR ARMANDO M. ASTORGA
UNESP-FEG

12 de dezembro de 2011

DADOS CURRICULARES

DANIEL GÂMBARO

2005/2011	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Estadual Paulista – UNESP – <i>Campus</i> de Guaratinguetá.
2003/2004	Cursinho Pré Vestibular Cursinho do Sindicato, Campinas Cursinho Objetivo, Campinas
2000/2001	Curso Técnico em Contabilidade Colégio Evolução, Campinas
1997/2000	Ensino Médio Escola Adalberto Prado e Silva, Campinas
FILIAÇÃO	José Maria Gâmbaro Dalva Alves Anunciação Gâmbaro
NASCIMENTO	31.12.1983 – SÃO PAULO / SP

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de tudo, ao meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, que me amou e a si mesmo se entregou pelos meus pecados.

Em segundo lugar, agradeço aos meus pais, José Maria Gâmbaro e Dalva Alves Anunciação Gâmbaro, de modo que, por meio deles todas as minhas necessidades foram supridas durante todo o período de graduação, e não só pelo suporte financeiro, mas pelo suporte amoroso, pois desde o princípio eles me amaram, ampararam e apoiaram e isso não diz respeito apenas a minha vida no período acadêmico.

Agradeço ainda a alguns amigos que fizeram parte da minha vida nesta fase, dentre eles, André da Silva Reis, o Ricochete, que morou comigo durante muitos anos, criando grandes laços de amizade, ajudou-me ainda a me tornar um homem mais paciente e compreensivo através do convívio diário.

Ao Luiz Stefano Segnini Mori, o Temo, que foi paciente comigo, me aturando em uma fase de extrema rebeldia nos dois primeiros anos da graduação; seus conselhos me ajudaram a me tornar uma pessoa mais calma e pacífica, sendo eu grato por ele ter passado pela minha vida.

Ao Cássio Luisada Troiano, o Currida, este foi meu melhor amigo. Desde o primeiro ano foi a pessoa que mais passou tempo comigo; sua amizade, companheirismo e ajuda tornaram estes anos de graduação muito menos difícil, agradável e divertido; foi ele, também, meu parceiro e cúmplice das mais diversas aventuras realizadas nesse período. Essa amizade, para mim, é mais preciosa que ouro, e levarei para toda a vida.

Ao César Bastamante, o Podre, o qual veio a se tornar um grande amigo, perseverando na graduação juntamente comigo e com o Cássio, acabou que, um foi apoiando no outro, se ajudando e se animando, sendo parceiros na aprovação e na retenção e, agora, para a nossa alegria, na conclusão.

Ao William Ribeiro Martins, o Brioco, amizade esta que veio se fortalecendo desde 2008 em meio a inúmeras conversas, filmes, séries,

discussões e situações vividas que nos tornou grandes amigos e ajudou a aliviar o fardo da faculdade.

A Marina, a Brisa, que foi a mulher que Deus colocou em meu caminho nesse período de faculdade para revirar meu mundo, e acabou se tornando uma das pessoas mais importantes na minha vida. Foi com ela que Deus me trouxe de volta para o caminho de Cristo, e eu, para sempre serei grato pelos passos dela terem se encontrado com os meus.

A Márcia Mayumi, a Márcia, que desde 2009 me proporcionou material de apoio, sempre gentil e compreensiva com aqueles que tinham dificuldades em copiar a matéria e, sendo representante de sala sempre levou em consideração a opinião dos seus colegas de sala na hora de escolher as datas mais adequadas para as provas, sua ajuda e compromisso com a turma foi essencial para minha formação e eu lhe sou abundantemente grato.

Ao grupo Grão de Mostarda que mesmo vindo a frequentá-lo apenas no último ano, posso dizer que fui extremamente abençoado na comunhão com os irmãos dali e oro para que Deus continue abençoando este grupo para que o mesmo permaneça firme em seu propósito.

A Bastian Grigo e a Henrique Sampaio, que foram meus orientadores dentro da empresa onde eu realizei o estágio supervisionado e que realmente buscaram fazer o melhor possível para me ensinar como agir no ambiente empresarial, dando suporte e ajudando em todas as etapas do projeto realizado, culminando no final do estágio, graças à ajuda deles, em resultados satisfatórios tanto para a empresa quanto para mim, cujo aprendizado neste período serviu de base para realizar o trabalho de graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rubens Alves Dias, que me auxiliou durante todo o período do estágio supervisionado, me ajudou na escolha do tema desse trabalho, conseguiu me ajudar a organizar minhas idéias e me impelir a começar a escrever, me orientando a cada capítulo, sempre com muita disposição e interesse em ajudar. Sinto-me extremamente abençoado por ter tido esse professor como meu orientador o qual também se tornou meu amigo.

“Tudo posso naquele que me fortalece”

Bíblia – Filipenses 4:13

GÂMBARO, D. Estudo sobre eficiência energética em uma unidade industrial. 2011. 82 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Este trabalho contempla um estudo de oportunidades do uso racional de energia em uma unidade industrial a partir da análise da demanda e consumo de energia elétrica. Através de um roteiro de análise energética descreveu-se como encontrar os principais problemas que geram desperdícios de energia em uma indústria, apontando meios para que os processos de produção evitem tais desperdícios e passem a utilizar a energia de forma racional e eficiente. Observou-se ainda, a viabilidade técnica e econômica de possíveis intervenções a serem aplicadas em termos de conservação de energia e de possíveis alternativas para o suprimento da demanda.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Energética. Eficiência Energética. Conservação de Energia. Alternativa Energética.

GÂMBARO, D. **Study about energy efficiency in an industrial unit.** 82 f. Graduate Work (Bachelor in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

This work contemplates an opportunities study of the rational use of energy in an industrial unity from the demand analysis and electrical energy consumption. Through a guide of energy analysis it was described how to find the main problems that create energy wastes in an industry, showing the ways so the production processes avoid such wastes and start to use energy in a more sensible e efficient way. It was also studied, the technical e economical viability of possible interventions to be implemented in terms of energy conservation and of possible demand supply alternatives.

KEY-WORDS: Energy Analysis. Energy Efficiency. Energy Conservation. Alternative Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura de oferta mundial de energia por fonte.	19
Figura 2.2 – Níveis de produção de energia elétrica no Brasil.....	21
Figura 2.3 – Esquema de funcionamento de uma hidrelétrica	22
Figura 2.4 – Distribuição de energia hidrelétrica no mundo 2010.....	22
Figura 2.5 – Bons Ventos, fazenda eólica, Ceará.....	25
Figura 2.6 – Distribuição da energia solar ao redor do mundo	26
Figura 2.7 – Torre de energia solar na Espanha	27
Figura 2.8 – Oferta de energia elétrica por fonte no Brasil	31
Figura 2.9 – Consumo energético por setor	31
Figura 2.10 – Insumos usados nos processos industriais	32
Figura 3.1 – Etapas de um programa de uso racional de energia	34
Figura 3.2 – Etapas de uma auditoria energética.....	35
Figura 3.3 – Exemplos de diagrama de Sankey	37
Figura 3.4 – Diagrama do fator de potência	38
Figura 4.1 – Porcentagem de potência instalada por setor	52
Figura 4.2 – Perfil da demanda ativa anual de 2011	56
Figura 4.3 – Projeção de crescimento da demanda	58
Figura 4.4 – Fator de carga ao longo de 2011	61
Figura 4.5 – Consumo ativo de energia elétrica mês maio/2011	64
Figura 4.6 – Consumo anual de energia elétrica	65
Figura 4.7 – Comportamento do fator de potência ao longo de 2011	71
Figura 4.8 – Triângulo das potências.....	74
Figura 4.9 - Perspectiva do telhado com painéis fotovoltaico do prédio centro de treinamento	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Conteúdo típico do relatório de uma auditoria energética.....	36
Quadro 3.2 – Fatores de simultaneidade	40
Quadro 3.3 – Fatores de utilização	40
Quadro 3.4 – Tensão de fornecimento – Grupo A	43
Quadro 3.5 – Resumo do faturamento tarifário.....	48
Quadro 4.1 – Total de potência instalada na planta da empresa	52
Quadro 4.2 – ANELL – Anexo II-A – Tarifa de demanda para consumidores livres	53
Quadro 4.3 – Demandas de ponta e fora de ponta ao longo de 2011	56
Quadro 4.4 – Principais valores de demanda de 2011.....	56
Quadro 4.5 – Multas por ultrapassagem de demanda contratada ao longo de 2011	57
Quadro 4.6 – Fator de demanda e de carga típicos para consumidores ligados em alta tensão	60
Quadro 4.7 – Principais valores do fator de carga.....	61
Quadro 4.8 – Consumo na ponta e fora de ponta ao longo de 2011.....	66
Quadro 4.9 – Valores do fator de potência de cada mês de 2011	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	- Ambiente de Contratação Livre
ACR	- Ambiente de Contratação Regulado
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA	- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
BEN	- Balanço Energético Nacional
CCEAR	- Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado
CCEE	- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL	- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
FDR	- Faturamento de Demanda Reativa
FER	- Faturamento de Energia Reativa
GCH	- Grandes Centrais Hidrelétricas
HFP	- Horário Fora de Ponta
HP	- Horário de Ponta
IEA	- Agência Internacional de Energia
ONS	- Operador Nacional do Sistema
PCH	- Pequenas Centrais Hidrelétricas
PCP	- Planejamento e Controle da Produção
PLD	- Preço de Liquidação das Diferenças
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia
PRODIST	- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PROINFA	- Programa de Incentivo às Fontes Renováveis
UFDR	- Demanda Reativa
UFER	- Consumo de Energia Reativa

LISTA DE SÍMBOLOS

$D_{\text{máx}}$	Demanda Máxima da Instalação	[W] ou [VA]
$D_{\text{méd}}$	Demanda Média	[W]
f	Frequência	[Hz]
F_c	Fator de Carga	[%]
F_d	Fator de Demanda	[%]
F_s	Fator de Simultaneidade	[%]
F_p	Fator de Potência	[%]
F_u	Fator de Utilização	[%]
P_{ap}	Potência Aparente	[VA]
P_{at}	Potência Ativa	[W]
P_c	Potência dos Capacitores	[VAr]
P_{consumo}	Parcela Referente ao Consumo	[R\$]
P_{demanda}	Parcela Referente à Demanda	[R\$]
$P_{\text{ultrapassagem}}$	Parcela Referente à Ultrapassagem	[R\$]
P_{inst}	Potência Instalada	[W] ou [VA]
$P_{\text{máx}}$	Potência Máxima Medida	[W]
P_{re}	Potência Reativa	[VAr]
φ	Ângulo Formado entre P_{ap} e P_{at}	[°]
Ψ_1	Ângulo do Fator de potência Original	[°]
Ψ_2	Ângulo do Fator de Potência Desejado	[°]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 ENERGIA ELÉTRICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	17
2.1 Introdução.....	17
2.2 Aspectos históricos recentes da questão energética	17
2.3 Fontes de energia	18
2.3.1 Fontes convencionais.....	18
2.3.2 Fontes não convencionais	23
2.4 Questões Ambientais.....	29
2.5 Energia Elétrica no Setor Industrial	30
3 ELEMENTOS CONCEITUAIS	33
3.1 Introdução.....	33
3.2 Procedimentos de análise energética	33
3.2.1 Etapas de uma auditoria energética.....	34
3.2.2 Relatório do diagnóstico energético.....	35
3.3 Definições de conceitos e fatores de projeto	38
3.4 Condições de fornecimento de energia elétrica.....	42
3.4.1 Classificação dos consumidores de energia elétrica.....	42
3.4.2 Aspectos de comercialização de energia elétrica.....	43
3.5 Tarifas de energia elétrica	45
3.5.1 Tarifa convencional	45
3.5.2 Tarifa horo-sazonal verde	46
3.5.3 Tarifação horo-sazonal azul.....	47
3.5.4 Energia reativa e fator de potência	48

3.6 Iluminação	49
4 ESTUDO DE CASO	51
4.1 Introdução.....	51
4.2 Escolha da empresa a ser analisada	51
4.3 Levantamento de potências instaladas	51
4.4 Caracterização da empresa no mercado energético	52
4.5 Análise dos dados de demanda de energia elétrica	55
4.6 Fatores de projeto	59
4.6.1 Análise do fator de demanda	60
4.6.2 Análise do fator de carga	61
4.6.3 Análise do fator de simultaneidade.....	63
4.6.4 Análise do fator de utilidade.....	63
4.7 Análise do consumo de energia elétrica.....	63
4.7.1 Motores elétricos	66
4.7.2 Transformadores	67
4.7.3 Sistemas de iluminação.....	69
4.7.4 Ar condicionado.....	70
4.8 Análise do fator de potência.....	71
4.9 Alternativas energéticas	75
4.9.1 Painel fotovoltaico	75
4.9.2 Gerador a diesel no horário de ponta.....	76
4.9.3 Migração do subgrupo A4 para A2 com tensão de atendimento de 88 kV	77
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1 INTRODUÇÃO

Dentre os conceitos relacionados com o desenvolvimento sustentável, o da eficiência energética ganha significativo destaque uma vez que este se encontra na base dos sistemas que atendem as necessidades humanas.

O setor energético ainda é um dos grandes responsáveis pelos impactos ambientais da atualidade, causando danos ao meio ambiente desde o uso de recursos naturais para seu processo produtivo básico, até seus consumidores finais, sejam eles de qualquer setor ou segmento da sociedade. Com isso, tem-se aumentado as pesquisas e investimentos direcionados no que diz respeito à eficiência energética de modo a diminuir desperdícios e respeitar as leis e normas aplicadas ao meio ambiente.

Neste contexto, pesquisou-se e obteve-se os dados das principais fontes renováveis e não renováveis de energia elétrica em âmbito global e nacional, destacando entre seus principais pontos os seguintes aspectos: quais fontes têm se mostrado mais eficientes, quais tem se mostrado mais promissoras, quais as mais viáveis economicamente, as que causam menor impacto ambiental entre outros. Além disso, foram enfatizados os desperdícios com energia elétrica no Brasil a fim de propor melhorias no setor de atividade em que o consumo da mesma é mais elevado e, onde muitas vezes, por falta de conhecimento no assunto, acaba-se fazendo um mau uso da eletricidade.

O Brasil, segundo Ferreira (2009), em termos de desperdício de energia elétrica, se gasta mais de 10 bilhões de reais por ano, o que é aproximadamente 10% do valor da energia total gerada no país de acordo com cálculos do governo federal.

Dentre os setores de atividades consumidores de energia elétrica, o setor industrial merece destaque por ser o principal consumidor do país. E diretamente ligado a eficiência energética desse setor se encontram o rendimento de equipamentos que se utilizam da energia elétrica em suas aplicações, carregamento de transformadores, análise de fatores de projeto, excesso de energia reativa entre outros parâmetros que são abordados ao longo desse

trabalho que, se negligenciados, geram custos e desperdícios que podem e devem ser evitados.

Com base no que foi dito acima, a definição de metodologias de diagnósticos e análise da conservação de energia que visam diminuir ao máximo as perdas e os desperdícios de energia elétrica nas indústrias, deve ser tratada com seriedade, pois são elas que proporcionam melhor eficiência no sistema energético culminando no uso racional de energia que, também, refletem na redução de investimentos em novos sistemas de geração.

Neste trabalho são analisadas as necessidades de energia elétrica de uma unidade industrial pertencente ao setor de máquinas para construção, visando levantamento do seu perfil de consumo, e analisando a sua curva de carga, bem como verificando os fatores pertinentes as instalações elétricas, tais como os fatores de carga e demanda, sob a ótica tarifária.

A partir dos resultados obtidos, são avaliadas as possibilidades de fornecimento de energia elétrica, tomando-se como referência a atual condição. Deve-se destacar a realização de um estudo preliminar quanto à inserção de um sistema fotovoltaico no intuito de diminuir tanto a demanda quanto o consumo de eletricidade, como forma de incentivo ao uso de fontes alternativas de energia.

Para o sistema elétrico nacional, medidas de conservação de energia significam alívio para os sistemas geradores de eletricidade e impactam diretamente na redução do uso dos recursos naturais.

É importante lembrar que a questão energética está estritamente ligada com o desenvolvimento sustentável, isto se dá pelo fato de, o suprimento eficiente ser uma condição vital para o desenvolvimento econômico, sendo assim, ambas as vertentes devem caminhar juntas e harmoniosas entre si.

2 ENERGIA ELÉTRICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

2.1 Introdução

As transformações energéticas estão intimamente relacionadas com o uso dos recursos naturais, sejam renováveis ou não-renováveis. Todavia, as disponibilidades dos recursos naturais possuem limitações conforme sua origem e os impactos ambientais estarão sempre presentes, sendo que, a intensidade dos mesmos dependerá das escolhas realizadas pela sociedade e dos meios de produção. Nesse sentido, o uso racional de energia representa uma estratégia com potencial de promover o desenvolvimento sustentável do ponto de vista da energia, bem como a avaliação e uso de fontes de energia que apresentem menor impacto ambiental.

2.2 Aspectos históricos recentes da questão energética

Após a crise do petróleo da década de 1970, ficou claro para o mundo o quanto o suprimento eficiente de energia é importante para o desenvolvimento econômico, nos anos que se seguiram, começou-se então a dar mais importância à conservação de energia. Em 1979 foi assinado o protocolo entre o Ministério da Indústria e do Comércio e a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), prevendo uma redução de 20% do consumo de combustíveis líquido através de automóveis a álcool. Com isso, abriu-se as portas para o desenvolvimento de novas tecnologias como: combustível composto (álcool e gasolina), motores com rendimentos maiores, novas alternativas para combustíveis renováveis, entre outros. Na década de 1980 a eletrotermia, que consiste na utilização da eletricidade para fins térmicos, começou a crescer contribuindo de maneira significativa para redução do consumo de combustível fóssil além de abrir novas possibilidades para um mercado ainda pouco explorado pelas concessionárias de energia (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

A partir da década de 1990 iniciou-se a corrida dos sistemas de geração de energia elétrica limpa que afetassem menos o ecossistema, podem-se citar entre esses sistemas: energia hidrelétrica renovável, sistemas termelétricos a partir de fontes renováveis e não renováveis, energia eólica, energia solar, e algumas outras fontes ainda pouco difundidas.

