

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS**  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

**GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO LADO DA DEMANDA:**

Ferramentas de controle e impacto do consumo na produção

**Enio Santos Costa**

Belo Horizonte  
2009

Enio Santos Costa

**GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO LADO DA DEMANDA:**

Ferramentas de controle e impacto do consumo na produção

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências de Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Danilo Barbosa Terra

Belo Horizonte  
2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

C837g Costa, Enio Santos  
Gerenciamento de energia elétrica pelo lado da demanda: ferramentas de controle e impacto do consumo na produção / Enio Santos Costa. Belo Horizonte, 2009.  
87f. : Il.

Orientador: Luiz Danilo Barbosa Terra  
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

1. Energia elétrica - Administração. 2. Energia elétrica - Consumo. 3. Energia elétrica – Produção. 4. Sistemas de energia elétrica – Controle. I. Terra, Luiz Danilo Barbosa. IIPontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 621.31

Enio Santos Costa

**GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO LADO DA DEMANDA:**  
Ferramentas de controle e impacto do consumo na produção

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

---

Prof. Dr. José Celso Borges de Andrade – PUC Minas

---

Prof. Dr. George Leal Jamil – UFMG

---

Prof. Dr. Luiz Danilo Barbosa Terra (Orientador) – PUC Minas

Belo Horizonte, 05 de Março de 2009.

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, que acreditaram nos meus ideais e me apoiaram incondicionalmente neste caminho em busca da realização dos meus sonhos.

À minha esposa pelo incentivo e compreensão nas horas de estudo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que me concedeu o “Dom da Vida” e tornou possível a realização de mais um sonho.

Aos meus pais, pelo otimismo e incentivo ao meu trabalho acadêmico.

Ao meu orientador e Professor Dr. Luiz Danilo Barbosa Terra, pela confiança e incentivo durante todo o trabalho.

Aos meus amigos, professores e demais funcionários da secretaria.

À MECAN (...), pelo acesso às informações.

A todos que de alguma forma participaram da minha caminhada em busca de conhecimentos.

**“Na natureza nada se cria, nada se perde,  
tudo se transforma.”**

(Antoine Laurent de Lavoisier)

## RESUMO

Este trabalho aborda o gerenciamento de energia elétrica pelo lado da demanda com ferramentas de controle e impacto do consumo na produção industrial. O principal objetivo é incorporar ao planejamento do setor elétrico a nova realidade social, econômica e política do país, principalmente, na necessidade de buscar uso mais eficiente da energia. Ele objetiva também identificar os principais mecanismos de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) implementados pelas concessionárias de energia elétrica. Para o desenvolvimento da dissertação realizou-se uma ampla pesquisa bibliográfica, abrangendo livros, literatura técnica especializada, revistas, trabalhos (teses e dissertações) concluídos e apresentados e em andamento. Foi apresentado um estudo de caso baseado nas informações de consumo de energia elétrica da empresa MECAN - Indústria e Locação de Equipamentos para Construção Ltda, que ao longo dos últimos anos trabalha a eficiência energética, através de ferramentas de gerenciamento. Enfim, o trabalho mostra que a energia elétrica ao longo dos anos se destaca cada vez mais na matriz energética mundial. Foram apresentados e discutidos diferentes métodos de gerenciamento pelo lado da demanda. O método de tarifa diferenciada horo-sazonal mostrou bons resultados na alteração na carga do cliente e no comportamento de consumo do mesmo.

**Palavras Chave:** Gestão de Energia Elétrica. Gestão pelo Lado da Demanda Tarifas Elétricas.

## **ABSTRACT**

This work addresses the management of electricity by the demand side with some tools of control and impact of consumption on industrial production. The main objective is to incorporate to the planning of the energy sector the new social, economic and political realities of the country, mainly in the need to seek a more efficient use of energy. It also aims to identify the main mechanisms for managing the energy consumption by the demand side (DSM), which the electricity utilities have been implementing. For the development of the dissertation there broad was carried out a literature search, covering books, specialized technical literature, magazines, work (theses and dissertations) completed, submitted and in progress. It is presented a case study based on information in electric power consumption of the company MECAN - Industry and Equipment Hire for Construction Ltd, which in recent years has been working with management tools for the efficiency of the energy consumption. Finally, the study shows that the electric power over the years has been increasingly impacting the global energy matrix. It is also presented and discussed different methods of managing energy consumption by the demand side. The method of hours-seasonal tariff showed good results in both the load change and the pattern of consumption of the costumer.

**Key-words:** DSM, Load Management. Price of Electricity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Gráfico da evolução da composição setorial do consumo. ....	22
Figura 2 Redução do pico .....	30
Figura 3 Preenchimento de Vales .....	31
Figura 4 Mudanças na Carga .....	31
Figura 5 Conservação Estratégica .....	32
Figura 6 Crescimento Estratégico da Carga.....	33
Figura 7 Curva de carga flexível.....	33
Figura 8 Esquema de ligação de um medidor .....	57
Figura 9 Exemplo de conta de energia elétrica .....	69
Figura 10 Instalação do equipamento no local.....	71
Figura 11 Detalhe do equipamento no local.....	71
Figura 12 Gráfico de demanda diária e do fator de potência .....	77
Figura 13 Gráfico de consumo horário .....	78
Figura 14 Gráfico de consumo diário e projeção mensal. ....	78
Figura 15 Relatório de Energia Elétrica – Resumo .....	79
Figura 16 Registro de demanda jan-03 até set-08. ....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 2 .....	25
Tabela 3 .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 4 .....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS

ALURE – Programa América Latina – Utilização Ótima de Recursos Energéticos  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
CAEMA – Companhia de Água e Esgoto do Maranhão  
CEB – Companhia Energética de Brasília  
CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica  
CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica  
CELG – Centrais Elétricas de Goiás S.A.  
CELPE – Companhia Energética de Pernambuco  
CEMIG – Centrais Energética de Minas Gerais  
CEPEL – Centro de Pesquisas da ELETROBRÁS  
CERJ – Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro  
CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco  
COELCE – Companhia Energética do Ceará  
COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento  
COPEL – Companhia Paranaense de Energia  
COPPE – Coordenação de Programas de Pós Graduação em Engenharia  
COSAMA – Companhia de Saneamento do Amazonas  
CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz  
CTEM – Comitê Técnico para Estudos de Mercado  
DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica  
EAE – Programa de Energia Alternativa e Eficientização  
EBE – Empresa Bandeirante de Energia S.A.  
EFEI – Escola Federal de Engenharia de Itajubá  
ELEKTRO – Elektro Eletricidade e Serviços S/A  
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.  
ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.  
ELETROPAULO – Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A  
EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento  
ENERSUL – Empresa Energética do Mato Grosso do Sul S.A.  
ESCELSA – Espírito Santo Centrais Elétricas

ESCO – Energy Service Company ou Empresa de Serviço de Energia

ETAC – Energy Technology Application Center

EUA – Estados Unidos da América

FBI – Federal Building Initiative

GCPS – Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos

GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda

GWh – gigawatt-hora

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética

ISE - Indústria do Setor Elétrico

kWh – quilowatt-hora

LAC – Laboratório Central de Pesquisas e Desenvolvimento

LIGHT – LIGHT Serviços de Eletricidade S.A.

NRCan – Natural Resources of Canada

PIB – Produto Interno Bruto

TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Justificativa</b> .....	<b>14</b>
<i>1.1.1 Análise do consumo de energia no Brasil</i> .....	<i>16</i>
<b>1.1.2 Características dos setores</b> .....	<b>18</b>
<b>1.1.2.1 Indústria e serviços</b> .....	<b>18</b>
<b>1.1.2.2 Residencial</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1.2.3 Transportes</b> .....	<b>20</b>
<b>1.2 Crescimento da Demanda x Oferta de Energia Elétrica</b> .....	<b>21</b>
<b>1.3 Objetivo do trabalho</b> .....	<b>26</b>
<i>1.3.1 Contribuições da dissertação</i> .....	<i>27</i>
<b>1.4 Organização do trabalho</b> .....	<b>27</b>
<b>2 GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1 Gerenciamento pelo lado da demanda (GLD)</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2 Objetivos e técnicas dos programas de GLD</b> .....	<b>30</b>
<i>2.2.1 Redução do pico</i> .....	<i>30</i>
<i>2.2.2 Preenchimento de vales</i> .....	<i>31</i>
<i>2.2.3 Mudanças na carga</i> .....	<i>31</i>
<i>2.2.4 Conservação estratégica</i> .....	<i>32</i>
<i>2.2.6 Crescimento estratégico da carga</i> .....	<i>33</i>
<i>2.2.7 Curva de carga flexível</i> .....	<i>33</i>
<b>2.3 Critérios para implementação de programas de GLD</b> .....	<b>34</b>
<b>2.4 Impactos de programas de GLD</b> .....	<b>36</b>
<i>2.4.1 Impactos sobre a concessionária</i> .....	<i>36</i>
<i>2.4.2 Impactos sobre os consumidores</i> .....	<i>38</i>
<i>2.4.3 Impactos sobre a sociedade</i> .....	<i>38</i>
<b>2.5 Tipos de programas de GLD</b> .....	<b>39</b>
<i>2.5.1 Gerenciamento da carga</i> .....	<i>39</i>
<b>2.5.1.1 Controle direto da carga</b> .....	<b>40</b>
<b>2.5.1.2 Tecnologias de comunicação</b> .....	<b>42</b>
<b>2.5.1.3 Incentivos tarifários (Controle Indireto)</b> .....	<b>45</b>
<b>2.5.1.4 Tarifas variáveis no tempo</b> .....	<b>45</b>
<b>2.5.1.5 Tarifação em tempo real</b> .....	<b>46</b>
<b>2.5.1.6 Tarifas de interrupção</b> .....	<b>47</b>
<b>2.5.1.7 Tarifas em bloco</b> .....	<b>47</b>
<i>2.5.2 Eficiência de energia</i> .....	<i>48</i>
<b>2.6 Avaliação dos programas de GLD</b> .....	<b>49</b>
<i>2.6.1 Avaliação do processo</i> .....	<i>50</i>
<i>2.6.2 Avaliação de impacto</i> .....	<i>51</i>
<b>3 EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL</b> .....	<b>52</b>
<b>3.1 A experiência dos EUA</b> .....	<b>52</b>
<b>3.2 A experiência da França em programas de GLD</b> .....	<b>53</b>

<b>4 GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	<b>56</b>
4.1 Sistemas para gerenciamento de energia elétrica .....	56
4.2 Medidores digitais de energia .....	56
4.2.1 <i>Transdutores de energia</i> .....	57
4.2.2 <i>Medidores THS</i> .....	58
4.3 Indicadores da utilização da energia .....	58
4.3.1 <i>Indicadores globais</i> .....	59
4.3.1.1 <i>Fator de carga</i> .....	59
4.3.1.2 <i>Fator de potência</i> .....	60
4.3.1.3 <i>Indicador de uso da energia por horários de utilização</i> .....	60
4.3.2 <i>Indicadores específicos</i> .....	60
4.3.2.1 <i>Indicador por consumo x produção (toneladas)</i> .....	61
4.3.3 <i>Indicadores financeiros</i> .....	61
4.4. Estrutura tarifária em Vigor .....	62
4.4.1 <i>Tarifa Convencional</i> .....	63
4.4.2 <i>Tarifa azul</i> .....	65
4.4.3 <i>Tarifa verde</i> .....	66
<b>5 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>68</b>
5.1 Introdução.....	68
5.2 O equipamento medidor .....	70
5.2.1 <i>Memória de massa</i> .....	72
5.2.2 <i>Posto Horário</i> .....	72
5.2.4 <i>Cálculos de demanda</i> .....	72
5.2.5 <i>Algoritmos de controle de demanda</i> .....	73
5.2.6 <i>Ativação dos algoritmos de controle de demanda</i> .....	74
5.2.7 <i>Combinações de medições ativas</i> .....	74
5.2.8 <i>Controle do fator de potência</i> .....	75
5.2.9 <i>Alarmes</i> .....	75
5.3 Sistema de gerenciamento .....	76
5.3.1 <i>Resultados obtidos</i> .....	80
5.4 Conclusão do Estudo de Caso.....	81
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>83</b>
6.1 Conclusões e Recomendações.....	83
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Numa sociedade modernizada, a energia elétrica é fundamental para a manutenção da qualidade de vida do cidadão, sabendo-se que ela não está relacionada somente ao crescimento econômico do país mas, também, à garantia do acesso, de todos, aos bens e serviços de primeira necessidade. A construção de possibilidades técnicas para se continuar oferecendo os serviços necessários utilizando menos quantidade de energia e de desvincular crescimento econômico e um maior consumo energético, obrigou uma mudança de paradigma<sup>1</sup> na relação oferta e demanda de energia elétrica.

### 1.1 Justificativa

A energia é uma condição determinante para o estabelecimento do bem estar e da qualidade de vida da população mundial, para o atendimento de níveis mínimos de saúde, educação e conforto. É igualmente imprescindível à infra-estrutura da atividade econômica, na realização de atividades de transformação e de produção, desde o período industrial até a atual era da informação. O aumento destas atividades e o desenvolvimento sócio-econômico têm feito a demanda por energia crescer a níveis que restringem a disponibilidade de recursos energéticos (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001).

A obtenção de energia a partir destes recursos implica em diversos tipos de impactos negativos inevitáveis, ainda que em maior ou menor escala, de acordo com a fonte energética explorada. Estes impactos, muitas vezes considerados marginais sob uma perspectiva técnico-econômica de análise, não são integralmente abordados dentro do paradigma tradicional de planejamento energético (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001).

O tratamento destes impactos no processo de planejamento energético, através da minimização de custos e maximização de benefícios de ordem geral

---

<sup>1</sup> Ferdinand de Saussure define como paradigma o conjunto de elementos similares que se associam na memória e, assim, formam conjuntos.

(política, social, ambiental e sócio-econômica) deve ocorrer não apenas por meio da avaliação de recursos energéticos de oferta em termos de custos e impactos mas, também, por metodologias que apontem para a inclusão de alternativas do lado da demanda, representadas por medidas de gerenciamento de carga, eficiência energética e uso consciente e racional da energia nos diversos setores de consumo (UDAETA, 1997).

Nas últimas décadas, ocorreram mudanças significativas no modo de vida da sociedade e, conseqüentemente, no consumo de bens e serviços, principalmente no setor elétrico, cujo mercado tem criado e aprimorado equipamentos, com diversos graus de eficiência, ocasionando grandes alterações na demanda de energia elétrica (MEDEIROS, 1996).

A busca de soluções para o problema de fornecimento abrange, entre outras alternativas, a construção de novas usinas hidroelétricas e termoelétricas, a importação de energia elétrica de países vizinhos, a implementação de campanhas de combate ao desperdício de energia e o investimento em ações que promovam a conservação de energia elétrica (MEDEIROS, 1996).

As alternativas que visam o uso racional e a conservação de energia elétrica apresentam, geralmente, elevado custo e tempo de retorno do investimento. Os resultados obtidos através da redução do consumo são imediatos, tornando o uso racional e a conservação de energia elétrica uma alternativa, de certa forma, natural e eficaz para a minimização do problema de fornecimento a curto prazo (MEDEIROS, 1996).

A regularização dos mercados, margens de lucratividade e critérios de qualidade nos serviços prestados deverão forçar as empresas a conhecer melhor seu público-alvo e suas demandas por serviços nessas áreas. Essas informações são imprescindíveis, pois permitirão gerir os riscos dos diversos mercados de que participam, aumentando suas possibilidades de permanência e sucesso (MEDEIROS, 1996).

Por outro lado, nota-se uma constante preocupação do poder público por dimensionar a demanda de energia elétrica em regiões do país e propor soluções indicativas de racionalização e geração de energia que a atenda, de forma a que se reduza a necessidade de investimentos (MEDEIROS, 1996).

### 1.1.1 Análise do consumo de energia no Brasil

Os dados apresentados neste tópico foram extraídos do Balanço Energético Nacional, disponível (BRASIL, 2005).

Cada país tem particularidades na sua matriz energética. Algumas das características mais marcantes da matriz brasileira atual são: a alta participação das hidrelétricas na geração; a importância da biomassa industrializada em cadeias especializadas de suprimento (principalmente carvão vegetal na siderurgia e o complexo canavieiro). Conforme Tabela 1, de consumo final de energia por fonte segundo os setores (%), a mesma resume o perfil do uso dos energéticos por setor de consumo final da energia em 2005.

**Tabela 1 - Consumo final de energia por fonte segundo os setores (%) – 2005<sup>2</sup>**

<b>Setores</b>	<b>Petroleo</b>	<b>Biomassa</b>	<b>Eletricidade</b>	<b>Total</b>
Energético	8,9%	14,7%	3,6%	9,1%
Comercial	0,6%	0,3%	14,3%	5,1%
Público	0,7%		8,7%	3,1%
Residencial	6,6%	16,0%	22,2%	14,9%
Agropecuário	5,6%	4,0%	4,2%	4,6%
Transporte	50,5%	12,7%	0,3%	21,2%
Industrial	13,8%	52,3%	46,7%	37,6%
Outros	13,3%			4,4%
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: elaboração própria baseado no BEN (2005).

Constata-se que:

- a) A indústria é o setor que mais consome energia elétrica, guardando uma enorme diferença entre ela e o segundo maior consumidor. É de longe o maior setor de consumo de eletricidade. É o segundo maior setor do consumo dos combustíveis fósseis. Em alguns subsetores, há um consumo importante da energia de diversas formas de biomassa, como o

<sup>2</sup> (a) Petróleo inclui GNP; (b) Biomassa inclui bagaço de cana, lenha, outras fontes primárias renováveis, carvão vegetal e álcool.

carvão vegetal na siderurgia e os resíduos da cana na produção do açúcar;

- b) O transporte é o setor de maior peso no consumo final de combustíveis fósseis e predomina no consumo do petróleo. O transporte rodoviário consome mais de 90% dos combustíveis no setor. A participação do transporte no consumo da eletricidade é insignificante;
- c) O consumo dos setores comercial e público é dominado pela eletricidade. A eletricidade também domina o consumo do setor residencial.

O Brasil, com uma Oferta Interna de Energia – OIE per capita de 1,19 tep<sup>3</sup>, em 2005, se situa bem abaixo da média mundial (1,77 tep/hab – dado de 2004), abaixo da Argentina (1,66) e muito abaixo dos USA (7,91). Já a OIE de 0,31 tep/mil de US\$ 2000 em relação ao Produto Interno Bruto – PIB, se mostra mais alta, comparativamente à Argentina (0,22), USA (0,22) e Japão (0,11). Este último indicador mostra que, por unidade de PIB, o Japão necessita consumir, em energia, cerca de um terço do que o Brasil consome para uma mesma unidade de produção de valor. Na condição de exportador de aço, alumínio, ferroligas, celulose, açúcar e outros produtos de baixo valor agregado, o Brasil apresenta estrutura produtiva intensiva em energia e capital, o que explica parte dessa disparidade (BRASIL, 2005).

