

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**GERENCIAMENTO DE ENERGIA NA BUSCA DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA – UM ESTUDO DE CASO**

Área de Fator de Potência e Demanda

por

Ricardo Bardalati

Relatório apresentado à Banca Examinadora do
Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia
Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: Geraldo Peres Caixeta, Doutor

Itatiba (SP), dezembro de 2007

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. METODOLOGIA	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. DEFINIÇÕES DE DEMANDA	4
2.1.1. Fator de Demanda de um Conjunto de Cargas	6
2.1.2. Fator de Utilização	6
2.1.3. Fator de Simultaneidade.....	6
2.1.4. Fator de Carga.....	7
2.1.5. Cálculo de Demanda de uma Indústria.....	8
2.1.6. Demanda Baseada em Fatores de Demandas Particulares ou por Grupos	8
2.1.7. Demanda Baseada no Tipo de Indústria	8
3. FATOR DE POTÊNCIA	11
3.1. TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA	13
3.1.1. Principais Definições	13
3.1.2. Tipos de Tarifa	14
3.1.3. Tarifa Monômnia	14
3.1.4. Tarifa Binômnia	14
3.1.5. Tarifa Convencional.....	14
3.1.6. Tarifa Horo-Sazonal	15
3.1.7. Tarifa Verde	15
3.1.8. Tarifa Azul.....	16
3.1.9. Ultrapassagem de Demanda	16
3.1.10. Exemplos de Cálculos de Multa por Ultrapassagem.....	17
3.1.11. Projeção da Demanda	18
3.1.12. Demanda Projetada.....	18
3.1.13. Classificação dos Consumidores	19
4. PORQUÊ CONTROLAR O FATOR DE POTÊNCIA	20

4.1. CONSEQUÊNCIAS DE CAUSAS DE UM BAIXO FATOR DE POTÊNCIA	20
4.1.1. Multa por Fator de Potência	20
4.1.2. Perdas na Instalação	20
4.1.3. Quedas de Tensão	21
4.1.4. Capacidade Instalada.....	21
4.1.5. Causas do Baixo Fator de Potência	21
4.1.6. Vantagens da Correção do Fator de Potência	22
4.1.7. Melhoria da Tensão.....	22
4.1.8. Redução de Perdas	23
5. PROJETO.....	24
5.1. MÉTODOS EMPREGADOS PARA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	24
5.1.1. Capacitores	25
5.1.2. Recomendações para Dimensionamento e Instalação de Capacitores	26
5.1.3. Manutenção Preventiva	26
5.1.4. Correção Fator de Potência de Motores	27
6. IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	29
6.1. MEDIÇÃO GLOBAL DE ENERGIA	30
6.2. MEDIÇÃO GLOBAL DE ENERGIA	31
6.3. CONTROLE DE DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	32
6.4. GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE MICROCOMPUTADOR	34
6.5. QUALIDADE DE ENERGIA.....	36
6.6. MEDIÇÃO SETORIAL DE ENERGIA.....	37
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE ABREVIATURAS

Δt	Variação do tempo
ΔV	Variação da tensão
A	Ampère
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AS	Alta tensão sazonal
C	Fator de carga
CPFL	Companhia Piratininga de Força e Luz
CTE	Controle Período Energia
CV	Potência
D	Demanda
d	Demanda de um conjunto de cargas
d_i	Fator de diversidade
D_M	Demanda máxima
D_m	Demanda média
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
D_p	Demanda projetada
D_t	Intervalo de tempo
F	Fator
FP	Fator de Potência
FPD	Fator de potência desejado
FPS	Horário fora de ponta em período seco
FPU	Horário fora de ponta em período úmido
h	Hora
I	Corrente
I_{kvar}	Corrente reativa
I_{kW}	Corrente ativa
KQh	Potência reativa por hora
KV	Quilo-volts
KVa	Potência aparente em quilovolt-ampère
KVar	Potência reativa em quilovolt-ampère
KVArh	Potência reativa em quilovolt-ampère por hora
KW	Potência ativa em quilo
KWh	Potência ativa em quilo consumida por hora
n	Número de vezes
P	Perdas
PA	Potência reativa consumida
PS	Horário de ponta em período seco
PU	Horário de ponta em período úmido
Q	Potência reativa
Q_c	Potência reativa do capacitor
Q_{capm}	Potência reativa do capacitor necessário no motor em KVar
R	Resistência
s	Conjunto de cargas
S	Fator de simultaneidade
T	Período

t	Tempo
THS	Tarifação hora-sazonal
U	Fator de utilização
V	Volts
W	Potência ativa
W_i	Potência instalada
W_M	Potência ativa máxima
W_N	Potência nominal

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo de medição de demanda.....	4
Figura 2. Curva de carga de uma instalação que se define a demanda.....	5
Figura 3. Gráfico de utilização de energia de forma racional	7
Figura 4. Potência ativa que efetivamente gera trabalho.....	12
Figura 5. Potência usada para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas	12
Figura 6. Triângulo retângulo representando relações entre kW, kVar e kVa.	13
Figura 7. Projeção de Demanda.....	18
Figura 8. Modelo Matemático: Equação da reta que passa pela origem	18
Figura 9. Gráficos de Demanda.....	18
Figura 10. Banco de Capacitores.....	25
Figura 11. Arquitetura Básica de um Sistema de Gerenciamento de Energia.....	29
Figura 12. Tomada óptica.....	30
Figura 13. Fator de Potência Horário	33
Figura 14. Demanda Diária de Energia Elétrica e Fator de Potência	34
Figura 15. Consumo Mensal de Energia Elétrica.....	35
Figura 16. Análise do Perfil de Demanda de Energia Elétrica.....	35
Figura 17. Captura de Transientes.....	36
Figura 18. Registro do Nível de Corrente Segundo a Segundo.....	37
Figura 19. Rateio do Consumo de Energia por Centro de Custo	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fatores de utilização e simultaneidade	7
Tabela 2. Fatores típicos para diversas cargas industriais	8
Tabela 3. Exemplo Parcial de Demanda Baseada no Tipo de Indústria.....	8
Tabela 4. Exemplo de Demanda para pequena Indústria	9
Tabela 5. Consumidor A4 Horo Sazonal Azul	17
Tabela 6. Tarifas - CPFL	17
Tabela 7. Fator de Potência Desejado	27
Tabela 8. Cálculo de Potência Reativa Desejado (orientativo)	28
Tabela 9. Resultado do Algoritmo x Ação do Gerenciador de Energia (Demanda)	31
Tabela 10. Resultado do Algoritmo x Ação do Gerenciador de Energia (Fator de Potência)	32

RESUMO

BARDALATI, Ricardo. **Eficiência Energética**. Itatiba, 2007. no f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

Para as empresas se manterem no concorrido e exigente mercado atual, é necessário buscar a melhoria contínua dos processos, eliminando as perdas e reduzindo os custos, e a eficiência energética é uma excelente alternativa. Este trabalho tem o objetivo de mostrar como alcançar a eficiência energética com desligamento e ligamento automático de cargas em tempos determinados, nas áreas de demanda e fator de potência. Primeiramente entender os conceitos de demanda e fator de potência e a importância em mantê-los sob controle, demonstrar uma forma para controlar de maneira moderna e eficaz.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Demanda. Fator Potência.

ABSTRACT

Nowadays, in order to keep business in a competitive and demanding market, it is necessary to search for continuous process improvements, eliminating the losses and decreasing the costs. The energetic efficiency is an excellent alternative. The purpose of this study is to show how to reach the energetic efficiency with automatic charges disconnection and connection in the demanding areas and power factor. It's important to understand the demand concepts and power factor and also the importance of keeping them under control, demonstrating a way to control them efficaciously.

Keywords: *Energetic Efficiency. Demand. Power Factor*

1. INTRODUÇÃO

O Decreto nº 479, de 20 de março de 1992, reiterou a obrigatoriedade de se manter o fator de potência o mais próximo possível da unidade (1,00), tanto pelas concessionárias quanto pelos consumidores, recomendando, ainda, ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) o estabelecimento de um novo limite de referência para o fator de potência indutivo e capacitivo, bem como a forma de avaliação e de critério de faturamento da energia reativa excedente a esse novo limite.

A nova legislação pertinente, estabelecida pelo DNAEE, introduz uma nova forma de abordagem do ajuste pelo baixo fator de potência, com os seguintes aspectos relevantes:

- Aumento do limite mínimo do fator de potência de 0,85 para 0,92;
- Faturamento de energia reativa capacitiva excedente;
- Redução do período de avaliação do fator de potência de mensal para horário, a partir de 1996.

Com isso muda-se o objetivo do faturamento, em vez de ser cobrado um ajuste por baixo fator de potência, como faziam até então, as concessionárias passam a faturar a quantidade de energia ativa que poderia ser transportado no espaço ocupado por esse consumo de reativo. Este é o motivo porque as tarifas aplicadas serem as de demanda e consumo de ativos, inclusive ponta e fora de ponta para os consumidores enquadrados na tarifação horosazonal.

Como o principal objetivo das empresas é sempre buscar o melhor resultado financeiro, ela busca diversas formas de redução de custos e eliminação de perdas e uma maneira de se fazer isso é buscando eficiência energética medindo, monitorando e controlando a energia, visando atender a legislação evitando multas indesejadas e racionalizando os equipamentos elétricos. Este trabalho vai mostrar um estudo de uma forma geral atendendo vários segmentos. Mostrar a importância da implantação do ligamento e desligamento automático de cargas em tempos determinados para controle de demanda e correção do fator de potência.

Iniciar com conceitos teóricos de instalações elétricas, visando ajudar para que estes monitoramentos e controles de automação não sejam instalados de uma forma prematura ocasionando gastos e não tendo resultados.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Apresentar um estudo da importância e de soluções para gerenciamento e controle de ligamento e desligamento de cargas em tempos determinados, visando a eficiência energética para diversos segmentos (Industrial, Predial, Comercial etc.) nas áreas de demanda e fator de potência, visando ajudar e orientar para que tais soluções sejam aplicadas com conhecimento teóricos e práticos.