2.3 Fontes de energia

As fontes de energia são de suma importância nas atividades humanas, a partir delas é gerada a eletricidade que serve para iluminar, movimentar máquinas, levantar peso, mover veículos, entre diversas outras aplicações. No desenvolvimento dessas tarefas, as fontes energéticas necessitam de recursos naturais que podem ser classificados em renováveis ou não-renováveis.

Segundo Cerqueira e Francisco (2011), recursos renováveis são aqueles que tem a capacidade de se refazer ou não é limitado, podem-se citar a energia hidráulica, solar, eólica, biocombustíveis, entre outros, lembrando que esses tipos de fontes de energia não estão isentos de causar impactos ao meio ambiente.

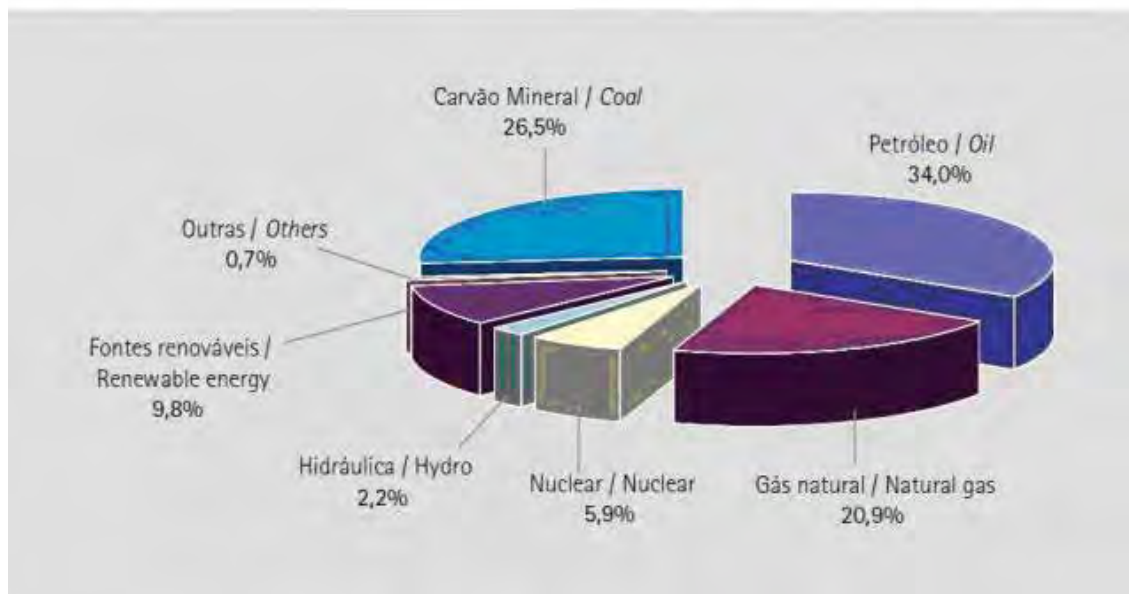
As fontes não-renováveis correspondem aos recursos naturais que não tem a capacidade de se refazer, ou seja, são finitos e podem acabar a curto médio e longo prazo, dentre eles estão o petróleo, carvão, urânio e outros.

É importante salientar que as fontes energéticas a partir de recursos não-renováveis produzem poluentes superiores aos renováveis no que diz respeito a emissão de gases de veículos automotores, vazamento de oleodutos, vazamento de navios petroleiros, lixo radioativo, entre outros.

2.3.1 Fontes convencionais

Fontes convencionais de energia são aquelas que já perduram no mundo desde a segunda revolução industrial (Final do século XIX), tendo como base as termelétricas utilizando combustível fóssil não-renovável: carvão mineral, petróleo, gás natural e urânio, e o potencial hídrico renovável dos rios como fonte

nas hidrelétricas. Estas fontes de energia, embora estejam aos poucos sendo substituídas por fontes alternativas menos poluentes (exceto hidrelétrica) e com menor impacto ao meio ambiente, ainda abrangem cerca de 90% da oferta mundial de energia por fonte como mostra a Figura 2.1.



Fonte – BEN (2011)

Figura 2.1 – Estrutura de oferta mundial de energia por fonte.

2.3.1.1 Geração termelétrica não-renovável

A eletricidade gerada pela energia térmica se dá pelo aquecimento de uma caldeira de água através do calor gerado pela queima de um combustível, renovável ou não renovável. Esse aquecimento vai gerar vapor que passará por um duto, aumentando sua pressão, chegando às pás de uma turbina a vapor que está acoplada a um gerador de eletricidade. Daí por diante, basta despachar essa energia elétrica nas linhas de transmissão até o consumidor.

Como combustível não renovável, podemos citar em geral os combustíveis fósseis: carvão, óleo, gás e também os minérios usados na geração de energia nuclear que não deixam de ser termelétricas. No Brasil o carvão e o óleo combustível têm sido os principais combustíveis utilizados pelas termelétricas, porém sua participação em relação ao total tem sido pequena

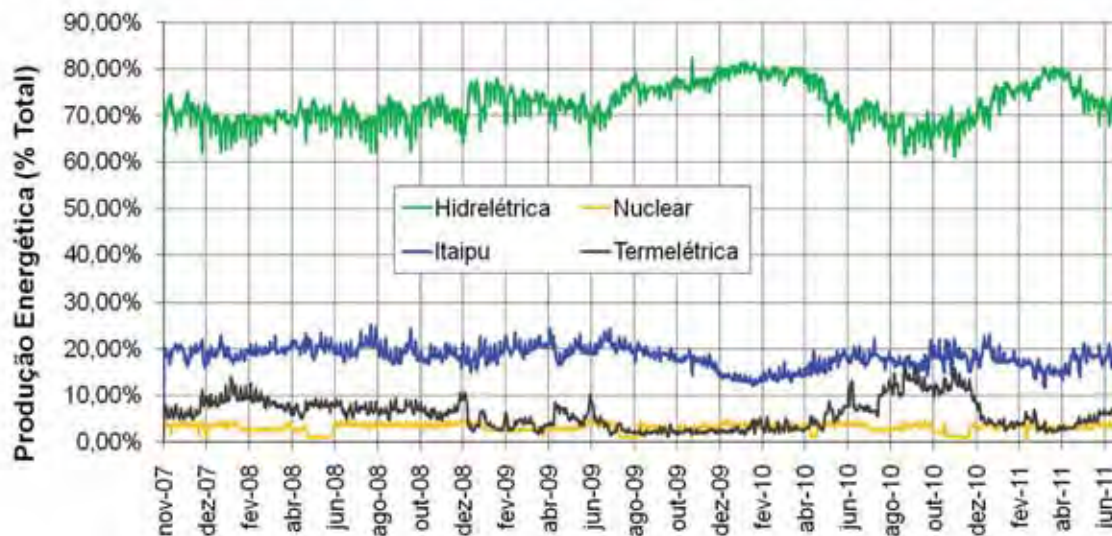
devido a custos mais elevados e também por causa da baixa qualidade do carvão disponível. O diesel tem sido mais usado no norte do país nos sistemas isolados e tem apresentado dificuldades com relação à manutenção.

Já o gás natural vem se mostrando como o combustível com maiores perspectivas no Brasil a curto e médio prazo. Hoje temos grande oferta e preços competitivos desse combustível, uma vez que ele existe em abundância em nossos países vizinhos (principalmente na Bolívia) e ao curto período de implementação de centrais termelétricas a gás. O gasoduto Brasil-Bolívia, começado em 1997 e iniciado sua operação em 1999, impulsionou o uso do gás natural no Brasil na geração de eletricidade por gerar impactos ambientais menores que a maioria dos outros combustíveis. Estudos indicam que o gás natural poder ser uma estratégia a longo prazo para o mundo, onde ele seria a ponte para uma transição energética baseada em recursos renováveis e sustentável (REIS, 2003).

Segundo Almeida (2011), no Brasil as usinas termelétricas eram acionadas apenas em casos de emergência por causa do sobre carregamento das usinas hidrelétricas. Após o racionamento que houve em 2001, as termelétricas começaram a entrar em cena para impedir que esse quadro se agravasse e, também, para aliviar o sistema hidrelétrico brasileiro. Mesmo a produção de eletricidade ser ainda na sua maioria advinda das hidrelétricas (aproximadamente 75%), nos últimos cinco anos a produção termelétrica chegou a abranger 15% desse total.

Na Figura 2.2 pode-se ver que os maiores níveis de produção termelétrica ocorreram no início de 2008, quando todas as termelétricas disponíveis foram convidadas a despachar entre agosto e dezembro de 2010. No primeiro caso a Operador Nacional do Sistema (ONS) autorizou o despacho termelétrico, fato este singular no início do ano, por causa do atraso da chegada do período úmido, acarretando na redução dos reservatórios do sudeste a uma taxa alarmante. O segundo caso, foi por causa dos desligamentos ocorridos nas linhas de Itaipu em novembro de 2009, esta usina passou a operar com produção reduzida entre dezembro de 2009 e junho de 2010. O decréscimo de produção de Itaipu foi

equilibrado pelas demais hidrelétricas, principalmente até maio de 2010, como indica o gráfico, quando o período seco já estava em curso. Essa situação resultou no melhor nível de armazenamento dos últimos cinco anos (73%) nos reservatórios do sudeste no início de 2010, porém em novembro do mesmo ano, este nível já estava em 41%, ou seja, pior do que o nível do mesmo período em 2007 (50%), resultando no fato das termelétricas serem novamente acionadas.



Fonte – Almeida (2011)

Figura 2.2 – Níveis de produção de energia elétrica no Brasil.

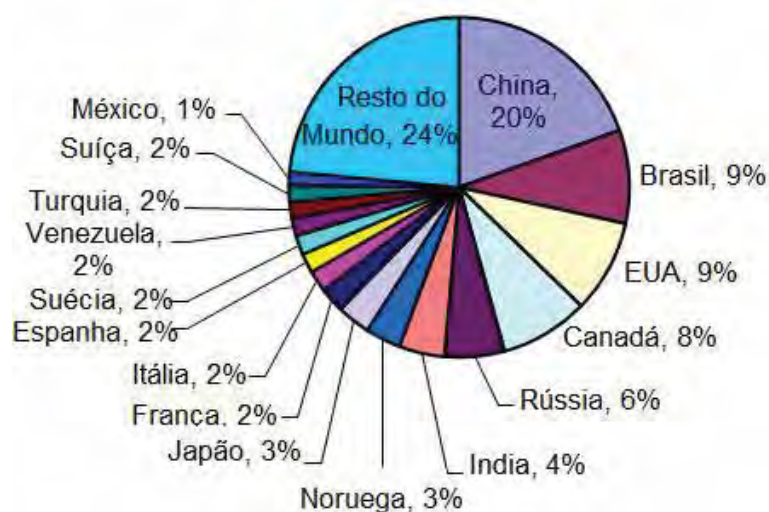
2.3.1.2 Energia hidrelétrica

Energia hidrelétrica é a obtenção da energia elétrica através do potencial hidráulico dos rios, as construções dessas usinas se dão em rios que possuem elevado volume de água e apresentem desníveis em seu curso. Barragens são construídas para armazenar água com energia potencial, através de tubulações a energia potencial das águas se transforma em energia cinética e ao colidirem com as pás de uma turbina hidráulica gera energia mecânica, as turbinas estão acopladas a um gerador que, portanto é responsável pela conversão da energia mecânica em elétrica. A Figura 2.3 mostra um esquemático do funcionamento de uma usina hidrelétrica.



Figura 2.3 – Esquema de funcionamento de uma hidrelétrica.

No Brasil, o parque gerador de eletricidade é essencialmente hidrelétrico já há muitos anos. O Brasil é o quinto país do mundo em superfície e possui 8% do total de água doce existente, com isso, a fonte de eletricidade predominante no país e de menor custo tem sido de origem hidráulica. O baixo custo da energia hidrelétrica aliada à riqueza dos recursos hidrográficos colocou o Brasil em posição de destaque no cenário de geração de energia hidrelétrica mundial. Segundo a World Energy Council (2010), China, Brasil, Estados Unidos, Canadá e Rússia forma os 5 maiores produtores de hidroeletricidade em 2010. A soma de energia hidrelétrica gerada por estes países representa 52% do total mundial, segundo a Figura 2.4 (SILVEIRA; GUERRA, 2011).



Fonte – WEC Member Committees, Aqua-Media International and published statistics

Figura 2.4 – Distribuição de energia hidrelétrica no mundo 2010.

De acordo com Reis (2003), atualmente têm-se feito esforços para incentivar a execução de usinas menores e locais, as chamadas “pequenas centrais hidrelétricas (PCH’s)”, que produzem de 1MW a 30MW e possui em reservatório com área inferior a 3 km² (ANEEL, 1998). Tais atitudes estão de acordo com as novas modificações estruturais na área de energia elétrica no Brasil: descentralização, privatização, aumento da confiabilidade, menores impactos socioambientais e técnicas modernas para diminuição de custos. Mas isso não significa que as execuções de grandes centrais hidrelétricas ou GCH’s, que produzem acima de 30 MW, caiam em desuso, uma vez que ainda existem aproveitamentos atrativos em algumas regiões, como a região amazônica, também pelo fato da impossibilidade das PCH’s ou outras formas de geração, mesmo levando em conta o sucesso na conservação de energia, ser capaz de atender a demanda de energia no país.

2.3.2 Fontes não convencionais

Fontes não convencionais são estas que vem emergindo no mundo desde a década de 1990, ganhando cada vez mais destaque no cenário mundial com pesquisas e desenvolvimentos acentuados, buscando utilizar recursos naturais inesgotáveis como a energia solar e dos ventos, e também combustíveis renováveis a partir de resíduos que seriam normalmente descartados como a biomassa (lenha, casca de arroz, restos de madeiras entre outros).

2.3.2.1 Energia eólica

A energia eólica tem sido muito explorada graças a inesgotabilidade dos ventos e ao seu pequeno impacto ambiental em relação as outras formas de energia. Seu princípio de funcionamento consiste basicamente em hélices no formato de cata-vento que conectadas a um gerador transforma a energia mecânica em elétrica, sendo esta despachada na rede elétrica por meio de cabos de transmissão chegando até o consumidor final. O quanto de energia produzida

vai depender do tamanho das hélices e do regime de ventos da região onde a mesma está instalada.

É importante ressaltar que não basta apenas ter ventos fortes para gerar essa energia, “além da velocidade dos ventos, é importante que eles sejam regulares, não sofram turbulências e nem estejam sujeitos a fenômenos climáticos como tufões”(informação verbal)¹.

Segundo a Global Wind Energy (2010) a capacidade mundial de geração eólica é cerca de 200 GW sendo que já há investimentos da ordem de US\$ 100 bilhões, somente em 2011 está previsto a instalação de 40 GW de capacidade e até 2015 a capacidade mundial poderá chegar a 450 GW, mais que o dobro em relação ao que tem-se hoje disponível. Entre os países que lideram na corrida de energia eólica, a China se encontra em primeiro lugar e já tem como meta para os próximos cinco anos a instalação de 70 GW como divulgaram em seu plano quinquenal, os Estados Unidos é o segundo seguido da Índia.

O Brasil tem um dos maiores potenciais eólicos do planeta, sua primeira turbina eólica foi instalada em Fernando de Noronha em 1992, e vem crescendo desde então. Em 2001 quando houve a crise energética no Brasil por causa da seca, diminuiu demais os níveis das barragens hidrelétricas no país, levando a uma grave escassez de energia que nos levou a um racionamento de 20% do consumo de eletricidade para evitar uma crise no nosso sistema interligado nacional. Essa experiência mostrou ao Brasil que mesmo com a abundância do potencial hídrico que possui, não está imune a variações temperes, em 2002 foi criado então o Programa de Incentivo às Fontes Renováveis (PROINFA) incentivando a utilização de outras fontes renováveis como eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

Com o PROINFA os parques eólicos no Brasil aumentaram muito e sua capacidade passou de 22 MW em 2003 para 937 MW em 2011. Existem ainda planos de investimentos, já autorizados pelo governo, que atingem 3600 MW distribuídos em aproximadamente 140 projetos. A Figura 2.5 mostra um parque eólico no Ceará.

¹ Informação fornecida por E. Feitosa, vice-presidente da Associação Mundial de Energia Eólica, 2010.

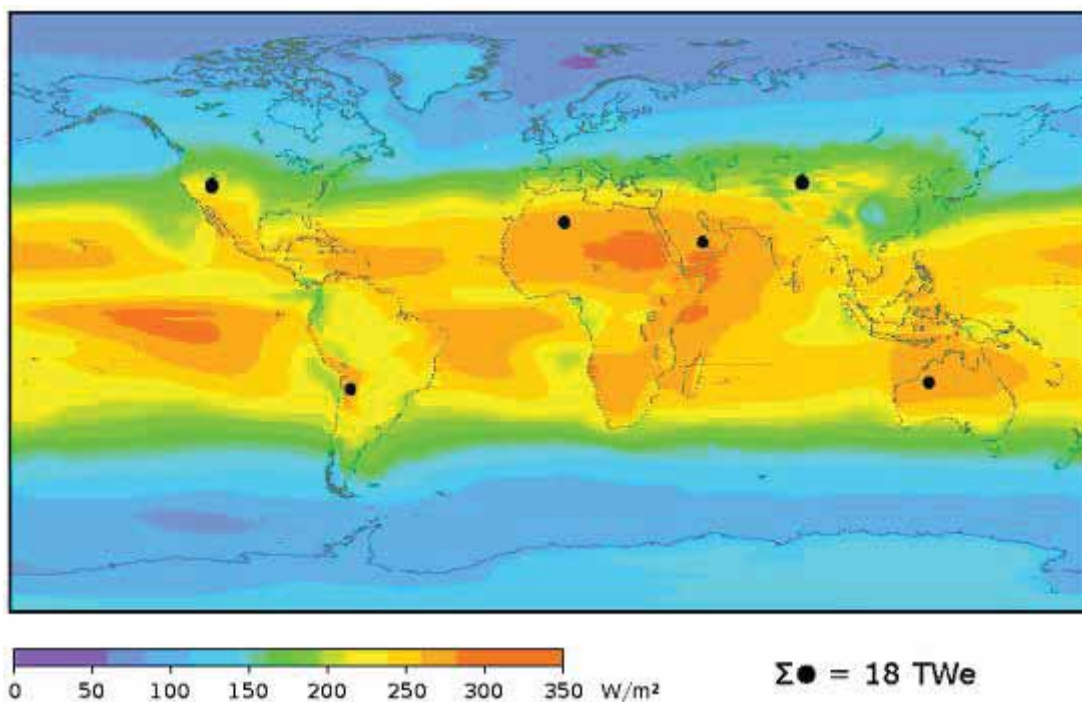


Fonte – Global Wind Report, 2010

Figura 2.5 – Bons Ventos, fazenda eólica, Ceará.