O PIB brasileiro cresceu 2,3% em 2005, desempenho resultante do crescimento de 2,5% da indústria, de 0,8% da agropecuária e de 2,0% dos serviços. A OIE apresentou crescimento de 2,3%, taxa semelhante à do PIB. O gás natural continuou, em 2005, a aumentar sua participação na OIE, passando de 8,9% em 2004 para 9,4% em 2005, resultado da sua crescente utilização na indústria e no transporte. A energia hidráulica apresentou pequeno crescimento, indo para 14,8% e as fontes renováveis mantiveram participação em torno de 44%.

---

<sup>3</sup> tep (tonelada equivalente de petróleo)

### **1.1.2 Características dos setores**

Cada grande setor de consumo de energia tem características próprias que trazem implicações para a definição de políticas eficazes. Serão abordados alguns pontos sobre cada setor.

#### **1.1.2.1 Indústria e serviços**

De acordo com (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001), o setor industrial tem a maior diversidade de processos envolvendo a transformação da energia. Grande parte do consumo está concentrada em alguns poucos subsetores energo-intensivos (como a siderurgia, química, metais não ferrosos etc.) e em um número relativamente pequeno de empresas (aproximadamente 200). Nas indústrias mais energo-intensivas, o uso da energia pode ser dezenas de vezes maior por \$ de valor agregado e por emprego nas indústrias leves. Essas indústrias leves produzem 50% do PIB industrial e têm coeficientes de energia / valor agregados não muito diferentes de alguns setores dos serviços.

Ainda segundo (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001), em comparação com o setor industrial, os serviços têm um elenco menor de processos energeticamente importantes. Outra diferença importante são as intervenções nos processos energéticos, geralmente, são menos sensíveis do ponto de vista empresarial. Muitos equipamentos utilizados são de produção em massa (computadores, Xerox, etc.). Ao mesmo tempo, o perfil do consumo elétrico varia muito entre segmentos (shopping centers, restaurantes, escritórios, hospitais etc.).

O assunto energia é alheio à atividade-fim da grande maioria das empresas, pois a energia tem uma participação pequena (menos de 5%) nos custos totais.

De modo geral, o nível de conscientização ainda é baixo e o custo da energia é tratado como um custo fixo. O monitoramento do uso de energia muitas vezes é mínimo. Até grandes consumidores desconhecem o custo real do vapor, por exemplo, que utilizam. A crise de energia e o racionamento mudaram esse quadro,

desviando a atenção das pessoas para esse fato. Porém, o efeito pode ser apenas temporário para a maioria das empresas.

### **1.1.2.2 Residencial**

O consumo elétrico dos consumidores residenciais é proporcional à renda, à posse de eletrodomésticos e à região onde se situam. A procura por serviços energéticos certamente aumentará, haja vista o fato de que a saturação de mercado de alguns eletrodomésticos intensivos de energia ainda é baixa. Os primeiros dois anos de estabilidade macroeconômica deram um exemplo da demanda latente. Houve uma explosão de compras de eletrodomésticos, especialmente nas camadas de menor renda beneficiadas pela queda da inflação (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001).

Um fator determinante na evolução futura do consumo energético será a eficiência dos novos eletrodomésticos vendidos e o seu uso adequado. O potencial de redução do consumo específico de alguns tipos de eletrodomésticos é significativo. A produção da grande maioria dos eletrodomésticos hoje é feita por empresas multinacionais, o que deve facilitar a transferência de pelo menos parte dos ganhos de eficiência conseguidos no exterior para o Brasil. Neste mercado de produtos de massa, porém, a experiência tem mostrado que é importante haver uma ação política sempre presente, como ocorre nos Estados Unidos e tem sido observado no Brasil com a ação do PROCEL (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001).

Os consumidores de baixa renda representam um desafio especial. Geralmente são introduzidos no mercado consumidor via equipamentos ineficientes. Muitos compram equipamentos de “segunda mão”. Ao comprar equipamentos novos, buscam os mais baratos ou com melhor financiamento. Assim, os pobres acabam sendo consumidores bem mais intensivos de energia por unidade de serviço energético.

A crise de energia elétrica e o racionamento tiveram um grande impacto no setor residencial. Foi o setor que conseguiu as maiores reduções nos primeiros dois meses do racionamento e a conscientização das famílias foi grande. O desafio no

setor é transformar parte da conscientização temporária em comportamento permanente, especialmente, em relação à compra de novos equipamentos domésticos.

### **1.1.2.3 Transportes**

O setor de transportes foi o que mais puxou o crescimento dos combustíveis fósseis em anos recentes. O mercado dos transportes está passando por grandes mudanças estruturais e tecnológicas que devem se acelerar, tanto no Brasil como no mundo. Pelo grande número e diversidade dos agentes envolvidos, é um setor muito complexo para uma política de fomento da eficiência. Ao mesmo tempo, é o setor menos estudado no Brasil e, provavelmente, no mundo (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001).

O mercado dos transportes é composto de segmentos com características muito distintas. As diferenças entre o mercado de carros individuais por um lado e os transportes aéreos ou de carga pesada por outro lado são quase tão significativas quanto as diferenças entre os mercados do setor residencial e as indústrias (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001).

Infelizmente, as análises disponíveis não permitem a discriminação precisa entre categorias como transporte de carga e passageiros<sup>4</sup>. No entanto, há duas áreas claramente de grande importância: (1) o transporte rodoviário de carga e sua inserção nos transportes interurbanos de carga; (2) o carro individual e sua inserção nos transportes urbanos. Esses segmentos são os principais “motores” do crescimento rodoviário, que domina os transportes (90,5% do consumo dos combustíveis) (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001).

No Brasil, a eficiência dos veículos reflete cada vez mais as tendências internacionais devido à abertura relativa da indústria automobilística nacional e ao padrão do "carro mundial" das montadoras. Até o início dos anos 90, manteve-se praticamente uma reserva de mercado, com uma defasagem tecnológica em muitas áreas. Em princípio, a maior abertura internacional deve facilitar os avanços na eficiência.

---

<sup>4</sup> O Balanço Energético Nacional (BEN) divide o consumo em grandes modalidades – ferroviário, aéreo, hidroviário e rodoviário. Não há diferenciação entre carga e passageiros.

## 1.2 Crescimento da Demanda x Oferta de Energia Elétrica

As informações aqui expostas foram totalmente baseadas no Plano Decenal de expansão PDE 1999/2008 publicado pela ELETROBRÁS em 1999. A partir do período conhecido como milagre brasileiro (1968-1973), ocorreu expressiva expansão da economia, com conseqüente aumento da renda per capita nacional bem como do consumo de energia elétrica. Ao longo da década de 70, o consumo de energia elétrica por unidade do produto evoluiu de 0,162 kWh/US\$ para 0,215 kWh /US\$ e o consumo per capita de 430 kWh / habitante para 1.025 kWh / habitante (ELETROBRAS, 1999).

Como conseqüência, a participação da eletricidade no balanço energético nacional saltou de 17% para 28% e a <sup>5</sup> elasticidade-renda média dessa década foi de 1,37 (ELETROBRAS, 1999).

Nos anos 80, o consumo de energia elétrica foi impulsionado pela maturação dos projetos industriais previstos no II PND - Plano Nacional de Desenvolvimento, implantados a partir do final dos anos 70, bem como pela queda constante do nível tarifário.

Em 1990, o consumo de energia elétrica por unidade do PIB atingiu 0,326 kWh/US\$ e o consumo per capita de energia elétrica chegou a 1.510 kWh/hab., com 37% de participação da energia elétrica no balanço energético nacional e elasticidade-renda de 3,71 (ELETROBRÁS, 1999).

No período 1990/1994, o crescimento médio anual do consumo total de energia elétrica foi de 3,7%, situando-se acima do PIB, de 2,3% ao ano. Já no período 1994/1997, o consumo cresceu 5,3% ao ano e o PIB 3,6% ao ano (ELETROBRÁS, 1999).

No ano de 1998, em conseqüência das medidas econômicas adotadas pelo Governo Federal, o PIB cresceu apenas 0,2% ao passo que o mercado de energia elétrica cresceu 4,3% ao ano e o consumo per capita atingiu 1.889 kWh / habitante e a participação da eletricidade no balanço energético situou se em torno de 38% .

O comportamento da demanda de energia elétrica mostra a existência de um componente inercial na dinâmica do mercado de energia elétrica, que induz seu

---

<sup>5</sup> A elasticidade mede a proporcionalidade existente entre as variações que ocorrem nas quantidades as variações provocadas em um fator qualquer, permanecendo todos os demais fatores constantes (ceteris paribus).

crescimento ainda que a economia esteja em crise. Esse componente inercial foi sustentado pelo desempenho da classe residencial e comercial, visto que a classe industrial foi impactada pelas medidas de ajuste econômico adotadas para enfrentar a crise econômica internacional.

A evolução do mercado nas últimas décadas mostra que as regiões menos desenvolvidas têm apresentado taxas de crescimento maiores no consumo de energia elétrica, quando comparadas com as regiões mais desenvolvidas. As disparidades regionais ainda são expressivas, o que indica a existência de um mercado potencial suficiente para sustentar taxas de expansão relativamente elevadas. Assim, espera-se que ocorra um decréscimo da participação relativa das regiões Sul/Sudeste no consumo nacional de eletricidade, por serem de maior desenvolvimento sócio-econômico, ao mesmo tempo em que ocorra uma elevação da participação relativa das demais regiões do país.

### CONSUMO DE ELETRICIDADE - TWh

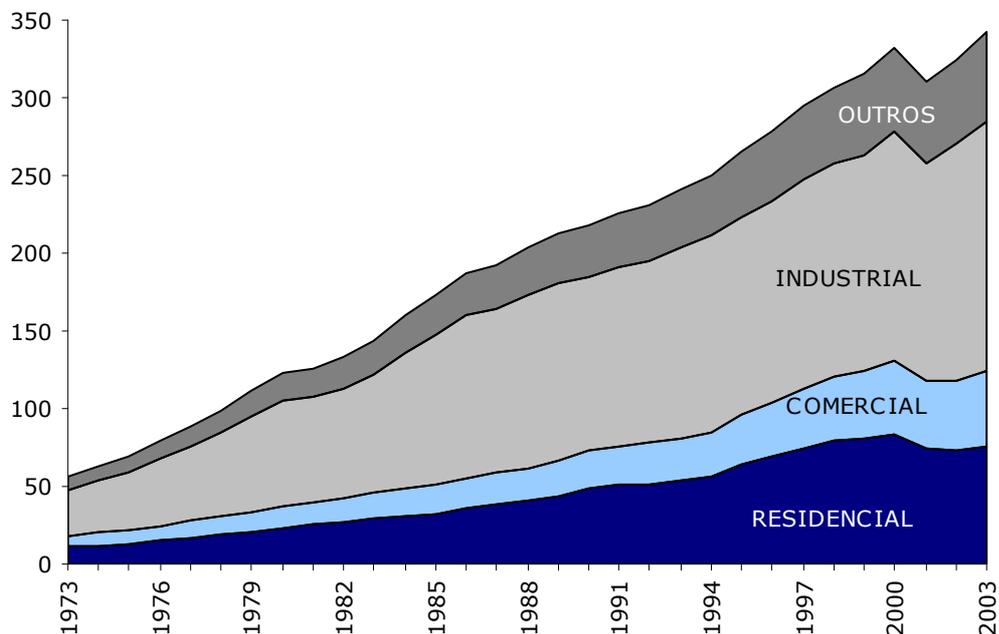


Figura 1- Gráfico da evolução da composição setorial do consumo.  
Fonte: BRASIL, 2005.

O Gráfico da figura 1 mostra a evolução da composição setorial do consumo de energia elétrica no país no período 1973-2003. Ele mostra a estrutura de

consumo de energia elétrica com uma forte concentração na Indústria (46,2%), seguido do uso residencial (22,6%). As quedas verificadas nos anos 2001 e 2002 foram decorrentes das restrições impostas pelo racionamento de energia elétrica, que atingiu todas as classes de consumidores (BRASIL, 2005).

Aproximadamente 40,5 milhões de domicílios são atendidos pelo serviço de eletricidade, o que corresponde a 96% do total de domicílios no país (ELETROBRAS, 2001). Vale lembrar que, nos últimos 30 anos, o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu à taxa média anual superior à do consumo global de energia e da economia, sendo impulsionada pelos seguintes fatores (ELETROBRAS, 2001):

- a) Crescente procura pelo serviço a partir dos diversos setores consumidores;
- b) Adequação da oferta através da disponibilização de energia elétrica aos consumidores finais pela expansão dos sistemas de geração, transmissão e distribuição;
- c) Preços da eletricidade acessíveis a todas as classes de consumidores, principalmente ao setor industrial;
- d) Opção prioritária pela geração hidráulica, que tornou o setor elétrico menos vulnerável às crises internacionais do petróleo e à correspondente volatilidade dos preços dos combustíveis.

A eletricidade penetrou mais que outros serviços e bens na economia e na sociedade brasileiras, resultando em um crescimento do mercado de energia elétrica superior ao da economia. Como consequência, a participação da energia elétrica no consumo final energético passou de 17% em 1970, para mais de 43% em 2003.

De acordo com o PROCEL (PROCEL, 1999), a eletricidade é responsável por 64,2% de toda a energia consumida pelo setor residencial, sendo que a estrutura do consumo de energia elétrica deste setor é distribuída segundo seus usos finais da seguinte forma:

- a) Refrigeração (geladeira e freezer) - 32%;
- b) Aquecimento de água (chuveiro elétrico) - 26%;
- c) Iluminação - 24%;
- d) Outros - 18%.

Constatou-se que a geladeira e o freezer constituem o uso de energia de maior consumo elétrico no setor residencial, com participação de 32%, e respondem por 9% do consumo global de energia elétrica do país. Embora a maioria das geladeiras utilizadas no país seja do modelo de uma porta (que consome menos energia), a inserção dos modelos de duas portas vem experimentando um expressivo crescimento (PROCEL, 1999).

De acordo com o PROCEL (1999), cerca de 17% do consumo de energia elétrica no Brasil destina-se à iluminação. Desses, cerca de 70% são usados, em partes iguais, pelos setores residencial e comercial, 25% para iluminação pública e 5% pela indústria.

Na mesma direção, estudos realizados pela CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz mostram que o consumo de energia elétrica no setor residencial compreende basicamente três usos finais (COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ, 2005):

- a) Conservação de alimentos – 25% a 30% do consumo residencial;
- b) Aquecimento de água – 25% a 35% da energia elétrica consumida;
- c) Iluminação – 15% a 25% do consumo.

Os demais eletrodomésticos: televisão (10% a 15%), ar condicionado (2 a 5%), ferro elétrico (5 a 7%), máquina de lavar roupas (2 a 5%), etc., respondem pelo restante de energia consumida.

Através da pesquisa de posse de eletrodomésticos e hábitos de consumo realizado pelo PROCEL e PUC RIO, pode-se conhecer as atitudes e comportamentos dos consumidores residenciais (PROCEL, 1999). Quanto à posse e aos hábitos de consumo, algumas conclusões extraídas da pesquisa apontam:

- a) Os eletrodomésticos mais adquiridos após a estabilização econômica proporcionada pelo Plano Real foram os televisores e aparelhos de som. Por um lado, a posse de televisores já parece estar atingindo a saturação (hoje há em média mais de uma TV por domicílio pesquisado), por outro, o mesmo não pode ser dito com relação às geladeiras e freezers. Em 1995, 75% dos domicílios brasileiros possuíam pelo menos uma geladeira. Em 1988, esta saturação era de 63%;

- b) É elevado o número de lâmpadas incandescentes, comparativamente às fluorescentes, embora já se observe um ligeiro processo de substituição em algumas concessionárias. As lâmpadas de 60W são as incandescentes mais comuns.
- c) Os aparelhos de ar condicionado só têm presença significativa nas áreas da LIGHT e CERJ. A posse é pequena nos domicílios atendidos pela CELPE, CEAL e ESCELSA e inexistente nas residências atendidas pelas demais concessionárias. Em contrapartida, é elevada, e continua crescente, a posse de ventiladores de teto, que contribuem para a instalação de lâmpadas incandescentes adicionais;
- d) É praticamente desprezível a presença de chuveiros elétricos nos lares nordestinos, Tabela 2:

**Tabela 2 - Chuveiros em lares nordestinos**

<b>Concessionária de energia</b>	<b>Presença de chuveiros</b>
COELBA	0,34%
CELB	0,23%
CELPE	0,20%
SAELPA	0,16%
CEAL	0,14%
Fonte: Elaboração própria	

Nas demais regiões pesquisadas ocorre o oposto, mais de um chuveiro / domicílio na área da COPEL e nas concessionárias do Centro-Oeste e São Paulo;

- e) O ferro elétrico está presente em quase todos os domicílios pesquisados;
- f) A presença de freezer é baixa nos domicílios. As maiores posses médias estão na CEB e LIGHT;
- g) A tendência observada nas intenções declaradas para os próximos atos de compra está ligada à “linha branca”. Particularmente, geladeiras e freezers são as prioridades das próximas aquisições dos consumidores;

- h) Constatou-se que a posse de eletrodomésticos, em alguns casos, é incompatível com a faixa de consumo medida, numa forte indicação de possíveis fraudes.

Pode-se verificar que a dependência crítica da economia moderna em relação à energia em suas diversas formas salienta a necessidade de um uso mais racional e efetivo, por toda a sociedade, dos recursos energéticos, principalmente os não renováveis. A demanda de energia elétrica é suprida pelas fontes comerciais tradicionais como os combustíveis fósseis tipo petróleo, carvão e gás, assim como pelas fontes renováveis tais como a energia hidrelétrica, a biomassa, a energia solar, eólica e a energia advinda do aproveitamento das marés (CAMARGO, 2002).

O setor energético tem a característica de necessitar de grandes investimentos de capital. Algumas nações em desenvolvimento, por exemplo, chegam a gastar mais de 30% de seu orçamento total em empreendimentos energéticos. O Banco Mundial dedica cerca de 25% dos seus empréstimos para projetos energéticos (JANNUZZI, 1997).

A necessidade de capital para expansão dos sistemas de energia elétrica gera pressões sobre os governos e sobre o sistema financeiro internacional. Majorar a capacidade elétrica instalada nos mercados emergentes e nos países em desenvolvimento irá requerer investimentos que excedem as possibilidades de financiamento dos órgãos de fomento no âmbito mundial, mesmo porque a energia elétrica não é o único setor da infra-estrutura a demandar investimento. Em realidade, os órgãos de financiamento e os investidores irão privilegiar os projetos que oferecerem os melhores benefícios líquidos. Neste sentido, onde antes se consagrava o uso das estatais como instrumento de política social hoje se fala em eficiência (CAMARGO, 2002).

### **1.3 Objetivo do trabalho**

Fica claro, a partir do exposto, que novos caminhos devem ser trilhados na questão energética, buscando incorporar ao planejamento do setor elétrico a nova realidade social, econômica e política do país, principalmente na necessidade de

buscar uso mais eficiente da energia. Uma das novas possibilidades que se abre para o planejamento do setor elétrico é o emprego do gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), buscando integrar efetivamente o consumidor no sentido de uso mais eficiente dos recursos disponíveis.

O GLD diz respeito ao planejamento, à implementação e acompanhamento daquelas atividades que modificam a curva de carga dos consumidores. Isto pode ser feito adotando tecnologias e processos mais eficientes que irão substituir os menos eficientes, e também, por técnicas de gerenciamento e fontes alternativas de energia, como a cogeração, resultando em reduções globais e significativas no uso da energia (CAMARGO, 2002).