1.1.2. Objetivos Específicos

Importância e soluções de ligamento e desligamento de cargas em tempos determinados na correção do fator de potência e controle de demanda, visando o aumento da eficiência energética. Sendo assim, o estudo feito neste trabalho, mostra soluções como:

- Redução significativa do custo de energia elétrica;
- Melhoria da tensão;
- Aumento da capacidade dos equipamentos de manobra;
- Aumento da vida útil das instalações e equipamentos;
- Implantar de maneira correta
- Redução do efeito Joule;
- Atender a legislação vigente, deixando de pagar multas

1.2. METODOLOGIA

A seqüência adotada, tem o objetivo de exemplificar uma forma para orientar qualquer segmento (Industrial, Predial, Comercial etc.) seguindo etapas de estudos. Primeiramente apresentando os conceitos teóricos de demanda e fator de potência extraído de livros específicos [1] [2], para depois mostrar onde, como e porque aplicar estes conceitos em diversos seguimentos, e por fim apresentar algumas soluções de controle e gerenciamento existentes no mercado, pesquisados em sites, palestras, cursos, contato com fabricantes e representantes técnicos especializados neste assunto e a própria experiência no dia a dia.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 - Aborda os objetivos e metodologia adotada.

Capítulo 2 - Fundamentação teórica de demanda e fator de potência, importância da demanda e fator de potência, causas de utilização inadequada de demanda, causas de utilização de baixo fator de potência, vantagens em manter controlado demanda e correção do fator de potência

Capítulo 3 - Métodos empregados para correção do fator de potência, soluções para medição, controle e gerenciamento de energia elétrica, controle de demanda e correção do fator de potência.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. DEFINIÇÕES DE DEMANDA

Demanda é o consumo de energia da sua instalação dividido pelo tempo no qual se verificou tal consumo. Para faturamento de energia pela concessionária, se utilizam intervalos de integração de 15 minutos. Assim, a sua demanda de energia (medida em kW), é igual ao consumo a cada 15 minutos (medido em kWh) dividido por 1/4 (15 minutos é igual a 1/4 de hora). Em um mês, ocorrem quase 3000 intervalos de quinze minutos Assim, a sua demanda será medida quase 3000 vezes ao longo do mês, e a concessionária de energia elétrica escolherá o valor mais alto, ainda que tenha sido verificado apenas uma única vez.

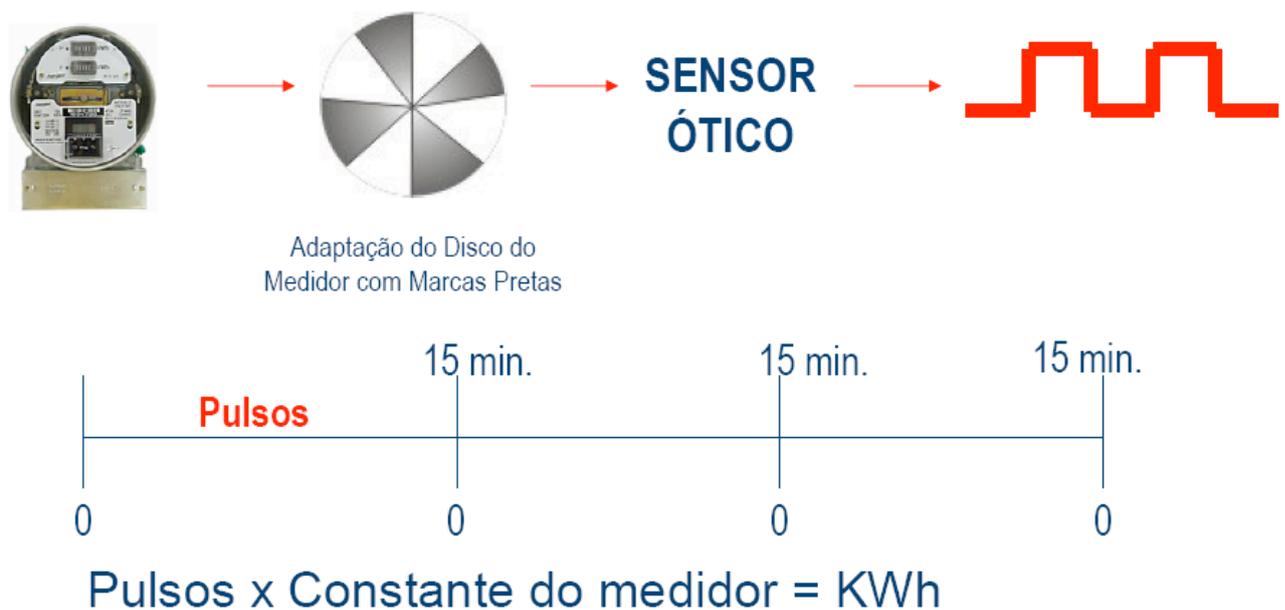


Figura 1. Exemplo de medição de demanda

$$D = \frac{kwh}{h} = k w \quad \text{Equação 1}$$

A demanda em uma instalação elétrica é importante porque, por ela, pode-se dimensionar economicamente condutores, geradores, trafos e outros componentes. A partir da curva de carga de uma instalação (fig. 2), é que se define a demanda.

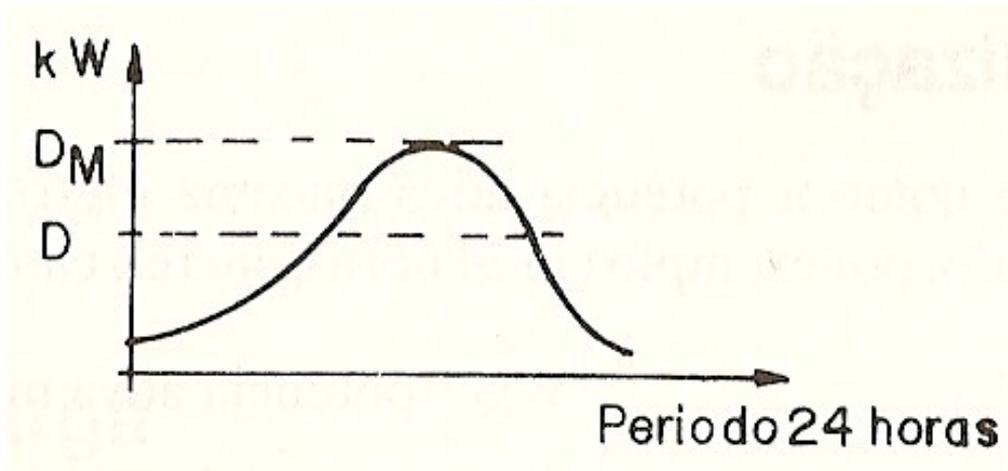


Figura 2. Curva de carga de uma instalação que se define a demanda

Defini-se a demanda como:

$$D = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} W \cdot dt (KWh) \quad \text{Equação 2} \quad \text{onde: } W - \text{potência ativa consumida}$$

Dt – intervalo de tempo

A demanda de uma instalação é medida pelo medidor de energia kwh, instalado pela Concessionária. Geralmente, existe um sistema interno do medidor que efetua a integração acima e registra a máxima demanda do mês.

A área da curva de carga e o eixo do período são a energia consumida pela instalação do período. A ordenada máxima seria a demanda máxima D_M .

Logo, a energia será:

$$\varepsilon = \int_0^T D dt \quad \text{Equação 3}$$

Define-se também a demanda média. Está seria a altura do retângulo cuja base é o período T e a área é a energia total. Logo:

$$D_m = \frac{\varepsilon}{T} \quad \text{Equação 4}$$

Além das definições acima, pode-se considerar na curva de carga, a potência instalada e a potência disponível. A potência instalada seria a soma de todas as cargas existentes e a disponível seria a máxima potência que a instalação poderia fornecer permanentemente.

2.1.1. Fator de Demanda de um Conjunto de Cargas

É a relação entre a máxima demanda, num tempo considerado, e a potência instalada

$$d = \frac{D_M}{W_i} \quad \text{Equação 5} \quad \begin{array}{l} D_M = \text{demanda máxima} \\ W_i = \text{potência instalada} \end{array}$$

2.1.2. Fator de Utilização

É definido como a potência ativa máxima efetivamente absorvida pelo equipamento, por exemplo em 24 horas, em relação à sua potência nominal.

$$U = \frac{W_M}{W_N} \quad \begin{array}{l} W_M = \text{potência ativa máxima} \\ W_N = \text{potência nominal} \end{array}$$

2.1.3. Fator de Simultaneidade

Definido para um conjunto de cargas como sendo a razão entre a demanda máxima do conjunto e a soma das potências máximas das cargas.

$$S = \frac{D_M}{\sum_1^n W_M} \quad \text{Equação 6}$$

A potência de cada carga poderia ser dada por:

$$W_M = u \cdot W_N \quad \text{Equação 7}$$

Por outro lado, se o fator de simultaneidade for conhecido

$$D_M = S \sum_1^n W_M = S \sum_1^n (U \cdot W_N) \quad \text{Equação 8}$$

Pode-se encontrar também fator de simultaneidade como sendo s para um conjunto de cargas:

$$s = \frac{D_M}{\sum_1^n D_M} \quad \text{Equação 9}$$

2.1.4. Fator de Carga

$$C = \frac{D_m}{D_M \text{ medida}} \quad \text{Equação 10}$$

É a relação entre a demanda média e a demanda máxima medida. O fator de carga é o índice que mostra se a energia está sendo utilizada de forma racional.

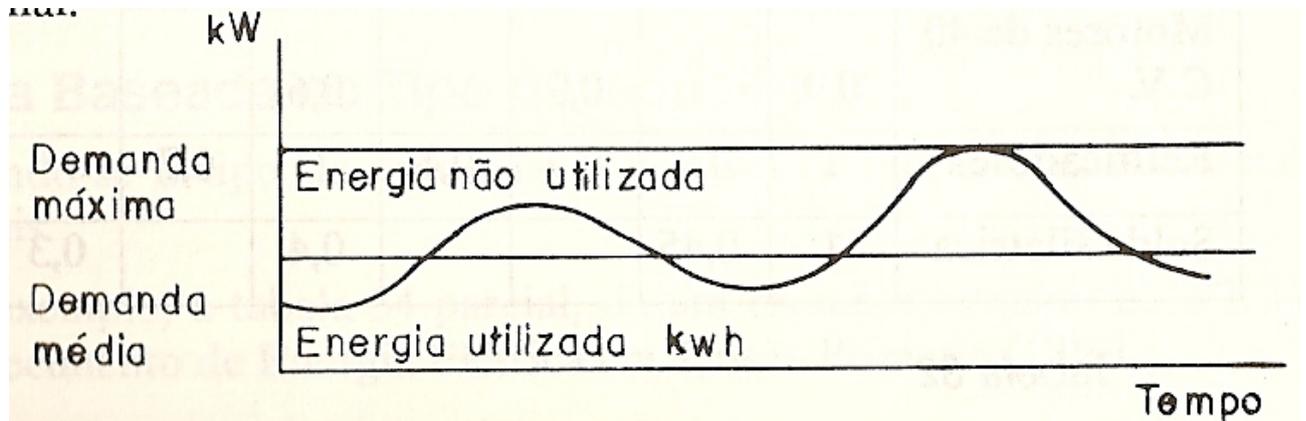


Figura 3. Gráfico de utilização de energia de forma racional

As concessionárias tem o maior interesse na uniformização do fator de carga, durante os períodos de funcionamento das instalações, pois em última análise isso implicaria numa demanda uniforme. A reprogramação das cargas leva a um fator de carga resultante, geralmente maior que o original, diminuindo o preço médio do kWh.