2.3.2.2 Energia solar

O sol desde o princípio sempre foi um fonte inesgotável de recursos para os seres vivos. Com a busca cada vez mais acentuada por energia renovável e limpa, o sol logo se mostrou como uma excelente alternativa, levando os países desenvolvidos a investirem pesado em pesquisas e tecnologias para extrair o máximo de energia que puderem dessa fonte. O Sol fornece $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia por ano (10.000 vezes o consumo energético mundial), estima-se que uma parte a cada 50 milhões dessa energia chega à camada superior da atmosfera. Deste montante, cerca de 50% chega a superfície diretamente, sendo aproveitado por plantas e outros organismos (GUIMARÃES, 2008). A Figura 2.6 representa a distribuição diária da energia recebida do sol pela terra onde os pontos pretos no mapa são as áreas necessárias para suprir toda a demanda energética atual do planeta.



Fonte – Zweibel (2008)

Figura 2.6 – Distribuição da energia solar ao redor do mundo.

A energia solar gerando eletricidade pode ser de forma direta ou indireta. Na sua obtenção direta, ela se dá através de células fotovoltaicas, normalmente feitas com silício, e outros equipamentos que transformam ou armazenam a energia solar para que possam ser utilizada facilmente pelo consumidor. Quando a luz solar incide sobre as células, são convertidas diretamente em eletricidade. O efeito fotovoltaico ocorre basicamente quando há emissão de elétrons por qualquer tipo de matéria quando o mesmo é submetido a uma radiação eletromagnética. Já a forma indireta consiste no uso do calor para gerar vapor que acionará uma turbina a vapor acoplada a um gerador elétrico, essa geração são feitas pelas usinas termelétricas (REIS, 2003).

O crescimento do uso dessa fonte de energia tem se mostrado um dos mais promissores nos últimos dez anos, os países que lideram na utilização e aproveitamento desse recurso são o Japão seguido da Alemanha e Estado Unidos. O Brasil apesar de ter grande incidência solar, ainda encontra obstáculos na implementação dessa tecnologia devido à necessidade de altos investimentos iniciais e pouco incentivo fiscal por parte do governo, além disso, a abundância

do potencial hídrico do Brasil torna a energia gerada pelas hidrelétricas mais atrativa inviabilizando outras alternativas.

O custo de instalação de células fotovoltaicas esta por volta de US\$ 4/W, mas a previsão é que em 2050 esse valor chegue a US\$ 1,20/W (ZWEIBEL, 2008). Há muitos avanços a serem desenvolvidos dessa área, por exemplo, melhorar a eficiência da conversão da energia solar em elétrica pelas células fotovoltaicas (atualmente 15% de eficiência), pesquisas vem crescendo nesse ramo e as estimativas mostram como a energia solar pode vir a se tornar viável no futuro. A Figura 2.7 mostra uma central de captação de energia solar através de painéis fotovoltaicos na Espanha.



Figura 2.7 – Torre de energia solar na Espanha.

2.3.2.3 Energia termelétrica renovável

Em vista de promover um desenvolvimento sustentável, as questões em relação ao tratamento de resíduos de qualquer procedência é hoje um dos principais desafios para os seres humanos. Tal questão também deve ser tratada

de forma a integrar-se aos sistemas de infra-estrutura, coligando-se ao saneamento (Reis, 2003).

Com isso, as indústrias têm investido no aproveitamento de seus próprios resíduos na cogeração de energia a partir de processos termelétricos, nesse viés, o uso da biomassa (lenha, casca de arroz, restos de madeira, etc.) tem se mostrado como uma alternativa para potencializar tais processos. Essas aplicações apesar de ainda serem restritas a pequenos aproveitamentos, seu uso na complementação da hidroeletricidade tende a crescer ao longo dos anos.

Não obstante, a criação de pequenas e médias centrais para a queima completa de resíduos vem avançando no Brasil e no mundo, onde as indústrias estão tomando consciência de que os recursos supracitados para gerar energia elétrica oferece viabilidade econômica. Segundo informações da Agência Internacional de Energia (IEA), dentro de aproximadamente 20 anos, cerca de 30% do consumo total de energia no mundo será a partir de fontes renováveis, a Figura 2.1 mostra que esse consumo em 2009 era de 9,8% (CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA, 2011).

Há várias décadas as indústrias do setor sucroalcooleiro vêm usando o bagaço da cana-de-açúcar (resíduo de seu processo) como combustível na cogeração, produzindo quase na totalidade o vapor e a eletricidade que consomem.

O tratamento de dejetos de produção pecuária (origem suína ou avícola), através de biodigestores anaeróbicos representa também uma oportunidade vantajosa para o saneamento ambiental quanto para o aproveitamento energético. Seu processo consiste na inserção da matéria orgânica dentro de um reservatório fechado onde são propiciados as condições ótimas de proliferação da cultura da bactéria que atua transformando a matéria orgânica principal.

Como produto dessa reação, temos o biogás, formado por uma mistura gasosa de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), que pode ser usado para gerar energia elétrica e térmica, além de ser um fertilizante de ótima qualidade que possui alto valor de mercado. É considerado biocombustível por ser uma fonte de energia renovável.

Nesse mesmo âmbito, o lixo urbano que tem valor significativo nos gastos dos cofres públicos tem sido objeto de estudos para de alguma forma gerar energia e diminuir o impacto ambiental que o mesmo produz em aterros sanitários e lixões (PROJETO DE TERMOELÉTRICAS DE FONTE RENOVÁVEL, 2011).

2.4. Questões ambientais

Os impactos ao meio ambiente decorrentes do uso da energia de acordo com Reis (2003) podem ser elencados em:

a) Poluição do ar urbano

Talvez este seja o problema atual mais visível. Os combustíveis fósseis usados na geração de eletricidade são responsáveis pela emissão de óxidos de enxofre (SO_x), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outras partículas. A quantidade e proporção de cada poluente dependem das características da usina em questão e do tipo de combustível usado (carvão, gás natural, óleo, madeira, energia nuclear, entre outros).

b) Chuva ácida

Resultado da formação de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido nítrico (H_2NO_3) na atmosfera a partir do dióxido de enxofre (SO_2) com os óxidos de nitrogênio (NO_x). A chuva ácida é extremamente prejudicial para a vegetação e para o ecossistema em geral.

c) Efeito estufa e mudanças climáticas

Os gases do efeito estufa impedem que a irradiação solar escape para espaço exterior funcionando como uma capa para o planeta. Isto tem aumentado a temperatura da superfície da terra e tem sido uma das principais causas do aquecimento global. Os principais gases responsáveis pelo efeito estufa são:

dióxido de carbono (CO_2), o qual tem se mostrado como mais agressivo entre os gases devido a sua quantidade emitida (combustíveis fósseis) e a longa duração de suas implicações na atmosfera; gás metano (CH_4); óxido nitroso (N_2O) e os clorofluorcarbonetos.

d) Alagamento

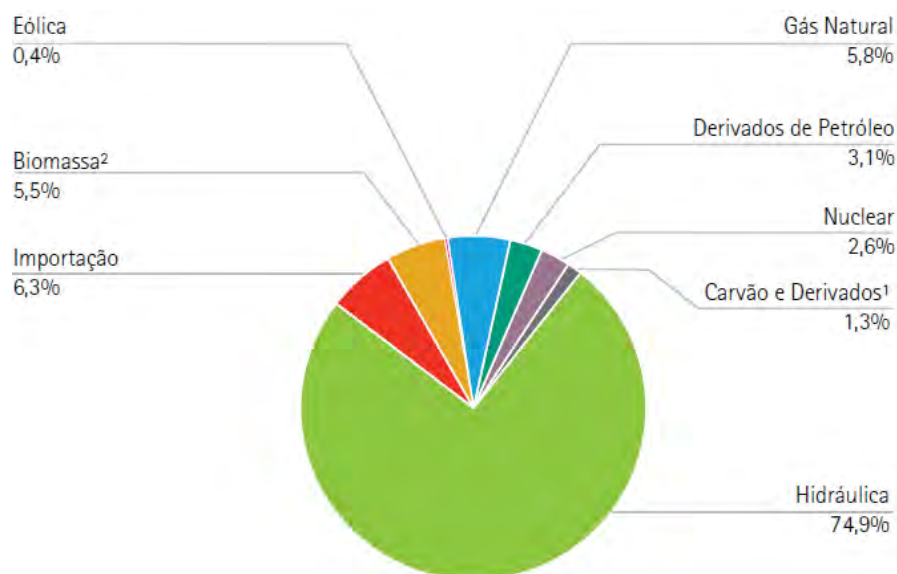
Dá-se principalmente pela construção de barragens para geração de eletricidade através das usinas hidrelétricas. Além de inundar grandes áreas, causando perdas de terras agricultáveis e afetando a fauna local, causam também problemas sociais no que diz respeito ao reassentamento das pessoas que tiveram que deixar seus lares.

Estes impactos ambientais têm gerado grandes discussões, os quais têm impulsionado órgãos legislativos a reger leis e normas cada vez mais rigorosas que protegem o meio ambiente e direciona o ser humano no caminho do uso racional de eletricidade, bem como na migração para as novas alternativas de energia limpa que vem surgindo e no desenvolvimento das mesmas.

2.5. Energia elétrica no setor industrial brasileiro

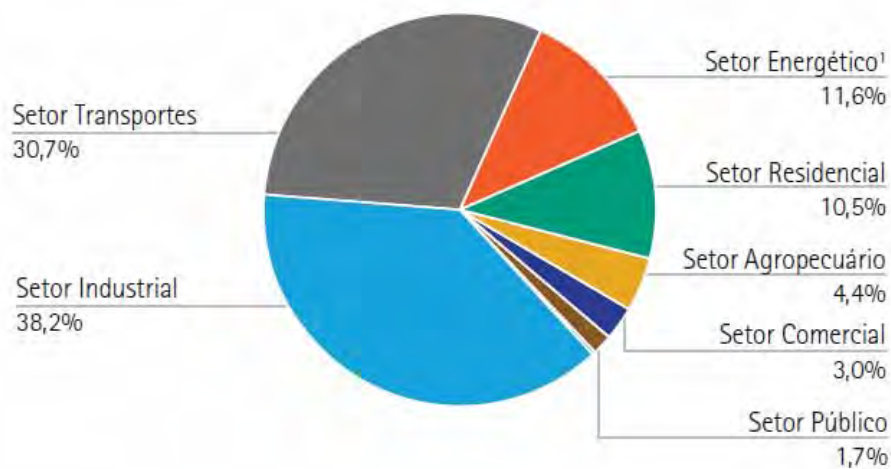
A Figura 2.8 dispõe de dados mostrando a oferta interna de energia elétrica segundo as fontes de energia disponíveis no Brasil.

Para se fazer um diagnóstico energético no setor industrial é preciso saber o quanto cada setor da sociedade está consumindo de energia (Figura 2.9), bem como quais tem sido os recursos e combustíveis usados pelas indústrias para seus processos produtivos (Figura 2.10).



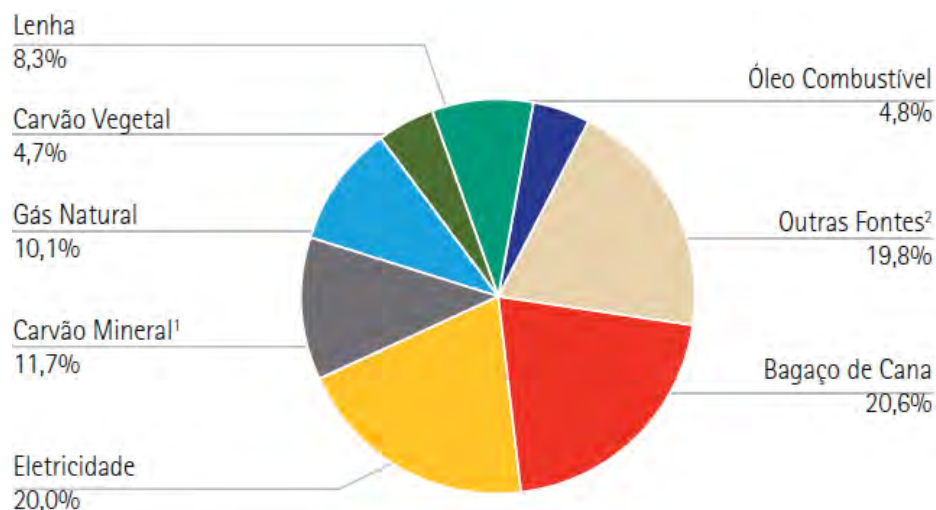
Fonte – BEN, 2011

Figura 2.8 – Oferta de energia elétrica por fonte no Brasil.



Fonte – BEN, 2011

Figura 2.9 – Consumo energético por setor.



Fonte – BEN, 2011

Figura 2.10 – Insumos usados nos processos industriais.

Com base nas figuras apresentadas anteriormente, são abordadas nos próximos capítulos algumas estratégias para se traçar um diagnóstico energético com foco no setor industrial (Principal consumidor de energia do país), apresentando algumas alternativas e soluções para se obter um aproveitamento mais eficiente dos recursos energéticos e buscando incentivar o uso racional de energia neste setor.

3 ELEMENTOS CONCEITUAIS

3.1 Introdução

Se tratando de desenvolver um diagnóstico energético no setor industrial, necessita-se de uma análise técnica minuciosa de alguns parâmetros e definições que são abordados neste capítulo a fim de proporcionar um melhor entendimento do assunto.

Além disso, buscou-se traçar algumas estratégias seguindo uma ordem cronológica dos eventos com o intuito de organizar um roteiro para o projeto energético, abrangendo de forma concisa todos os aspectos importantes do processo.

3.2 Procedimentos de análise energética

Basicamente, promover eficiência energética significa utilizar os conhecimentos de forma aplicada, utilizando conceitos da engenharia, economia e da administração aos sistemas energéticos. Contudo, dado a diversidade e ao grau de complexidade desses sistemas, é interessante apresentar técnicas e métodos para definir objetivos e ações a fim de melhorar o desempenho energético.

As perguntas que devem ser feitas, por qualquer setor da economia, para impulsionar uma análise energética são as seguintes:

- Quanta energia está sendo consumida?
- Quem está consumindo energia?
- Como se está consumindo energia, com qual eficiência?

Para tanto, é necessário conhecer a realidade energética do local a ser diagnosticado, para então estabelecer prioridades, tomar medidas para implantação de projetos de redução de perdas e acompanhar os resultados. A Figura 3.1 apresenta quatro etapas sequenciais de um projeto visando o uso racional de energia, onde as duas primeiras etapas correspondem ao processo de

auditoria energética, a terceira etapa corresponde a implementação das melhorias estudadas, e a quarta e última etapa consiste em acompanhar o processo modificado de forma contínua (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

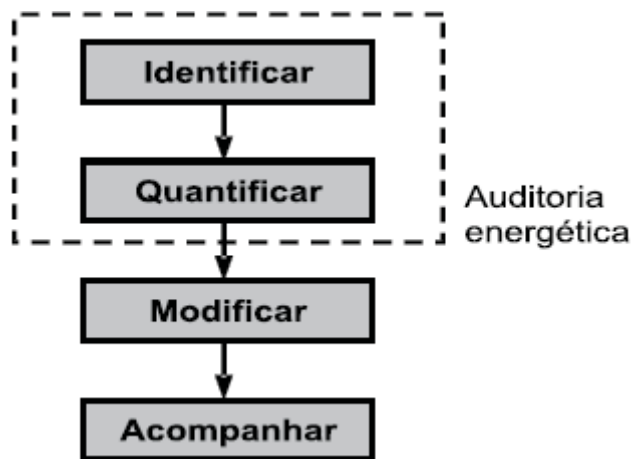


Figura 3.1 – Etapas de um programa de uso racional de energia.

3.2.1 Etapas de uma auditoria energética

Diversas metodologias padronizadas para efetuar auditorias energéticas foram desenvolvidas pela ANEEL e organizadas em um documento denominado Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), cujos parâmetros são apresentados a seguir:

- **Diagnóstico Energético:** Identifica e quantifica todos os equipamentos consumidores de energia elétrica ao longo do processo produtivo; requer levantamentos de dados em campo, que permitem identificar pontos críticos e necessidades de atuação em equipamentos específicos. Não trata do aspecto econômico, abordando apenas a eletricidade em si.
- **Avaliação dos pontos de desperdício de energia elétrica:** consiste em identificar os pontos de desperdício e calcular o quanto se conseguiria de economia com a eliminação do problema.
- **Melhorias energéticas:** embora seja o estudo mais demorado e de maior custo em relação aos tópicos anteriores, pode ser considerado

o de maior importância para um tratamento integral do uso racional de energia. Nesta fase, já se inclui análises de alternativas energéticas com estudos de viabilidades econômicas priorizando a conservação de energia.

No Brasil há um grande acervo de informações já reunido no que diz respeito à auditoria energética, que são transmitidos através de cursos, publicações, livros, empresas de energia, consultores em auditoria entre outros, que tem condições de suprir qualquer requisito de indústria ou empresa no que se refere ao aspecto tecnológico.

Neste viés, de forma bem simples, pode-se usar a sequência de atividades da Figura 3.2 para se desenvolver uma auditoria energética (NOGUERIA, 1990).