Este trabalho objetiva identificar os principais mecanismos de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) que vêm sendo implementados pelas concessionárias elétricas.

### **1.3.1 Contribuições da dissertação**

- a) Apresentar e discutir as diversas técnicas de GLD;
- b) Expor a implementação das técnicas de GLD, compatíveis com o contexto de operação das concessionárias brasileiras de distribuição de energia elétrica;
- c) Ilustrar as vantagens técnicas e econômicas que podem ser alcançadas com a utilização do gerenciamento de carga.

## **1.4 Organização do trabalho**

Para o desenvolvimento desta dissertação, inicialmente realiza-se pesquisa bibliográfica, abrangendo livros, literatura técnica especializada, revistas, trabalhos (teses e dissertações) concluídos, apresentados e em andamento.

No presente capítulo 1, procurou-se realizar uma breve introdução ao tema do trabalho, realçando a sua relevância, seus objetivos e organização.

No capítulo II, são apresentadas as noções e definições de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD). O objetivo dessa exposição é fornecer informações

básicas sobre os fundamentos dos programas de gerenciamento pelo lado da demanda.

No capítulo III, com a finalidade de dar consistência ao trabalho mostraremos relatos de algumas experiências internacionais bem sucedidas na implantação de programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD).

No capítulo IV, são discutidos aspectos da gestão de energia elétrica, esclarecendo os conceitos envolvidos, os objetivos almejados e suas principais características, evidenciando a sua importância nos dias de hoje.

No capítulo V, é tratado em detalhes, o medidor digital com todas suas características, a aplicação dos conceitos de GLD é discutida na forma de estudo de caso no qual se analisa a carga de consumo empresa MECAN - Indústria e Locação de Equipamentos para Construção Ltda.

No capítulo VI, são discutidas as contribuições deste trabalho, apresentado-se as conclusões sobre o estudo realizado e comentários finais, bem como as discussões sobre desdobramentos e futuros desenvolvimentos, novos estudos que podem ser realizados.

## **2 GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA**

### **2.1 Gerenciamento pelo lado da demanda (GLD)**

O Gerenciamento pelo Lado da Demanda – GLD é um conjunto de ações planejadas, voltadas para administrar a demanda de energia elétrica no interesse da concessionária de distribuição, possibilitando a concessionária conhecer o perfil de consumo dos consumidores, além de permite ao consumidor conhecer e administrar o consumo de cargas na sua instalação, induzindo-o à mudança de hábitos de consumo, buscando, em última análise, a racionalização do seu consumo e a redução da sua conta de energética. Isto é feito através do deslocamento de cargas de consumidores dentro do período diário de consumo. Normalmente, o GLD tem como objetivo reduzir a demanda máxima de determinada região, trazendo como consequência alívio nos circuitos e transformadores de transmissão, com imediata redução de perdas no suprimento e economia na geração de energia (RAAD, 2001).

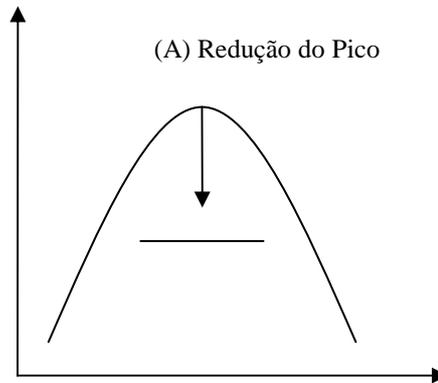
Um projeto de GLD pode constituir-se em alternativa à expansão do sistema elétrico a partir da análise de um plano integrado de ações, que contempla opções no lado da oferta de energia e no lado da demanda. Essa análise exige a integração das equipes de uma concessionária, o que possibilita a discussão de estratégias de interesse da empresa. De modo geral, as opções do lado da demanda se apresentam economicamente mais atraentes que aquelas do lado da oferta.

O conhecimento, por parte da concessionária, das particularidades e características do uso final da energia é fundamental para a otimização de suas atividades e, como tal, ela deverá se instrumentalizar para atuar decididamente neste campo. Através da análise do uso da eletricidade, pode-se levar em conta a elasticidade de longo prazo da demanda, definindo o marketing e a política de preços da empresa.

Os programas de GLD permitem ainda uma visão pormenorizada de cada segmento de mercado, no sentido de identificar oportunidades e de orientar o consumidor com ações de administração de cargas e medidas conservacionistas (ZAGUIS, 1991).

## 2.2 Objetivos e técnicas dos programas de GLD

### 2.2.1 Redução do pico



**Figura 2 - Redução do pico**  
**Fonte: elaboração própria**

Rebaixamento de pico (*peak clipping*): diz respeito a uma das mais clássicas formas de gerenciamento de carga como mostra a figura 1. Rebaixamento de pico é definido como a redução da carga de ponta, conseguido geralmente através do controle direto, pela empresa de energia, de um aparelho de uso final. Muitas empresas consideram esta opção apenas para momentos absolutamente críticos de pico no sistema. Mas o controle direto de carga pode ser usado para reduzir os custos de operação e a dependência de fatores como combustíveis (na geração térmica) e água (na geração hidroelétrica) (JANNUZZI, 1997).

Esta modalidade de controle de carga tem aplicação entre grandes consumidores, nos casos onde há diferenciação da tarifa conforme a demanda contratada, como nos setores comercial e industrial. No setor residencial, o uso de controladores de demanda não repercute em vantagens econômicas para o consumidor residencial, dada a inexistência de tarifas diferenciadas pela demanda. Contudo, é uma medida favorável ao sistema elétrico, na medida em que é capaz de proporcionar benefícios técnicos ao evitar sua sobrecarga.

### 2.2.2 Preenchimento de vales

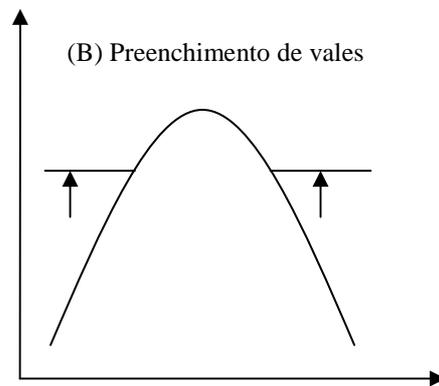


Figura 3 - Preenchimento de Vales  
Fonte: elaboração própria

Preenchimento de vales (*valley filling*): é a segunda forma clássica de gerenciamento da carga figura 3. Deseja-se preencher os vales existentes fora do horário de pico. O preenchimento de vales pode ser alcançado por meio de medidas como o armazenamento de energia, deslocando o consumo para horários de menor demanda da rede e tarifas diferenciadas por horários ou períodos do dia. O preenchimento de vales, ou seja, o aumento do consumo energético em horários menos requisitados do dia pode ser interessante nos casos em que o custo marginal de energia supera os custos médios (CAMARGO, 2002).

### 2.2.3 Mudanças na carga

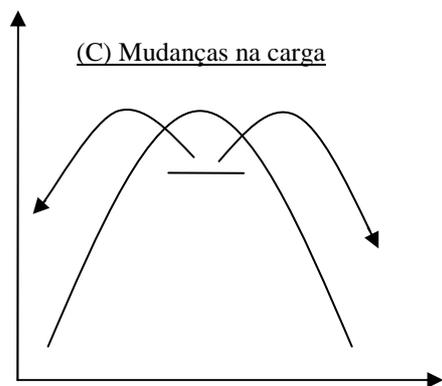


Figura 4 - Mudanças na Carga  
Fonte: elaboração própria

Mudanças na carga (*load shifting*): é a terceira forma clássica de gerenciamento de carga figura 4. Ela envolve o deslocamento da carga do horário de pico para o horário fora do pico. Uma aplicação interessante é o deslocamento do horário de uso do chuveiro elétrico, principal causador do horário de pico no Brasil (DNAEE, 1985).

#### 2.2.4 Conservação estratégica

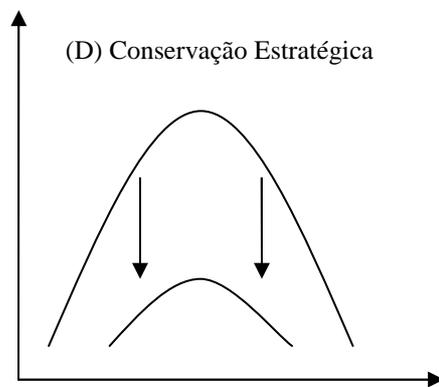


Figura 5 - Conservação Estratégica  
Fonte: elaboração própria

Conservação estratégica (*strategic conservation*): esta alteração da curva é proporcionada pela redução geral do consumo, e não está restrita a apenas determinado período do dia. Este tipo de redução pode ser proporcionado pelas medidas de efficientização para todos os setores de consumo, pela utilização de outros recursos energéticos em substituição ao uso da rede como a energia solar alimentando painéis ou coletores, ou pela energia proveniente de combustíveis fósseis transformada a partir de geradores. É uma mudança na curva de carga que ocorre, geralmente, pelo incentivo à troca de aparelhos de uso final por modelos mais novos e eficientes. Na implementação desta modalidade, a empresa deve considerar que conservação ocorreria naturalmente, avaliando, então, as possibilidades custo-efetivo para acelerá-las e estimulá-las. (CAMARGO, 2002).

### 2.2.6 Crescimento estratégico da carga

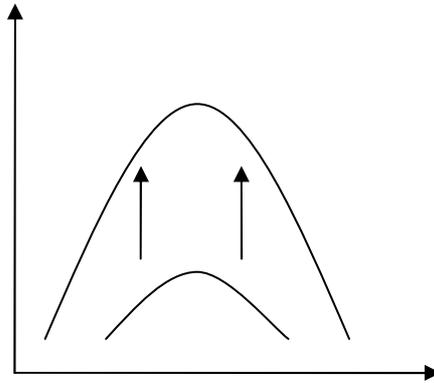


Figura 6 - Crescimento Estratégico da Carga  
Fonte: elaboração própria

Crescimento estratégico da carga (*strategic load growth*): é um crescimento da carga a partir do crescimento do consumo de energia em período integral, estimulada pela empresa, além do preenchimento de vales anteriormente descrito. Este crescimento pode ocorrer, por exemplo, através de incentivos para a substituição de óleo combustível por eletricidade em caldeiras industriais. Para o futuro, através de novas tecnologias (como veículos elétricos), a tendência é o crescimento geral da carga. (CAMARGO, 2002).

### 2.2.7 Curva de carga flexível

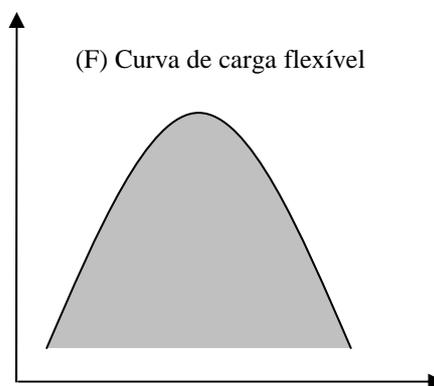


Figura 7 - Curva de carga flexível  
Fonte: elaboração própria

Curva de carga flexível (*flexible load shape*): é um conceito relacionado à confiabilidade no planejamento futuro, isto representa uma situação na qual a concessionária tem a possibilidade de criar uma curva de carga flexível que pode acomodar a demanda dos consumidores em suas características operacionais. Por exemplo, em um sistema hidroelétrico durante a estação da seca, a concessionária está interessada em reduzir a demanda de eletricidade, mas durante a estação úmida ocorre a situação oposta. (CAMARGO, 2002)

### **2.3 Critérios para implementação de programas de GLD**

A gerência pelo lado da demanda precisa ser avaliada em termos de custo/benefício, de forma a poder comparar seus efeitos com os de outras alternativas.

A estratégia tradicional de atender ao mercado pelo lado da oferta, que força a concessionária ao desenvolvimento de previsões de demanda, considerando os custos e os tempos de vida restantes das instalações existentes, identificando a necessidade de novos recursos e capacidade, devido à escassez de fontes energéticas viáveis tecnologicamente, com custos e impactos ambientais reduzidos, tem gerado acentuados acréscimos no custo marginal da geração elétrica, com consequentes aumentos nas tarifas e no aporte de recursos financeiros elevados (SHECHTMAN, 1989).

Para selecionar programas de GLD deve-se decidir quais são os objetivos a serem alcançados pelos mesmos. Para isso é necessário (CAMARGO, 2002):

- a) Estabelecer objetivos estratégicos, de amplo alcance;
- b) Estabelecer objetivos táticos e operacionais;
- c) Determinar os objetivos ligados à forma da curva de carga.

Os objetivos estratégicos são amplos e geralmente incluem ações no sentido de melhorar o fluxo de caixa da empresa, aumentar os lucros e ajudar no relacionamento com os clientes (GELLINGS, 1989).

Certas restrições podem limitar o alcance destes objetivos, tais como a intensidade da regulação, considerações e pressões ecológicas e a necessidade de prestar um serviço de boa qualidade.

No que tange aos objetivos táticos e operacionais, procura-se direcionar a gerência da empresa para ações específicas, examinando-se alternativas de GLD contra opções pelo lado da oferta. Aqui, a postergação de novos investimentos, mediante programas de GLD, pode reduzir as necessidades dos mesmos e estabilizar o futuro financeiro da concessionária (CAMARGO, 2002), o passo que os objetivos operacionais são traduzidos em objetivos ligados à forma da curva de carga. Outros exemplos de objetivos operacionais de interesse da concessionária podem ser citados de acordo com (SCHECHTMAN, 1989):

- a) Redução da utilização de combustíveis críticos;
- b) Redução ou manutenção dos custos da eletricidade;
- c) Aumento da receita ou das vendas da concessionária sem aumento no custo da eletricidade;
- d) Aumento da flexibilidade operacional e da confiabilidade do sistema;
- e) Redução de tarifas através da alocação mais eficiente das unidades geradoras existentes e planejadas;
- f) Melhoria da imagem da concessionária junto aos consumidores, utilizando-se os programas de GLD como instrumento de relações públicas.

Ainda segundo estes autores (SCHECHTMAN, 1989; CAMARGO, 2002), os seguintes critérios são utilizados para julgar alternativas pelo lado da demanda em empresas de energia elétrica dos Estados Unidos:

- a) **Critério do consumidor participante:** procura determinar o valor mínimo de incentivo que deve ser oferecido ao consumidor participante. De acordo com tal critério, a economia para o consumidor resultante do uso da alternativa, mais o incentivo, recebido deverá ser superior aos custos de investimentos e de operação/ manutenção que recaiam sobre ele.
- b) **Critério de minimização das tarifas:** tal critério estabelece que as tarifas não devam aumentar além do valor que teriam na ausência do programa de GLD. Visa proteger consumidores não-participantes do programa, seja

por falta de oportunidade, seja por já terem aderido a alguma alternativa anterior.

- c) **Crítérios de todos os participantes:** procura garantir que o custo total aos consumidores, tanto participantes como não participantes, seja inferior àquele que decorreria na ausência do programa proposto.
- d) **Crítério social:** aqui se adota a premissa de que os benefícios sociais do programa de GLD devem ser maiores que os seus custos. Benefícios e custos são avaliados sob a ótica global, incluindo a concessionária e o sistema externo a ela.

## **2.4 Impactos de programas de GLD**

Em sequência aos critérios expostos no item anterior, devem ser avaliados os possíveis impactos oriundos dos programas de GLD. Previsões detalhadas dos impactos de um programa de GLD são essenciais para o planejamento a longo prazo, para a operação diária do sistema elétrico e, também, para modificações de curto prazo no próprio programa (CAMARGO, 2002).

Na realidade, a efetividade econômica do programa e a sua influência sobre os lucros da empresa só podem ser avaliadas através da determinação dos impactos sob três aspectos:

- a) Sob a ótica da concessionária;
- b) Sob a ótica dos consumidores;
- c) Sob a ótica da sociedade, como um todo.

### **2.4.1 Impactos sobre a concessionária**

As concessionárias necessitam avaliar o quanto podem ser postergados os investimentos em capacidade geradora e em instalações de transmissão e

distribuição. Adicionalmente, deve-se avaliar os efeitos do programa de GLD sobre a operação diária do sistema.

Os impactos sobre o planejamento e a operação serão traduzidos em requisitos de lucro para um determinado nível da taxa de retorno, dada uma programação tarifária para a GLD e para outras classes de consumidores. Caso a análise financeira resulte desfavorável para a empresa, esta poderá propor alterações na tarifa.

Esta alteração, por seu turno, pode levar a reações diversas por parte dos consumidores, provocando diferentes impactos sobre a carga. Os consumidores poderão reagir de modos distintos em resposta aos esforços de marketing e de relações públicas das empresas.

A análise de programas de GLD, ao invés da tradicional curva de duração da carga, requer dados detalhados da carga, hora a hora, aumentando a complexidade da modelagem e os tempos de computação das atividades de planejamento. Ainda, quando se incorpora o GLD, as tradicionais incertezas do planejamento ganham dimensão adicional.

Usualmente, no lado da oferta, dá-se ênfase apenas às taxas de saída forçada das unidades geradoras, sendo as outras incertezas (tempo de construção, custos de construção, forma da curva de carga, crescimento da carga, alterações nas taxas de saída de unidades, etc.) consideradas como fatores de segunda ordem (CAMARGO, 2002).

Tal procedimento penaliza o GLD, visto que ignora as incertezas exatamente onde as opções via GLD têm muito a oferecer e, em consequência, tais opções não irão receber todo o crédito que merecem sob a análise de sensibilidade tradicional.

Esta flexibilidade de um programa de GLD deverá ser levada em conta na análise do impacto financeiro advindo do uso da opção. De modo análogo, os modelos de planejamento deverão ser capazes de analisar os impactos da GLD na operação do sistema.

### **2.4.2 Impactos sobre os consumidores**

Os programas de GLD, geralmente, afetam o uso da demanda (kW) e da energia (kWh) dos consumidores mediante três mecanismos (SMITH; RAS; TABAKIN, 1985):

- a) Promovendo alterações nas instalações e nos aparelhos de energia elétrica;
- b) Alterando o modo de uso dos aparelhos existentes;
- c) Mudando os hábitos dos consumidores em relação à utilização da energia elétrica.

Outro modo importante de alterar o comportamento do consumidor é através do chamado "sinal de preço". A estrutura tarifária é uma ferramenta poderosa a ser usada nos programas de GLD para mudar o perfil de carga da concessionária de energia elétrica.

O uso de tarifas variando ao longo do dia, por exemplo, procura sinalizar aos consumidores que o custo de produção da energia elétrica não é uniforme, existindo alguns períodos em que ele é mais caro (ponta do sistema ou carga de pico) e outros em que é mais barato (fora da ponta). Neste sentido, esta estrutura tarifária procura induzir o usuário a fazer um consumo maior de energia elétrica antes e depois do período de ponta.

Outra característica importante no impacto de programas de GLD sobre os consumidores é o clima, ou melhor, as variações climáticas ao longo de determinados períodos. Condições extremas de temperatura, por exemplo, levarão os usuários a aumentar o consumo de energia elétrica mediante o uso intensivo de aparelhos de ar condicionado.