Tabela 1. Fatores de utilização e simultaneidade

Consumidor	Fator de simultaneidade em relação o número de consumidores								Fator de Utilização
	2	4	5	8	10	15	20	20	
Fornos , secadores e caldeiras a vapor	1								1
Fornos indução	1	1	0,8						1
Motores 0,37 a 2,2 kW	1		0,8		0,6			0,4	1
Motores de 2,6 a 10,3 kW	1		0,7		0,7			0,425	1
Motores de 11 kW a 29 kW	1		0,8		0,65			0,5	1
Motores de 30 kW	0,9		0,7		0,6				0,8
Retificadores	1	0,9	0,9	0,8		0,7			1
Solda Elétrica	1	0,45			0,4		0,3		1

Fonte: Adaptado de GUERRINI (1993)

2.1.5. Cálculo de Demanda de uma Indústria

Pode-se estimar a demanda de uma indústria por dois processos distintos: Demanda baseada em fatores de demanda particulares ou por grupos e Demanda baseada no tipo de indústria.

Definido para um conjunto de cargas como sendo a razão entre a demanda máxima do conjunto e a soma das potências máximas das cargas.

2.1.6. Demanda Baseada em Fatores de Demandas Particulares ou por Grupos

Conhecendo-se o tipo da carga, por exemplo linha de fornos, soldas, motores, etc. pode-se estimar a carga de demanda para cada tipo e obter, por soma, a demanda total.

Tabela 2. Fatores típicos para diversas cargas industriais

TIPO DE CARGA	FATOR DE DEMANDA
Máquinas de solda a arco	30%
Fornos de indução	80%
Motores. Uso geral máquinas operatrizes, pontes rolantes	30%
Componentes, bombas	60%
Fornos, resistências, caldeiras, aquecedores	80%
Máquinas solda a resistência	20%
Iluminação	100%

Fonte: Adaptado de GUERRINI (1993)

2.1.7. Demanda Baseada no Tipo de Indústria

Sabendo-se o tipo da indústria, é possível definir fatores de demanda globais. Por exemplo, a tabela 3 parcial, dá um exemplo de informações extraídas da CPFL, Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária.

Tabela 3. Exemplo Parcial de Demanda Baseada no Tipo de Indústria

ATIVIDADE	FATOR DE DEMANDA	FATOR DE CARGA TÍPICO
Extração de Minerais Pedreira	0,25	0,16
Fabricação de Máquinas Operatrizes, Máquinas Pesada ou Fundição	0,25	0,23 até 500 KW
Indústria de Ferramentas Agrícolas	0,48	0,19

Industria de Carrocerias	0,47	0,20
Industria de Rodas	0,35	0,25
Serraria e Carpintaria	0,41	0,18

Fonte: Adaptado de GUERRINI (1993)

Os fatores de demanda recomendados pela Concessionária podem ser modificados desde que justificados, devido a peculiaridades da indústria, a critério do projetista.

Considerando que $1CV = 736W$, a potência entregue pela rede do motor é:

$$W = \frac{736 \times C \cdot V}{\eta} \text{ onde } \eta \text{ é o rendimento do motor.} \quad \text{Equação 11}$$

O rendimento pode ser variável, dentro de certa faixa, para cada potência, dependendo do número de pólos do motor, categoria, etc., geralmente de 0,57 a 0,94, para motores trifásico de gaiola.

Logo a demanda será dada por:

$$D = W \times d \quad \text{Equação 12}$$

Segue um exemplo de demanda estimada de pequena indústria de rodas, cujas cargas são, a potência de iluminação poderia ser tomada como 100% e as máquinas consideradas por categoria, de acordo com a tabela 3. Entretanto foi adotado a orientação geral do fator de demanda dada pelas concessionárias.

Tabela 4. Exemplo de Demanda para pequena Indústria

	Descrição	Qtde	Potência Unitária	Fator de Potência	Rendimento Aproximado	Perdas Reatores	Potência Total (W)
LÂMPADAS	Incandescente	20	100	1,0			2.000
	Incandescente	10	500	1,0			5.000
	Fluorescente	80	40	0,9		300	3.500
	Mistas	50	160	1,0			8.000
	Vapor Mercúrio	20	400	0,6		440	8.440
Subtotal				0,9		740	26.940
EQUIP AMEN TOS	Ar Condicionado	2	4000	0,85	0,85		9.412
	Chuveiros	4	3500				14.000

Bombas	4	2CV	0,73	0,78		7.549
Torno	8	5CV	0,83	0,82		35.902
Torno	2	3CV	0,80	0,75		5.890
Fresa	3	20CV	0,85	0,85		51.953
Esmeril	8	1CV	0,67	0,70		8.411
Compressor	2	7,5CV	0,85	0,80		13.800
Talha	4	2CV	0,73	0,70		8.411
Guilhotina	5	7,5CV	0,85	0,80		34.500
Furadeiras	6	3CV	0,80	0,70		18.925
Ventiladores	6	2CV	0,73	0,75		11.776
TOTAL (kW)						241,58

Fonte: Adaptado de GUERRINI (1993)

Conforme tabela 3, a indústria de rodas tem um fator de demanda $d = 0,35$

$$D \cong 241,58 \times 0,35 \cong 84,554 \text{ kW}$$

Qualquer que seja o enquadramento tarifário dentro do Grupo A, a demanda registrada (para fins de faturamento) será, a cada mês, a maior demanda de cada um dos intervalos de integração de 15 minutos ao longo do mês. Se sua empresa estiver enquadrada na tarifa horo-sazonal azul, terá uma demanda registrada para o horário fora de ponta, e outra demanda registrada para o horário de ponta. Estes valores, quando elevados, podem ocasionar pesados acréscimos à sua fatura de energia.

3. FATOR DE POTÊNCIA

Como sabemos há dois tipos de corrente ou potência, ativa e reativa, cuja soma vetorial dá a corrente ou potência aparente.

O conceito físico pode ser explicado da seguinte maneira: qualquer equipamento que transforme a energia elétrica diretamente em outra forma de energia útil (térmica, luminosa, etc.), sem necessitar de energia intermediária na transformação, é um consumidor de energia ativa. Qualquer equipamento (motores, transformadores, reatores etc.) que necessite de energia magnetizante como intermediária na utilização de energia ativa, é um consumidor de energia ativa e reativa.

A energia reativa é uma energia trocada entre o gerador e o receptor, não sendo propriamente consumida como energia ativa.

Vetorialmente, representa-se a energia reativa 90° defasada em relação à ativa e isto significa que atinge os máximos e mínimos 90° elétrico em defasagem. Por convenção, se o receptor consome energia reativa, diz-se que a mesma está 90° atrasada em relação à energia ativa; se o receptor fornece energia reativa, está 90° avançada em relação à mesma.

Se um sistema de distribuição tiver seus condutores e equipamentos dimensionados para uma certa queda de tensão e um fator de potência igual a 1, isto é na suposição de que a potência aparente (volts x ampères) é igual à potência ativa ou efetiva (watts), caso o fator de potência seja na realidade inferior a 1, haverá um aumento na intensidade da corrente e, como consequência, maior queda de tensão e, portanto, menor tensão nos equipamentos. A baixa no fator de potência provocará:

- Menor intensidade luminosa das lâmpadas
- Maior corrente de partida nos motores de indução
- Menor corrente nos equipamentos de aquecimento e consequente queda na temperatura de operação.
- Funcionamento das máquinas com menor rendimento

Na indústria, a carga indutiva, devido principalmente a motores, fornos de indução, iluminação fluorescente ou a vapor de mercúrio, pode representar parcela considerável da carga total. Esta elevada carga indutiva e consequente fator de potência baixo representa, em resumo, uma sobrecarga para a instalação industrial e, também para a rede da empresa concessionária de energia. Pelos inconvenientes que lhe acarreta o fornecimento a um consumidor com baixo fator de

potência, a concessionária cobra uma sobretaxa incidente sobre a tarifa normal, pois esta tolera um fator de potência igual a 0,92.

Se o fator de potência for inferior a 0,92 o valor da conta de energia elétrica é multiplicado pela relação entre 0,92 e o fator de potência médio da instalação.

Para efetuar a medição da energia ativa, as concessionárias utilizam medidores de energia ativa (quilowatímetros). Os modelos mais comuns são os eletromecânicos, e são dotados de um disco que gira com velocidade proporcional ao consumo de energia ativa a cada instante. Estes medidores são parecidos com o que temos em nossas casas. A principal diferença é que o medidor é dotado de um dispositivo que emite um número determinado de pulsos a cada volta do disco. Estes pulsos são utilizados pelos sistemas de controle de demanda e fator de potência quando não existe a transmissão serial de informações (usada nos registradores/medidores com saída serial para o usuário).

Nas instalações dos médios e grandes consumidores industriais são também instalados medidores de energia reativa, para que as concessionárias possam medir o fator de potência na instalação. Da mesma forma, são utilizados medidores eletromecânicos de energia reativa, na maioria das empresas. Entretanto, como os pulsos são iguais quando o disco gira para o lado certo (energia reativa indutiva) ou para o lado errado (energia capacitiva), e não se deseja confundir os registradores ou controladores que recebem estes pulsos, os medidores possuem uma trava que impede que o disco gire para o lado errado. Assim, os medidores de kVArh normalmente só medem (e emitem pulsos) energia reativa indutiva.

Potência ativa: Potência que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento, etc. É medida em kW.

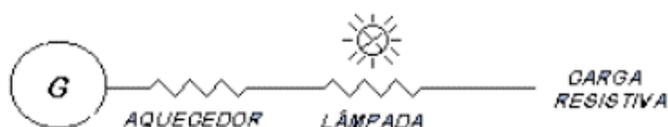


Figura 4. Potência ativa que efetivamente gera trabalho

Potência reativa: Potência usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas e é medida em kVAr.