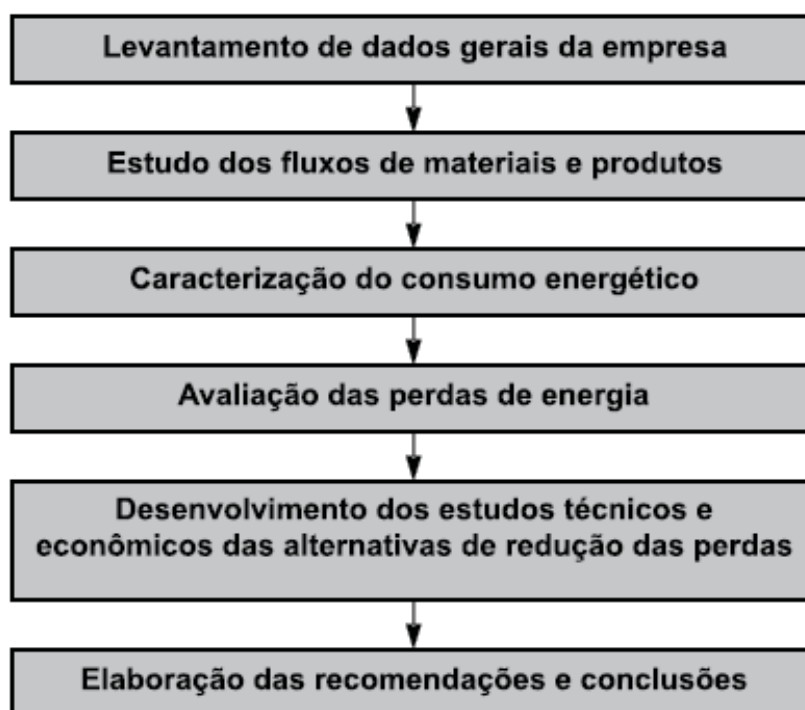


Figura 3.2 – Etapas de uma auditoria energética.

3.2.2 Relatório do diagnóstico energético

Em vistas de a auditoria energética ser um elemento fundamental na conscientização, esclarecimento e envolvimento de uma empresa com o uso racional de energia, a elaboração de um relatório sucinto facilita na tomada de

decisões. O Quadro 3.1 apresenta os tópicos essenciais de um relatório de auditoria energética.

Quadro 3.1 – Conteúdo típico do relatório de uma auditoria energética.

Relatório de Auditoria Energética
<p>1 - Resumo Executivo</p> <p>2 - Empresa (localização, indicadores, descrição básica dos processos)</p>
<p>3 - Estudos energéticos (diagramas, características, estudo das perdas)</p> <p>3.1 - Sistemas Elétricos</p> <p>a) Levantamento da carga elétrica instalada</p> <p>b) Análise das condições de suprimento (qualidade do suprimento, harmônicas, fator de potência, sistema de transformação)</p> <p>c) Estudo do Sistema de Distribuição de energia elétrica (desequilíbrios de corrente, variações de tensão, estado das conexões elétricas)</p> <p>d) Estudo do Sistema de Iluminação: (luminometria, análise de sistemas de iluminação, condições de manutenção)</p> <p>e) Estudo de Motores Elétricos e outros Usos Finais (estudo dos níveis de carregamento e desempenho, condições de manutenção)</p> <p>3.2 - Sistemas Térmicos e Mecânicos</p> <p>a) Estudo do Sistema de ar condicionado e exaustão (sistema frigorífico, níveis de temperatura medidos e de projeto, distribuição de ar)</p> <p>b) Estudo do Sistema de geração e distribuição de vapor (desempenho da caldeira, perdas térmicas, condições de manutenção e isolamento)</p> <p>c) Estudo do Sistema de bombeamento e tratamento de água</p> <p>d) Estudo do Sistema de compressão e distribuição de ar comprimido</p> <p>3.3 - Balanços energéticos</p>
<p>4 - Análise de Racionalização de Energia (estudos técnico-econômicos das alterações operacionais e de projeto, como por exemplo, da viabilidade econômica da implantação de sistemas de alto rendimento para acionamento e iluminação, viabilidade econômica da implantação de sensores de presença associados a sistemas de iluminação, análise do uso de iluminação natural, análise de sistemas com uso de termoacumulação para ar condicionado, viabilidade econômica da implantação de controladores de velocidade de motores, análise da implantação de sistemas de cogeração)</p>
5 - Diagramas de Sankey atual e prospectivos
6 - Recomendações
7 - Conclusões
8 - Anexos (figuras, esquemas, tabelas de dados)

O diagrama de Sankey citado no tópico 5 do Quadro 3.1, é uma forma de apresentar os fluxos energéticos da empresa, desde sua entrada até os usos finais, caracterizando suas transformações intermediárias e as suas perdas. Os fluxos são representados por faixas, cuja largura corresponde à sua magnitude em unidades energéticas. Esse diagrama permite demonstrar que com medidas de racionalização energética o nível de demanda de atendimento pode se manter ou mesmo melhorar dependendo da redução das perdas associadas. A Figura 3.3 exemplifica como o diagrama é usado comparando duas situações, cuja situação original, para um acionamento com um efeito útil de 48 kW no eixo do motor, as perdas no transformador, cabos de distribuição e no motor somam 52 kW. Com a implementação das medidas de melhoria da eficiência energética, as perdas se reduzem para 40 kW, resultando uma demanda de 88 kW e produzindo a mesma potência de saída da condição originalmente estudada.

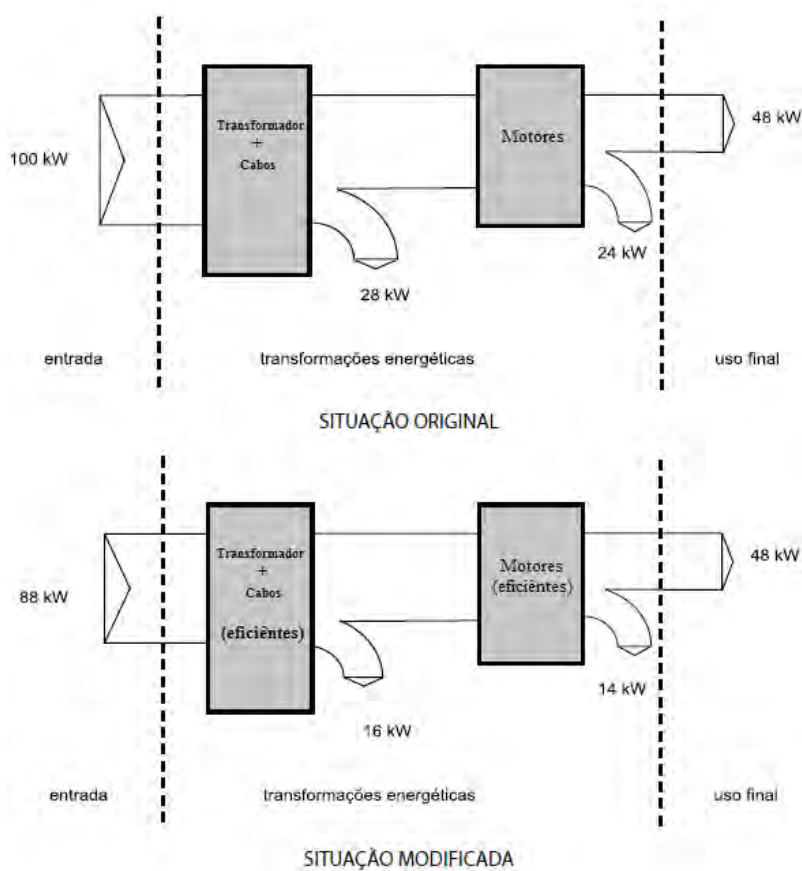


Figura 3.3 – Exemplos de diagrama de Sankey.

3.3 Definições de conceitos e fatores de projeto

Neste tópico elencaram-se os principais conceitos utilizados em uma auditoria energética, bem como a definição de alguns fatores, denominados fatores de projeto, que visam evitar o desperdício de energia. As definições e conceitos estão referenciados em Mamede Filho (2010), Marques, Haddad e Guardia (2007) e Marques, Haddad e Martins (2006).

- 1) Energia Ativa - É a energia capaz de produzir trabalho; a unidade de medida usada é o quilowatt-hora (kWh).
- 2) Energia Reativa - É a energia solicitada por alguns equipamentos elétricos, necessária à manutenção dos fluxos magnéticos e que não produz trabalho; a unidade de medida usada é o quilovar-hora (kVArh).
- 3) Potência - É a quantidade de energia solicitada na unidade de tempo; a unidade usada é o quilowatt (kW).
- 4) Fator de Potência (FP)² - Obtido da relação entre energia ativa e reativa horária, a partir de leituras dos respectivos aparelhos de medição. A Figura 3.4 mostra o diagrama do fator de potência seguido de sua equação (3.1)

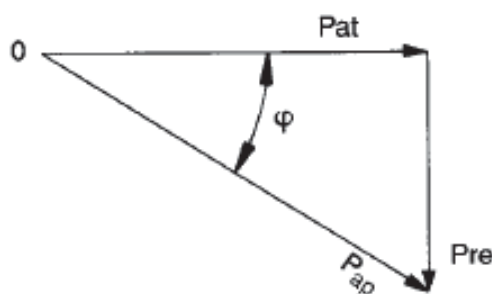


Figura 3.4 – Diagrama do fator de potência.

$$F_p = \frac{P_{at}}{P_{ap}} \quad (3.1)$$

² Na presença de harmônicos, surge um terceiro eixo relacionado com a potência distorcida [kVA_d], formando o tetraedro de potência. Em virtude das características do estudo de caso (capítulo 4) não foram considerados os harmônicos.

Sendo F_p o fator de potência da carga; P_{at} a componente da potência ativa, em kW ou seus múltiplos e submúltiplos e; P_{ap} a potência aparente ou potência total da carga, em kVA, ou seus múltiplos e submúltiplos.

O fator de potência é um número adimensional e pode também ser definido como o cosseno do ângulo formado entre o componente da potência ativa e o seu componente total quando a potência que flui no sistema é resultante de cargas lineares conforme a equação (3.2)

$$F_p = \cos \varphi \quad (3.2)$$

5) Demanda - É a potência média, medida por aparelho integrador durante qualquer intervalo de 15 (quinze) minutos.

6) Demanda Contratada - Demanda a ser obrigatória e continuamente colocada à disposição do consumidor, por parte da concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixado em contrato.

7) Fator de Demanda - É a relação entre a demanda máxima do sistema e a carga total instalada a ele durante um intervalo de tempo considerado. O valor de demanda é usualmente menor que a unidade, adimensional e é descrito pela equação (3.3).

$$F_d = \frac{D_{máx}}{P_{inst}} \quad (3.3)$$

$D_{máx}$ - demanda máxima da instalação, em kW ou kVA;

P_{inst} - potência da carga conectada, em kW ou kVA.

8) Carga Instalada - Soma da potência de todos os aparelhos, que estejam em condições de funcionamento, instalados nas dependências da unidade consumidora.

9) Fator de Carga - Relação entre a demanda média e a demanda máxima ocorrida no período de tempo definido conforme a equação (3.4). O fator de carga é sempre maior que zero e menor ou igual a unidade; ele mede o grau no

qual a demanda máxima foi mantida durante o intervalo de tempo considerado, com isso, mostra se a energia está sendo utilizada de forma racional.

$$F_c = \frac{D_{méd}}{P_{máx}} \quad (3.4)$$

10) Fator de Simultaneidade - Relação entre a demanda máxima do grupo de aparelhos pela soma das demandas individuais dos aparelhos do mesmo grupo num intervalo de tempo considerado. O fator de simultaneidade é sempre inferior a unidade. O Quadro 3.2 fornece os fatores de simultaneidade para diferentes potências de motores em agrupamentos e outros aparelhos.

Quadro 3.2 – Fatores de simultaneidade.

Aparelhos	Número de Aparelhos							
	2	4	5	8	10	15	20	50
Motores: 3/4 a 2,5 cv	0,85	0,80	0,75	0,70	0,60	0,55	0,50	0,40
Motores: 3 a 15 cv	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70	0,65	0,55	0,45
Motores: 20 a 40 cv	0,80	0,80	0,80	0,75	0,65	0,60	0,60	0,50
Acima de 40 cv	0,90	0,80	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65	0,60
Retificadores	0,90	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70
Soldadores	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30
Fornos resistivos	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
Fornos de indução	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-

11) Fator de utilização – É o fator pelo qual deve ser multiplicada a potência nominal do aparelho para se obter a potência média absorvida pelo mesmo, nas condições de utilização. O Quadro 3.3 fornece os fatores de utilização dos principais equipamentos utilizados nas instalações elétricas industriais.

Quadro 3.3 – Fatores de utilização.

Aparelhos	Fator de utilização
Fornos a resistência	1,00
Secadores, caldeiras, etc.	1,00
Fornos de indução	1,00
Motores: 3/4 a 2,5 cv	0,70
Motores: 3 a 15 cv	0,83
Motores: 20 a 40 cv	0,85
Acima de 40 cv	0,87
Soldadores	1,00
Retificadores	1,00

- 12) Tarifa de Demanda - Valor em reais do kW de demanda, em um determinado segmento Horo-Sazonal.
- 13) Tarifa de Consumo - Valor em reais do kWh ou MWh de energia utilizada, em um determinado segmento Horo-Sazonal.
- 14) Tarifa de Ultrapassagem - Tarifa a ser aplicada ao valor de demanda registrada que superar o valor da demanda contratada, respeitada a tolerância.
- 15) Horário de Ponta (HP) - Período definido pela concessionária e composto por três horas consecutivas, exceção feita aos sábados e domingos, terça-feira de Carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi, dia de Finados e os demais feriados definidos por lei federal (01/01, 21/04, 01/05, 07/09, 12/10, 15/11 e 25/12). Neste horário a energia elétrica é mais cara.
- 16) Horário Fora de Ponta (HFP) - São as horas complementares às três horas consecutivas que compõem o horário de ponta, acrescidas da totalidade das horas dos sábados e domingos e dos 11(onze) feriados indicados anteriormente. Neste horário a energia elétrica é mais barata.
- 17) Período Seco (S) - É o período de 7 (sete) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro de cada ano.
- 18) Período Úmido (U) - É o período de 5 (cinco) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.
- 19) Segmentos Horo-Sazonais são formados pela composição dos períodos úmido e seco com os horários de ponta e fora de ponta. A Tarifa Azul possui tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia. A Tarifa Verde apresenta valores diferenciados de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, e uma única tarifa de demanda de potência.

3.4 Condições de fornecimento de energia elétrica

As condições gerais de fornecimento de energia elétrica são estabelecidas pela resolução da ANEEL nº 414/2010 (ANEEL, 2010). Neste documento, as unidades consumidoras são divididas em grupos, distinguindo-se uns dos outros pelo nível de tensão de fornecimento, apresentando cada um deles, valores definidos de tarifa. Este nível de tensão está relacionado com a carga instalada na unidade consumidora.

Compete à distribuidora informar ao interessado a tensão de fornecimento para a unidade consumidora, com observância dos seguintes critérios:

- I – tensão secundária em rede aérea: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW;
- II – tensão secundária em sistema subterrâneo: até o limite de carga instalada conforme padrão de atendimento da distribuidora;
- III – tensão primária de distribuição inferior a 69 kV: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda a ser contratada pelo interessado, para o fornecimento, for igual ou inferior a 2.500 kW; e
- IV – tensão primária de distribuição igual ou superior a 69 kV: quando a demanda a ser contratada pelo interessado, para o fornecimento, for superior a 2.500 kW.

3.4.1 Classificação dos consumidores de energia elétrica

As unidades consumidoras de energia elétrica são classificadas pelo nível de tensão em que são atendidos e para fins de faturamentos são agrupadas em dois grupos tarifários segundo ANEEL (2010).

- Grupo A - agrupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômica e subdividido nos subgrupos apresentados pelo Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Tensão de fornecimento – Grupo A.

Subgrupo	Tensão de Fornecimento
A1	≥ 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Subterrâneo

- Grupo B - grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômnia e subdividido nos seguintes subgrupos:
 - a) subgrupo B1 – residencial;
 - b) subgrupo B2 – rural;
 - c) subgrupo B3 – demais classes; e
 - d) subgrupo B4 – Iluminação Pública.

3.4.2 Aspectos de comercialização de energia elétrica

A partir de 2004, o governo brasileiro estabeleceu um novo macro regulatório para o setor elétrico, segundo CCEE (2011), visando garantir a segurança do suprimento energético do país. Em 10 de novembro de 2004 passou então a operar no Brasil a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), cuja finalidade seria viabilizar a comercialização de energia elétrica no sistema interligado nacional, buscando obter, quando possível, competição na geração e nas formas de contratação de energia elétrica em dois ambientes distintos, que serão abordados mais a frente, denominados: ambiente de contratação regulado (ACR) e ambiente de contratação livre (ACL).

Os contratos de compra e venda de energia passam a ser celebrados na CCEE entre os agentes participantes. A CCEE contabiliza as diferenças entre o que foi produzido ou consumido e o que foi contratado. As diferenças positivas

ou negativas são liquidadas no “Mercado de Curto Prazo” e valoradas ao PLD (Preço de Liquidação das Diferenças), determinado semanalmente para cada patamar de carga e para cada submercado, tendo como base o custo marginal de operação do sistema, este limitado por um preço mínimo e por um preço máximo (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

Os agentes associados que fazem parte da CCEE, estão divididos nas categorias de geração, de distribuição e de comercialização podendo ser facultativos ou obrigatórios. As condições que definem a obrigatoriedade dos agentes são apresentadas a seguir:

- Agentes de geração
 - ✓ Concessionários ≥ 50 MW instalados
 - ✓ Produtores Independentes ≥ 50 MW instalados
 - ✓ Autoprodutores ≥ 50 MW instalados
- Agentes de distribuição
 - ✓ Consumo ≥ 500 GWh/ano
 - ✓ Agentes que adquirem toda energia com tarifa regulada
- Agentes de comercialização
 - ✓ Importadores e exportadores ≥ 50 MW intercambiados
 - ✓ Comercializadores ≥ 500 GWh/ano
 - ✓ Consumidores livres

Com os novos moldes de comercialização foram criados dois ambientes de contratação de energia, o ambiente de contratação regulado (ACR) e ambiente de contratação livre (ACL). No ACR a contratação se dá através de contratos bilaterais regulados, denominados contratos de comercialização de energia elétrica no ambiente regulado (CCEAR), entre agentes vendedores (comercializadores, geradores, produtores independentes ou autoprodutores) e Compradores (distribuidores) que participam dos leilões de compra e venda de energia elétrica.

Já no mercado livre ou ACL, a energia é comercializada por diversas empresas com contratos bilaterais e condições livremente negociadas. É

importante salientar que tanto para o ACR quanto para o ACL, as tarifas de distribuição e condições de fornecimentos são regulamentadas pela ANEEL.