### **2.4.3 Impactos sobre a sociedade**

Para a sociedade, o impacto de um programa bem sucedido de GLD será sentido como um aumento evitado ou uma redução nas tarifas. Adicionalmente,

pode-se evitar o uso de combustíveis nobres, a operação de unidades menos eficientes e a agressão ambiental oriunda de novos aproveitamentos de geração e/ou transmissão e distribuição.

Outra característica favorável consiste na melhoria do fator de carga do sistema, promovendo um melhor aproveitamento das unidades geradoras e incrementando a eficiência da rede elétrica como um todo.

Além dos benefícios técnicos, econômicos e ecológicos já mencionados, constata-se que os programas de GLD oferecem à sociedade uma forma dela participar e influir no uso da energia.

## **2.5 Tipos de programas de GLD**

Existem dois tipos básicos de programas GLD, aqueles que possibilitam o controle direto da carga do consumidor e os que procuram mudar hábitos de consumo através de esforços de marketing, campanhas educacionais e sinal de preço. No entanto, os programas de armazenamento de energia também poderiam ser considerados como GLD, visto que estes programas usam a energia fora da ponta para armazenarem calor a ser liberado em momentos de ponta na rede. De qualquer modo, os programas de GLD oferecidos aos usuários procuram estimular o consumo em períodos favoráveis, dificultá-lo em períodos críticos e deslocá-lo de um período para outro em determinadas ocasiões (JANNUZZI, 1997).

### **2.5.1 Gerenciamento da carga**

No gerenciamento da carga incluem-se medidas que objetivam evitar o aumento da capacidade de produção de eletricidade ou fazer melhor uso daquela existente. A meta é modificar o perfil da carga, podendo o consumo total de energia permanecer constante ou mesmo crescer.

É muito importante conhecer a estrutura do perfil de carga da companhia elétrica para cada classe consumidora (industrial, comercial, residencial, etc.) e as

tecnologias de uso-final (iluminação, força motriz, aquecimento de água) para determinar o programa mais apropriado.

O gerenciamento de carga pode também ser feito através de mudanças na estrutura tarifária, controle direto da carga ou pela introdução de tecnologias específicas. As tarifas especiais para horas de pico podem resultar em corte de pico ou deslocamento de carga. O controle de carga direto pode ser atingido pela instalação de limitadores de demanda nas instalações dos consumidores ou por introduzir contrato e medidores de demanda. Os programas que introduzem tecnologias específicas podem também mudar o padrão de carga dentro do desejável.

#### **2.5.1.1 Controle direto da carga**

Este tipo de controle pode ser realizado de diferentes formas. O consumidor pode controlar cargas por meio de equipamentos que restrinjam o tempo de uso ou detectem um nível específico máximo de demanda de determinadas cargas. Tais serviços podem ser, ainda, solicitados às concessionárias, que o executam por meio de controle remoto de sinal. É possível controlar individualmente, tanto de forma remota quanto no próprio local, equipamentos de pequeno ou grande consumo, além de sistemas de condicionamento ambiental ou aquecimento de água, tanto no setor residencial quanto nos setores comercial e industrial.

**Interruptores horários** (*time clock*) quando em funcionamento, este tipo de controlador desliga uma carga elétrica por um dado período de tempo (por exemplo, 25% do tempo de funcionamento, ou 15 minutos por hora). As aplicações vão desde regimes de rodízio, desligando-os em horário pré-agendados (como no horário de pico), até o bloqueio de algum aparelho para evitar coincidência de carga.

Concessionárias norte-americanas com este tipo de programa têm divulgado dados que mostram uma redução da demanda da ponta da ordem de 0,6 a 2,0 kW por aparelho de ar condicionado residencial (CAMARGO, 2002).

**Limitadores de corrente** (*current limiter*) limitar a demanda máxima de um consumidor através do uso de limitadores de corrente é um sistema que ajuda, de maneira direta, a melhorar o fator de carga. É um sistema bastante usado no norte

da Europa, principalmente para os pequenos consumidores (residências e pequenas unidades de comércio) (CAMPOS, 2004).

**Controladores cíclicos** (*cyclic*) neste sistema de controle, um aparelho de uso final permanece ligado por um dado período (constante) de tempo e então é desligado, permanecendo assim por outro período. Como exemplo, para o período de uma hora, o controlador cíclico pode ser programado para manter um aparelho de ar condicionado funcionando durante 15 minutos, e 45 minutos desligado.

Este tipo de controlador é muito usado nos Estados Unidos, justamente no caso de ar condicionado residencial. A razão entre os tempos ligado e desligado é objeto de contrato entre a empresa de eletricidade e o consumidor (CAMPOS, 2004).

**Termostato** (*thermostat*) este sistema prevê o uso de um termostato ligado a um controle que liga ou desliga o aparelho, quando uma dada temperatura é atingida. Define-se para isso temperaturas máxima e mínima, que podem ser distintas ao longo de um dia ou ao longo de uma estação.

Durante um dia de verão, por exemplo, a temperatura pode ser mais alta no horário de pico, para que se diminua o consumo de energia neste horário crítico do sistema. Durante o inverno, este ajuste deve ser refeito.

Muita atenção se dá à necessidade de um ajuste perfeito deste tipo de sistema. São muitas variáveis (pico e fora de pico, verão e inverno) e um ajuste mal feito pode levar a um consumo maior do que o normal (CAMPOS, 2004).

**Seletor de circuitos** (*interlock*) este sistema usa um interruptor eletromecânico que abre ou fecha circuitos, para impedir que duas ou mais cargas elétricas distintas ocorram ao mesmo tempo. Ainda pouco difundido, por meio de tarifas é possível induzir o uso deste tipo de sistema. O setor industrial deve, contudo, observar o processo de produção associado a tal circuito, posto que determinadas cargas não podem deixar de funcionar.

**Controlador de demanda** (*demand control*) baseado em microprocessadores, cuja função básica é monitorar e limitar toda a demanda de um consumidor. Possuem aplicação, principalmente, entre grandes consumidores, tanto pelo alto custo do equipamento, como pela não aplicabilidade do mesmo no setor residencial, posto que consumidores deste setor têm sua cobrança energética vinculada apenas ao consumo energético.

Há dois tipos básicos de controladores de demanda. O primeiro, denominado 'tipo cíclico', é um sofisticado *timer* programado para evitar que certas demandas

coincidam. Para tanto, ele minimiza a coincidência horária de operação de certos equipamentos, reduzindo, com isso, a demanda e poupando energia.

O segundo tipo é denominado 'limitador de demanda'. O limitador trabalha com dados, obtidos por estudos específicos, sobre a potência máxima permitida a cada horário. Quando esta potência é atingida, alguma carga é reduzida ou desligada, seguindo méritos de importância e relevância para a operação global. A carga ora reduzida ora desligada vai voltando ao normal conforme a potência do sistema vai voltando ao curso global.

### **2.5.1.2 Tecnologias de comunicação**

Para viabilização das técnicas de gerenciamento de cargas em programas de GLD, é necessária a utilização de tecnologias de comunicação de dados entre a concessionária de energia e clientes, tais como: rádio frequência, *ripple control*, PLC (*Power Line Communication*) e telefonia celular, observando-se as principais aplicações práticas envolvendo estas tecnologias e os aspectos técnicos mais relevantes.

**Radiofrequência:** também conhecida por sistema de rádio difusão, é muito utilizada pelas emissoras de rádio e televisão e apresenta, segundo Tanenbaum (1997), alguns aspectos positivos:

- a) Percorrem longas distâncias;
- b) Penetram em paredes (podem ser utilizadas em ambientes abertos e fechados);
- c) Desviam de obstáculos sólidos;
- d) Ondas onidirecionais (percorrem todas as direções);
- e) Simplicidade e baixo custo.

Aspectos negativos:

- a) Interferência entre os diversos utilizadores;
- b) Baixa segurança das informações;
- c) Baixa largura de faixa (apenas um usuário transmitindo por vez);
- d) Sistemas visados emissor-receptor;
- e) Comunicação half-duplex.

A questão da comunicação unidirecional (half-duplex) dos sistemas de rádio-freqüência impede a comunicação no sentido do consumidor para a concessionária, o que pode ser importante em algumas aplicações de gerenciamento de carga.

Além disto, tem-se observado que receptores de gerenciadores de carga que atuam através de sinais de RF, conforme relato de Gardner (1995), podem sofrer interferência de outros equipamentos, tais como máquinas industriais, podendo operar assim de forma indevida.

**Ripple Control:** foi desenvolvido na década de 60, tendo grande utilização, especialmente na Europa segundo Kontges (1991). Esta tecnologia consiste em utilizar a rede de distribuição de energia elétrica para estabelecer uma comunicação unidirecional com o consumidor de baixa tensão, permitindo, assim, o controle de carga e de tarifa. A principal característica deste sistema é a utilização da rede elétrica para a transmissão de mensagens de controle de baixa freqüência.

A mensagem do *Ripple Control* é superposta usualmente com uma freqüência de 175 Hz sobre a freqüência da rede. A duração de uma mensagem é de cerca de dois minutos. Vários comandos para gerenciamento de carga podem ser transmitidos em uma única mensagem.

Norris e Bodger (1989) reportam que problemas ligados à superposição de sinais de tensão podem apresentar a ocorrência de flicker <sup>6</sup>.

**Power Line Communication:** a utilização da rede elétrica como meio de comunicação de dados e voz remonta aos anos 50, onde já se utilizava o termo *Power Line Carrier*. Nesta época, utilizou-se a rede elétrica para envios de sinais para comando de relés de proteção. A partir da década de 80, começaram a aparecer estudos mais densos sobre a técnica *Power line Communication* (PLC).

PLC é uma tecnologia que emprega o meio de físico concebido para distribuir energia elétrica de média ou baixa tensão, para oferecer, principalmente, serviços de dados, podendo também transmitir imagem e voz.

Os pontos positivos desta tecnologia são:

- a) Toda infra-estrutura já estalada;
- b) Conexões com todos os consumidores;

---

<sup>6</sup> Flicker – Flutuação da tensão: acontece devido a variações intermitentes de certas cargas, causando flutuações nas tensões de alimentação (que se traduz, por exemplo, em oscilações na intensidade da iluminação elétrica).

- c) Custos de instalação baixos, consistindo basicamente dos custos com os dispositivos transmissores e receptores.

Os pontos negativos desta tecnologia são:

- a) Falta de conectividade da rede elétrica em situações de contingências;
- b) Suscetibilidade às perturbações eletromagnéticas;
- c) Desempenho dependente das cargas conectadas na rede;

Características de projeto que definem as especificações técnicas do *transceiver* PLC, tais como largura de banda, tipo de modulação e taxa de transmissão, também devem ser consideradas na escolha do sistema PLC apropriado para a aplicação de interesse. (CAMARGO, 2002).

**Telefonia celular:** dentro da telefonia celular, tem-se o serviço de mensagens curtas (SMS – *short message service*), o qual apresenta muitas vantagens em relação às tecnologias já mencionadas e cuja utilização tem crescido fortemente.

Pontos positivos deste tipo de serviço:

- a) Serviço *store-and-forward* (Garantia de entrega);
- b) Permite envio de mensagens bidirecional;
- c) Alta disponibilidade (simultâneo com comunicação de voz);
- d) Baixo custo;
- e) Não necessita realizar conexão;
- f) Confirmação de entrega;

Pontos negativos deste tipo de serviço:

- a) Limite de tamanho da mensagem de 160 caracteres;
- b) Inflexibilidade na estrutura da mensagem;
- c) Canal de sinais relativamente lento.

A desvantagem encontrada neste serviço não limita sua aplicação em gerenciamento pelo lado da demanda como pode ser comprovado por Teive e Queiroz (2003).

### **2.5.1.3 Incentivos tarifários (Controle Indireto)**

A tarifação diferenciada tem-se mostrado, cada vez mais, um fator adotado pelas concessionárias de energia elétrica, com o objetivo de gerência da demanda pelo lado do consumo.

As tarifas diferenciadas irão oferecer benefícios tanto para os consumidores como para as empresas de energia elétrica. Para os consumidores, os benefícios incluem um maior controle sobre os gastos mensais com a energia elétrica, um melhor conhecimento das características de consumo de suas residências ou negócios e ainda permitir um maior contato com novas tecnologias. Os benefícios auferidos pela concessionária incluirão a redução dos custos médio e marginal, retenção de carga, evitar a construção imediata de novas centrais geradoras, encorajar o uso eficiente da energia elétrica e promover a imagem da empresa (CAMARGO, 2002). Existem diferentes maneiras de se estabelecer tarifas para o uso de energia; nas seções seguintes, são apresentadas algumas práticas utilizadas.

### **2.5.1.4 Tarifas variáveis no tempo**

Tais tarifas constituem a forma mais comum de diferenciação de produto na indústria da energia elétrica. As tarifas variáveis no tempo são, usualmente, mais altas para a energia elétrica consumida em horas de ponta, de modo a refletir os custos marginais advindos da geração neste período.

É possível mudar o comportamento do consumidor com relação ao uso de energia durante o dia ou durante alguns períodos do ano. As tarifas podem variar entre horas de pico (normalmente das 18:00 às 21:00 ou 22:00 horas) e as horas fora de pico e entre estação seca e úmida (importante num sistema hidrelétrico).

Alguns consumidores pagam dois tipos de tarifas: uma pela energia consumida (KWH) e outra por uma demanda máxima contratada (KW). Os preços de

eletricidade são mais altos durante certos períodos do dia ou ano<sup>7</sup>. Esta é uma maneira de mudar o perfil de carga do consumidor, possibilitando a introdução de tecnologias mais eficientes ou mudanças nos horários de maior utilização de eletricidade.

Deste modo, este mecanismo de preço pode ser usado para promover mudanças na curva de carga do sistema elétrico.

### **2.5.1.5 Tarifação em tempo real**

A motivação para a tarifação em tempo real é devida às intensas pressões de custos, desafios competitivos, um planejamento sujeito a incertezas em face das turbulências ambientais e outros problemas enfrentados pelas empresas de energia elétrica, na sua função de propiciar aos consumidores um suprimento adequado, confiável e econômico.

Esta modalidade é utilizada especialmente para grandes consumidores, o que propicia uma capacidade de resposta e adaptação efetiva às mudanças ambientais. Sistemas avançados de comunicação permitem ao consumidor observar o uso da energia em tempo real.

As tarifas em tempo real serão calculadas e oferecidas praticamente no momento de consumo. Entre as vantagens deste tipo de tarifa destaca-se (CAMARGO, 2002):

- a) Redução do consumo de óleo combustível na geração, pela elevação explícita dos preços quando o óleo estiver sendo usado;
- b) Não necessidade de cortes de suprimento em forma de rodízio, quando em situação de emergência na rede, pelo uso de preços como forma automática e eficiente de racionamento;
- c) Facilitar a integração da energia gerada por fontes eólicas, solar e co-geração no sistema, propiciando um mercado que enxergue o verdadeiro valor da energia;

---

<sup>7</sup> No Brasil, as tarifas de demanda são cinco vezes mais caras durante as horas de pico e 10% mais caras durante a estação de seca, para os consumidores industriais de alta tensão.

- d) Valores para períodos de ponta ou fora de ponta são estimados proximamente ao momento do consumo, e não pré-especificados com antecedência. Tal estratégia é justificada por pressões de custos, desafios competitivos, e incertezas do planejamento.

Neste tipo de tarifação, o controle de carga pode estar diretamente vinculado ao preço de energia em cada instante, oferecendo inclusive a possibilidade de se utilizar energia proveniente de diferentes combustíveis, selecionados conforme o custo no instante avaliado.

#### **2.5.1.6 Tarifas de interrupção**

As tarifas de interrupção são um modo de vender energia sem vender capacidade. Utilizada, majoritariamente, no setor industrial, possibilita que o consumidor opte por um decréscimo de confiabilidade em troca da cobrança reduzida de demanda. São oferecidos créditos aos consumidores, caso eles permitam que o suprimento de energia elétrica seja interrompido após um período especificado de tempo com o prévio avisado pela concessionária. A frequência de interrupções, a duração e o volume de kilowatts de carga por interrupção podem ser escolhidos e o crédito é calculado para cada variação de condição.

#### **2.5.1.7 Tarifas em bloco**

Um dos modos de se cobrar pelo uso de eletricidade é através da estrutura de “tarifa em bloco”, onde o preço pago por cada kWh aumenta com o aumento do consumo. Isto tem sido aplicado para o setor residencial, admitindo-se que as residências de maior renda, que tenham maiores níveis de consumo de eletricidade paguem preços unitários menores (US\$/ kWh) quando comparados com os consumidores de menor porte. Isso é feito considerando economias de escala na produção, transmissão e distribuição de eletricidade e o mercado garantido pelos contratos com esses consumidores (JANNUZZI, 1997).

### **2.5.2 Eficiência de energia**

Este tipo de GLD leva em consideração os esforços feitos pela concessionária para diminuir o consumo unitário de um particular uso-final de energia. Estas medidas podem ser um subconjunto daquelas descritas acima e são essencialmente dirigidas às tecnologias. Aqui, a concessionária quer reduzir o consumo de energia ou reduzir sua taxa de crescimento.

Cabe ainda mencionar que o gerenciamento da carga, de um modo geral, procura equacionar vantagens econômicas na operação do sistema com os meios de se evitar uma propagação e ampliação de situações de emergências frente aos desbalanços carga/geração, sobrecargas em equipamentos e alterações não previstas no futuro como, por exemplo, um crescimento repentino da carga provocado por variações climáticas excepcionais.

Segundo Jannuzzi (1997) existem diversos tipos de programas de companhias elétricas que podem atingir esse objetivo entre eles pode-se citar:

**Auditorias e informação:** as auditorias de energia consistem, basicamente, em visitas e entrevistas com consumidores de energia. São necessárias quando se requer informações detalhadas das tecnologias do uso-final e de como elas são operadas pelos consumidores. As auditorias têm um custo relativamente baixo e podem coletar dados relevantes sobre o comportamento do consumidor.

**Incentivos e Empréstimos:** os incentivos financeiros vão, desde empréstimos, até subsídios e descontos para a compra de equipamentos mais eficientes.

**Instalação Direta/Companhia de Serviço de energia:** os programas de instalação direta<sup>8</sup> são mais caros, mas têm a vantagem de serem mais simples e oferecerem maior segurança quanto à quantidade de energia conservada, sendo por isso mais garantidos quanto ao retorno econômico.

**Fornecedores e vendedores de equipamentos:** um programa de gerenciamento pelo lado da demanda também pode interagir diretamente com os fornecedores de equipamentos. Uma forma de aplicar esta metodologia é dar incentivos financeiros para fabricantes de lâmpadas compactas fluorescentes (ao invés de dá-las aos consumidores). Outros procedimentos também adotados são os

---

<sup>8</sup> Programas de instalação direta aqueles em que a própria companhia elétrica distribui os equipamentos dos consumidores

protocolos assinados entre companhias elétricas, agências do governo e fabricantes que permitem uma redução nos padrões de emissão e melhoram a eficiência de energia em muitos aparelhos.