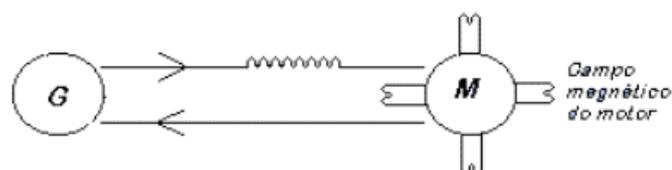


Figura 5. Potência usada para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas

Assim, enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa.

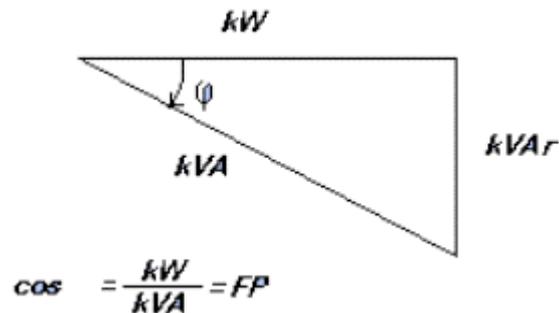


Figura 6. Triângulo retângulo representando relações entre kW, kVar e kVa.

$$\cos \phi = FP = \frac{Kw}{Kva} \quad (\text{Fórmula Básica}) \quad \text{Equação 13}$$

$$FP = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{KVARh}{KWh} \right]^2}} \quad \text{Equação 14}$$

$$KVARh = \frac{(2 \times KQh) - KWh}{\sqrt{3}} \quad \text{Equação 15}$$

KQh, precisaremos utilizar a fórmula abaixo para transformar KQh em KVARh.
Nota: o fator de potência em um sistema não-linear, não respeita as fórmulas citadas se não forem instalados filtros ou indutores nos equipamentos que geram harmônicas.

3.1. TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA

Existem diversas definições para se definir a tarifação de energia elétrica a ser aplicada. A figura 5 exemplifica uma medição de demanda.

3.1.1. Principais Definições

Horário de Ponta: corresponde ao intervalo de 3 horas consecutivas, definido por cada concessionária local, compreendido entre as 17 e 22 horas, de segunda à sexta-feira.

Horário Fora de Ponta: corresponde às horas complementares às relativas ao horário de ponta, acrescido do total das horas dos sábados e domingos.

Período Seco: compreende o intervalo situado entre os fornecimentos abrangidos pelas leituras dos meses de maio a novembro de cada ano.

Período Úmido: compreende o intervalo situado entre os fornecimentos abrangidos pelas leituras dos meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

Segmentos Horo-Sazonais: são as combinações dos intervalos de ponta e fora de ponta com os períodos seco e úmido, conforme abaixo:

- horário de ponta em período seco - PS
- horário de ponta em período úmido - PU
- horário fora de ponta em período seco – FPS
- horário fora de ponta em período úmido - FPU

Tarifas de Ultrapassagem: são as tarifas aplicadas à parcela da demanda medida que superar o valor da demanda contratada, no caso de Tarifas Horo-Sazonais, respeitados os respectivos limites de tolerância.

Modulação: corresponde a redução percentual do valor de demanda no horário de ponta em relação ao horário fora de ponta

3.1.2. Tipos de Tarifa

De acordo com o artigo 53 da Resolução ANEEL 456 de 29/11/2000, as tarifas de energia elétrica podem ser divididas em tarifas monômias (convencional e as de baixa tensão) e as tarifas binômias (tarifas horo-sazonais Verde e Azul)

3.1.3. Tarifa Monômia

É a tarifa de fornecimento de energia elétrica constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa.

3.1.4. Tarifa Binômia

É a estrutura tarifária de fornecimento constituída por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável.

3.1.5. Tarifa Convencional

Esta tarifa pode ser aplicada para fornecimento de tensão inferior a 69kV e demanda menor que 300kW.

Estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica (kWh) e demanda de potência (kW) independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. Demanda de potência (kW): um preço único, qualquer que seja o dia ou período do ano. Consumo de energia (kWh): um preço único, qualquer que seja o dia ou o período do ano.

Esta tarifa é atrativa para consumidores que tenham dificuldade em controlar seu consumo e/ou demanda no horário de ponta.

3.1.6. Tarifa Horo-Sazonal

São caracterizadas pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano. Elas podem ser de dois tipos a tarifa Verde e a tarifa Azul.

3.1.7. Tarifa Verde

É uma tarifa composta com quatro valores diferenciados para consumo de energia, de acordo com o horário do dia (na ponta e fora de ponta) e a época do ano (período seco e período úmido), além de um valor fixo (função da tensão) para qualquer nível de demanda de potência contratada.

Em outras palavras, a tarifa verde é uma tarifa opcional para fornecimento de tensão inferior a 69kV, aplicada considerando a seguinte estrutura tarifária:

Demanda de potência (kW):

- um preço único, qualquer que seja o dia ou o período do ano.

Consumo de energia (kWh):

- um preço para horário de ponta em período úmido (PU);
- um preço para horário fora de ponta em período úmido (FU);
- um preço para horário de ponta em período seco (PS);
- um preço para horário fora de ponta em período seco (FS).

O valor da tarifa de consumo na ponta é significativamente maior que o valor da tarifa fora da ponta, o que faz com este modelo seja atrativo quando é controlado o consumo no horário de ponta.

3.1.8. Tarifa Azul

É compulsória para fornecimento de energia em tensão igual ou maior que 69 kV. Pode ser aplicada para fornecimento de tensão inferior a 69kV, opcionalmente. É uma tarifa composta que se baseia no nível de consumo de energia e no nível da demanda de potência. Assim, em relação ao consumo, ela apresenta tarifas diferenciadas de acordo com o horário do dia (na ponta e fora de ponta) e a época do ano (período seco e período úmido); e em relação à demanda, apresenta tarifas baseadas apenas no horário do dia (ponta e fora de ponta). Em outras palavras, a tarifa azul é aplicada considerando a seguinte estrutura tarifária:

Demanda de potência (kW).

- um preço para horário de ponta
- um preço para horário fora de ponta

Consumo de energia (kWh)

- um preço para horário de ponta em período úmido (PU);
- um preço para horário fora de ponta em período úmido (FU);
- um preço para horário de ponta em período seco (PS);
- um preço para horário fora de ponta em período seco (FS);

Essa tarifa exige a definição de uma demanda de contrato no horário de ponta, que será paga mesmo que utilizada por apenas 15 minutos durante o mês. Assim, uma demanda elevada no horário de ponta, mesmo que só utilizada por pequenos períodos, será paga.

3.1.9. Ultrapassagem de Demanda

Será aplicada a tarifa de ultrapassagem caso a demanda medida seja maior que a demanda contratada. Tolerância de 10% para unidade consumidora atendida em tensão de fornecimento inferior a 69 kV.

A cobrança da tarifa de ultrapassagem será aplicada apenas na parcela que ultrapassar a demanda contratada.

A tarifa de ultrapassagem é superior à tarifa normal porque o sistema funciona em condições ótimas quando as demandas são bem definidas e estimadas com antecedência (a partir da demanda contratada). Quando o cliente ultrapassa sua demanda, sobrecarrega o sistema, o que implica em redução da qualidade do fornecimento (com mais picos e oscilações) e mais perdas de energia elétrica. Assim, com apenas um consumidor acima da demanda contratada, todo o sistema é afetado, devido a sua interligação e prejudica o sinal que é enviado aos outros consumidores,

perdendo qualidade e comprometendo os equipamentos ligados a rede elétrica.
Observação:

De acordo com o artigo 55 da Resolução ANEEL 456 de 29/11/2000. Com o propósito de permitir o ajuste da demanda a ser contratada, a concessionária deve oferecer ao consumidor um período de testes, com duração mínima de 3 (três) ciclos consecutivos e completos de faturamento, durante o qual será faturável a demanda medida, observados os respectivos segmentos horosazonais, quando for o caso. A concessionária pode dilatar o período de testes mediante solicitação fundamentada do consumidor.

3.1.10. Exemplos de Cálculos de Multa por Ultrapassagem

Tabela 5. Consumidor A4 Horo Sazonal Azul

Período	Contratada	Tolerância (10%)	Registrado
Ponta	500	550	555
Fora Ponta	800	880	875

Tabela 6. Tarifas - CPFL

Tipo	Ponta	Fora Ponta
Normal	31,52	8,00
Ultrapassagem	94,56	24,00

Cálculo da Multa (Fora de Ponta):

Demanda Contratada com Tolerância = 880 kW

Demanda Registrada = 875 kW

Valor da Conta de Demanda

875 kW x R\$ 8,00 = R\$ 7.000,00 (Não há Ultrapassagem)

Cálculo da Multa (Ponta):

Demanda Contratada com Tolerância = 550 kW

Demanda Registrada = 555 kW

Valor da Conta de Demanda

500 kW x R\$ 31,52 = R\$ 15.760,00

Multa:

55 kW x R\$ 94,56 = R\$ 5.200,80

3.1.11. Projeção da Demanda

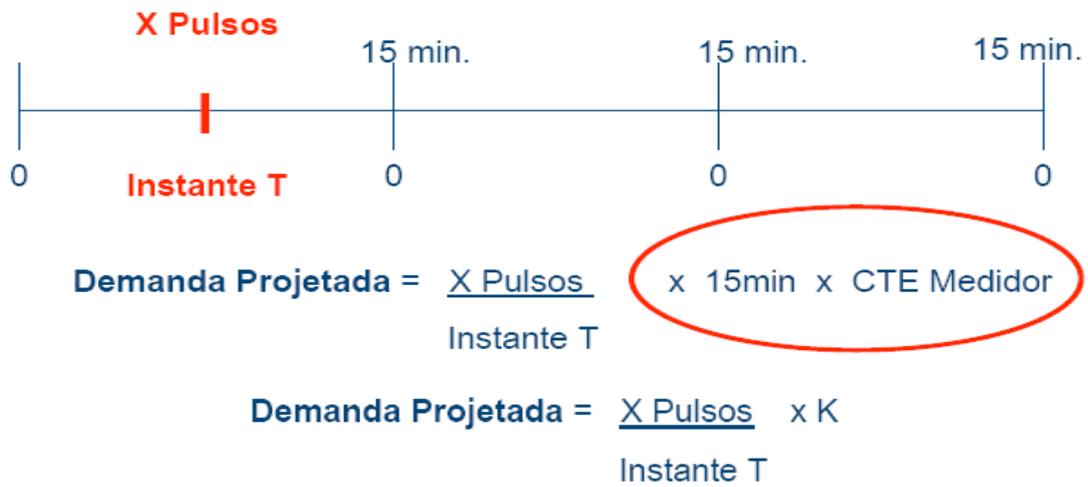


Figura 7. Projeção de Demanda

3.1.12. Demanda Projetada

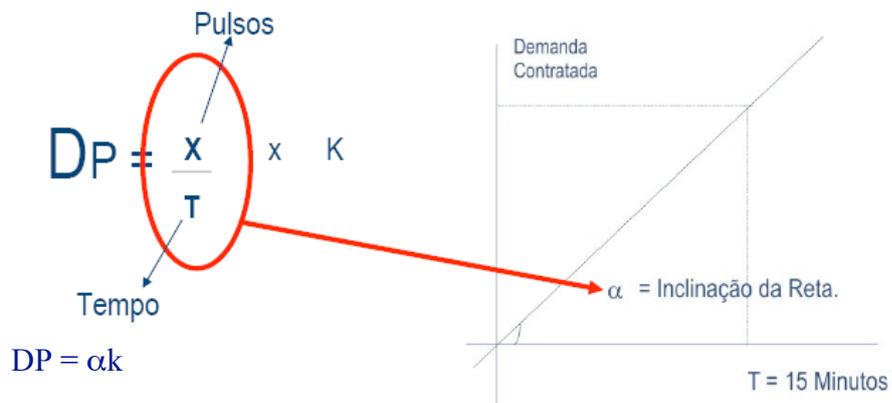


Figura 8. Modelo Matemático: Equação da reta que passa pela origem

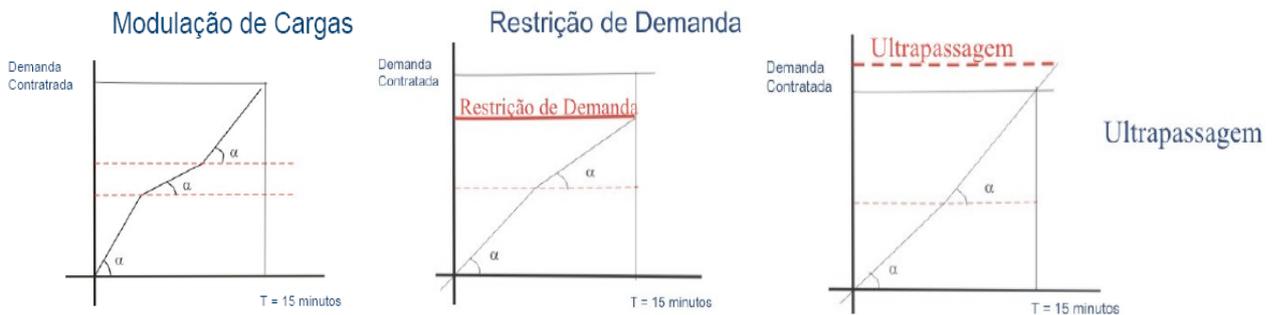


Figura 9. Gráficos de Demanda

3.1.13. Classificação dos Consumidores

Os consumidores de energia podem ser divididos em três categorias:

- Consumidores do Grupo B (Baixa Tensão): Residências, Iluminação Pública, Consumidores Rurais, e todos os demais usuários alimentados em baixa tensão (abaixo de 600V).
- Consumidores do Grupo A (Alta Tensão) Tarifação Convencional: Pequenas indústrias ou instalações comerciais que não estejam enquadradas na Tarifação Horo-Sazonal (THS), normalmente com demanda abaixo de 300 KW.
- Consumidores do Grupo A (Alta Tensão) Tarifação Horo-Sazonal: Grandes consumidores, alimentados em alta tensão (exceto os do grupo AS), e normalmente com demanda acima de 300 KW (para alguns consumidores, o enquadramento ou não a THS é facultativo).

Nos consumidores enquadrados na Tarifação Horo-Sazonal (THS), as concessionárias utilizam medidores eletrônicos com saídas para o usuário (consumidor). Nos demais consumidores, os sistemas de medição das concessionárias não possuem qualquer interface para o consumidor. Esta é uma das razões, dentre outras, que faz com que a grande maioria dos casos de controle de demanda seja de consumidores enquadrados na THS. Nestes casos, as informações de consumo ativo e reativo (assim como posto tarifário e sincronismo do intervalo de integração) são fornecidas por medidores ou registradores das próprias concessionárias de energia. E mais: estes medidores são padronizados por normas da ABNT, inclusive no tocante aos sinais disponibilizados para os consumidores (clientes).

4. PORQUÊ CONTROLAR O FATOR DE POTÊNCIA

A Portaria DNAEE 1569/93 estabeleceu novas regras para o fator de potência dos consumidores do Grupo A. Em linhas gerais, eles deverão manter o fator de potência de suas instalações acima de 0,92 indutivo durante os horários fora de ponta indutivo e de ponta, e deverão manter o fator de potência acima de 0,92 capacitivo no horário capacitivo. Como o fator de potência é medido pela concessionária de hora em hora, há que se controlá-lo continua e automaticamente, de modo a evitar multas por baixo fator de potência.

4.1. CONSEQUÊNCIAS DE CAUSAS DE UM BAIXO FATOR DE POTÊNCIA

As principais consequências são:

- Acréscimo na conta de energia elétrica por estar operando com baixo fator de potência;
- Limitação da capacidade dos transformadores de alimentação;
- Quedas e flutuações de tensão nos circuitos de distribuição;
- Sobrecarga nos equipamentos de manobra limitando sua vida útil;
- Aumento das perdas elétricas na linha de distribuição pelo efeito Joule;
- Necessidade de aumento do diâmetro dos condutores;
- Necessidade de aumento da capacidade dos equipamentos de manobra e proteção.

4.1.1. Multa por Fator de Potência

Exemplo:

Fator de Potência Estabelecido = 0,92

Fator de Potência Registrado = 0,85

$M = X (0,92 / 0,85 - 1) = 0,08235 X$

Ou seja, a conta de energia será acrescida de 8,235 % sobre o total.

4.1.2. Perdas na Instalação

As perdas de energia elétrica ocorrem em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente total. Como essa corrente cresce com o excesso de energia reativa, estabelece-se uma

relação entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência, provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos.

4.1.3. Quedas de Tensão

O aumento da corrente devido ao excesso de energia reativa leva a quedas de tensão acentuadas, podendo ocasionar a interrupção do fornecimento de energia elétrica e a sobrecarga em certos elementos da rede. Esse risco é, sobretudo acentuado durante os períodos nos quais a rede é fortemente solicitada. As quedas de tensão podem provocar ainda, a diminuição da intensidade luminosa das lâmpadas e aumento da corrente nos motores.

4.1.4. Capacidade Instalada

A energia reativa, ao sobrecarregar uma instalação elétrica, inviabiliza sua plena utilização, condicionando a instalação de novas cargas e investimentos que seriam evitados se o fator de potência apresentasse valores bem mais altos. O "espaço" ocupado pela energia reativa poderia ser então utilizado para o atendimento de novas cargas.

Os investimentos em aplicação das instalações estão relacionados principalmente aos transformadores e condutores necessários. O transformador a ser instalado deve atender à potência total dos equipamentos utilizados, mas devido à presença de potência reativa, a sua capacidade deve ser calculada com base na potência aparente das instalações.

4.1.5. Causas do Baixo Fator de Potência

- Motores de indução trabalhando a vazio;
- Motores superdimensionados para sua necessidade de trabalho;
- Transformadores trabalhando a vazio ou com pouca carga;
- Reatores de baixo fator de potência no sistema de iluminação;
- Fornos de indução ou a arco;
- Máquinas de tratamento térmico;
- Máquinas de solda;
- Nível de tensão acima do valor nominal provocando um aumento de consumo de energia reativa.

4.1.6. Vantagens da Correção do Fator de Potência

São várias as vantagens para empresas e concessionárias a correção do fator de potência. Para empresa aumento da eficiência energética, melhoria da tensão, aumento da capacidade dos equipamentos de manobra, aumento da vida útil das instalações e equipamentos, redução do efeito Joule, redução da corrente reativa na rede elétrica. Já para concessionária o bloco de potência reativa deixa de circular no sistema de transmissão e distribuição, evita as perdas pelo efeito Joule, aumenta a capacidade do sistema de transmissão e distribuição para conduzir o bloco de potência ativa, aumenta a capacidade de geração com intuito de atender mais consumidores, diminui os custos de geração.

4.1.7. Melhoria da Tensão

As desvantagens de tensões abaixo da nominal em qualquer sistema elétrico são bastante conhecidas. Embora os capacitores elevem os níveis de tensão, é raramente econômico instalá-los em estabelecimentos industriais apenas para esse fim.

A melhoria da tensão deve ser considerada como um benefício adicional dos capacitores. A tensão em qualquer ponto de um circuito elétrico é igual a da fonte de tensão até aquele ponto. Assim, se a tensão da fonte for geradora e as diversas quedas de tensão forem conhecidas, a tensão em qualquer ponto pode ser facilmente determinada. Como a tensão na fonte é conhecida, o problema consiste apenas na determinação das quedas de tensão.

A fim de simplificar o cálculo das quedas de tensão, a seguinte fórmula é geralmente usada:

$$\Delta V \cdot \sqrt{3} \quad \text{Equação 16}$$

Conhecido o fator de potência e a corrente total, as componentes da corrente são facilmente obtidas

$$I_{kW} = I \cdot \cos\varphi$$

$$I_{kW} = \text{corrente ativa}$$

$$I_{kvar} = I \cdot \sin\varphi$$

$$I_{kvar} = \text{corrente reativa}$$

$$V = R \cdot I_{kW} \pm X \cdot I_{kvar} \quad \text{Equação 17}$$

Por esta expressão torna-se evidente que a corrente relativa a potência reativa opera somente na reatância. Como esta corrente é reduzida pelos capacitores, a queda de tensão total é então reduzida de um valor igual a corrente do capacitor multiplicado pela reatância. Portanto, é apenas necessário conhecer a potência nominal do capacitor e a reatância do sistema de tensão ocasionada pelos capacitores.

Nos estabelecimentos industriais com sistemas de distribuição modernos e a uma só transformação a elevação da tensão proveniente da instalação de capacitores é da ordem de 4 a 5%.

4.1.8. Redução de Perdas

Na maioria dos sistemas de distribuição de energia elétrica de estabelecimentos industriais, as perdas RI^2t variam de 2,5 a 7,5% dos kWh da carga, dependendo das horas de trabalho a plena carga, bitola dos condutores e comprimento dos alimentadores e circuitos de distribuição.

As perdas são proporcionais ao quadrado da corrente e como a corrente é reduzida na razão direta da melhoria do fator de potência, as perdas são inversamente proporcionais ao quadrado do fator de potência.