3.5 Tarifas de energia elétrica

As modalidades tarifárias são duas, os consumidores do grupo B (baixa tensão) tem tarifa monômnia, ou seja, são cobrados apenas pela energia que consomem, e os consumidores do grupo A com tarifa binômnia, ou seja, são cobrados tanto pela demanda quanto pela energia que consomem. Estes consumidores podem enquadrar-se em uma de três alternativas tarifárias:

- ✓ Tarifação convencional
- ✓ Tarifação horo-sazonal verde
- ✓ Tarifação horo-sazonal azul (compulsória para aqueles atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV)

Grandes partes das informações a seguir estão referenciadas segundo o manual de tarifação de energia elétrica Procel (2001), as normas ANELL (2010) e de alguns conceitos de Marques, Haddad e Martins (2006).

3.5.1 Tarifa convencional

Nesta classificação se fixa um contrato específico com a concessionária de um único valor de demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) ou período do ano (seco ou úmido).

Os consumidores do grupo A, subgrupos A3a, A4 ou AS, podem ser enquadrados na tarifa convencional quando a demanda contratada for inferior a 300 kW, desde que não tenham ocorrido, nos 11 meses anteriores, três registros consecutivos ou seis registros alternados de demanda superior a 300 kW. A conta de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem demonstradas nas equações (3.5), (3.6) e (3.7), respectivamente.

$$P_{consumo} = \text{Tarifa de Consumo} \times \text{Consumo Medido} \quad (3.5)$$

$$P_{demanda} = \text{Tarifa de Demanda} \times \text{Demanda Contratada} \quad (3.6)$$

$$P_{ultrapassagem} = \text{Tarifa de Ultrapassagem} \times (\text{Demanda Medida} - \text{Demanda Contratada}) \quad (3.7)$$

- **Observação:** Na tarifação convencional, a tarifa de ultrapassagem corresponde a três vezes a tarifa de demanda.

3.5.2 Tarifação horo-sazonal verde

Essa modalidade é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, assim como de uma única tarifa de demanda. O enquadramento dos consumidores do grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS, é opcional.

A conta de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo (na ponta e fora dela), demanda e ultrapassagem apresentadas nas equações (3.8), (3.9), (3.10), respectivamente.

$$P_{consumo} = \text{Tarifa de Consumo na ponta} \times \text{Consumo Medido na Ponta} + \text{Tarifa de Consumo fora de Ponta} \times \text{Consumo Medido fora de Ponta} \quad (3.8)$$

A parcela de demanda é calculada multiplicando-se a tarifa de demanda pela demanda contratada ou pela demanda medida (a maior delas), caso esta não ultrapasse em mais de 5% a demanda contratada. A tarifa de demanda é única, independente da hora do dia ou período do ano.

$$P_{demanda} = \text{Tarifa de Demanda} \times \text{Demanda Contratada} \quad (3.9)$$

A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida

ultrapassa em mais de 5% a demanda contratada. É calculada multiplicando-se duas vezes a tarifa de demanda pelo valor da demanda medida que supera a demanda contratada:

$$P_{ultrapassagem} = 2 \times \text{Tarifa de Demanda} \times (\text{Demanda Medida} - \text{Demanda Contratada}) \quad (3.10)$$

3.5.3 Tarifação horo-sazonal azul

Essa modalidade caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, entretanto, ao contrário da tarifa verde, a tarifa azul possui tarifas diferenciadas de demanda, de acordo com as horas de utilização do dia. O enquadramento dos consumidores do Grupo A na tarifação horo-sazonal azul é obrigatório para os consumidores dos subgrupos A1, A2 ou A3.

A parcela de consumo é calculada pela equação (3.11) e de demanda pela equação (3.12).

$$P_{consumo} = \text{Tarifa de Consumo na ponta} \times \text{Consumo Medido na Ponta} + \text{Tarifa de Consumo fora de Ponta} \times \text{Consumo Medido fora de Ponta} \quad (3.11)$$

$$P_{demanda} = \text{Tarifa de Demanda na Ponta} \times \text{Demanda Contratada na Ponta} + \text{Tarifa de Demanda fora de Ponta} \times \text{Demanda Contratada fora de Ponta} \quad (3.12)$$

A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa a demanda contratada acima dos limites de tolerância. Esses limites são de 5% e é calculada pela equação (3.13) multiplicando-se duas vezes a tarifa de demanda pelo valor da demanda medida que supera a demanda contratada.

$$P_{ultrapassagem} = 2 \times \text{Tarifa de Demanda na Ponta} \times (\text{Demanda Medida na Ponta} - \text{Demanda Contratada na Ponta}) + 2 \times \text{Tarifa de Demanda fora de Ponta} \times (\text{Demanda Medida fora de Ponta} - \text{Demanda Contratada fora de Ponta}) \quad (3.13)$$

O Quadro 3.5 mostra um resumo de todas as estruturas tarifárias comentadas.

Quadro 3.5 – Resumo do faturamento tarifário.

	AZUL	VERDE	CONVENCIONAL
Demanda (kW)	Um preço para ponta Um preço para fora de ponta	Preço único	Preço único
Consumo (kWh)	Um preço - ponta - período úmido Um preço - fora de ponta - período úmido Um preço - ponta - período seco Um preço - fora de ponta - período seco		Preço único

3.5.4 Energia reativa e fator de potência

Essa energia, embora não realiza trabalho útil e produz perdas por causar aquecimento nos condutores, é solicitada por alguns equipamentos elétricos. A energia reativa tem como unidades de medida usuais o kVArh e a potência reativa o kVAr.

Os consumidores do grupo A pagam pela energia reativa, da mesma forma que a energia ativa, apenas muda as medições e os nomes. O limite é indicado de forma indireta pelo fator de potência, que reflete a relação entre as energias ativa e reativa consumidas. De acordo com a ANELL (2010) o fator de potência, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras, o valor de 0,92.

Na tarifa convencional pagam tanto o consumo de energia reativa (UFER) quanto a demanda reativa (UFDR), equações (3.14) e (3.15).

$$FER = Tarifa \text{ de Consumo} \times UFER \quad (3.14)$$

$$FDR = Tarifa \text{ de Demanda} \times UFDR \quad (3.15)$$

Sendo: FER – Faturamento de Energia Reativa

FDR – Faturamento de Demanda Reativa

Na tarifa verde, pagam o consumo de energia reativa na ponta e fora de ponta (UFER) e a demanda reativa (UFDR), equações (3.16) e (3.17).

$$FER = \text{Tarifa de Consumo na Ponta} \times \text{UFER na Ponta} + \text{Tarifa de Consumo fora de Ponta} \times \text{UFER fora de Ponta} \quad (3.16)$$

$$FDR = \text{Tarifa de Demanda} \times \text{UFDR} \quad (3.17)$$

E na tarifa azul, pagam tanto o consumo de energia reativa (UFER) quanto da demanda reativa (UFDR), para as horas de ponta e horas fora de ponta, equações (3.18) e (3.19).

$$FER = \text{Tarifa de Consumo na Ponta} \times \text{UFER na Ponta} + \text{Tarifa de Consumo fora de Ponta} \times \text{UFER fora de Ponta} \quad (3.18)$$

$$FDR = \text{Tarifa de Demanda na Ponta} \times \text{UFDR na Ponta} + \text{Tarifa de Demanda fora de Ponta} \times \text{UFDR fora de Ponta} \quad (3.19)$$

Aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativa que excederem o limite permitido, aplicam-se as cobranças estabelecidas nos artigos 96 e 97 da seção IV da resolução da ANELL (2010). Não foram colocadas as equações referentes a estas cobranças neste trabalho devido a suas complexidades e também pelas mesmas não serem o foco do projeto.

3.6 Iluminação

Conforme (MARQUES; HADDAD; GUARDIA, 2007), 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.

Diversos trabalhos mostram que a iluminação ineficiente é comum no Brasil.

Uma auditoria energética nessa área, no setor industrial, consiste basicamente em fazer um levantamento em campo das lâmpadas, reatores, sensores, luminárias e refletores utilizados no sistema de iluminação vigente, e então fazer um estudo observando se é possível produzir a mesma luz com menor consumo de energia, ou então, produzir com o mesmo consumo de energia, maior quantidade de luz, dependendo das necessidades da indústria.

Para isso é necessário interagir com as tecnologias em eficiência luminosa do mercado, levando em conta a viabilidade econômica da implementação de um novo sistema de iluminação.

O trabalho focou-se mais no aspecto econômico e de conservação de um sistema de iluminação do que no aspecto técnico de, por exemplo, fazer um projeto do cálculo de iluminação em determinado local utilizando algum dos métodos conhecidos como o método dos lúmens, ponto a ponto, quatro zonas entre outros.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Introdução

Tendo o capítulo 3 como base teórica das principais características e etapas que se devem seguir para uma eficiente análise energética, objetivou-se, no presente capítulo, um estudo de caso exemplificando os procedimentos do capítulo anterior, bem como a apresentação de propostas e soluções de melhorias para o caso em desenvolvimento.

4.2 Escolha da empresa a ser analisada

O estudo de caso apresentado é uma adaptação de uma empresa do segmento industrial na área de máquinas para construção, emprega entre 1.000 a 1.300 funcionários, dentro de sua planta consta de edifícios como: administração, refeitório, produção (usinagem, mineração, caldeiraria e solda, corte, pintura e montagem), almoxarife e estoque de produtos acabados.

A auditoria energética, realizada nesta planta, consistiu em tratar apenas a energia elétrica utilizada, de maneira que, através de tabelas e gráficos foi possível traçar o perfil energético da empresa. Todavia, em atendimento a uma cláusula de sigilo, algumas informações não foram disponibilizadas.

4.3 Levantamento de potências instaladas

Primeiramente foi feito o levantamento de toda a potência instalada na empresa, dividido em área de produção e administrativas (Quadro 4.1) e, então, se subdividiu a área de produção entre seus setores mais significativos a fim de poder analisar melhor o dimensionamento das potências, a Figura 4.1 relaciona os setores e suas respectivas porcentagens em potência instalada.

Quadro 4.1 – Total de potência instalada na planta da empresa.

Empresa	[kW]	%
Potência Total Área de produção	8507	96
Potência Total Área Administrativa	331	4
Potência Total Instalada	8838	100

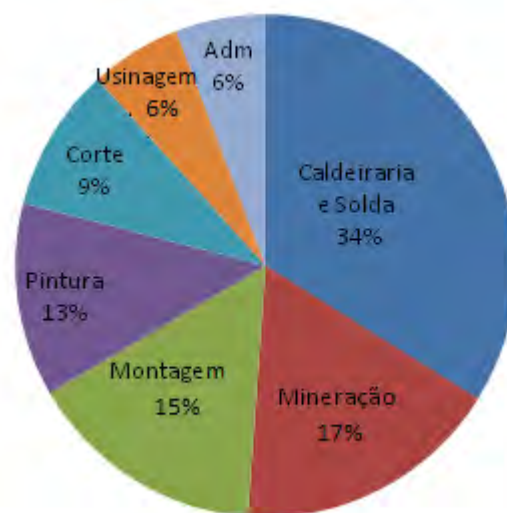


Figura 4.1 – Porcentagem de potência instalada por setor.

4.4 Caracterização da empresa no mercado energético

A empresa estudada é classificada como consumidor de energia elétrica do grupo A, subgrupo A4, sendo atendida na tensão de 13,8 kV, tendo como limite de demanda para se contratar de 2.500 kW segundo a resolução da ANEEL (2010); a mesma, contrata energia no ambiente de contratação livre (ACL), com contratos de 1.250 kW de demanda para o horário de ponta e fora de ponta até julho de 2011, sendo a partir deste mês 1.500 kW na ponta e 1.300 kW fora de ponta. Até março de 2011 o limite de tolerância de ultrapassagem da demanda contratada era de 10%, sendo a partir daí 5% (ANEEL, 2010).

A busca por maiores oportunidades de redução do custo de energia elétrica tem incentivado muitos consumidores a migrar do ACR para o ACL podendo ter a opção de comprar toda a sua energia ou parte dela de comercializadoras ou diretamente de geradoras.

Através de contratos bilaterais, a empresa em questão possui tarifa binômia, na qual o consumo de energia é pago para a comercializadora de energia do mercado livre e a demanda é paga para a concessionária de energia, de acordo com as tarifas para consumidores livres do Quadro 4.2, segundo a resolução homologatória ANEEL (2010). A principal vantagem, nesse caso, é a economia garantida proporcionada ao consumidor, além da liberdade de contratação de diferentes valores de demanda, para horários de ponta e fora de ponta, ajustando-se melhor à sua produção.

Quadro 4.2 – ANELL – Anexo II-A – Tarifa de demanda para consumidores livres.

TUSD - CONSUMIDORES LIVRES	QUADRO L	
	TUSD	
	DEMANDA (R\$/kW)	
SUBGRUPO	PONTA	F. PONTA
A1 (230kV ou mais) - Villares Aços Anhanguera S.A.	7,10	0,00
A2 (88 a 138 kV)	19,12	2,56
A3a (30 a 44 kV)	22,45	4,66
A4 (2,3 a 25 kV)	30,56	7,35

Economia garantida é uma porcentagem que a comercializadora de energia se compromete a cobrir em cima do valor simulado do quanto que o consumidor teria que pagar para o ACR caso ainda estivesse sob esse regime e mediante as mesmas tarifações à que pertencia, a empresa estudada pertencia ao grupo de tarifação horo-sazonal verde.

Para melhor compreensão da funcionalidade da economia garantida, elaborou-se dois casos hipotéticos para exemplificar.

1º Caso: a fatura de energia, segundo as tarifas para consumidores livres, é de R\$ 105,00, o valor obtido na simulação é de R\$ 100,00, o valor que a comercializadora pagou pela energia, que a empresa consumiu, no ACL é de R\$ 90,00; agora, considerando 5% de economia garantida sobre o valor simulado, o consumidor pagará R\$ (100,00 – 5,00), ou seja, R\$95,00, independente das variações do valor de energia no ACL, a comercializadora se encarregará de cobrir o excedente de R\$ (105,00 – 95,00) que é R\$ 10,00, mas como ela obteve R\$ 5,00 de lucro em relação ao contrato de economia garantida com o

consumidor e a energia comercializada no ACL (R\$ 95,00 – R\$ 90,00), seu prejuízo é, na verdade, a diferença entre o valor faturado e o simulado, menos o lucro que ela obteve ao comercializar a energia no ACL, ou seja, R\$ $[(105,00 - 95,00) - (95,00 - 90,00)]$, portanto, neste caso, a comercializadora teve que se responsabilizar por um prejuízo de R\$ 5,00 para honrar seu contrato com o consumidor de 5% de economia garantida.

2º Caso: a fatura de energia, segundo as tarifas para consumidores livres, é de R\$ 105,00, o valor obtido na simulação é de R\$ 100,00, e valor que a comercializadora pagou pela energia, que a empresa consumiu, no ACL é de R\$ 80,00; considerando 5% de economia garantida, o consumidor pagará R\$ 95,00, como no caso anterior, a comercializadora se encarregará de cobrir o excedente de R\$ 10,00, também como no caso anterior, porém, agora, ela obteve R\$ 15,00 de lucro em relação ao contrato de economia garantida com o consumidor e a energia comercializada no ACL (R\$ 95,00 – R\$ 80,00), portanto, neste segundo caso, como a comercializadora conseguiu um melhor preço de energia no ACL, mesmo depois de honrar seu contrato de 5% de economia garantida com o consumidor, ela ainda obteve um lucro de R\$ $(15,00 - 10,00)$, ou seja, R\$ 5,00.

Nota-se, portanto, que a comercializadora livre leva vantagem ou desvantagem sobre o consumidor de acordo com o preço de energia que ela negocia no ACL, tal preço, varia de acordo com época do ano, período seco e úmido.

Nesse aspecto, pode haver anos em que, aparentemente, a empresa pode ter deixado de lucrar por estar sob o regime de economia garantida e não integralmente no ACL, porém se uma empresa quiser participar efetivamente do ACL, comprando e vendendo sua própria energia, é necessário um departamento que cuide especificamente dessa área, lembrando que o mercado pode oscilar de repente gerando grandes lucros como também grandes prejuízos, portanto é necessário para o consumidor avaliar se está disposto a correr esses riscos.

Geralmente, é viável para uma empresa participar efetivamente do ACL quando a energia elétrica é um insumo de porcentagem considerável no processo produtivo, o que torna sua comercialização em um negócio rentável, todavia, na maioria das indústrias de médio porte tem-se preferido a economia garantida, que não fica sujeita a grandes instabilidades e proporciona uma segurança maior para o consumidor, deixando para as comercializadoras livres o papel de mediadoras.

No estudo de caso abordado, tem-se 4% de economia garantida, que tem gerado aproximadamente R\$ 7.000,00/mês de economia num total de R\$ 84.000,00/ano, um valor expressivo para esta empresa, gerando, portanto, segurança e satisfação pelo fato da migração parcial para o ACL.

4.5 Análise dos dados de demanda de energia elétrica

Através da análise do comportamento do gráfico de demanda ativa da empresa ao longo de 2011, mostrado na Figura 4.2, juntamente com o Quadro 4.3 que relacionam os valores de demanda na ponta e fora de ponta, atingidos em cada mês, e do Quadro 4.4 que apresenta os principais valores de demanda desse período, pode-se constatar diversas situações que podem ser melhoradas.

Primeiramente, deve-se entender que a análise de demanda tem por objetivo à sua adequação as reais necessidades da unidade consumidora. O caso ideal é quando a demanda de potência contratada seja igual a demanda registrada e portanto faturada, pois nesta situação estará se pagando por aquilo que realmente se necessita.

Tal caso não existe, o que se pode fazer é buscar analisar o contrato de fornecimento de energia com o acompanhamento do perfil de utilização de energia, ao longo do tempo, a fim de chegar a valores de demanda registrados que se aproximem ao máximo dos valores contratados.