## **2.6 Avaliação dos programas de GLD**

Conforme define (HIRST; REED, 1991), “a avaliação é a medida sistemática da operação e desempenho dos programas e depende dos objetivos dos mesmos. A avaliação depende de mensuração objetiva, ao invés das impressões pessoais”. As avaliações usam métodos de pesquisa comuns às ciências sociais e dados técnicos para fornecerem resultados confiáveis e válidos (HIRST; REED, 1991). Este é um passo importante de qualquer programa de GLD, porque verifica a resposta dos consumidores para diferentes tipos e níveis de incentivos e informação. Esta informação é necessária para projetar melhor os programas de GLD e torná-los economicamente atraentes (SMITH, 1985).

Em meados dos anos 80, o processo de avaliação investigava se os programas poderiam ser mais eficientes ou efetivos, examinando a confiança de seus efeitos, baseando-se, principalmente, nos seguintes parâmetros:

- a) Aceitação do consumidor: investigação das necessidades, preferências, comportamento e atividades do consumidor através de pesquisa de comportamento e utilização de taxa de penetração das medidas e aceitação do programa;
- b) Procedimentos e implantação do programa: investigação das atividades envolvidas nos planejamentos e implantação do programa. Nessa avaliação são considerados, por exemplo, as formas de aplicação de desconto, suporte administrativo, etc.;
- c) Desempenho dos equipamentos: investigação da durabilidade e confiabilidade dos equipamentos. O processo de avaliação é feito utilizando pesquisas qualitativas de comportamento e emprego de técnicas estatísticas.

Já recentemente, as empresas norte-americanas de energia passaram a intensificar programas baseados em mecanismo de incentivo para indução da conservação, sendo identificados os seguintes aspectos:

- a) Impacto na curva de carga;
- b) Impacto no consumo (MWh) e demanda (MW);
- c) Período de vida das medidas de conservação;
- d) Persistência ou não das economias de energia;
- e) Número de participantes;
- f) Custos para empresa de energia e consumidores participantes;
- g) Alterações no comportamento do consumo.

Estes aspectos podem ser mensurados através de análises técnicas, análise estatística dos dados de consumo, de medições localizadas e de pesquisas diretas (entrevistas, auditorias) junto aos consumidores. No próximo item, são apresentados dois métodos possíveis para se avaliar um programa de GLD, (HIRST E REED, 1991).

### **2.6.1 Avaliação do processo**

Está relacionada à operação do programa e investiga o seu desempenho. Compara os objetivos projetados, com os realmente ocorridos e quais foram as percepções dos agentes envolvidos no programa. Analisa as eventuais barreiras para uma implementação mais efetiva e quais etapas do programa foram favoráveis. Este tipo de avaliação é qualitativo, baseado em entrevistas, tem seu foco nas operações do programa, dando sugestões para a melhoria da operação, para projetos de novos programas, para as causas dos resultados do programa e, também, para documentos históricos.

Esse tipo de avaliação está relacionado com as seguintes áreas:

- a) Planejamento do programa;
- b) Eficiência do material informativo, marketing;
- c) Treinamento do pessoal envolvido;

- d) Administração e gerenciamento do programa, comunicação e cooperação entre as várias unidades da concessionária e órgãos envolvidos;
- e) Qualidade dos mecanismos de controle;
- f) Orçamentos e custos.

### **2.6.2 Avaliação de impacto**

Esta avaliação examina os resultados do programa em termos de energia conservada e redução da carga. Custos e benefícios, taxas de participação e aceitação também são avaliadas. O procedimento de avaliação é mais quantitativo e pode usar análises estatísticas avançadas. Os resultados obtidos neste tipo de avaliação são úteis para novos projetos de programa, cargas e projeções de energia.

A relação custo-benefício dos programas de GLD depende da penetração de mercado que se atinge, através do tempo e dos custos administrativos e das incertezas associadas à sua implementação.

### 3 EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

Os programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) consistem em esforços sistemáticos para promover mudanças nos padrões de uso de eletricidade. Estes programas são atividades desenvolvidas e implementadas essencialmente pelas concessionárias, variando de acordo com o planejamento estratégico das mesmas.

#### 3.1 A experiência dos EUA

Nos Estados Unidos, as concessionárias começaram a desenvolver não apenas programas de informação geral e programas de desconto mas, também, programas direcionados que melhor respondem às necessidades do consumidor e resultam em maiores garantias de conservação de energia.

Nesse país tem-se dado mais atenção para captar melhorias de eficiência a longo prazo influenciando os fabricantes de equipamentos e projetistas de construções a oferecer produtos de maior eficiência energética.

Testes e programas-piloto, conduzidos pelas empresas *American Electric Power, Arkansas Power and Light, Detroit Edison Company, Pacific Gas and Electric e Southern California Edison*, envolvendo o controle direto de aquecedores de água e aparelhos de ar condicionado, mostram que reduções significativas podem ser obtidas na demanda (DAVIS, 1982).

Programas empregando tarifas para interrupção e corte de carga no suprimento têm-se tornado usuais entre as concessionárias. Substanciais alívios de carga podem ser obtidos por estes programas.

Para a tarifação em tempo real, os resultados têm sido positivos, embora existam exemplos em que a disponibilidade do equipamento de medição/controlado restringiu a implementação do programa. Estas tarifas foram bem aceitas pelos consumidores industriais, face aos incentivos oferecidos (CAMARGO, 2002).

Uma outra experiência que merece destaque é o programa de tarifa SOP (*Super off-peak*) da *Southern Califórnia Edison*. Consiste numa tarifa tipo variável no tempo, na qual o período de vigência e a estrutura de custos são pré-determinados e

pré-especificados com bastante antecedência. No entanto para (SANGHVI, 1989), os diferenciais das taxas de ponta/fora da ponta são muito mais acentuados do que nas tarifas usuais deste tipo (5:1 contra 2:1). Além disto, o período de ponta é estipulado em 4 horas, contra o período usual de 3 horas.

A concessionária PG & E (Pacific Gas and Electric) está promovendo o uso da tarifa "spot" com 03 (três) consumidores industriais que somam 10 MW de carga. Em cada tarde, por volta das 15h, a empresa estima e comunica com 24h de antecedência os preços-spot horários para o próximo dia (CAMARGO, 2002).

### 3.2 A experiência da França em programas de GLD

O sistema elétrico francês baseia-se na geração nuclear (70%) e na geração hidrelétrica (21%), em dados de 1988 (WG 37/03, CIGRÉ, 1991). A competitividade nos preços advinda da geração nuclear e, ainda, de alguma capacidade adicional, permite à França exportar 10% de sua geração total (COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ, 2005).

O consumo de energia elétrica por setor é o seguinte: 30% de uso doméstico, 25% no comércio e 35% na indústria, sendo 10% da energia exportável. O pico de carga se dá no inverno, devido ao uso intenso de aquecimento (CAMARGO, 2002).

Através da estatal EDF (Electricité de France), o país progrediu bastante no sentido de taxar a energia pelo seu verdadeiro custo econômico. As tarifas são usadas para comunicar esta informação, além de encorajar o deslocamento da carga, corte da ponta (nos meses de inverno) e enchimento dos vales (nos meses de verão).

A França oferece três categorias de tarifas:

**Tarifa verde:** introduzida em 1957, é uma tarifa variável no tempo e cujos preços dependem da hora do dia e da estação do ano. Naquela ocasião, esta tarifa foi oferecida a 150.000 consumidores conectados na média, alta e extra-alta tensão.

Cinco períodos foram selecionados com preços diferentes, três períodos por dia no inverno (outubro a março) e dois no verão. Posteriormente, foi feita uma revisão nesta tarifa de modo a adaptar os preços às variações no custo marginal e

também para refletir a crescente sazonalidade dos custos (LESCOEUR e GALLAND, 1987). Esta revisão terminou em 1985 e a resposta dos consumidores ao consumo sazonal é significativa, tendo os mesmos usado mais a capacidade produtiva no verão, programado manutenção no inverno e propiciando o uso da eletricidade no lugar de combustível fóssil na produção de vapor no verão, usando sistemas bienergéticos. Tal fato, demonstra que a energia elétrica no verão tem tarifa mais baixa que o óleo combustível ou gás, mesmo para a produção de vapor mediante aquecimento elétrico.

**Tarifa azul:** introduzida em 1965, inclui uma tarifa dupla opcional para os consumidores residenciais. Estes utilizam tal opção para o armazenamento de energia (aquecimento de água) e para o consumo de base (aquecimento ambiental).

Esta tarifa encoraja o deslocamento da carga diária e o enchimento dos vales na curva de carga, mediante o oferecimento de dois períodos de consumo: horas normais e horas de baixa carga. Como resultado, o fator de carga no sistema francês cresceu para cerca de 90% em 1987.

**Tarifa amarela:** para consumidores em baixa tensão, cuja demanda contratada excedesse 36 kVA, foi criada a tarifa amarela. Esta tarifa oferece 04 (quatro) períodos de preços: inverno, verão, horas normais e horas de baixa carga.

O sucesso desta opção tarifária requereu cuidados ao especificar os períodos de baixa carga, de modo a não criar picos de consumo nestas horas, ocasionando a necessidade de reforços na rede de distribuição o que, por si só, anularia os efeitos obtidos no nível da geração. A diferenciação de tarifas por categoria de consumidor resolve este problema, principalmente com a ajuda de dispositivos de controle de carga por sinal remoto.

**A opção de retirar a carga em dia de ponta:** tal opção aparece em decorrência do período de ponta, distribuído por um maior número de horas por dia em um número menor de dias no ano; os dias em que estas pontas irão acontecer, no entanto, não são previsíveis com antecedência.

A tarifa é oferecida tanto para grandes como para pequenos consumidores e inclui um período flexível de ponta, consistindo de vinte e dois dias com períodos de 18 h/dia que a EDF escolhe em tempo real e nos quais supõe, com razoável grau de probabilidade, que a carga é tal que unidades de produção na ponta deverão ser instaladas e comissionadas. O consumidor é avisado por sinal remoto e os preços poderão crescer, em relação aos períodos normais, na base de 10 para 1.

**A opção "modulada":** baseia-se no mesmo princípio de retirar a carga em dia de ponta e é oferecida a consumidores em alta tensão e extra-alta tensão. Propõe 04 (quatro) períodos tarifários de duração fixa, com a flexibilidade de serem definidos em tempo real pela EDF (LESCOEUR; GALLAND, 1987):

Período do dia de ponta: 22 dias de 18h, com a mesma definição e preços da tarifa anterior (a opção de retirar a carga em dia de ponta).

**Inverno flexível:** 09 (nove) semanas (exceto os possíveis dias de pico) durante os quais o custo marginal de geração corresponde aos custos de combustíveis das unidades mais ineficientes, que gastam mais, mas com quase nenhum custo de capacidade.

**A estação intermediária flexível:** as restantes 24 semanas nas quais é altamente provável que o custo marginal seja limitado à utilização das nucleares.

Esta tarifa modulada pode ser considerada um grande passo em direção a uma efetiva utilização do preço "spot", com a vantagem de que o consumidor está atento à duração específica do preço no período, mesmo que este seja aleatório e comunicado em tempo real pela EDF.

Adicionalmente, as atividades de GLD na França incluem conservação estratégica, crescimento estratégico da carga e curva de carga com forma flexível. A conservação é estimulada pelo uso do aquecimento elétrico nas residências e na boa isolamento térmica destas, de modo a evitar perdas.

## **4 GESTÃO DA ENERGIA ELÉTRICA**

O termo gestão é definido como o ato de gerir, ou seja, gerenciar e administrar e, vem sendo utilizado em vários seguimentos de ramos de atividade diferenciados, com sendo utilizado em vários seguimentos para melhorar processos e organizar procedimentos de maneira a obter o menor custo e a melhor qualidade de produtos e serviços.

Na área de utilização de energia elétrica, a definição da gestão esta diretamente ligada ao uso eficiente e, geralmente, as ferramentas utilizadas no processo de busca e manutenções da eficiência no uso da energia são aquelas que fornecem informações essenciais para fundamentar as decisões dos gestores.

### **4.1 Sistemas para gerenciamento de energia elétrica**

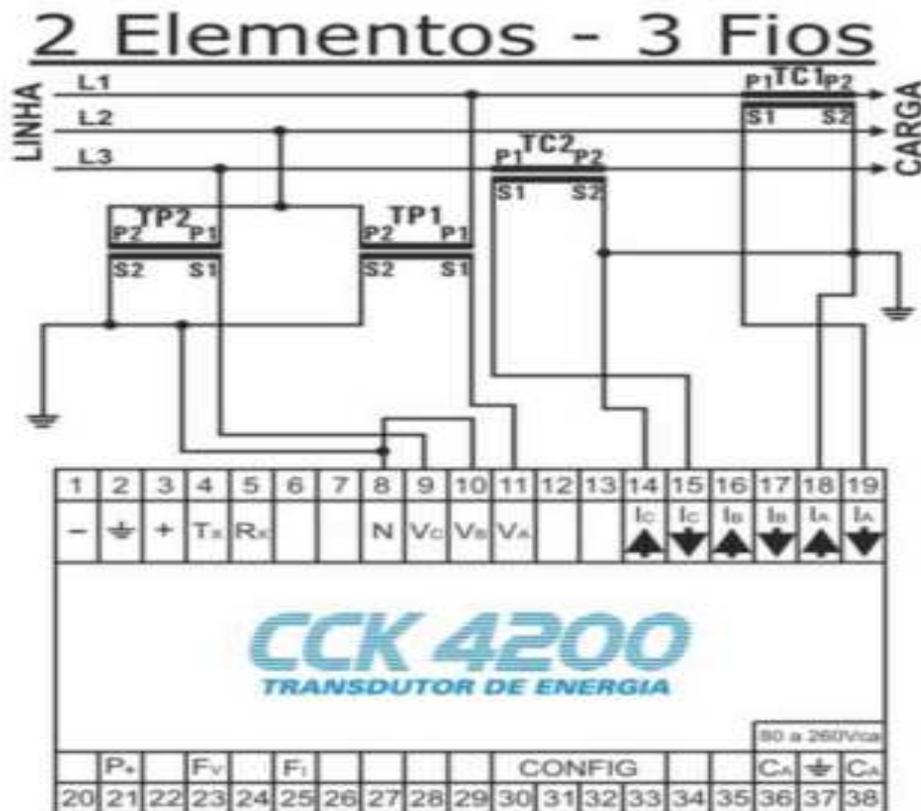
No Brasil, o governo federal, preocupado em atender a crescente demanda da atividade industrial, através da portaria No. 046, de janeiro 1982, determinou a implantação de tarifas de energia elétrica diferenciadas conforme o período do ano e os horários de utilização. Nascia, então, o sistema conhecido como horo-sazonal. Como já detalhado no Capítulo II, este sistema estimula o deslocamento do consumo no horário de pico, otimizando a capacidade de abastecimento existente.

A partir deste momento, surgem empresas com soluções e equipamentos para o controle dos custos com energia elétrica. Com a evolução dos medidores de energia que passaram a disponibilizar dados de leitura, deu-se início aos Sistemas de gerenciamento de energia que permitem o armazenamento de dados e interface para visualização das informações coletadas.

### **4.2 Medidores digitais de energia**

Atualmente os instrumentos utilizados para medição de energia elétrica em instalações onde o sistema de faturamento é do tipo horo-sazonal são os medidores

digitais de energia elétrica. Tais medidores digitais podem ser diferenciados em transdutores de energia e THS. A medição de corrente é realizada através de transformadores de corrente (TC) de forma a compatibilizar os níveis de corrente para o medidor instalado. De igual maneira, são utilizados os transformadores de potencial (TP) pra compatibilizar os níveis de tensão.



**Figura 8 - Esquema de ligação de um medidor**  
Fonte: elaboração própria

A figura 8 explica o esquema de ligação de um medidor à instalação elétrica.

#### **4.2.1 Transdutores de energia**

Os transdutores de energia são equipamentos digitais que indicam o consumo de energia elétrica a partir dos sinais de tensão e correntes medidas na instalação

consumidora. As principais portas de comunicação são: RS232, RS485 e Ethernet. De um modo geral, os transdutores armazenam as seguintes grandezas elétricas:

- a) Energia ativa e reativa consumida;
- b) Demanda de potência ativa e potência reativa;
- c) Fator de potência;
- d) Corrente e tensão elétrica;
- e) Freqüência da rede.

#### **4.2.2 Medidores THS**

Os medidores THS são equipamentos digitais utilizados pela companhia de energia elétrica para a tarifação horo-sazonal de seus clientes. Estes medidores possuem duas interfaces de comunicação, uma exclusiva para a companhia elétrica, e outra denominada saída serial de usuário (SSU).

#### **4.3 Indicadores da utilização da energia**

Os indicadores de consumo são os resultados do cruzamento de informações físicas ou administrativas, com as grandezas elétricas medidas/registradas. Com os indicadores é possível acompanhar a evolução da instalação, no que diz respeito ao seu consumo energético, a partir da análise do histórico desses indicadores. Dessa forma, é possível planejar ações futuras e corrigir as ações em andamento, minimizando custos e maximizando resultados.

De forma geral, os indicadores podem ser classificados em dois grandes grupos, indicadores globais e específicos, porém, há também os indicadores financeiros, que podem ser associados aos globais e específicos, demonstrando os custos de acordo com a utilização da energia elétrica.

### 4.3.1 Indicadores globais

Os indicadores classificados como globais caracterizam a instalação a partir das questões técnicas, apontando a eficiência do uso da energia elétrica de uma forma geral. Alguns indicadores globais são utilizados na fase inicial de caracterização, identificando problemas nas instalações, do ponto de vista técnico ou comportamental.

#### 4.3.1.1 Fator de carga

O fator de carga pode ser obtido através de faturas de energia ou medições paralelas. Ele mostra como a energia elétrica é utilizada, no que diz respeito à demanda de potência e pode ser calculado para um determinado intervalo de tempo:

$$FC = \frac{D_{med}}{D_{max}} = \frac{E}{t \times D_{max}} \quad (1)$$

Onde:

- a)  $D_{max}$ , é o máximo valor da demanda de potência no intervalo de tempo  $t$ ;
- b)  $D_{med}$ , é o valor médio da demanda média de potência no intervalo de tempo  $t$ ;
- c)  $E$  é a energia consumida no intervalo de tempo  $t$ ;

Quanto mais próximo de 1, maior é a regularidade no uso da energia.

#### **4.3.1.2 Fator de potência**

O fator de potência de uma instalação deve ser considerado como um indicador energético importante pois ele pode auxiliar na avaliação do dimensionamento dos equipamentos alimentadores, do ponto de vista de sobrecarga.

$$FP = \frac{Ea}{\sqrt{Ea^2 + Er^2}} \quad (2)$$

Onde:

- a)  $Ea$ , Energia ativa consumida no intervalo de tempo, em kWh;
- b)  $Er$ , Energia reativa consumida no intervalo de tempo, em kVAr.

#### **4.3.1.3 Indicador de uso da energia por horários de utilização**

A característica da utilização da energia pelo horário leva em consideração a sazonalidade de consumo e a baixa atividade em determinados horários. Este tipo de indicador destaca a parcela de consumo nos horários de baixa atividade, em comparação com os de maior atividade, auxiliando na identificação do tipo de equipamento mais utilizado nos períodos.

#### **4.3.2 Indicadores específicos**

Os indicadores específicos têm a finalidade de avaliar o comportamento de uso da energia elétrica, levando em considerações as informações físicas, de ocupação e os usos finais. O acompanhamento e atualização dos indicadores específicos podem identificar tendências de mudanças no comportamento.