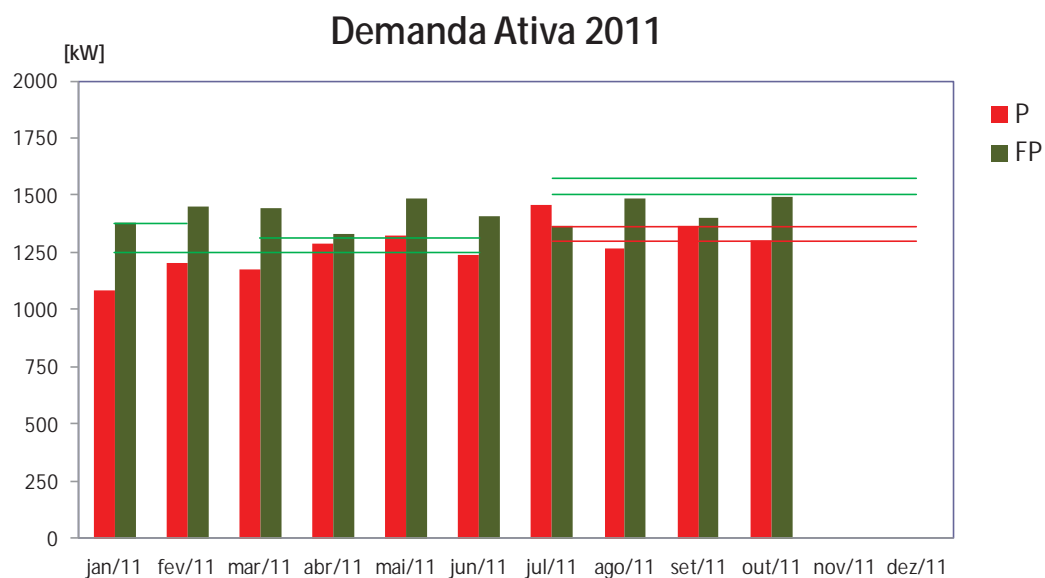


Figura 4.2 – Perfil da demanda ativa anual de 2011.

Quadro 4.3 – Demandas de ponta e fora de ponta ao longo de 2011.

Primeiro Semestre

Mês	Ponta	Fora de Ponta
jan	1.087,0 kW	1.382,6 kW
fev	1.206,2 kW	1.451,5 kW
mar	1.174,3 kW	1.444,8 kW
abr	1.285,2 kW	1.328,9 kW
mai	1.322,2 kW	1.488,5 kW
jun	1.241,5 kW	1.407,8 kW

Segundo Semestre

Mês	Ponta	Fora de Ponta
jul	1.454,9 kW	1.367,5 kW
ago	1.268,4 kW	1.483,4 kW
set	1.362,5 kW	1.399,4 kW
out	1.300,3 kW	1.491,8 kW
nov		
dez		

Quadro 4.4 – Principais valores de demanda de 2011.

	Ponta	Fora de Ponta	Total
Demanda Máxima	1.454,9 kW	1.491,8 kW	
	26/07/2011 18:45	06/10/2011 09:45	
Demanda Média	871,9 kW	685,1 kW	
Contrato Período Seco	1.300,0 kW	1.500,0 kW	
Contrato + Tolerância	1.365,0 kW	1.575,0 kW	
	01/05		
Contrato Período Úmido	1.300,0 kW	1.500,0 kW	
Contrato + Tolerância	1.365,0 kW	1.575,0 kW	
	01/12		

Nota-se, pela Figura 4.2, a passagem do limite de tolerância de ultrapassagem na demanda contratada de 10% para 5% a partir do mês de março, nota-se também que, a empresa seguia desde o mês de janeiro com multas por ultrapassagem até junho, sendo a partir deste mês estabelecido novos contratos para demanda na ponta e fora de ponta, conforme apresentados no Quadro 4.4.

Calculando-se os valores dessas multas segundo a equação (3.13) e utilizando as tarifas do Quadro 4.2 do subgrupo A4, chegou-se aos valores apresentados no Quadro 4.5. Observa-se que de janeiro a junho houve multas por ultrapassagem no horário fora de ponta e depois que a demanda passou para 1500 kW não houve mais essa ocorrência, porém, mesmo com apenas duas ultrapassagens do horário de ponta, no mês de maio e julho, o valor total da multa desse horário ultrapassou a do horário de fora de ponta mesmo somando todos os meses que ultrapassou.

Esses valores remetem ao cuidado que se deve ter para não ultrapassar os valores de demanda contratados, principalmente no horário de ponta cuja tarifa chega a ser mais que quatro vezes o valor da tarifa do horário fora de ponta.

Quadro 4.5 – Multas por ultrapassagem de demanda contratada ao longo de 2011.

Mês	Ultrapassagem Ponta	Ultrapassagem Fora de Ponta
jan/11	R\$ 0,00	R\$ 1.949,81
fev/11	R\$ 0,00	R\$ 2.962,05
mar/11	R\$ 0,00	R\$ 2.838,86
abr/11	R\$ 0,00	R\$ 1.159,54
mai/11	R\$ 4.412,86	R\$ 3.505,95
jun/11	R\$ 0,00	R\$ 2.319,66
jul/11	R\$ 12.523,49	R\$ 0,00
ago/11	R\$ 0,00	R\$ 0,00
set/11	R\$ 0,00	R\$ 0,00
out/11	R\$ 0,00	R\$ 0,00
nov/11	R\$ 0,00	R\$ 0,00
dez/11	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Soma	R\$ 16.936,35	R\$ 14.735,87
	Total Multa 2011	R\$ 31.672,22

Observa-se, através do Quadro 4.5, a necessidade que empresa estudada tinha de renegociar seu contrato de demanda, pois as multas já não eram um caso singular, mas sim recorrente. Portanto, em julho de 2011 a empresa renegociou seu contrato de demanda para 1.500 kW fora de ponta e 1.300 kW na ponta, tomando como base sua projeção de crescimento para os próximos anos em função da potência necessária para supri-la, a Figura 4.3 mostra a projeção de crescimento.

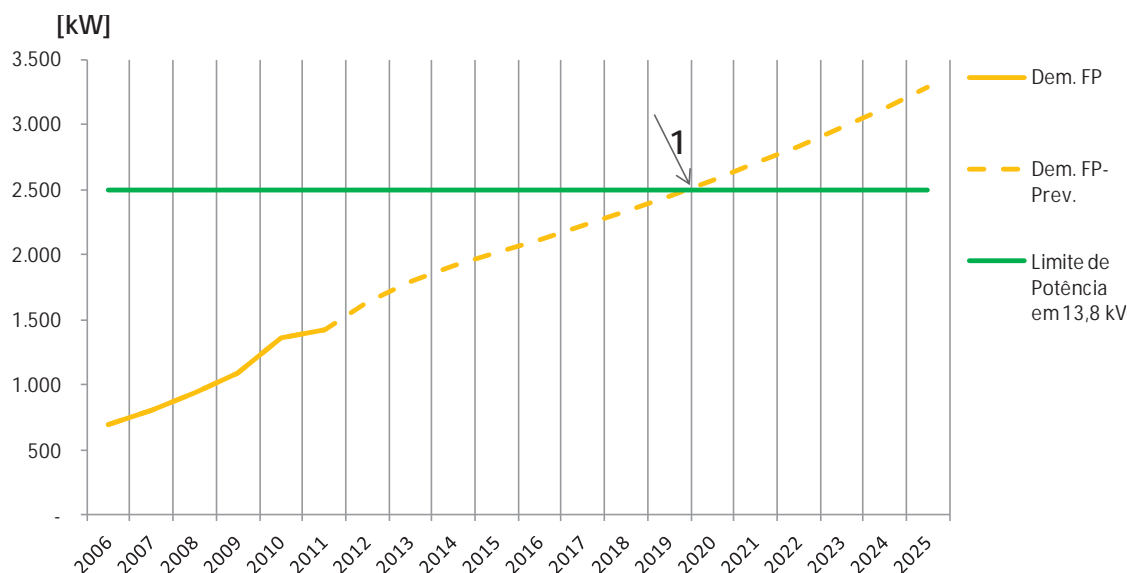


Figura 4.3 – Projeção de crescimento da demanda.

Sendo Dem.FP – Demanda fora de ponta e Dem.FP-Prev – Demanda fora de ponta prevista e ponto 1 indica o ano em que o limite de potência que se pode contratar do subgrupo A4 é atingido.

Medidas como renegociação do contrato de demanda junto a concessionária devem ser tomadas, se possível, com um estudo de projeção de crescimento da empresa visando contratar uma demanda que seja suficiente para suprir suas necessidades por um período de pelo menos dois anos.

Esse procedimento se dá por causa do prazo que uma concessionária tem para analisar uma proposta de renegociação de demanda antes de implementá-la, o período de espera pode chegar a 180 dias, e ainda assim, a concessionária pode dar uma resposta negativa por falta de disponibilidade da potência desejada pelo consumidor ou por falta de infra-estrutura da rede naquele ramal de chegada para fornecimento de energia, quando isso acontece, o consumidor tem que buscar novas alternativas energéticas ou então analisar a hipótese de migrar para um subgrupo que tensão de fornecimento permite atender potências mais elevadas. Entretanto, para isso é necessário estudos de viabilidade econômica, pois demandam autos investimentos.

A presença de ultrapassagem de demanda, baixo fator de carga, cobrança de excedentes reativos e demanda medida muito abaixo da demanda contratada

na conta de energia elétrica, são indicativos de que medidas de melhorias podem ser efetuadas.

Levando em conta que a demanda registrada é obtida pelo valor discreto máximo ocorrido no mês, pode-se tomar como regra o cuidado para que o consumo de energia elétrica seja tão uniforme quanto possível e que picos de demanda sejam evitados, deve-se tomar cuidado para que um alto fator de carga num dado momento não comprometa o contrato de demanda, ultrapassando-o em 5% de tolerância, acarretando com isso multa desnecessária, também é necessário se precaver contra o subdimensionamento da demanda contratada, pois esta gera aumento dos custos com energia que devem ser evitados.

Para empresas onde a demanda varia muito, a instalação de sistemas automáticos de supervisão e controle da demanda, podem proporcionar uma redução significativa nos gastos com energia elétrica.

4.6 Fatores de projeto

Os projetistas têm o papel de decidir sobre a previsão de demanda da instalação, levando em consideração as características das cargas e do tipo de operação da indústria. Há indústrias em que praticamente toda carga instalada está simultaneamente em operação em regime normal, todavia, há também outras indústrias em que há diversidade de operação entre diferentes setores de produção, por isso, é de suma importância considerar essas situações no dimensionamento dos equipamentos.

Sendo assim, a aplicação de alguns fatores, denominados fatores de projeto, se tornam necessários tanto para auxiliar os projetistas na tomada de decisão sobre quanto de demanda contratar, evitando sobre e sub dimensionamentos em relação a demanda contratada e em relação a condutores e barramentos da instalação elétrica.

Tais fatores visam à economicidade do empreendimento e, posteriormente, o monitoramento do fator de carga se torna um dos parâmetros mais importantes para avaliar a eficiência energética da empresa. Dentre os

fatores de projeto, além do fator de carga, mais utilizados na indústria estão o fator de demanda, fator de simultaneidade e fator de utilização.

4.6.1 Análise do fator de demanda

Uma empresa que pretende montar uma planta de produção e tem em mãos a quantidade de cargas a ser instalada, pode ter uma razoável noção do quanto ela teria que ter de demanda contratada através de uma tabela típica de fatores de demanda por ramo de atividade, como mostra o Quadro 4.6, para que a mesma esteja na média em relação as outras empresas do mesmo segmento. Entretanto, não significa que a empresa será penalizada caso esteja abaixo do F_d típico, mas sim, que houve uma falha no planejamento da planta, refletidos, agora, através desse parâmetro.

Quadro 4.6 – Fator de demanda e de carga típicos para consumidores ligados em alta tensão.

Classe de Consumidor *	FD Típico (%)	FC Típico (%)
Condomínio Residencial	31,00	34,00
Industrial **	25,00	37,00
Comércio, Serviços e Outras Atividades	38,00	33,00
Rural	33,00	36,00
Poder Público	26,00	34,00
Serviço Público	63,00	54,00

* Celesc Distribuidora S.A (2011)

** Cotrim (2003)

A planta estudada apresenta uma potência instalada de 8.838 kW, segundo o Quadro 4.1, e a demanda máxima atingida em 2011 foi de 1.491,8 kW no horário de ponta, segundo o Quadro 4.4, portanto, calculando segundo a equação (3.3) tem-se $F_d = 0,17$.

Com isso, nota-se um F_d abaixo do F_d típico de 0,25 do Quadro 4.6, evidenciando uma quantidade de carga instalada além do normal para uma indústria desse segmento.

Neste caso, é melhor que se reveja a necessidade dos maquinários da planta para se necessário vender alguns deles, ou então, tentar buscar um melhor aproveitamento dos mesmos através da expansão da produção.

4.6.2 Análise do fator de carga

O fator de carga baixo, como dito anteriormente, é um dos indicadores mais importantes de que melhorias podem ser feitas. Através então do gráfico da Figura 4.4 e do Quadro 4.7 pode-se fazer algumas considerações.

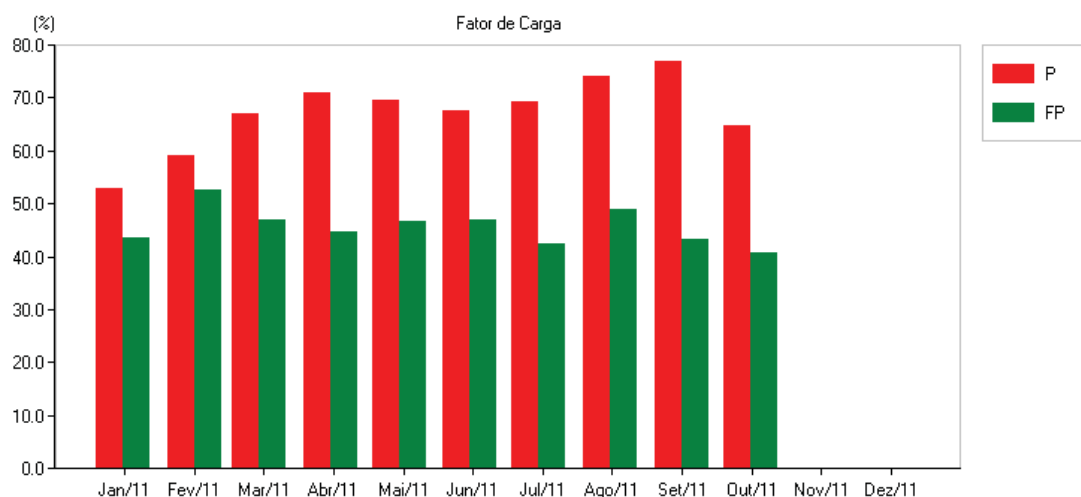


Figura 4.4 – Fator de carga ao longo de 2011.

Quadro 4.7 – Principais valores do fator de carga.

	Ponta	Fora de Ponta
Fator de Carga Máximo	76,8 %	52,4 %
	01/09/2011 00:15	01/02/2011 00:15
Fator de Carga Mínimo	0,0 %	0,0 %
	01/11/2011 00:15	01/11/2011 00:15
Fator de Carga no Período	67,1 %	45,7 %

Para uma empresa do segmento industrial como a do estudo de caso em questão, a mesma deve possuir um fator de carga de 0,37 para estar na média entre as empresas do mesmo ramo, segundo o Quadro 4.6.

Observa-se na Figura 4.4 que para este caso o F_c da ponta é sempre maior que o F_c do horário fora de ponta, todavia, em ambos os horários o F_c está acima

do valor mínimo desse segmento, podendo-se dizer que esta empresa está com um bom desempenho neste quesito.

Entretanto, ressalta-se que manter um fator de carga alto significa obter benefícios como: otimização dos investimentos da instalação elétrica; aproveitamento racional e aumento de vida útil da instalação elétrica, incluído os motores e equipamentos; redução do valor da demanda de pico.

A melhoria do fator de carga é uma das práticas que merecem maior atenção em um estudo de eficiência energética e pode ser resumido em dois artifícios:

- Conservar o consumo e reduzir a demanda;
- Conservar a demanda e aumentar o consumo.

A prática do primeiro item é o mais comum entre as indústrias, elas iniciam um programa de conservação de energia mantendo o mesmo ritmo de produção. Lembrando que, dentro de qualquer produto fabricado, há uma parcela de consumo de energia elétrica, ou seja, de kWh, e não de demanda, kW.

Portanto, mantida a produção, deve-se atuar na redução de demanda por meio de deslocamento de máquinas para outros intervalos de tempo de baixo consumo, segundo a curva de carga do consumo diário da empresa, isso requer o envolvimento do departamento de planejamento e controle de produção (PCP), pois muitas vezes vai alterar os turnos de serviços e por vezes vai haver o dispêndio de adicionais na mão de obra para atender as legislações trabalhistas.

Analisando agora o segundo método para se obter melhoria no fator de carga, isto é, conservar a demanda e aumentar o consumo, sem ter que investir na ampliação do sistema elétrico, por exemplo, é utilizar-se do conhecimento da própria curva de carga e dar início a novos empreendimentos nos intervalos de baixo consumo das atividades atuais; além de não precisar fazer investimentos, contribuirá para um significativo crescimento do fator de carga (MAMEDE FILHO, 2010).

4.6.3 Análise do fator de simultaneidade

O fator de simultaneidade resulta da coincidência das demandas máximas de alguns aparelhos do grupo de carga devido à natureza de sua operação. Sua aplicação em instalações industriais deve ser precedida de um estudo cuidadoso, pois este fator, além de outros, será multiplicado pela potência de um grupo de carga para fins de dimensionamento de condutores e equipamentos de proteção.

Não se abordou este fator no estudo de caso devido à falta de recursos para análise, todavia colou-se o mesmo no trabalho a fim de referenciar tal parâmetro que, se bem usado, pode evitar sobredimensionamentos nos barramentos, circuitos e equipamentos de grupos de cargas.

4.6.4 Análise do fator de utilidade

Esse fator tem por objetivo a análise de cada equipamento ou motor em suas condições normais de utilização. Tal como o fator de simultaneidade, esse fator também servirá para os cálculos de dimensionamento das secções dos condutores e dos aparelhos de segurança nos circuitos, no entanto, o conhecimento prévio desse fator em cada equipamento pode levar a um acerto mais aproximado na concepção do primeiro contrato de demanda, evitando gastos desnecessários com energia.

Em caso de aparelhos não contidos no Quadro 3.3 pode-se adotar fator de utilização igual a 0,75 para motores e 1,00 para aparelhos de iluminação, ar condicionado e aquecimento.

4.7 Análise do consumo de energia elétrica

Tal qual a análise da demanda, a análise dos parâmetros de consumo é de suma importância na tomada de decisão de um programa de eficiência energética, portanto, mais uma vez, deve-se voltar para as faturas de energia elétrica ao longo do ano 2011 destacando seus principais pontos.

Vale lembrar que, o estudo das contas de energia elétrica é uma importante ferramenta para a execução de um gerenciamento energético em instalações e se torna a base de comparação após mudanças implementadas.

Neste trabalho, buscou-se fornecer informações que visam à melhoria do desempenho energético em algumas áreas da empresa estudada, usando conceitos de Mamede Filho (2010) e CEPTEL (2011), no que diz respeito ao consumo, principalmente em relação a motores elétricos, transformadores, sistemas de iluminação e ar condicionado.

Com algumas medidas, que serão discutidas mais a frente, a economia no consumo de energia pode chegar a 50% do total consumido por ano. Para tanto é necessário fazer algumas análises do perfil do consumo de eletricidade; primeiramente estudou-se o gráfico de consumo de um mês típico apresentado na Figura 4.5.

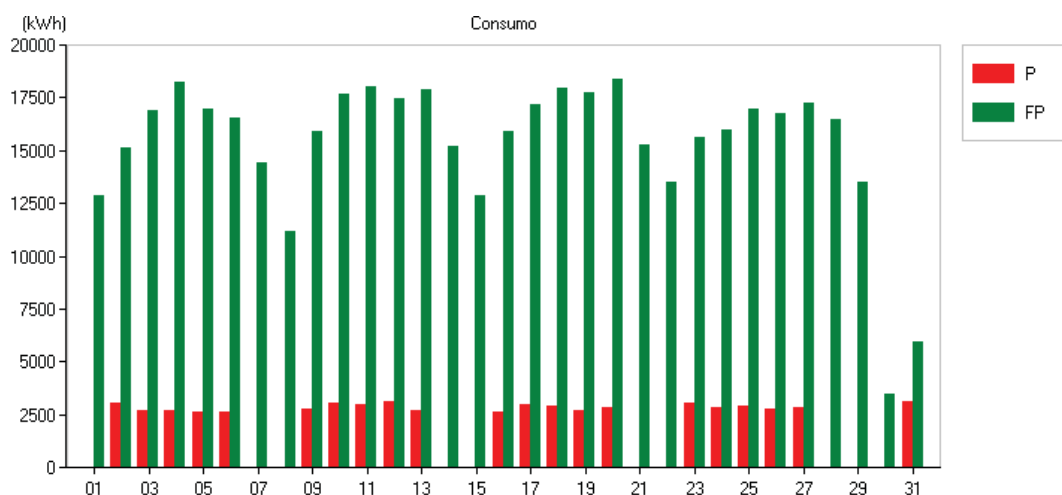


Figura 4.5 – Consumo ativo de energia elétrica mês maio/2011.

Observa-se na Figura 4.5 o aumento gradativo do consumo fora de ponta no começo da semana atingindo o pico na quarta-feira e então começa a decair até seu valor mínimo no dia de domingo. Nota-se que esse ciclo é quase sempre constante em todas as semanas, tendo apenas algumas variações entre as terças até as quintas-feiras, em que, certas vezes, o consumo da terça ou da quinta é maior que o de quarta-feira.

Já o consumo no horário de ponta é praticamente constante todos os dias, exceto de domingo que não se trabalha nesse horário. Este ciclo mensal apresentado é normal em ambiente de produção industrial.

Analisando agora o consumo de energia ao longo de 2011, conforme a Figura 4.6 e o Quadro 4.8, observa-se uma variação razoavelmente pequena no consumo fora de ponta entre os meses de janeiro a julho, variando aproximadamente entre 430.000 a 476.000 kWh, em agosto ocorre o pico de consumo atingindo 495.630 kWh e nos meses de setembro e outubro ocorre uma acentuada queda, chegando a um valor mínimo de 330.345 kWh. Já o consumo na ponta permanece aproximadamente constante ao longo do ano.

A produção, neste caso, está interligada com o mercado de construção civil; uma vez que os produtos fabricados são feitos sob demanda e a maior parte dos consumidores de energia são os motores elétricos dos mais variados portes, pode-se concluir que, o consumo de energia elétrica da empresa estudada segue o mesmo patamar das variações de mercado no ramo da construção civil.

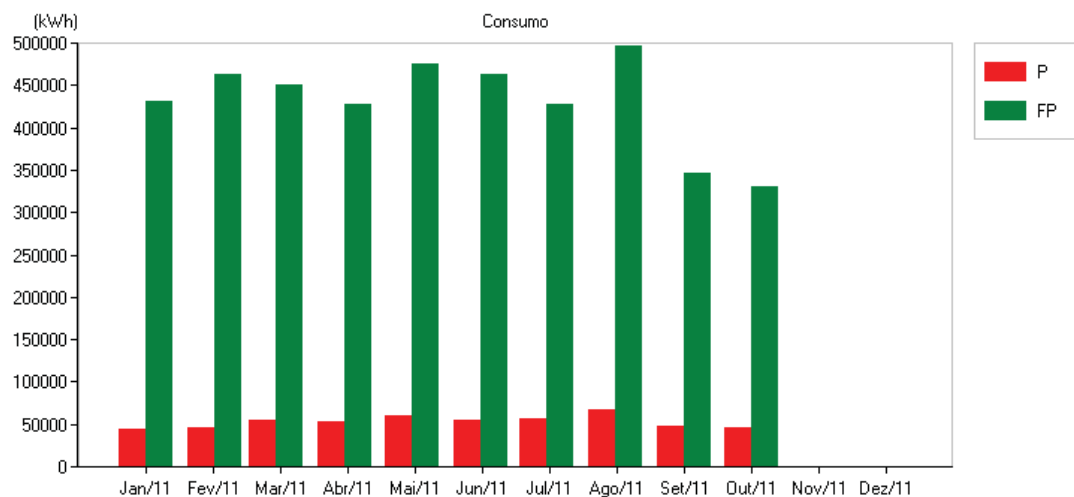


Figura 4.6 – Consumo anual de energia elétrica.

Quadro 4.8 – Consumo na ponta e fora de ponta ao longo de 2011.

<i>Primeiro Semestre</i>			<i>Segundo Semestre</i>		
Mês	Ponta	Fora de Ponta	Mês	Ponta	Fora de Ponta
jan	43.338,1 kWh	430.337,5 kWh	jul	56.683,6 kWh	427.638,0 kWh
fev	46.105,5 kWh	463.098,3 kWh	ago	66.356,2 kWh	495.630,2 kWh
mar	54.789,0 kWh	451.347,1 kWh	set	47.916,5 kWh	346.918,3 kWh
abr	52.639,0 kWh	427.122,8 kWh	out	45.536,8 kWh	330.345,1 kWh
mai	59.774,4 kWh	475.075,9 kWh	nov		
jun	55.231,7 kWh	462.025,6 kWh	dez		

4.7.1 Motores elétricos

Com base no que foi apresentado anteriormente, os motores elétricos são responsáveis por praticamente 50% da energia elétrica consumida no setor industrial, sendo assim, medidas de conservação de energia para tais máquinas se tornam extremamente necessárias.

Mesmo nas indústrias instaladas mais recentes onde o tema eficiência energética tem tomado o âmago da questão entre os gerentes de produção e financeiros, ainda assim, tem tido considerável desperdícios de energia na operação dos motores elétricos.

Diversas são as medidas que podem evitar desperdícios de energia por parte dos motores elétricos e ainda obter um melhor aproveitamento dos mesmos, entre as principais se encontra:

- **Substituição de motores superdimensionados:** motores que acionam cargas com requisição de potência muito abaixo da potência nominal do motor (menor que 50%) estão sujeitos a uma operação ineficiente e devem ser substituídos por motores que se adequam melhor a carga. Esse fator pode ser considerado como o principal ponto de desperdício em motores. Os motores que operam com carregamento igual ou superior a 65% da sua potência nominal apresentam um rendimento próximo do seu rendimento máximo. A correta adequação do motor à carga representa economias de energia que podem chegar a 30%.
- **Uso de motores de alto rendimento:** Esse tipo de motor apresenta por fora as mesmas características do motor convencional, porém o seu interior é

constituído de material de melhor qualidade, elevando o seu rendimento em até 10%. O uso de motores de alto rendimento é aconselhável principalmente em processos contínuos, onde o motor opera mais de 7.000 horas por ano.

- **Reparo do motor queimado:** Muitas empresas acabam optando pelo reenrolamento de motores danificados, no entanto, esta prática deve ser revista, 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. O que se aconselha é que, quando um motor for danificado, o melhor é substituí-lo por um de alto rendimento e assim sucessivamente, pois, raramente uma empresa que já estabelecida, optará por investir na troca de todos os motores de sua planta pelos de alto rendimento devido à inviabilidade econômica. Todavia, se for um investimento inicial para abrir uma nova planta de produção, convém que a gerência opte pelos motores de alto rendimento, pois a diferença de preço entre os dois motores não fará tanta diferença frente à economia que o motor de alto rendimento vai gerar.
- **Controle de velocidade:** o uso de inversores de frequência usado para controle de velocidade de motores se apresenta como uma alternativa eficiente do ponto de vista energético, podendo ser aplicado não somente no controle de velocidade, mas em outros processos de controle de variáveis em processos industriais como vazão, pressão e sistemas de bombeamento. Além disso, uma boa alternativa, também, seria a instalação de inversores em motores de indução que operam por um longo período de tempo com cargas de potência variável, como ventiladores compressores entre outros.

4.7.2 Transformadores

Os transformadores como qualquer outro tipo de equipamento apresenta perdas que podem ser classificadas em dois tipos:

- 1) Perdas no núcleo magnético (perdas no ferro): essas perdas são constantes, basta que o transformador esteja ligado para que ocorram.

2) Perdas no enrolamento (perdas no cobre): a circulação da corrente nos enrolamentos gera aquecimento dos mesmos causando perdas por efeito joule. Quanto maior a corrente que circula no transformador, maior será a perda.

As reduções das perdas dos transformadores ocorrem mediante as seguintes medidas:

- a) Medidas de conservação de energia: qualquer medida adotada que gera conservação de energia em alguma área, gera também uma economia no transformador, pois a carga em questão terá uma menor solicitação de potência, e conseqüentemente, menores são as perdas no cobre.
- b) Elevação do fator de potência: a elevação desse fator reduz a componente indutiva da corrente, reduzindo o valor da corrente de carga.
- c) Redistribuição das cargas entre os transformadores: quando uma indústria dispõe de mais de um transformador, pode-se obter uma redução das perdas com uma adequada redistribuição das cargas, de forma que os transformadores que operam com carregamento elevado tenham sua corrente reduzida, enquanto que outros, com carregamento baixo, recebam parte da carga.
- d) Desligamento de transformadores: uma das formas de eliminar as perdas no núcleo é desligar o transformador quando este não estiver alimentando nenhuma carga. Esta pode ser uma boa escolha para indústrias que não operam no período noturno e em fins de semana.

A empresa estudada opera com quatro transformadores sendo dois de 750 kVA e dois de 500 kVA operando em 380 V, sendo que quando é necessário 220 V (áreas administrativas), utilizam-se pequenos transformadores 380/220 V. Levando em consideração a Figura 4.1, as cargas estão distribuídas da seguinte forma:

- 750 kVA – usinagem e pintura somando 19 % da carga instalada.
- 750 kVA – caldeiraria e solda e corte somando 43% da carga instalada.
- 500 kVA – montagem 15% da carga instalada.

- 500 kVA – mineração e área administrativa somando 23% da carga instalada.

Pode-se dizer que a distribuição das cargas entre os transformadores, levando-se em conta a demanda, está satisfatória, sendo todos eles adaptados para ficarem próximos as cargas que os utilizam. Entretanto, a opção de desligamento dos transformadores em período noturno e em fins de semana não é desejável uma vez que a linha de produção trabalha em três turnos e nos finais de semana. Quanto às outras medidas citadas acima, qualquer uma delas implementadas faz com que as perdas nos transformadores diminuam.

4.7.3 Sistemas de iluminação

O foco do diagnóstico no sistema de iluminação da planta em questão culminou em fazer o levantamento da porcentagem de consumo que esse sistema solicita, sugerindo medidas de implementação de curto prazo que podem gerar não somente economia energética como também um retorno financeiro considerável.

Observou-se que as lâmpadas mais usadas, na empresa estudada, em ambiente de escritório são as fluorescentes de 32 W e 110 W, nos galpões as que mais se encontram são as de vapor de mercúrio de 250 W, 400 W e 700 W, já nas áreas externas observa-se uma grande quantidade de lâmpadas incandescentes do tipo halógenas de 1.000 W.

Estimou-se, portanto, mediante um estudo de tempo de lâmpadas ligadas, tanto para os prédios administrativos quanto para os galpões industriais e áreas externas, um consumo que representa aproximadamente 15% do consumo total. Sendo assim, listaram-se as principais medidas que podem ser tomadas em sistemas de iluminação que trazem retorno econômico e financeiro na maioria das vezes em curto prazo:

- Utilizar lâmpadas adequadas para cada tipo de ambiente, aproveitando ao máximo a iluminação natural.

- Utilizar telhas translúcidas nos galpões industriais em que não há necessidade de forro
- Em ambientes onde é necessária iluminação constante, utilizar lâmpadas de alta eficiência e vida longa.
- Buscar usar luminárias abertas para melhorar o nível de iluminamento
- Dividir os circuitos de iluminação de modo que possam ser desligados parcialmente sem comprometer o conforto do ambiente.
- Distribuir interruptores liga/desliga de tal maneira que permita operar de acordo com a necessidade do local.
- Instalações de temporizadores podem ser convenientes em alguns locais.
- Estar atento as novas tecnologias e lançamentos de lâmpadas, luminárias, reatores e controle geral.

4.7.4 Ar condicionado

Os maiores problemas em relação ao ar condicionado se dá por causa do superdimensionamento dessas instalações, na maioria das vezes as instalações são calculadas para condições ambientais extremas sendo que, tais condições ocorrem em uma pequena parte do tempo. Dessa forma, as principais formas de se economizar energia nos sistemas de ar condicionado são:

- Verificar a possibilidade de elevar os níveis de temperatura utilizados nos ambientes servidos pelo ar condicionado.
- Buscar operar com os compressores e chillers a plena carga em vez de dois ou mais com carga parcial.
- Reduzir o fluxo de ar para todas as áreas ao nível mínimo aceitável.
- Verificar as perdas em todas as juntas do compressor
- Observar as operações irregulares do compressor, tais como funcionamento contínuo e paradas e partidas freqüentes.

4.8 Análise do fator de potência

Determinados equipamentos elétricos, tais como motores e transformadores, necessitam para a sua operação de certa quantidade de energia reativa para criar o fluxo magnético que seu funcionamento exige. Entretanto, a energia reativa não executa trabalho, apenas troca energia com sua fonte de suprimento. O suprimento das cargas reativas é feito por meio das usinas geradoras de energia elétrica e também pela compensação reativa instalada pelo consumidor ou pela própria concessionária de energia elétrica.

A ANELL (2010) determina que o fator de potência mínimo, indutivo ou capacitivo, tem como limite permitido valor de 0,92, sujeito a penalidades apresentadas no capítulo 3. Sendo assim, quando o fator de potência é inferior a 0,92, o valor de excedente reativo se constituirá num potencial de economia que poderá ser obtido ao corrigí-lo.

No estudo de caso apresentado, fez-se, através da Figura 4.7 e do Quadro 4.9, algumas observações sobre o fator de potência da empresa ao longo de 2011, e em seguida, apresentou-se, de uma maneira geral, as origens e as conseqüências de um baixo fator de potência bem como alternativas para melhorar o mesmo.

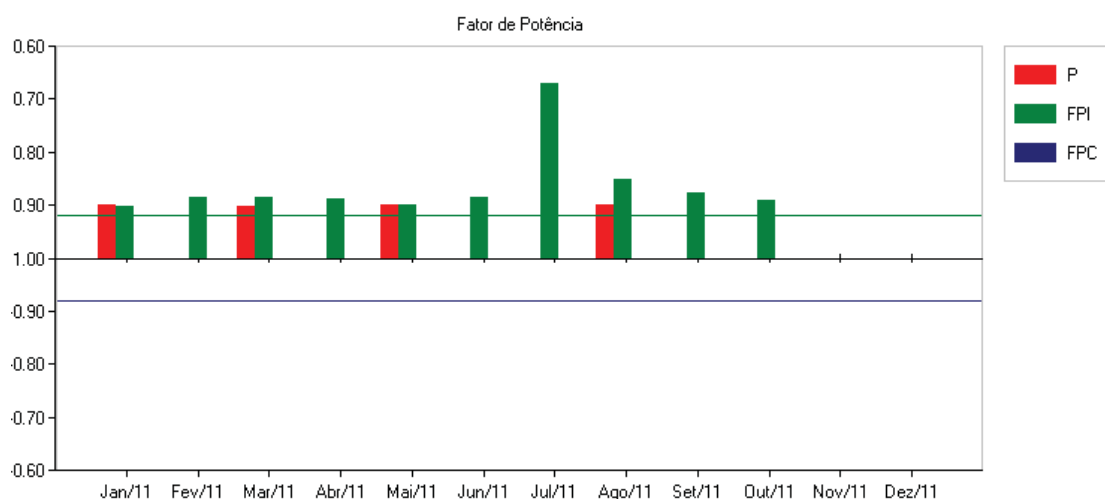


Figura 4.7 – Comportamento do fator de potência ao longo de 2011.

Quadro 4.9 – Valores do fator de potência de cada mês de 2011.