#### **4.3.2.1 Indicador por consumo x produção (toneladas)**

O indicador consumo por produção/toneladas pode ser calculado dividindo-se o consumo mensal pela quantidade em toneladas produzidas. Com este indicador, pode-se estabelecer metas de eficiência energética na produção. Como pode-se ver na Tabela 3, este indicador tem se mostrado um excelente instrumento de análise na otimização do consumo de energia elétrica.

**Tabela 3 - Consumo de energia X produção em toneladas**

Ano	2007			2006		
	KWh	Ton	kWh/Ton	kWh	Ton	kWh/Ton
Jan.	81.900	1040,690	78,698	59.760	691,030	86,480
Fev.	77.700	1239,400	62,692	66.960	653,480	102,467
Mar.	92.400	1151,150	80,268	69.840	861,550	81,063
Abr.	86.800	1349,140	64,337	62.640	653,069	95,916
Mai.	84.700	1290,230	65,647	67.680	866,830	78,078
Jun.	83.300	1272,780	65,447	82.800	855,850	96,746
Jul.	95.900	1643,480	58,352	64.960	1227,610	52,916
Ago.	98.000	1268,250	77,272	91.000	1057,040	86,089
Set.	95.200	1686,030	56,464	78.400	1054,580	74,342
Out.	112.000	1997,210	56,078	90.300	1204,240	74,985
Nov.	102.200	1651,450	61,885	70.000	948,520	73,799
Dez.	95.200	1911,340	49,808	74.900	918,000	81,590
<b>Media</b>	<b>100.482</b>	<b>1591,014</b>	<b>63,156</b>	<b>73.270</b>	<b>915,983</b>	<b>79,991</b>

Fonte: Elaboração própria baseado em dados coletados no sistema(soft) de Gestão elétrica

#### **4.3.3 Indicadores financeiros**

Os indicadores financeiros, tratando-se de energia elétrica, podem mostrar como os recursos são distribuídos dentro de uma determinada unidade consumidora. Aplicados ao longo do tempo, os resultados obtidos de ordem crescentes não indicam com certeza se houve aumento no consumo ou falta de eficiência no uso.

Saidel (2005) alerta para o crescimento constante no uso da energia elétrica, sendo assim, o aumento dos custos ao longo do tempo poderá ser verificado com a aplicação de indicador financeiro, comparando a proporção dos recursos destinados à parte, em relação ao total da unidade, no uso da energia elétrica, levando em consideração informações de usos finais e usuários da energia.

$$I_{fin} = \frac{(CT * \frac{En}{ENT})}{Ve * t} \quad (3)$$

Onde:

- a) CT é o custo total com energia elétrica;
- b) En é a parcela do total da energia consumida, da parte verificada, no intervalo de tempo t, expresso em kWh;
- c) Ve é variável específica (usuário, área e etc.);
- d) t é o período analisado.

Os resultados obtidos com os indicadores financeiros auxiliam na verificação das evoluções nos custos com energia elétrica e a parcela de contribuição das unidades analisadas.

#### **4.4. Estrutura tarifária em Vigor**

Para um melhor entendimento, quanto aos passos necessários para a implantação de um sistema de gerenciamento de energia elétrica, inicialmente revê-se alguns conceitos referente à estrutura tarifária do consumo de energia elétrica atualmente em vigor no Brasil (ANEEL, 2005), onde os consumidores são divididos quanto à tensão de fornecimento da seguinte forma:

**Consumidores do Grupo A (Alta Tensão):** consumidores ligados em tensão iguais ou superiores a 2,3 kV, subdivididos em:

- a) Subgrupo A1: 230 kV ou mais;
- b) Subgrupo A2: 88 kV a 138 KV;
- c) Subgrupo A3: 69 kV;
- d) Subgrupo A3a: 30 kV a 44 kV;
- e) Subgrupo A4: 2,3 kV a 25 kV;
- f) Subgrupo AS: Subterrâneo.

**Consumidores do Grupo B (Baixa Tensão):** consumidores ligados em tensão inferior a 2,3 kV (110 V, 220 V e 440 V), subdivididos em:

- a) Subgrupo B1: Residencial e Residencial Baixa renda;
- b) Subgrupo B2: Rural, Cooperativa de Eletrificação Rural e Serviço Público de Irrigação;
- c) Subgrupo B3: Demais Classes;
- d) Subgrupo B4: Iluminação Pública.

Segundo a estrutura tarifaria vigente, existem quatro modalidades de tarifas diferentes: a tarifa convencional, tarifa horo-sazonal, tarifa azul e tarifa verde. Cada uma apresenta uma estrutura de preços distinta que visa atender a determinados subgrupos de consumidores.

#### **4.4.1 Tarifa Convencional**

A tarifa convencional apresenta um preço único para a demanda e um preço único para o consumo. Ela pode ser aplicada a consumidores dos grupos A2, A3, A3a, A4 e S4 com demandas inferiores a 500 kW e a consumidores do grupo B. No caso do grupo B, apenas o consumo é faturado. A demanda utilizada nos cálculos de faturamento será a maior entre:

- a) Maior demanda registrada, verificada por medição, durante o ciclo de faturamento;
- b) Demanda contratada, quando houver, exclusive nos casos de unidades consumidoras classificadas como rural ou sazonal;
- c) 85% da maior demanda registrada nos últimos 11 meses, exclusive nos casos de unidades consumidoras classificadas como rural ou sazonal;
- d) 10% da maior demanda, verificada por medição, nos últimos 11 meses par unidades consumidoras classificadas como rural ou sazonal.

O faturamento da tarifa convencional é dado pela equação:

$$F = \frac{(DF.TD + C.TC)}{1 - ICMS} + ER \quad (4)$$

Onde:

- a) F, faturamento total;
- b) DF, demanda faturada;
- c) TD, tarifa da demanda;
- d) C, consumo;
- e) TC, tarifa de consumo;
- f) ER, multa por excesso de reativos (baixo fator de potência);
- g) ICMS, Imposto sobre operações relativas à circulação de mercadoria e prestação de serviços.

O valor da multa por excesso de reativos pode ser calculado pela equação:

$$ER = FDR + FER \quad (5)$$

Com:

$$FDR_{(P)} = \left[ \max_{1 \leq t \leq n} \left( DA_t \cdot \frac{0,92}{ft} \right) - DF \right] \cdot TDA_{(P)} \quad (6)$$

$$FER_{(P)} = \left[ \sum_{t=1}^n \left( DA_t \cdot \frac{0,92}{ft} - 1 \right) \right] \cdot TCA_{(P)} \quad (7)$$

Onde:

- a)  $FRD_{(p)}$ , faturamento da demanda reativa excedente do posto horário  $p$ ;
- b)  $FER_{(p)}$ , faturamento da energia reativa excedente do posto horário  $p$ ;
- c)  $t$ , intervalo de tempo (1 hora) entre medições do fator de potência;
- d)  $n$ , número de intervalos de integralização no período de faturamento;
- e)  $DA_t$ , demanda de potencia ativa verificada no intervalo de integração  $t$ ;
- f)  $CA_t$ , consumo de ativos verificado no intervalo de integralização  $t$ ;
- g)  $ft$ , fator de potência calculado no intervalo de integralização  $t$ ;
- h)  $TDA_{(p)}$ , tarifa de demanda do posto horário  $p$ ;
- i)  $TCA_{(p)}$ , tarifa de consumo do posto horário  $p$ .

#### 4.4.2 Tarifa azul

Esta modalidade tarifária tem aplicação compulsória para unidades consumidoras atendidas em tensão igual ou superior a 69 kV (A1, A2 e A3), sendo opcional para os demais consumidores. Exige um contrato específico entre a distribuidora de energia e o consumidor onde, entre outras cláusulas, pode-se destacar:

- a) Dois valores de DEMANDA CONTRATADA (KW), um para o segmento de PONTA<sup>9</sup> e outro para o segmento FORA DE PONTA;
- b) Para cada posto horário, é aplicada uma tarifa diferente, sendo a tarifa de PONTA na ordem de 3 vezes o valor da tarifa FORA DE PONTA;
- c) Dentro do período de faturamento, a demanda faturável será o maior valor dentre a demanda contratada e a demanda medida em cada posto horário;
- d) São aplicadas tarifas diferentes para o período de PONTA e FORA DE PONTA em caso de ultrapassagem da demanda contratada;
- e) Embora não seja explícita, a Resolução 456 permite que sejam contratados dois valores diferentes de demanda, um para o período seco<sup>10</sup> e outro para o período úmido.

<sup>9</sup> O horário de ponta corresponde ao período de três horas consecutivas determinado pela concessionária local, compreendido entre as 17:00 e 22:00 horas dos dias úteis. O horário fora de ponta corresponde ao período complementar dos dias úteis mais o fim de semana.

<sup>10</sup> O período seco compreende os meses de maio a novembro de um mesmo ano. O período úmido compreende os meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

O faturamento da tarifa azul é dado pela equação:

$$F = \frac{DF_{(P)} \cdot TD_{(P)} + DF_{(FP)} \cdot TD_{(FP)} + C_{(P)} \cdot TC_{(P)} + C_{(FP)} \cdot TC_{(FP)}}{1 - ICMS} + UD + ER \quad (8)$$

Onde:

- a) F, faturamento total;
- b)  $DF_{(P)}$ , demanda faturada no período de ponta;
- c)  $DF_{(FP)}$ , demanda faturada no período fora de ponta;
- d)  $TD_{(P)}$ , tarifa da demanda no período de ponta;
- e)  $TD_{(FP)}$ , tarifa da demanda no período fora da ponta;
- f)  $C_{(P)}$ , consumo no período de ponta;
- g)  $C_{(FP)}$ , consumo no período fora da ponta;
- h)  $TC_{(P)}$ , tarifa do consumo no período de ponta;
- i)  $TC_{(FP)}$ , tarifa de consumo no período fora da ponta;
- j) UD, multa por ultrapassagem da demanda contratada.

A parcela UD devida à multa por ultrapassagem de demanda, quando existir, poderá ser calculada pela equação:

$$UD = (DF_P - DC_P) \cdot TU_P + (DF_{FP} - DC_{FP}) \cdot TU_{FP} \quad (9)$$

Onde:

- a)  $DC_P$ , demanda contratada no período de ponta;
- b)  $DC_{FP}$ , demanda contratada no período fora de ponta;
- c)  $TU_P$ , tarifa de ultrapassagem no período de ponta;
- d)  $TU_{FP}$ , tarifa de ultrapassagem no período fora de ponta.

A multa por excesso de reativos (ER) pode ser calculada pelas equações 5, 6 e 7, também aplicadas à tarifa convencional.

#### 4.4.3 Tarifa verde

Esta modalidade tarifária só pode ser aplicada a unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 kV (A3a, A4 e AS), sendo neste caso necessário um contrato específico, onde pode-se destacar as seguintes características:

- a) Um único valor de DEMANDA CONTRATADA (KW), independente do posto horário (ponta ou fora de ponta), sendo aplicada uma única tarifa para esta demanda;
- b) Dentro do período de faturamento, a demanda faturável será o maior valor dentre a demanda contratada e a demanda medida;
- c) Um único valor de tarifa para o caso de ultrapassagem de demanda;
- d) Embora não seja explícita, a Resolução 456 permite que sejam contratados dois valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido.

A demanda utilizada nos cálculos de faturamento é determinada da mesma maneira que na tarifa horo-sazonal azul.

O faturamento da tarifa verde é dado pela equação:

$$F = \frac{DF \cdot TD + C_{(P)} \cdot TC_{(P)} + C_{(FE)} \cdot TC_{(FE)}}{1 - ICMS} + UD + ER \quad (10)$$

Neste caso, a multa por ultrapassagem da demanda contratada é calculada pela equação:

$$UD = (DF - DC) \cdot TU \quad (11)$$

Onde:

- a) DC, demanda contratada;
- b) TU, tarifa de ultrapassagem.

A multa por excesso de reativos (ER) pode ser calculada pelas mesmas equações que a tarifa convencional e horo-sazonal azul.

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 Introdução

Este capítulo tem por objetivo demonstrar a aplicação de um dos métodos de gerenciamento de energia pelo lado da demanda. O método utilizado é a tarifa horo-sazonal, que tem proporcionado uma mudança no comportamento do consumo de energia elétrica.

O estudo de caso é baseado nas informações de consumo de energia elétrica da **MECAN - Indústria e locação de equipamentos para construção Ltda.**

A MECAN está localizada na cidade de Vespasiano - MG e possui uma área construída de aproximadamente 20.000 m<sup>2</sup> destinada à fabricação de máquinas e equipamentos.

Das contas de energia elétrica expedidas pela concessionária foram extraídas as principais informações como:

- a) Consumo de energia ativa [kWh];
- b) Consumo de energia reativa [kWh];
- c) Demanda registrada [kW];
- d) Demanda faturada [kW];
- e) Fator de Carga;
- f) Valor da fatura [R\$].

Vale a pena enfatizar que dependendo da modalidade tarifária, a conta de energia elétrica pode fornecer informações segmentadas em horários do dia (ponta e fora de ponta) e em períodos do ano (seco e seco).

É importante observar que a partir das informações disponíveis nas contas de energia elétrica que começou a análise de desempenho da demanda

A Figura 9 exibe um exemplo de conta de energia elétrica fornecida à MECAN, onde pode-se observar: consumidor do subgrupo A4, tarifado na modalidade horo-sazonal verde.

**CEMIG** FALE COM A CEMIG

Distribuição S.A. atendimento@cemig.com.br

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322136.0087 / Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

**MECAN I LOCAÇÃO EQUIPAMENTOS CONSTRUÇÃO** Referente a **JUN/2008** Nº DO CLIENTE **7000015107**  
 RD MG010 26 IN SANTA CLARA Código de Débito Automático: **90013368**  
 33200-000/VESPASIANO, MG INSCRIÇÃO ESTADUAL 7122441250182

**NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U Nº 000001854- PTA Nº 16.000114527.70**

<b>Classificação</b> Industrial	<b>Medição</b> THS Verde A4	<b>Datas de Leitura</b> ANTERIOR: 02/05 ATUAL: 02/06 PRÓXIMA: 01/07	<b>Datas da Nota Fiscal</b> EMIÇÃO: 02/06 APRESENTAÇÃO: 03/06
			<b>Número da Instalação</b> 3009001336

**Informações Técnicas**  
Conforme demonstrativo anexo

<b>Informações Gerais</b> Tarifa vigente conforme Res. Aneel nº 626, de 07/04/08.	<b>Valores Faturados</b>																								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Preço</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Demanda Ativa kW HFP/Único</td> <td>574</td> <td>16,75517791</td> <td>9.617,47</td> </tr> <tr> <td>Energia Ativa kWh HFP/Único</td> <td>114.100</td> <td>0,19190122</td> <td>21.895,93</td> </tr> <tr> <td>Energia Ativa kWh HP</td> <td>4.200</td> <td>1,71647637</td> <td>7.209,21</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><b>Encargos / Cobrança</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contrib. Custeio Ilum. Pública</td> <td></td> <td></td> <td>15,16</td> </tr> </tbody> </table>	Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)	Demanda Ativa kW HFP/Único	574	16,75517791	9.617,47	Energia Ativa kWh HFP/Único	114.100	0,19190122	21.895,93	Energia Ativa kWh HP	4.200	1,71647637	7.209,21	<b>Encargos / Cobrança</b>				Contrib. Custeio Ilum. Pública			15,16
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)																						
Demanda Ativa kW HFP/Único	574	16,75517791	9.617,47																						
Energia Ativa kWh HFP/Único	114.100	0,19190122	21.895,93																						
Energia Ativa kWh HP	4.200	1,71647637	7.209,21																						
<b>Encargos / Cobrança</b>																									
Contrib. Custeio Ilum. Pública			15,16																						

<b>Indicadores de Qualidade de Fornecimento</b> VEPASTIANO REG. DISTR. DE SETE LAGOAS Mês: 04/2008 DIC FIC DMIC Consideradas Apurado 0,43 1,00 0,43 as interrupções Permitido 36,00 28,00 18,00 acima de 3 Min. Tensão: Nominal =13,8 kV Mín. =12,9 kV Máx. =14,5 kV	<b>Informações de Faturamento</b>
---	-----------------------------------

<b>Histórico do Consumo</b>	<b>VENCIMENTO</b> 10/06/2008																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Mês/Ano</th> <th>HP</th> <th>HFP</th> <th>HP</th> <th>HFP</th> <th>HR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>MAI/08</td><td>126</td><td>553</td><td>4.200</td><td>98.000</td><td>0</td></tr> <tr><td>ABR/08</td><td>112</td><td>560</td><td>4.200</td><td>101.500</td><td>0</td></tr> <tr><td>MAR/08</td><td>322</td><td>567</td><td>4.200</td><td>109.200</td><td>0</td></tr> <tr><td>FEV/08</td><td>105</td><td>574</td><td>3.500</td><td>114.100</td><td>0</td></tr> <tr><td>JAN/08</td><td>98</td><td>567</td><td>3.500</td><td>95.200</td><td>0</td></tr> <tr><td>DEZ/07</td><td>77</td><td>567</td><td>2.800</td><td>102.200</td><td>0</td></tr> <tr><td>NOV/07</td><td>105</td><td>560</td><td>3.500</td><td>112.000</td><td>0</td></tr> <tr><td>OUT/07</td><td>98</td><td>539</td><td>2.800</td><td>95.200</td><td>0</td></tr> <tr><td>SET/07</td><td>175</td><td>546</td><td>3.500</td><td>98.000</td><td>0</td></tr> <tr><td>AGO/07</td><td>112</td><td>546</td><td>3.500</td><td>95.900</td><td>0</td></tr> <tr><td>JUL/07</td><td>294</td><td>546</td><td>3.500</td><td>83.300</td><td>0</td></tr> <tr><td>JUN/07</td><td>126</td><td>550</td><td>3.500</td><td>84.700</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Mês/Ano	HP	HFP	HP	HFP	HR	MAI/08	126	553	4.200	98.000	0	ABR/08	112	560	4.200	101.500	0	MAR/08	322	567	4.200	109.200	0	FEV/08	105	574	3.500	114.100	0	JAN/08	98	567	3.500	95.200	0	DEZ/07	77	567	2.800	102.200	0	NOV/07	105	560	3.500	112.000	0	OUT/07	98	539	2.800	95.200	0	SET/07	175	546	3.500	98.000	0	AGO/07	112	546	3.500	95.900	0	JUL/07	294	546	3.500	83.300	0	JUN/07	126	550	3.500	84.700	0	<b>VALOR A PAGAR</b> R\$ 38.737,77
Mês/Ano	HP	HFP	HP	HFP	HR																																																																										
MAI/08	126	553	4.200	98.000	0																																																																										
ABR/08	112	560	4.200	101.500	0																																																																										
MAR/08	322	567	4.200	109.200	0																																																																										
FEV/08	105	574	3.500	114.100	0																																																																										
JAN/08	98	567	3.500	95.200	0																																																																										
DEZ/07	77	567	2.800	102.200	0																																																																										
NOV/07	105	560	3.500	112.000	0																																																																										
OUT/07	98	539	2.800	95.200	0																																																																										
SET/07	175	546	3.500	98.000	0																																																																										
AGO/07	112	546	3.500	95.900	0																																																																										
JUL/07	294	546	3.500	83.300	0																																																																										
JUN/07	126	550	3.500	84.700	0																																																																										

Reservado ao Fisco  
D995.23FA.01AE.F343.0DE0.E174.DC20.A9F8

Base de cálculo(R\$) 38.722,81	ICMS Alíquota(%) 18	Valor(R\$) 6.970,07
<b>PASEP (R\$)</b> 460,80	<b>COFINS (R\$)</b> 2.125,88	

**REAVISO DE CONTAS VENCIDAS / DÉBITOS ANTERIORES**  
Mês / Ano Valor (R\$)

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 144 - Ligação gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares. Ouvidoria CEMIG: (31) 3506-3338

**CEMIG** Unidade de Leitura 41012601

Conta Contrato 90013368 Vencimento 10/06/2008 Total a Pagar R\$ 38.737,77

83690000387-9 37770138002-6 70009036200-0 00090013368-7 Junho/2008



Figura 9 - Exemplo de conta de energia elétrica  
 Fonte: Mecan Indústria e locação de equipamentos para construção Ltda.

As informações extraídas das contas são confiáveis e de fácil acesso, porém, não permitem o monitoramento detalhado. Com isto surge a necessidade da medição direta.

O procedimento de medição direta consiste na monitoração das cabines primárias da instalação sob análise, com o objetivo de determinar precisamente informações sobre as características de consumo diárias.

A medição direta pode ser realizada por um equipamento eletrônico micro processado, capaz de medir continuamente as grandezas elétricas de interesse, fornecendo registros a cada intervalo de tempo específico, programável pelo usuário. Um registro é composto pelos valores das seguintes grandezas:

- a) Tempo (hh:mm:ss);
- b) Tensões de fase ( $V_A, V_B, V_C$ );
- c) Correntes da fase ( $I_A, I_B, I_C$ );
- d) Potências Ativas ( $P_A, P_B, P_C$ );
- e) Potências Reativas ( $Q_A, Q_B, Q_C$ ).

Todos os registros são armazenados na memória de massa do equipamento sendo, posteriormente, transferidos para um microcomputador com o objetivo de receberem o tratamento matemático necessário.

## 5.2 O equipamento medidor

O equipamento instalado na MECAN, cujo modelo é o CCK 6700, desenvolvido pela empresa CCK Automação Ltda, possui várias funções, entre elas a de executar o controle da demanda e do fator de potência e ainda conta com os seguintes recursos:

- a) Duas entradas para medidores de energia;
- b) Oito entradas de pulsos que podem ser utilizadas para receber pulsos proporcionais do consumo de energia elétrica;
- c) Oito relés incorporados à unidade, que podem ser utilizados para o controle de demanda, controle de fator de potência, programação horária e acionamento manual;
- d) Trinta e dois campos de memória de massa;
- e) Uma Porta Ethernet 10 Mbits.

As figuras 10 e 11 mostram detalhes externos e internos da instalação do equipamento na empresa. A seta nas figuras 10 e 11 mostra por onde é feita a comunicação com o micro-computador.



**Figura 10 - Instalação do equipamento no local**  
**Fonte: Elaboração própria.**



**Figura 11 - Detalhe do equipamento no local**  
**Fonte: Elaboração Própria.**

### **5.2.1 Memória de massa**

O equipamento possui uma memória de massa para 35 dias contínuos, médias integradas de 5 minutos, em um total de 10.080 intervalos. Esta memória é transferida para um computador onde é possível análise das grandezas coletadas.

### **5.2.2 Posto Horário**

Como já definido, PONTA é o período compreendido entre 17h e 22h dos dias úteis, onde a energia tem um preço maior em comparação ao restante do dia, denominado FORA DE PONTA.

Também já foi definido, RESERVADO é o período compreendido entre 0h e 6h do dia, onde estará sendo observado o F. DE POTÊNCIA do consumidor quanto aos valores capacitivos e, durante o restante do dia, quanto aos valores indutivos.

Além dos postos horários descritos, PONTA, FORA DE PONTA e RESERVADO, a unidade instalada permite ainda a divisão da PONTA em 3 intervalos: PONTA 1, PONTA 2 e PONTA 3.

### **5.2.4 Cálculos de demanda**

Para este item, o usuário pode optar por um dos três tipos de cálculo de demanda disponíveis no equipamento:

- a) **Tendência:** este tipo de projeção de demanda é o mais tradicional e utiliza a fórmula de reta de tendência. O valor obtido neste cálculo será comparado com um valor máximo e mínimo de demanda programado pelo usuário. Quando este valor for maior que o máximo programado, serão realizados desligamentos de cargas. Se o valor for inferior ao mínimo programado, serão

realizados religamentos de cargas e, se o valor estiver entre o máximo e o mínimo, não haverá atuações sobre cargas.

- b) **Janela deslizante:** neste tipo de cálculo, a demanda dos últimos 15 minutos é totalizada a cada 30 segundos. Em um dado instante, esta demanda será coincidente com o intervalo de 15 minutos avaliado pela concessionária de energia elétrica. O acionamento de carga segue a mesma lógica da tendência para ligamento/desligamento de cargas.
- c) **Maximus:** neste algoritmo, a principal característica é a eficiência, que permite ao usuário programar além das demandas máximas que poderão ser atingidas sem incorrer em multas, um valor de demanda residual, correspondente ao valor de demanda que permanecerá mesmo com todas as cargas que estão sendo controladas desligadas.
- d) **Maximus com valor de carga:** análogo ao Maximus, sendo que, ao invés de se dividir a DEMANDA DE CONTROLE pelo número de cargas a serem controladas, os parâmetros serão obtidos de acordo com o valor das diversas cargas que serão controladas.

### **5.2.5 Algoritmos de controle de demanda**

Os pontos de saída podem, a critério do usuário, assumir a seguinte programação para executar o controle de demanda:

- a) **Prioridade:** o usuário, neste algoritmo, programa a prioridade do ponto a ser controlado, onde, o de maior prioridade será o último a ser retirado, em uma eventual tendência de ultrapassagem de demanda, e o primeiro a ser religado quando a tendência normalizar.
- b) **Restritivo:** os pontos serão desligados/religados conforme a programação de prioridades descrita anteriormente. Entretanto, este algoritmo permite a programação de um tempo máximo de ponto desligado que, quando cumprido, o ponto será religado e irá cumprir um novo tempo, denominado tempo de restabelecimento, quando o ponto estará ligado e fora do controle de demanda. Este tipo de algoritmo é muito utilizado em cargas térmicas,

quando uma carga pode ser desligada por um determinado tempo sem perder calor e, quando religada, entra em restabelecimento.

- c) **Prioridade com programação horária:** segue as mesmas regras da prioridade, sendo que poderão ser desligados pontos que tenham sido ligados por programação horária, permitindo desta forma que um mesmo ponto acumule duas formas de atuação: programação horária e por demanda.
- d) **Cíclico:** este tipo de algoritmo normalmente é utilizado para atuações em pontos onde as cargas conectadas possuem o mesmo valor, ou em prioridade de funcionamento ou em valor da carga em KW ou em ambos, caso em que estas cargas podem ser desligadas e religadas em forma de rodízio.
- e) **Controle de gerador:** na hipótese de uma tendência de ultrapassagem de demanda, os pontos que tenham sido programados com este algoritmo serão acionados de maneira a ligar um gerador. Este ponto permanecerá ligado por um tempo programado pelo usuário, independente do valor de demanda e, só será desligado ao final, quando houver sido cumprido o tempo, independentemente da normalização da demanda.

#### ***5.2.6 Ativação dos algoritmos de controle de demanda***

Todos os algoritmos descritos, quando programados para os diversos pontos de atuação da unidade CCK 6700, podem ser programados de maneira a definir se estarão ativos ou inativos nos postos horário de PONTA, FORA DE PONTA e RESERVADO. Ainda é permitido ao usuário a programação da inativação do algoritmo no posto horário com o ponto de controle ligado ou desligado.

#### ***5.2.7 Combinações de medições ativas***

Quando necessário, o CCK 6700 permite a combinação soma / subtração das diversas medições de energia ativa que venham a ser conectadas ao equipamento para obtenção de uma DEMANDA LÍQUIDA que será tomada como referência nas atuações (liga/desliga) sobre cargas para controlar a demanda.

### **5.2.8 Controle do fator de potência**

Neste item, a unidade CCK 6700 está apta a controlar 10 faixas distintas de fator de potência, sendo que estas faixas permitem variações de valores indutivos a capacitivos.

Quando o controle do fator de potência for realizado com as grandezas enviadas pelo medidor da concessionária de energia elétrica, o mesmo será realizado durante os períodos de PONTA e FORA DE PONTA na faixa indutiva e na faixa capacitiva durante o período RESERVADO. Esta limitação deve-se ao fato do medidor da concessionária de energia não fornecer os valores de energia reativa capacitiva durante os períodos de PONTA e FORA DE PONTA.

Como prerrogativa de funcionamento, o controle de fator de potência realizado pela unidade CCK 6700 opera por uma janela deslizante de cinco minutos, onde o valor de fator de potência que será utilizado como referência é atualizado a cada 30 segundos. Esta forma de operação evita acionamentos excessivos sobre bancos de capacitores.

Para garantir um controle de fator de potência eficiente, antes dos acionamentos sobre bancos, a unidade CCK 6700 verifica o nível de demanda que, caso esteja com um valor muito baixo, fará com que os bancos de capacitores sejam desligados, evitando desta forma o elevamento a tensão.

### **5.2.9 Alarmes**

Qualquer ponto de controle da unidade CCK 6700 poderá ser acionado na ocorrência dos seguintes eventos:

- a) Tendência de ultrapassagem de demanda;
- b) Queda acentuada na demanda;
- c) Fator de potência muito indutivo;
- d) Fator de potência muito capacitivo;
- e) Falta de pulso de energia ativa;
- f) Falta de comunicação serial com o medidor 1 da concessionária;
- g) Falta de comunicação serial com o medidor 2 da concessionária;

- h) Falta de pulso de sincronismo;
- i) Diferença de sincronismo nos medidores da concessionária;
- j) Falta do sinal de ponta / fora ponta;
- k) Falta de comunicação com os módulos de acionamento.

### 5.3 Sistema de gerenciamento

Para o Gerenciamento dos Recursos Energéticos é fundamental que se disponha de informações de alta confiabilidade, baseadas em dados coletados em tempo real, enriquecidas por relatórios analíticos e gráficos objetivos, que facultem o perfeito acompanhamento das condições técnicas e econômicas.

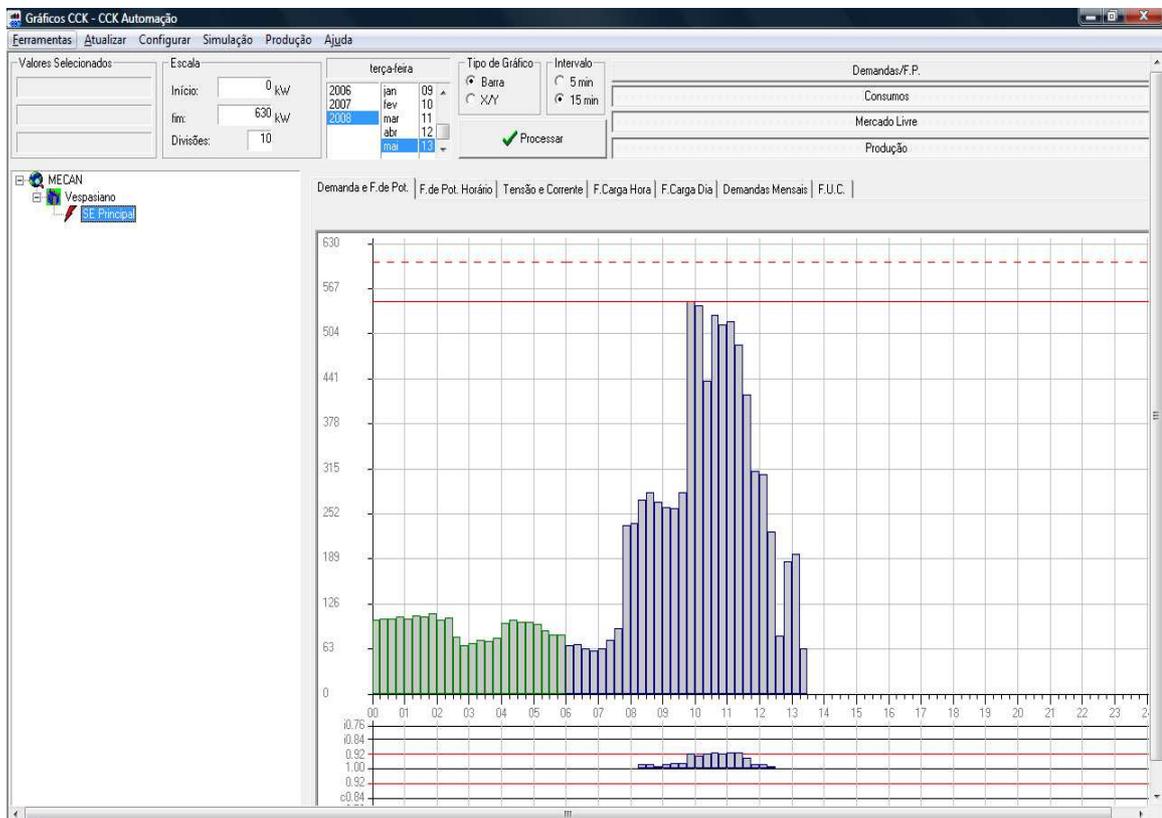
A relação Custo x Benefício é altamente positiva para os objetivos econômico-financeiros das empresas, em razão das perspectivas, mediatas e imediatas de eliminação de perdas motivadas, especialmente, por:

- a) Cultura do desperdício de energia;
- b) Penalidades por contratos de energia mal elaborados (ex: demandas mal dimensionadas);
- c) Descontrole nas medições dos insumos energéticos;
- d) Dimensionamento inadequado de fontes consumidoras de energia (iluminação, motores, etc.);
- e) Sobrecarga nos transformadores e cabos de energia;
- f) Inexatidão das contas de energia;
- g) Inadequações nas chaves de rateio de custos, etc.

A implantação do SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA possibilitou, sobretudo, a busca da eficiência energética, cujos objetivos principais foram:

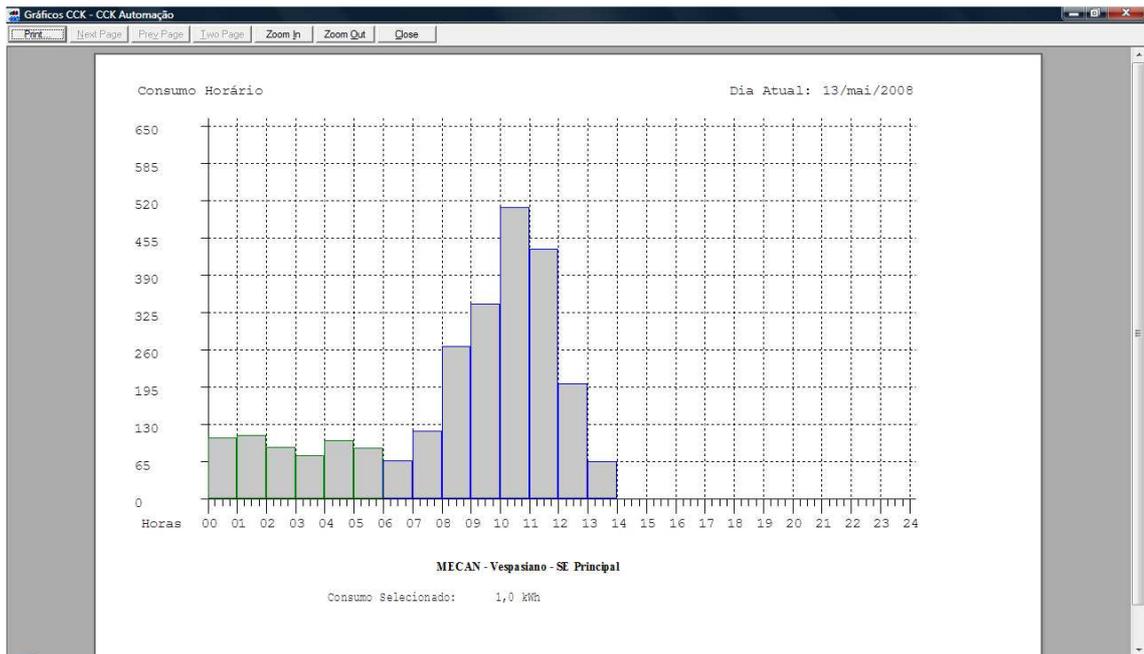
- a) Eliminação dos desperdícios;
- b) Aumento da eficiência das unidades consumidoras de energia;
- c) Mudança nos padrões de consumo, etc.

O sistema (*software*) conta com um programa de monitoramento que permite o acompanhamento e tratamento, em terminal remoto, de diversas grandezas (energia consumida, demanda, fator de potência) que caracterizam o uso da energia elétrica. Adicionalmente, conta com programas responsáveis pela aquisição automática de dados e acompanhamento das grandezas medidas verificando, em tempo real, a integridade das informações coletadas, se elas estão dentro de faixas esperadas de operação e se todas as unidades de medição estão enviando os dados corretamente. Através destas informações, o gestor tem acesso aos gráficos de demanda, consumo, meta e outros.



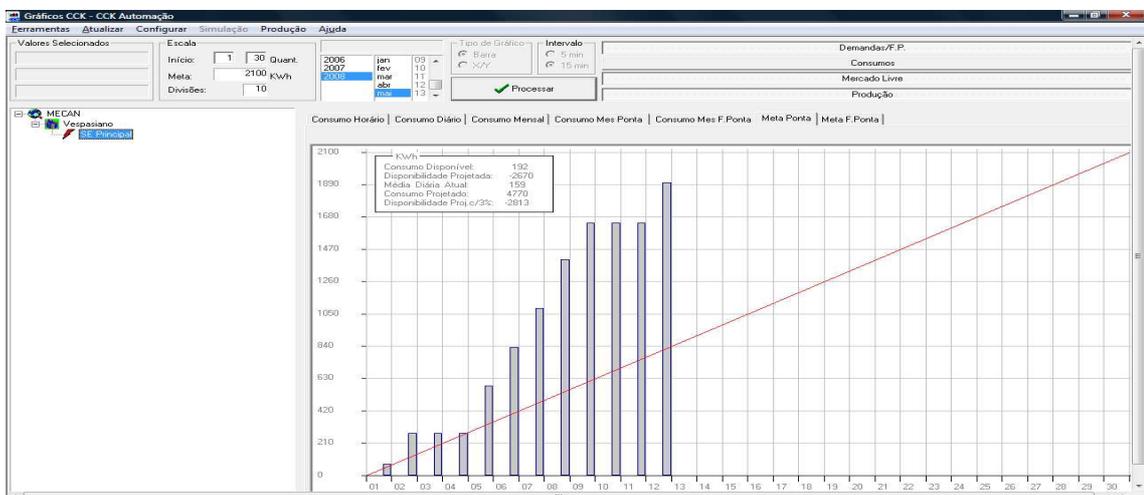
**Figura 12 - Gráfico de demanda diária e do fator de potência**  
**Fonte: extraído do sistema(soft) de gestão elétrica**

A figura 12 mostra um gráfico da demanda diária e do fator de potência, onde pode ser vista a evolução da demanda ao longo do dia, que permite ao gestor um acompanhamento pontual da demanda.