<i>Primeiro Semestre</i>				<i>Segundo Semestre</i>			
Mês	Ponta	Fora de Ponta Indutivo	Fora de Ponta Capacitivo	Mês	Ponta	Fora de Ponta Indutivo	Fora de Ponta Capacitivo
jan	0,899	0,901	1,000	jul	1,000	0,669	1,000
fev	1,000	0,886	1,000	ago	0,900	0,851	1,000
mar	0,901	0,885	1,000	set	1,000	0,876	1,000
abr	1,000	0,889	1,000	out	1,000	0,892	1,000
mai	0,898	0,899	1,000	nov			
jun	1,000	0,887	1,000	dez			

Observa-se pela Figura 4.7 e pelo Quadro 4.9 que o fator de potência na ponta esteve abaixo do limite mínimo estabelecido pela ANEEL em quatro dos dez meses medidos em 2011, enquanto que o fator de potência fora de ponta indutivo esteve abaixo do limite todos os meses medidos. É importante ressaltar que o maior problema está no fator de potência indutivo pelo fato das cargas reativas apresentarem características predominantemente indutivas. Tomando como base algumas orientações do material técnico da Celesc Distribuidora S.A (2011), segue abaixo diversas considerações sobre fator de potência. As principais origens de um baixo fator de potência podem ser elencadas em:

- a) nível de tensão da instalação acima da nominal;
- b) motores trabalhando a vazio durante grande parte do tempo;
- c) motores superdimensionados para as respectivas cargas;
- d) grandes transformadores alimentando pequenas cargas, por muito tempo;
- e) transformadores ligados a vazio, por longos períodos;
- f) lâmpadas de descarga (vapor de mercúrio, fluorescentes etc), sem correção individual do fator de potência;
- g) grande quantidade de motores de pequena potência; e
- h) sobrecargas nos motores, transformadores e circuitos de alimentação.

O baixo fator de potência mostra que a energia está sendo mal aproveitada e que, além do custo adicional pela cobrança da energia e demanda reativa excedente, as instalações elétricas ficam sujeitas a vários riscos como: redução de tensão que, por sua vez, podem ocasionar a queima de motores; perdas de energia dentro de sua instalação; redução do aproveitamento da capacidade dos transformadores; condutores aquecidos; e diminuição da vida útil da instalação.

Além dos pontos citados acima, que são relacionados ao consumidor, há também as consequências do ponto de vista do sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica, os quais têm como principais consequências a elevação das perdas no sistema elétrico, implicando na necessidade de aquisição, por parte das concessionárias, de maior quantidade de energia, cujo custo será repassado a todos os seus consumidores; degradação da qualidade da energia, implicando na insatisfação dos consumidores, podendo, também, repercutir em perdas de produção; ocupa parcela considerável da capacidade do sistema, implicando na necessidade de antecipação de investimentos no sistema elétrico, cujos custos também serão repassados aos consumidores.

Melhorar o fator de potência consiste em reduzir o consumo de energia reativa, ou seja, solicitar menos energia reativa da concessionária. Entre as alternativas mais implantadas para melhorar o fator de potência estão a alternativa operacional e a instalação de capacitores.

A alternativa operacional procura eliminar as distorções existentes na instalação tomando como medidas:

- A verificação do nível de tensão da instalação;
- O dimensionamento correto dos motores, transformadores e outros equipamentos;
- A utilização e operação conveniente dos equipamentos, como motores e transformadores.

Todavia, embora a eliminação de parte das distorções existentes não seja, em muitas vezes, o suficiente para elevar o FP a níveis desejados, esta deve ser sempre utilizada antes da opção pela alternativa da instalação de capacitores, devido a razões econômicas.

A instalação de capacitores consiste basicamente na instalação de bancos de capacitores fixos que geram uma potência capacitiva capaz de elevar o fator de potência original para um valor desejável. O valor da potência que os capacitores (P_c) devem gerar pode ser calculado pelo método analítico que se baseia-se na resolução do triângulo de potências, conforme a Figura 4.8, e tem como base a Equação 4.1.

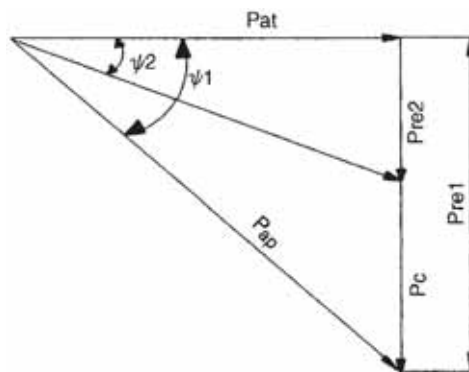


Figura 4.8 – Triângulo das potências.

$$P_c = P_{at} \times (tg \psi_1 - tg \psi_2) \quad (4.1)$$

Sendo:

- P_{at} – potência ativa, em kW;
- ψ_1 – ângulo do fator de potência original;
- ψ_2 – ângulo do fator de potência desejado.

É importante ressaltar que o ideal é que toda carga reativa seja compensada o mais próximo possível da carga.

Efetuando, portanto, uma correção adequada do fator de potência, tais medidas se refletem para o consumidor como:

- ✓ Eliminação da cobrança da energia e demanda reativa excedentes nas contas de energia elétrica;
- ✓ Redução das perdas de energia elétrica;
- ✓ Os condutores tornam-se menos aquecidos;
- ✓ Diminuição das variações de tensão;
- ✓ Liberação de uma parte da capacidade dos transformadores, que pode ser aproveitada por outras cargas.

Para os sistemas de transmissão e distribuição as melhorias ocorrem da seguinte forma:

- ✓ Liberação da capacidade do sistema, postergando investimentos no sistema elétrico, com reflexo na tarifa para o consumidor;
- ✓ Melhoria da qualidade da energia (melhores níveis de tensão, redução de oscilações de tensão entre outros);

- ✓ Redução das perdas elétricas no sistema com reflexo na tarifa para o consumidor.

Conclui-se dessa forma que a compensação reativa é fundamental para as melhorias das condições de operação do sistema, tendo como benefícios os diversos itens citados acima, e ainda contribuindo de maneira significativa para o sistema elétrico nacional com um todo.

4.9 Alternativas energéticas

Com base no capítulo 2, estudaram-se algumas possibilidades de investimentos em fontes alternativas de energia e também a viabilidade econômica de se migrar do subgrupo de recebimento de energia A4 para o A2, tendo como tensão de atendimento 88 kV.

4.9.1 Painel fotovoltaico

O estudo nessa área foi voltado para os sistemas fotovoltaicos autônomos, que efetuam a transformação da energia solar em elétrica diretamente com o intuito de discutir sua viabilidade em usá-lo no telhado de um prédio que será usado para centro de treinamento, tornando-o auto-sustentável.

Esse sistema consiste basicamente no agrupamento de painéis fotovoltaicos e outros equipamentos convencionais que transformam ou armazenam a energia para que possa ser utilizada facilmente pelo usuário. Os principais componentes desse sistema são: conjunto de módulos fotovoltaicos, regulador de tensão, sistema para armazenamento de energia e inversor de corrente contínua/alternada.

No entanto, apesar de ser uma energia limpa e renovável e apresentar baixo custo com manutenção, ela ainda possui um baixo rendimento de conversão energia solar em elétrica e, no Brasil, a utilização dessa tecnologia não tem se firmado devido ao seu elevado custo, os quais demandam grandes investimentos iniciais com tempo de retorno muito extenso.

Os subsídios no país, por parte do governo, para incentivar os empresários a investir no uso dessa tecnologia ainda é pouco, devido, principalmente, ao imenso potencial hídrico para geração de energia elétrica através das hidrelétricas e por esta ainda apresentar um custo relativamente baixo para os consumidores em relação às outras fontes de energia.

Levantaram-se os valores do quanto se pode gerar de energia elétrica com energia solar segundo as tecnologias que se têm disponível e segundo as limitações das dimensões do telhado. Chegou-se nos seguintes valores:

- Geração de energia: 129.217 kWh/ano
- Potência total do sistema: 99 kWp
- Investimento da ordem de R\$ 1.200.000,00
- *Payback*: aproximadamente 38 anos

Sendo kWp a demanda fornecida no período de maior incidência solar.

Ao apresentar os custos de implementação de um painel fotovoltaico e o tempo de retorno do investimento, a empresa descartou essa possibilidade imediatamente. A Figura 4.9 mostra, em perspectiva, como seria o telhado fotovoltaico do prédio centro de treinamento.

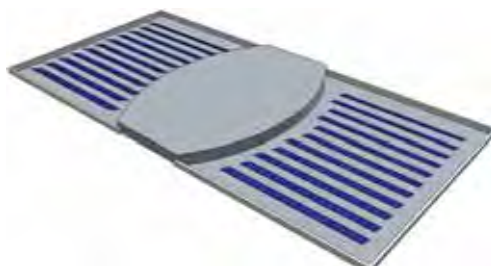


Figura 4.9 – Perspectiva do telhado com painéis fotovoltaicos do prédio centro de treinamento.

4.9.2 Gerador a diesel no horário de ponta

Muitas empresas ainda optam pelo uso de geradores a base de combustível fóssil mesmo sabendo que estes causam um maior impacto ambiental. Entretanto as leis ambientais, em busca de promover um desenvolvimento sustentável e o uso racional de energia, tem se tornado cada vez mais rígida para as empresas que optam por estes combustíveis na geração de energia elétrica.

Solicitou-se uma proposta técnica comercial para aquisição de um grupo de geradores a diesel, dimensionados para atender a demanda máxima atingida no horário de ponta, aproximadamente 1.500 kW segundo o Quadro 4.1. Para tanto, viu-se que seria necessário três geradores de 635 kVA funcionando em paralelo, com fator de potência de 0,80, trabalhando na tensão de 380 V e 60 Hz.

Apresentaram-se as vantagens e desvantagens desse sistema, mediante uma análise dos dados, deixando a critério da empresa decidir sobre a aquisição dessa alternativa.

As vantagens de se usar os geradores, para este caso, são as seguintes: energia independente da concessionária, custo de energia inferior ao custo da concessionária no horário de ponta, segurança por dispor de fornecimento de energia elétrica em situações de falha ou falta da concessionária, *payback* do investimento relativamente baixo (aproximadamente 18 meses).

As desvantagens são: inviável caso a empresa resolva migrar para o subgrupo A2, devido às tarifas deste nível de tensão ser bem mais baratas, a construção para o local dos geradores é dificultada por causa das normas de segurança, existe um maior impacto ambiental (queima de combustível fóssil) e tem-se alto custo com manutenção.

4.9.3 Migração do subgrupo A4 para A2 com tensão de atendimento de 88 kV

Como visto anteriormente, quando a demanda a ser contratada for superior a 2.500 kW, é necessário que a tensão primária de distribuição seja igual ou superior a 69 kV (ANEEL, 2010).

Esse estudo consistiu basicamente em relatar para a empresa qual a data crítica em que ela teria que migrar do subgrupo A4 para o subgrupo respectivamente acima deste, no caso o A2 com tensão primária de 88 kV por ser esta tensão a mais próxima da empresa estudada nesse subgrupo, e então, através das vantagens e desvantagens relacionando aspectos técnicos e econômicos analisar um possível investimento na migração.

As vantagens de se estar no subgrupo de alta tensão são as seguintes: energia com melhor confiabilidade, pois estas linhas de transmissão atravessam o país, e devido ao sistema energético brasileiro ser interligado tem-se um maior controle da qualidade dessa energia e equipamentos de proteção mais eficazes; as tarifas do subgrupo A2 são aproximadamente 20% menores que do subgrupo A4; as torres por onde passam tais linhas de transmissão são mais altas que as convencionais que entram nos meios urbanos e geralmente estão localizadas em lugares mais isolados e menos acessíveis aos seres humanos, sendo assim, estão menos sujeitas a vandalismos, intempéries, quedas de árvores na rede elétrica, entre outros; as interrupções de fornecimento de energia por falhas na rede são quase nulas.

A grande desvantagem é o alto investimento inicial, da ordem de R\$ 6 a 8 milhões, e o tempo de retorno geralmente varia de 5 a 8 anos. No caso da empresa do estudo de caso, observa-se pela Figura 4.3 que a necessidade de mudança de subgrupo só ocorreria no ponto 1 atingido em 2020.

Sendo assim, uma empresa de médio porte, com características de crescimento iguais a estudada, raramente optará por um investimento desse porte, preferindo, na maioria dos casos, investir em medidas de conservação de energia de menor custo a fim de declinar a curva de projeção de demanda objetivando o prolongamento do ponto crítico (ponto 1 da Figura 4.3) para uma data ainda mais longe de ser alcançada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os estudos realizados sobre o diagnóstico energético, observa-se que em muitos casos, medidas de conservação de energia se limitam ao uso de maneira mais apropriada dos próprios recursos disponíveis da empresa, sendo assim, o uso racional de energia é tanto possível quanto oportuno.

Dessa forma, pode-se perguntar: onde, então, estão as dificuldades? As maiores dificuldades estão na implementação das auditorias energéticas, sendo este problema mais de natureza cultural do que de tecnológica.

Grande parte das empresas não faz o acompanhamento sistemático de seu consumo energético por motivos como: considerar o mesmo irrelevante, por não possuir pessoal capacitado, porque a administração da empresa não enxerga a dimensão deste problema e tampouco sabe como resolvê-lo.

É neste quesito, portanto, que se deve atuar para efetivamente promover o uso racional de energia, esclarecendo, difundindo e provocando as atividades pioneiras e reprodutoras em auditoria energética. O sucesso das iniciativas bem conduzidas, certamente, leva outros a buscar trilhar os mesmos caminhos.

Um argumento equivocado sobre a melhoria da eficiência energética é relacionado ao seu custo, que muitos o consideram elevados e de difícil retorno. É necessário saber que, de fato, se o programa se limitar apenas a etapa de auditoria energética, seu retorno será nulo e sem qualquer benefício palpável. Portanto, só o diagnóstico energético não é suficiente para melhorar, mas sim, seguir suas instruções, as quais devem estar sempre respaldadas pelos seus indicadores técnicos e econômicos.

Os projetos destinados à conservação de energia, em geral, têm seu retorno de investimento em curto prazo (aceitável no meio empresarial em até dois anos), sendo que alguns deles levam bem menos tempo, chegando a algumas semanas, devido as possibilidades de ação com elevada rentabilidade. Esse cenário tem estimulado a criação de diversas parcerias entre empresas e consultoras para lucrarem com esse negócio, as quais têm se mostradas atrativas do ponto de vista econômico.

Em relação às alternativas energéticas, principalmente solar e eólica, ainda que estejam crescendo em uso no Brasil, ainda possuem algumas restrições tecnológicas e econômico-financeiras para as indústrias de pequeno e médio porte por falta de infra-estrutura e, conseqüentemente, demandando altos investimentos iniciais. Todavia, a cada parque eólico e solar criado, mais empresas buscam por formas de geração conjunta, sendo em determinado período a energia elétrica gerada por hidrelétricas e, em outro período, gerada a partir da energia solar ou eólica; o avanço das novas tecnologias depende do aprimoramento técnico e da redução de custos decorrente de uma maior participação no mercado. Com isso, o sistema elétrico nacional pode sofrer um alívio de carga, ganhando maior flexibilidade e as empresas que buscam diversificar suas fontes têm sido exemplos para as demais organizações que pretendam investir em sistemas alternativos de suprimento de energia.

Diante do exposto, conclui-se que, seja conservação de energia, eficiência energética ou alternativa energética, tudo começa com uma auditoria energética, que é o elemento essencial para a conscientização, esclarecimento e envolvimento dos recursos humanos de uma empresa com o uso racional de energia. Lembrando que não existe ação que tenha em vista o uso racional de energia que não gere de maneira direta ou indireta resultados interessantes tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. No entanto, é preciso humildade para reconhecer que promover a eficiência energética é um processo que demanda tempo, investimentos conforme o grau de complexidade e que, também, está sujeito a acertos e falhas, todavia, ao longo deste percurso se encontra o tão almejado desenvolvimento sustentável. O diagnóstico energético é apenas o início dessa jornada, mas como já diziam os antigos, o início é metade da façanha.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Alvaro Augusto W. De. **Produção de energia termelétrica no Brasil**. Disponível em: <<http://alvaroaugusto.blogspot.com/2011/07/producao-de-energia-termeletrica-no.html>>. Acesso em: 31 ago. 2011.

ANELL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução N° 394. Brasília, 1998.

ANELL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução N° 414. Brasília, 2010.

BEN, BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Resultados preliminares, ano base 2010. Brasil, 2011.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/>>. Acesso em: 26 out. 2011.

CELESC DISTRIBUIDORA S.A (Comp). **Manual técnico orientativo: Eficiência energética e gestão da energia elétrica na indústria**. Santa Catarina, 2011.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA (Brasil) (Org). **BIOMASSA NO MUNDO**. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/mundo.htm>>. Acesso em: 01 set. 2011.

CEPEL ELETROBRÁS (Org.). **Dicas para o setor industrial**. CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.fiec.org.br/acoes/energia/informacoes/dicas_industrial.htm>. Acesso em: 01 nov. 2011.

CERQUEIRA, Wagner de; FRANCISCO. **Fontes de Energia**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/fontes-energia-1.htm>>. Acesso em: 31 jul. 2011.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**. São Paulo, Prentice Hall, p.157, 2003.

FERREIRA, Michel A. **Estudo de viabilidade técnico econômica para implantação de inversores de frequência no acionamento de bombas de alimentação de caldeiras**. 2009. 96 f. Trabalho de Graduação - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

GUIMARÃES A. P. C. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2008.

GLOBAL WIND ENERGY, 2010. Annual market update 2010, EUA

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2010. 666 p.

MARQUES, Milton César; HADDAD, Jamil; MARTINS, André Ramon Silva (Org.). **Conservação de Energia**: Eficiência energética de equipamentos e instalações. 3. ed. Itajubá: Fupai, 2006. 621 p.

MARQUES, Milton César; HADDAD, Jamil; GUARDIA, Eduardo Crestana (Org.). **Eficiência energética**: Teoria e prática. Itajubá: Fupai, 2007. 244 p.

NOGUEIRA, L.A.H., **Auditoria Energética, notas de aula**, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1990

PROCEL (Org.). **Manual de tarifação de energia elétrica**: Programa nacional de conservação de energia. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2001. 44 p.

PROJETO DE TERMOELÉTRICAS DE FONTE RENOVÁVEL Disponível em: <<http://www.enercons.com.br/areas-atuacao-ofr.php>>. Acesso em: 01 set. 2011.

REIS, Lineu Belico Dos. **Geração de energia elétrica**: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. 3. ed. Barueri, Sp: Manole, 2003. 324 p.

SILVEIRA, Carlos Alexandre Cernach; GUERRA, Hélivio Neves. **ACRISE ENERGÉTICA E O MONITORAMENTO DE RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/carlos.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2011.

WORLD ENERGY COUNCIL, 2010. Survey of Energy Resources 2010, EUA

ZWEIBEL, Ken et al., Perspectivas para a energia solar. **Scientific American Brasil**, n. 69, p. 34-43, Fevereiro 2008.