**Figura 13 - Gráfico de consumo horário**  
Fonte: extraído do sistema(soft) de gestão elétrica

A figura 13 mostra o gráfico de consumo horário. Como pode ser visto, no dia 13 de maio de 2008, o maior consumo registrado foi entre 10 e 11 horas.



**Figura 14 - Gráfico de consumo diário e projeção mensal.**  
Fonte: extraído do sistema(soft) de gestão elétrica

A figura 14 mostra o gráfico de consumo diário e a projeção mensal do consumo.

As informações sobre o consumo de energia das unidades monitoradas também podem ser visualizadas por meio de relatórios para impressão gerados pelo sistema (software), podendo ainda ser convertidos em documentos com outros formatos, por exemplo, MS Excel. Esta funcionalidade permite também que o gestor

esteja comparando a fatura de energia elétrica enviada pela concessionária com os dados coletados pelo sistema de gerenciamento de energia, como mostra a figura 15.

<b>Relatório de Energia Elétrica - Resumo</b>				
MECAN - Vespasiano				
quarta-feira, 27 de junho de 2007 às 00:00 até terça-feira, 13 de maio de 2008 às 13:30				
Início Período Seco		Início Período Úmido		
01/05		01/12		
<b>Início Ponta 1</b>	<b>Início Ponta 2</b>	<b>Início Ponta 3</b>	<b>Início Reservado</b>	
19:00 hs	19:00 hs	19:00 hs	00:00 hs	
<b>Fim Ponta 1</b>	<b>Fim Ponta 2</b>	<b>Fim Ponta 3</b>	<b>Fim Reservado</b>	
22:00 hs	22:00 hs	22:00 hs	06:00 hs	
<b>Dem.Ct.Seca Ponta 1</b>	<b>Dem.Ct.Seca Ponta 2</b>	<b>Dem.Ct.Seca Ponta 3</b>	<b>Dem.Ct.Seca F.Ponta</b>	<b>Dem.Ct.Seca Reservado</b>
550 kW	550 kW	550 kW	550 kW	550 kW
<b>Dem.Ct.Úmida Ponta 1</b>	<b>Dem.Ct.Úmida Ponta 2</b>	<b>Dem.Ct.Úmida Ponta 3</b>	<b>Dem.Ct.Úmida F.Ponta</b>	<b>Dem.Ct.Úmida Reservado</b>
550 kW	550 kW	550 kW	550 kW	550 kW
SE Principal				
<b>Constante Campo 01</b>	<b>Constante Campo 02</b>	<b>Constante Campo 03</b>	<b>Constante Campo 04</b>	
144/1.000	144/1.000	144/1.000	0/0	
<b>Horas Ponta(hs)</b>	<b>Horas F.Ponta(hs)</b>	<b>Horas Reservado(hs)</b>	<b>Horas Geral(hs)</b>	
687:00	5.098:30	1.932:00	7.717:30	
<b>Dem.Máx.Ponta(kW)</b>	<b>Dem.Máx.F.Ponta(kW)</b>	<b>Dem.Máx.Reservado(kW)</b>		
365,2 - 05/03/2008 19:15	597,3 - 03/01/2008 07:45	297,2 - 09/11/2007 05:15		
<b>Cons.Ativo Ponta(kWh)</b>	<b>Cons.Ativo F.Ponta(kWh)</b>	<b>Cons.Ativo Reservado(kWh)</b>	<b>Cons.Ativo Geral(kWh)</b>	
26.392,2	594.759,8	74.671,0	695.823,0	
<b>Cons.Reat.Ponta(kVarh)</b>	<b>Cons.Reat.F.Ponta(kVarh)</b>	<b>Cons.Reat.Reservado(kVarh)</b>	<b>Cons.Reat.Geral(kVarh)</b>	
232,6	154.622,8	-2.560,8	152.294,6	
<b>Fat.Pot.Ponta</b>	<b>Fat.Pot.F.Ponta</b>	<b>Fat.Pot.Reservado</b>		
1,000i	0,968i	0,999c		
<b>Fat.Carga Ponta(%)</b>	<b>Fat.Carga F.Ponta(%)</b>	<b>Fat.Carga Reservado(%)</b>		
10,52	19,53	13,00		
<b>Fat.Util. Ponta(%)</b>	<b>Fat.Util. F.Ponta(%)</b>	<b>Fat.Util. Reservado(%)</b>		
6,98	21,21	7,03		

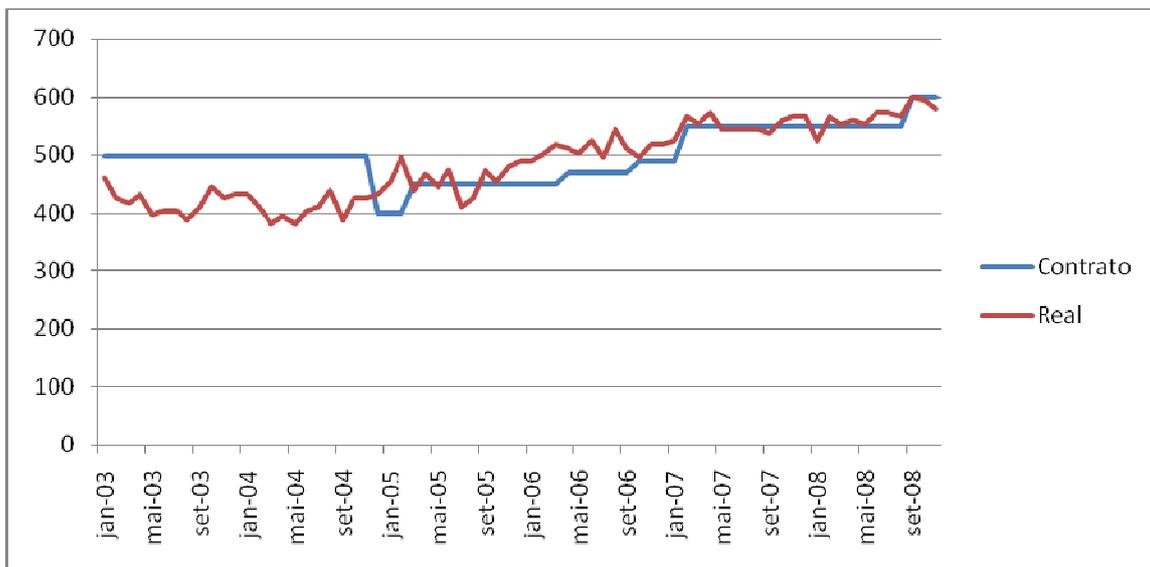
Obs.: Fat.Carga(%) =  $D_{med}/D_{máx} \times 100$ ; Fat.Util.(%) =  $D_{med}/D_{ct} \times 100$ .

**Figura 15 - Relatório de Energia Elétrica – Resumo**  
**Fonte: extraído do sistema(soft) de gestão elétrica**

### 5.3.1 Resultados obtidos

Os gráficos da figura 16 mostram o acompanhamento da grandeza demanda nos últimos quatro anos, é fácil perceber que localizar o ponto de equilíbrio não é tarefa fácil.

Como pode ser visto de jan-03 até dez-04 existia um excesso da demanda contratada em relação à demanda real, o que gerava custos desnecessários. A partir de jan-07 pode-se dizer que foi encontrado um ponto de equilíbrio.



**Figura 16 - Registro de demanda jan-03 até set-08.**  
**Fonte: Elaboração própria com dados coletados no período.**

## 5.4 Conclusão do Estudo de Caso

O estudo realizado na MECAN mostra que é importante ressaltar o potencial de economia de energia, bem como da otimização de seu uso, o que representa a readequação do processo produtivo. Readequações que muitas vezes caracterizam-se pela simplicidade e baixo custo, quando executadas. Por exemplo, alterar o horário de funcionamento de um determinado equipamento, que normalmente é acionado várias vezes ao dia, para ser acionado apenas uma vez (desde que não prejudique o processo produtivo da empresa).

O sistema implementado demonstrou que ele permite este tipo de readequação de horários dos equipamentos envolvidos no processo produtivo. Os resultados evidenciam, ainda, a possibilidade de substituição de parte ou da totalidade dos equipamentos, característica dos projetos de eficiência energética. O estudo na Indústria MECAN mostrou que os aspectos das substituições levados em consideração são:

- a) Substituição de equipamentos obsoletos por equipamentos mais modernos;
- b) Substituição de equipamentos superdimensionados por equipamentos melhor dimensionados para o processo em que estão envolvidos;
- c) Instalação de equipamentos complementares, com o objetivo de reduzir o consumo de energia.

Levando a eficiência energética a um patamar global, é possível alcançar melhores resultados em economia e redução do desperdício de energia. É importante ressaltar que tanto as substituições como as readequações dos processos produtivos não devem interferir na qualidade do serviço prestado, isto é, o processo produtivo não pode ser prejudicado. Resumidamente, pode-se mostrar tudo isto na tabela 4:

**Tabela 4 - ANÁLISE DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA(kWh) E TOTAL PRODUÇÃO(TON)**

Ano	2007			2006			2005			2004		
Mês	kWh	Tom	kWh/Ton	kWh	Ton	kWh/Ton	kWh	Ton	kWh/Ton	kWh	Ton	kWh/Ton
Jan.	81.900	1040,690	78,698	59.760	691,030	86,480	54.720	616,610	88,743	37.440	512,860	73,002
Fev.	77.700	1239,400	62,692	66.960	653,480	102,467	49.680	502,380	98,889	36.720	555,920	66,053
Mar.	92.400	1151,150	80,268	69.840	861,550	81,063	65.520	660,950	99,130	48.960	545,660	89,726
Abr.	86.800	1349,140	64,337	62.640	653,069	95,916	62.640	633,540	98,873	51.120	579,410	88,228
Mai.	84.700	1290,230	65,647	67.680	866,830	78,078	60.480	592,410	102,091	52.560	567,640	92,594
Jun.	83.300	1272,780	65,447	82.800	855,850	96,746	54.000	601,620	89,758	48.240	635,910	75,860
Jul.	95.900	1643,480	58,352	64.960	1227,610	52,916	52.560	660,780	79,542	59.760	521,330	114,630
Ago.	98.000	1268,250	77,272	91.000	1057,040	86,089	69.120	873,360	79,143	51.840	567,330	91,375
Set.	95.200	1686,030	56,464	78.400	1054,580	74,342	64.800	667,620	97,061	57.600	521,000	110,557
Out.	112.000	1997,210	56,078	90.300	1204,240	74,985	68.400	801,750	85,313	41.760	505,000	82,693
Nov.	102.200	1651,450	61,885	70.000	948,520	73,799	64.080	919,540	69,687	45.360	501,000	90,539
Dez.	95.200	1911,340	49,808	74.900	918,000	81,590	66.960	790,320	84,725	50.400	446,830	112,795
<b>Media</b>	<b>100.482</b>	<b>1458,429</b>	<b>68,897</b>	<b>73,270</b>	<b>915,983</b>	<b>79,991</b>	<b>61,080</b>	<b>693,407</b>	<b>88,087</b>	<b>48,480</b>	<b>538,324</b>	<b>90,057</b>

Fonte: elaboração própria com dados coletados no período.

A MECAN, ao longo dos últimos anos, vem trabalhando através de ferramentas de gerenciamento, a eficiência energética, como mostra a Tabela 4. Ela traz a evolução kWh/Tonelada produzida mês a mês nos últimos quatro anos para que se possa fazer uma comparação pontual. Como pode ser visto, a indústria MECAN saiu de um consumo médio de 90.05 kWhs/Tonelada em 2004 para um consumo de 68,89 kWhs/tonelada no ano de 2007. Isto demonstra o esforço da empresa em melhorar o seu consumo energético.

Atualmente, a empresa tem uma demanda contratada junto à CEMIG de 550 kW por mês, a energia elétrica representando 1% da planilha de custo de produção. Antes do processo de gerenciamento de energia este custo era da ordem de 2,3%. Entende-se, com os resultados apresentados aqui, que a implantação do SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA trouxe resultados positivos tanto em eficiência energética como na conservação de energia, onde os maiores beneficiários são o consumidor, a concessionária, e o Meio-Ambiente.

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 Conclusões e Recomendações

A energia elétrica ao longo dos anos vem se destacando cada vez mais na matriz energética mundial. O consumo crescente de energia elétrica, aliado a outros fatores, vem diminuindo a distância entre a demanda e a oferta, tornando o fornecimento cada vez mais crítico.

Sabe-se que a construção de novas usinas é limitada pelos impactos sócio-ambientais provocados. Sendo assim, o gerenciamento pelo lado da demanda mostra-se como uma alternativa para a solução de parte do problema de fornecimento no curto prazo.

Este trabalho buscou identificar os principais métodos de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) implementados pelas concessionárias elétricas, destacando-se no estudo de caso o método de tarifa diferenciada horo-sazonal.

Foram apresentados e discutidos diferentes métodos de gerenciamento pelo lado da demanda. O método de tarifa diferenciada horo-sazonal mostrou grandes resultados na alteração na carga do cliente e no comportamento de consumo do mesmo.

O estudo proposto permite a simulação de cenários que venham a alterar os hábitos de consumo de clientes e que, por consequência, alterarão a sua curva de carga típica e, na devida proporção, venham a alterar a curva de carga do sistema da concessionária.

O tema medidores digitais foi examinado e reportado.

O conceito de estrutura tarifária em vigor no Brasil foi examinado e descrito.

Foi apresentado um estudo de caso de uma indústria que, na obtenção das melhorias no rendimento global das instalações ocasionadas pelas ações de GLD aplicadas, pôde ser analisada.

Sugestão para trabalho futuros:

- a) Visto que a energia elétrica é um fator primordial para o funcionamento de qualquer atividade fabril, fica como sugestão o levantamento para outras empresas que utilizam a mesma classe de consumo, ou seja, tarifa verde ou azul;
- b) Estudar o impacto das melhorias obtidas nas instalações do cliente nos alimentadores, transformadores de subestações, bem como das próprias subestações;
- c) Investigar o impacto das ações de GLD nos elementos da rede, como se um número maior de clientes atendidos pelo elemento da rede em questão também tivesse executado ações de GLD semelhantes.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 15 abr. 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, **Balanço energético nacional**. Brasília: MME, 2005. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em 15 mar. 2008.

CAMARGO, Celso. C. B. **Gerenciamento pelo lado da demanda**: metodologia para identificação do potencial de conservação de energia elétrica de consumidores residenciais. 2002. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

CAMPOS, A. **Gerenciamento pelo lado da demanda**: um estudo de caso. 2004. Dissertação (Mestrado) - Programa Interunidades (IEE/POLI/FEA), São Paulo.

CKK AUTOMAÇÃO LTDA. **Manual do fabricante**. São Paulo: CKK Automação, 2008.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Programa de eficiência energética** Disponível em: <<http://www.cpfl.com.br>>. Acesso em: 10 maio 2008.

DAVIS, E.J. (Chairman). Impacts of several major load management projects. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, v.10, n.10, p.3885-3891, 1982.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Nova tarifa de energia elétrica**: metodologia e aplicação. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2005.

ELETROBRAS. **Plano Decenal de Expansão 1999/2008**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1999.

ELETROBRAS. **Relatório Analítico de Mercado: Mercado de Energia Elétrica. Ciclo 2000**. Rio de Janeiro: 2001.

GARDNER, E. Load Management DSM: past, present & future. In: RURAL ELECTRIC POWER CONFERENCE, 1995. **39th Annual Conference**. Nashville: IEEE, 1995.

GELLINGS, Clark W.; SMITH, Willian M. Integrating demand-side management into utility planning. Proceedings of the IEEE, v. 77, n.6, p.908-918, 1989.

HIRST, E., GOLDMAN, C. Key issues in integrated resources planning for electric utilities. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.5, n.4, p.1105-1111, 1990.

HIRST, E., J. REED. **Handbook of evaluation of utility DSM programs**. California: Oak Ridge National Laboratory, 1991.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **A eficiência energética e o novo modelo do setor energético**. Rio de Janeiro: 2001.

JANNUZZI, Gilberto de Martino; SWISHER, Joel. **Planejamento integrado de recursos energéticos: meio ambiente conservação de energia e fontes renováveis**. Campinas: Autores Associados, 1997.

KÖNTGES, U. Integration of a Ripple Control System for the Switching of Electric Night Storage Heating in a Network Control System. In: POWER INDUSTRY COMPUTER APPLICATION CONFERENCE, 1991. **Conference Proceedings**. Nashville, IEEE, 1991. p.38-44.

MEDEIROS, Reginaldo Almeida de. **O capital privado na reestruturação do setor elétrico brasileiro**. São Paulo: 1996.

NORRIS, T. B.; BODGER, P. S. Ripple Control Signal interference due to a Lightly Loaded Rural Distribution Line. **IEEE Proceedings**, v. 136, n. 6, p. 401-406, 1989.

PROCEL, ELETROBRÁS e PUC-Rio, **Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo**. Disponível em: <<http://www.eletronbras.gov.br/procel-Procel>>. Acesso em: 15 mar. 2005.

RAAD, A; GONÇALVES, Moreira M. O mercado de gerenciamento pelo lado da demanda no Brasil: controladores de demanda e tarifas diferenciadas. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 16, 2001, Campinas. **Anais...** Campinas, XVI SNTPEE, 2001.

SAIDEL, M. A.; FAVATO, L. B.; MORALES, C. Indicadores Energéticos e Ambientais: Ferramenta Importante na Gestão da Energia Elétrica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2005, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, CBEE/ABBEE, 2005.

SANTOS, Paulo E. Steele et al. Proposta de aprimoramento dos procedimentos de cálculo das tarifas de uso dos sistemas de distribuição. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 18, 2008, Recife. **SENDI XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica**. Recife: SENDI, 2008.

SENTELHAS, Robespierre. **Instrumento de software para apoio a pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso de energia elétrica**. 2004. Tese (Mestrado) - Universidade de São Paulo.

SHECHTMAN, Rafael, BAUM, Moisés. Análise de custos e benefícios econômicos de programas de gerência pelo lado da demanda. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 10, 1989, Curitiba. **Anais...** Curitiba, X SNPTEE, 1989.

SMITH, Bruce, MC RAS, Marjoric, TABAKIN, Edward. Issues in forecasting demand-side management programs impacts. **Proceedings of the IEEE**, v. 73, n. 10, p.1496-1502, 1985.

TANENBAUM, A. S. **Rede de Computadores** 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

TEIVE, R. C. G.; QUEIROZ, R. R. **Leitura automática do consumo de energia elétrica via sistema de comunicação wireless**. In: INTERNATIONAL INFORMATION AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES SYMPOSIUM, 2, 2003, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, I2TS, 2003.

UDAETA, M.E.M. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR** para o Setor Elétrico (pensando o Desenvolvimento Sustentável). 1997. 351 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Energia e Automação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ZAGUIS, A.; BARREIRO, C. J.; ASSAD, L.. S. e SILVA, W. O planejamento de mercado na CPFL - estrutura organizacional e experiência adquirida. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 11, 1991, Rio de Janeiro, 1991. **Anais...** Rio de Janeiro, XI SNPTEE, 1991.