Redução percentual das perdas:

$$\frac{\% \Delta P}{P_1} = 100 - \frac{100 \cdot \cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2} \quad \text{Equação 18}$$

Se o fator de potência for melhorado para liberar capacidade do sistema e, em vista disso, for ligada a carga máxima permissível, a corrente total é a mesma, de modo que as perdas serão também as mesmas. Entretanto a carga total em kW será maior, portanto a perda percentual no sistema será menor.

Algumas vezes torna-se útil conhecer o percentual das perdas em função da potência aparente (S) e potência reativa (Q) da carga e da potência reativa do capacitor (Q_c). Assim:

$$\frac{\% \Delta P}{P_1} = 100 \cdot \frac{Q_c (2Q - Q_c)}{S^2} \quad \text{Equação 19}$$

5. PROJETO

5.1. MÉTODOS EMPREGADOS PARA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

A correção do fator de potência pode ser feita instalando os capacitores de quatro maneiras diferentes, tendo como objetivo a conservação de energia e a relação custo/benefício:

a) Correção na entrada da energia de alta tensão: corrige o fator de potência visto pela concessionária, permanecendo internamente todos os inconvenientes citados pelo baixo fator de potência.

b) Correção na entrada de energia de baixa tensão: Permite uma correção bastante significativa, normalmente com bancos automáticos de capacitores. Utiliza-se este tipo de correção em instalações elétricas com elevado número de cargas com potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes. A principal desvantagem consiste em não haver alívio sensível dos alimentadores de cada equipamento.

c) Correção por grupos de cargas: o capacitor é instalado de forma a corrigir um setor ou um conjunto de pequenas máquinas (<10 cv). É instalado junto ao quadro de distribuição que alimenta esses equipamentos. Tem como desvantagem não diminuir a corrente nas alimentadoras de cada equipamento.

d) Corrente localizada: é obtida instalando-se os capacitores junto ao equipamento que se pretende corrigir o fator de potência. Representa, do ponto de vista técnico, a melhor solução, apresentando as seguintes vantagens:

- Reduz as perdas energéticas em toda a instalação;
- Diminui a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos;
- Pode-se utilizar em sistema único de acionamento para a carga e o capacitor, economizando-se um equipamento de manobra;
- Gera potência reativa somente onde é necessário.

e) Correção Mista: no ponto de vista "Conservação de Energia", considerando aspectos técnicos, práticos e financeiros, torna-se a melhor solução. Usa-se o seguinte critério para correção mista:

- Instala-se um capacitor fixo diretamente no lado secundário do transformador;
- Motores de aproximadamente 10 cv ou mais, corrige-se localmente (cuidado com motores de alta inércia, pois não se deve dispensar o uso de corrente para manobra dos capacitores

sempre que a corrente nominal dos mesmos for superior a 90% da corrente de excitação do motor);

- Motores com menos de 10 cv, corrige-se por grupos;
- Redes próprias para iluminação com lâmpadas de descarga, usando-se reatores de baixo fator de potência, corrige-se na entrada da rede;

5.1.1. Capacitores

São dispositivos estáticos, cujo objetivo é introduzir capacitância em um circuito elétrico, compensando ou neutralizando o efeito de indução das cargas indutivas. São especificados pela sua potência reativa nominal e podem ser monofásicos e trifásicos, para alta e baixa-tensão.

Os métodos mais comumente empregados na melhoria do fator de potência caracterizam-se pelo equipamento que utilizam. Uma forma econômica e racional de se obter a energia reativa necessária para a operação adequada dos equipamentos é a instalação dos capacitores próximos desses equipamentos, pois reduzem, assim as perdas nos circuitos elétricos, elevam a tensão próxima aos pontos de consumo, melhoram as condições de funcionamento e aliviam a solicitação do transformador. A instalação de capacitores, porém, deve ser precedida de medidas operacionais que levem à diminuição da necessidade de energia reativa, como o desligamento de motores e outras cargas indutivas ociosas ou superdimensionadas.

Muitas vezes não é viável a instalação de capacitores junto a cada equipamento elétrico porque o custo seria elevado e poderia não haver capacitores comerciais nos valores das cargas, consideradas isoladamente. Ocorre em geral, uma diversificação no consumo e prefere-se então, colocar um capacitor no barramento de baixa tensão ou em ramal que alimenta diversas cargas.



Figura 10. Banco de Capacitores

5.1.2. Recomendações para Dimensionamento e Instalação de Capacitores

- Utilizar resistor de descarga e respeitar o tempo mínimo de descarga (de 1 a 3 minutos);
- Manter a corrente de surto sempre no máximo 100 vezes a corrente nominal;
- Utilizar contactores com resistores de pré-carga ou indutores anti-surto;
- Em bancos automáticos, a frequência de ressonância não deverá coincidir com a frequência de nenhuma harmonia significativa na instalação;
- Utilizar fusíveis ou disjuntores para a proteção dos capacitores;
- Se a instalação possuir mais de 20% de "cargas lineares" (ex: inversores, soft-starters), medir os níveis de harmônicas;
- Não fazer interligações entre os terminais dos capacitores em bancos, respeitando as correntes máximas dos terminais dos capacitores;
- A seção dos cabos deve atender as características de corrente do sistema;
- Evitar soldar cabos nos terminais dos capacitores;
- Fazer aterramento individual para as unidades/ bancos capacitivos(as);
- Medir (monitorar) efetivamente a tensão no secundário do transformador antes de especificar a tensão dos capacitores, em carga e a vazio;
- Utilizar contactores com resistores de pré-carga para manobra de capacitores C;
- Utilizar células capacitivas com tensão reforçada (acima da nominal) para instalações de capacitores fixos em locais com níveis de harmônicas acima da 5ª ordem.

A localização dos cabos de comando em Bancos Automáticos, deverão ser utilizados cabos coaxiais ou dentro de tubulações independentes e aterrados na extremidade do controlador e instalar a uma distância mínima de 50 cm em relação ao barramento principal.

5.1.3. Manutenção Preventiva

- Verifique visualmente em todos os capacitores se houve atuação do dispositivo de segurança interno, indicado pela expansão da caneca de alumínio no sentido vertical;
- Verifique se há fusíveis queimados ou disjuntores desarmados;
- Verifique o funcionamento adequado dos contactores;
- Nos bancos com ventilação forçada, simular o adequado funcionamento do termostato e do ventilador;
- A temperatura externa do capacitor deveser menor que 45°C;

- Medir a tensão e a corrente em cada unidade com instrumento "TRUE RMS" na primeira energização, e fazer um acompanhamento das mesmas;
- Se atingirem ao longo do tempo, valores menores do que 10% da nominal, os capacitores deverão ser substituídos;
- Manter o painel sempre limpo.

5.1.4. Correção Fator de Potência de Motores

Tabela 7. Fator de Potência Desejado

Fator de potência atual	Fator de potência desejado (F)														
	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
0,50	1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,589
0,52	1,023	1,050	1,076	1,103	1,131	1,159	1,187	1,217	1,248	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500
0,54	0,939	0,966	0,992	1,019	1,047	1,075	1,103	1,133	1,164	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416
0,56	0,860	0,887	0,913	0,940	0,968	0,996	1,024	1,054	1,085	1,117	1,151	1,188	1,229	1,277	1,337
0,58	0,785	0,812	0,838	0,865	0,893	0,921	0,949	0,979	1,010	1,042	1,076	1,113	1,154	1,202	1,262
0,60	0,713	0,740	0,766	0,793	0,821	0,849	0,877	0,907	0,938	0,970	1,004	1,041	1,082	1,130	1,190
0,62	0,646	0,673	0,699	0,726	0,754	0,782	0,810	0,840	0,871	0,903	0,937	0,974	1,015	1,063	1,123
0,64	0,581	0,608	0,634	0,661	0,689	0,717	0,745	0,775	0,806	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,068
0,66	0,518	0,545	0,571	0,598	0,626	0,654	0,682	0,712	0,743	0,775	0,809	0,846	0,887	0,935	0,995
0,68	0,458	0,485	0,511	0,538	0,566	0,594	0,622	0,652	0,683	0,715	0,749	0,786	0,827	0,875	0,935
0,70	0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,564	0,594	0,625	0,657	0,691	0,728	0,769	0,817	0,877
0,72	0,344	0,371	0,397	0,424	0,452	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821
0,74	0,289	0,316	0,342	0,369	0,397	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766
0,76	0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,399	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,604	0,652	0,712
0,78	0,182	0,209	0,235	0,262	0,290	0,318	0,346	0,376	0,407	0,439	0,473	0,510	0,551	0,599	0,659
0,80	0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,609
0,82	0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,555
0,84	0,026	0,053	0,079	0,106	0,134	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503
0,86		0,000	0,026	0,053	0,081	0,109	0,137	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,342	0,390	0,450
0,88				0,000	0,028	0,056	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397
0,90						0,000	0,028	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,233	0,281	0,341
0,92								0,000	0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,283
0,94										0,000	0,034	0,071	0,112	0,160	0,229
0,96												0,000	0,041	0,089	0,149
0,98														0,000	0,060

Para correção do fator de potência de motores, utiliza-se a seguinte fórmula :

$$Q_{capm} = \frac{(\% \text{ carga}) \cdot P \cdot F}{\eta}, \text{ onde: Equação 20}$$

% carga = Fator relativo a pot. de trabalho do motor : motor operando a 50% de P = 0,5, 75% de P = 0,75 e 100% de P = 1,0;

P = Potência ativa em kW;

F = Fator de multiplicação, conforme tabela acima;

η = Rendimento do motor em função do percentual de carga que está operando;

Q_{capm} = Potência reativa do capacitor necessário no motor em kva r.

Para se calcular o valor da potência reativa necessária para elevar o fator de potência ao valor desejado, utiliza-se os valores de fator de potência atual e potência ativa consumida (recomanda-se realizar a média dos últimos doze meses, no mínimo) das contas de energia elétrica e o fator encontrado na tabela 7.

Tabela 8. Cálculo de Potência Reativa Desejado (orientativo)

EXEMPLO	
Fator de potência atual (FPA)	0,80
Potência reativa consumida (PA)	1000 kW
Fator de potência desejado (FPD)	0,92
Fator (vide tabela anterior)	0,324
kvar = PA x F = 1000 x 0,324 = 324 kvar	

- Em casos de sazonalidade, deve-se fazer a análise dos períodos em separado, levando-se em consideração o pior caso. O exemplo é orientativo, sempre que possível, deve-se conhecer os tipos de cargas presentes e a curva de carga da instalação.

6. IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para operação de instalações elétricas, o usuário precisa: monitorar os parâmetros de rede, gerenciar e controlar o consumo de energia, garantir a qualidade de energia, assegurar a operação das proteções e de pelo menos um ponto acessar todos os setores da instalação.

O sistema permite o gerenciamento de energia elétrica e utilidades, controle de demanda e fator de potência, composto de equipamentos de aquisição de dados, medição de energia, acionamento de cargas ativas e reativas e de programas de computadores Eclipse Scada, para o sistema operacional que permite a operação centralizada de todo o sistema através de um microcomputador que pode estar conectado em rede. Na figura 11 está representado um sistema completo de gerenciamento de energia elétrica, com as seguintes funções disponíveis:

- Medição global de energia;
- Controle de demanda e consumo de energia elétrica;
- Controle de fator de potência;
- Qualidade de energia;
- Medição setorial de energia para fins de rateio;
- Medição setorial de energia com verificação de índices de qualidade;

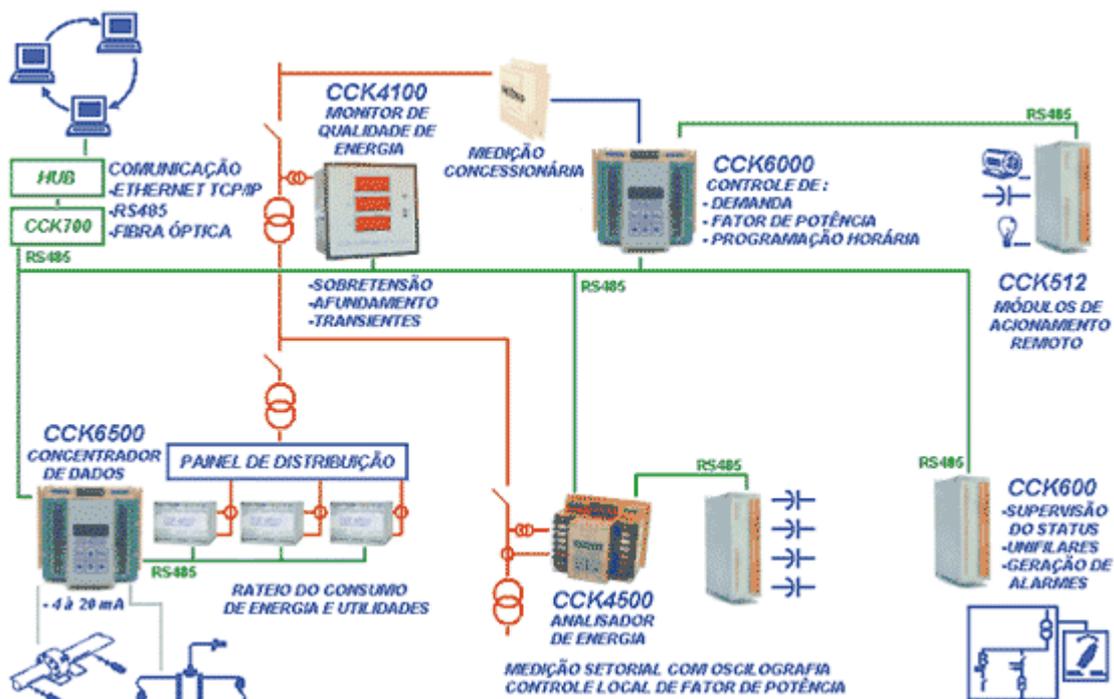


Figura 11. Arquitetura Básica de um Sistema de Gerenciamento de Energia

Como apresentado na figura 11, todos os equipamentos utilizados para estas funções são interligados a um microcomputador (ou rede corporativa de microcomputadores) da qual é possível, a partir de um software com gerenciamento total do sistema.

Podemos ressaltar ainda que, como característica intrínseca neste tipo de sistema, sua implantação dá-se por função, de forma modular, não exigindo desta forma grandes investimentos iniciais para obtenção de resultados significativos.

A seguir, vamos apresentar um exemplo de implantação deste tipo de sistema em um consumidor horosazonal enquadrado na modalidade tarifária VERDE ou AZUL.

6.1. MEDIÇÃO GLOBAL DE ENERGIA

Para os consumidores que estamos tratando, as distribuidoras de energia utilizam um medidor de energia denominado medidor THS, específico para a modalidade tarifária horosazonal.

Uma das características deste medidor é possuir uma saída denominada saída do usuário, que é uma saída serial de dados que segue uma norma ABNT onde são disponibilizadas as informações de consumo de energia ativa e reativa para o intervalo de 15 minutos corrente (tempo de medição utilizado para faturamento) separado por posto horário (Ponta e Fora de Ponta Indutivo e Fora de Ponta Capacitivo).

É nesta saída onde, através de isolador óptico (também chamado de tomada óptica), pode ser conectado o Gerenciador de energia com funções armazenamento de dados e controle, como veremos adiante.



Figura 12. Tomada óptica

6.2. CONTROLE DE DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O Gerenciador de Energia dispõe de meios automáticos de controle para intervir, quando da tendência de inadequações dos valores de demanda e fator de potência, mantendo-os nos limites fixados nos contratos firmados com as concessionárias de energia.

O controle de demanda realizado pelo Gerenciador de Energia é um sistema de controle de malha fechada com um grau de histerese definido pelo usuário.

Além da saída do usuário do medidor de energia da concessionária, também deverão estar conectadas ao Gerenciador de Energia, cargas previamente selecionadas e que possam ser comutadas (ligadas/desligadas). A partir das informações disponibilizadas na saída do usuário do medidor de energia o Gerenciador estará, através de algoritmos apropriados, projetando a demanda de energia elétrica para o final do intervalo de 15 minutos e realizando as ações de controle conforme tabela 9.

Tabela 9. Resultado do Algoritmo x Ação do Gerenciador de Energia (Demanda)

Resultado do Algoritmo	Ação do Gerenciador de Energia
Ultrapassagem da Demanda Contratada	Desligamento de Cargas
Nível normal de utilização de Demanda Contratada	Repouso
Mal aproveitamento da Demanda Contratada	Religamento de Cargas

A esta operação de desligamento/religamento de cargas denominamos modulação e tem como objetivo utilizar o máximo da demanda contratada pelo consumidor junto a distribuidora de energia.

Deve ser observado que todas as operações de modulação de cargas ocorrem dentro de uma janela de tempo de 15 minutos, que é o período de tempo utilizado pela distribuidora de energia para faturamento. Em um mês, ocorrem quase 3.000 intervalos de 15 minutos e, em nenhum destes intervalos, poderá haver ultrapassagem da demanda contratada pois, para faturamento, será cobrado o maior valor verificado entre todos os intervalos de 15 minutos do mês, tanto para o posto horário de ponta como para o posto horário fora de ponta.

Para o sucesso da implantação do controle de demanda, deve se procurar a seleção de cargas que:

- Ao sofrerem este tipo de atuação não irão interferir no processo produtivo;

- Que garantam, quando desligadas, a redução de consumo necessário para evitar a ultrapassagem de demanda contratada;

O mesmo critério de controle é utilizado para o controle do consumo de energia elétrica sendo que, para este caso, o período analisado não é de 15 minutos e sim de 30 dias.

6.3. CONTROLE DE DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Esta função possui duas formas de implantação:

- Através de controladores de fator de potência discreto (CFP), instalados em pontos estratégicos da instalação elétrica;
- Através do Gerenciador de Energia;
- Conjunta;

Para o Gerenciador de Energia, este controle é, na sua forma de operação, análogo ao controle de demanda, sendo que todos os acionamentos são realizados sobre cargas reativas, mais comumente, sobre bancos de capacitores.

Da mesma forma que no controle de demanda, o Gerenciador de Energia, a partir das informações obtidas junto a saída do usuário do medidor global de energia, estará calculando o fator de potência GLOBAL da instalação elétrica e, com base nestes cálculos, estará tomando as seguintes ações:

Tabela 10. Resultado do Algoritmo x Ação do Gerenciador de Energia (Fator de Potência)

Resultado do Algoritmo	Ação do Gerenciador de Energia
Fator de Potência abaixo do valor permitido	Ligamento de bancos de capacitores
Fator de Potência normal	Repouso
Fator de Potência acima do valor permitido	Desligamento de Bancos de Capacitores

Para o Fator de Potência, a distribuidora estará observando que, entre 6:00h e 24:00h (posto horário Indutivo Fora de Ponta e Indutivo Ponta), a média horária do fator de potência não poderá ser inferior a 0,92 indutivo enquanto que, no período entre 0:00h e 6:00h (posto horário Capacitivo Fora de Ponta), a média horária do fator de potência não poderá ser superior a 0,92 capacitivo. Em caso de não cumprimento destas faixas, o consumidor será penalizado com multas por fator de potência.

O sucesso do controle de fator de potência depende basicamente de:

- Utilização da quantidade de KVAR's necessários para correção do fator de potência, dividido em diversos estágios de bancos de capacitores;
- Dimensionamento correto dos diversos de estágios destes bancos de capacitores para, quando ocorrem acionamentos, não ocorrem variações bruscas no valor do fator de potência, o que poderá ocasionar um número de acionamentos elevado nos bancos de capacitores;

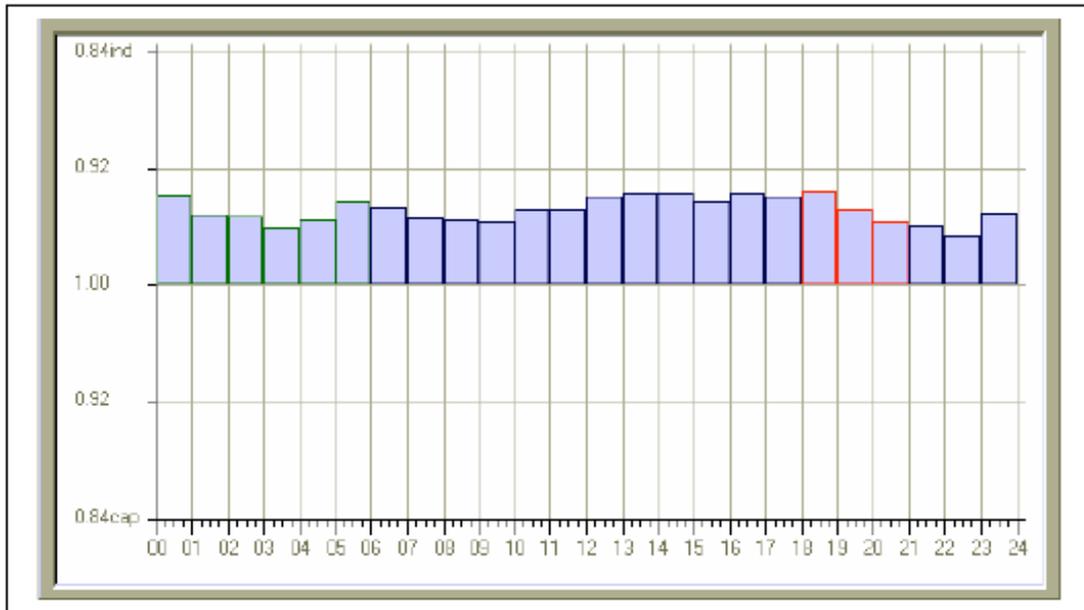


Figura 13. Fator de Potência Horário

Quando utilizado CFP's instalados em pontos estratégicos da instalação elétrica, estes operam da seguinte forma:

- Normalmente atuam sobre 12 estágios de banco de capacitores;
- São monofásicos (ligados a um sinal de tensão e um de corrente) e partem do princípio que os circuitos elétricos são balanceados;
- Calculam o fator de potência com base no atraso entre o sinal de tensão e corrente;

Neste tipo de controle, normalmente dissociado do Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica, poderá ocorrer:

- Com a proliferação do uso deste tipo de equipamento em diversos pontos, poderá ocorrer a instalação de um número de KVAR's mais elevado que o necessário para correção do fator de potência;
- Nos pontos onde são utilizados os CFP's, poderá ocorrer um número de elevado de atuações sobre bancos de capacitores, uma vez que estes instrumentos trabalham com o valor instantâneo de fator de potência;

6.4. GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE MICROCOMPUTADOR

O software de Gerenciamento de Energia, parte integrante do Sistema de Gerenciamento foi elaborado de forma a emitir uma gama de relatórios e gráficos analíticos de utilização de energia elétrica, que permitirão ao usuário uma visão geral do uso de energia elétrica. O software tem em sua funcionalidade a emissão do relatório certo para pessoa certa, como por exemplo:

- Emissão de contas de energia para a contabilidade;
- Previsão de gastos com energia para os controladores;
- Gráficos analíticos tais como demanda, fator de potência, etc para a engenharia;
- Entre outro;

O software forma ainda um banco de dados de utilização de energia elétrica que permitirá ao seu usuário, por exemplo, uma análise do contrato de fornecimento de energia com otimização da demanda através do estudo do perfil registrado.

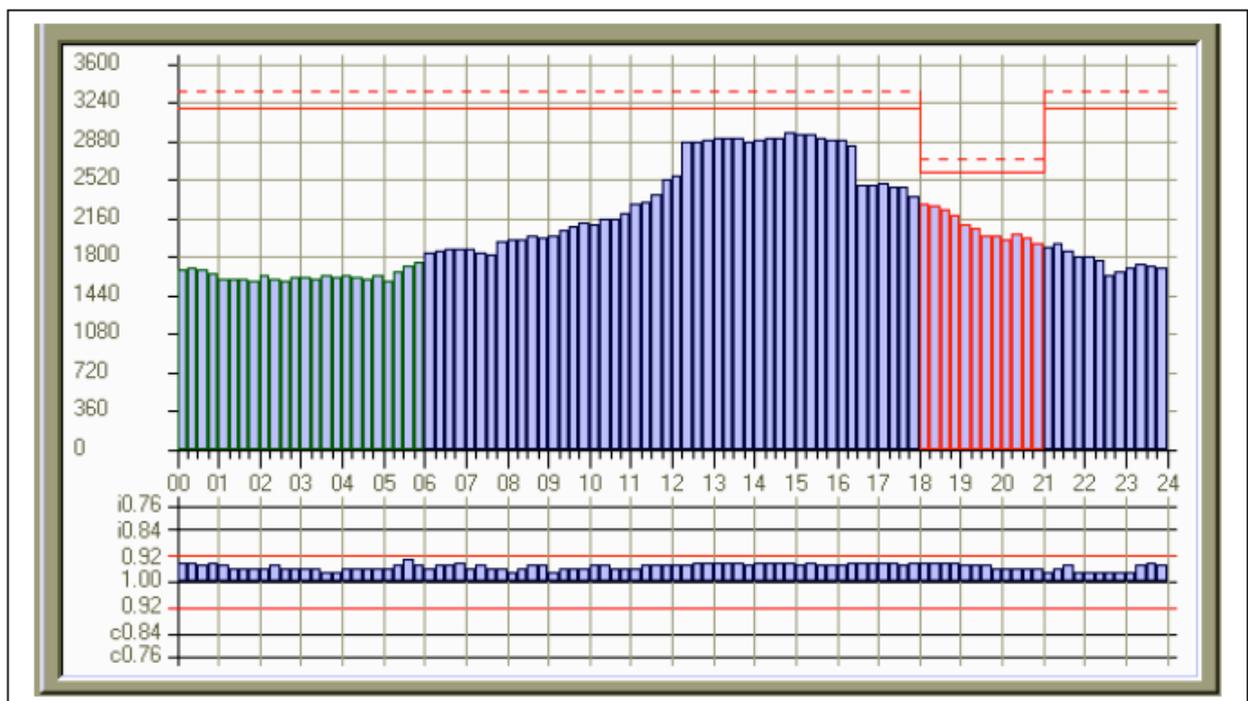


Figura 14. Demanda Diária de Energia Elétrica e Fator de Potência

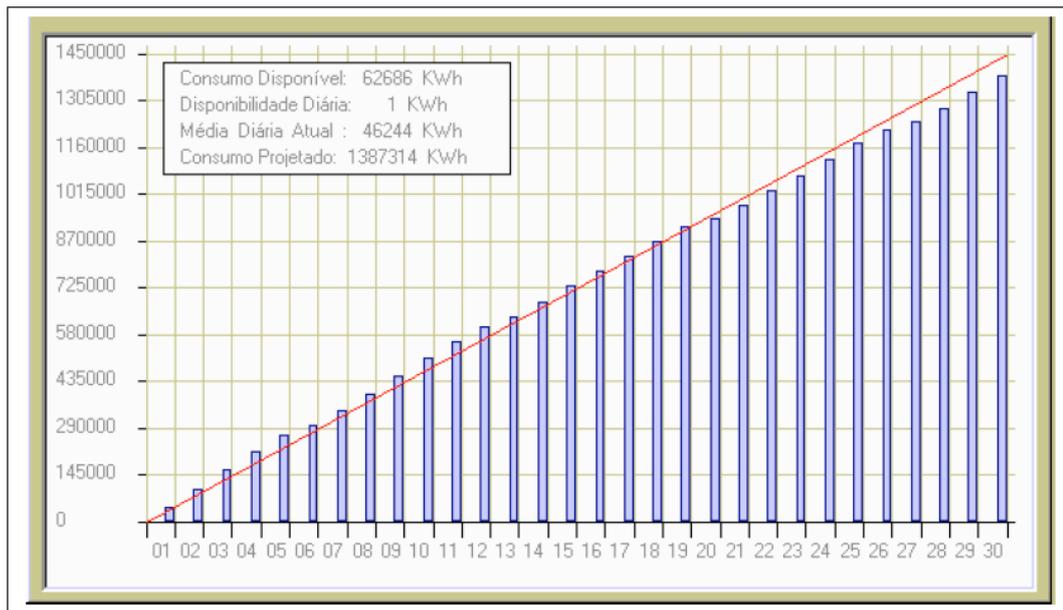


Figura 15. Consumo Mensal de Energia Elétrica

Tendo por objetivo às reais necessidades da unidade consumidora, estas informações são analisadas de maneira a eliminar as ocorrências de ultrapassagens e ociosidades, considerando-se grandezas como:

- Demanda Contratada
- Demanda Medida
- Demanda Faturada

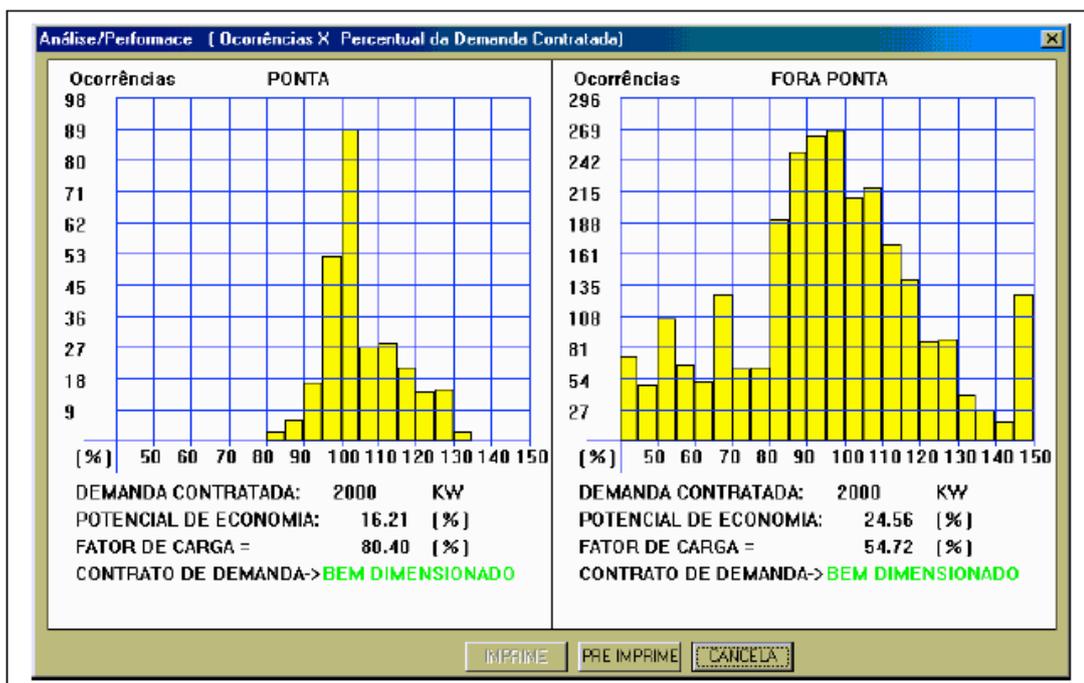


Figura 16. Análise do Perfil de Demanda de Energia Elétrica

Ainda com base nos históricos, o software poderá simular eventos futuros tais como impactos no consumo de energia e demanda ocasionados por ampliações (ex: instalação de novos equipamentos, etc), desativações, etc, permitindo ainda ao usuário tomar medidas corretivas, tais como a correção do fator de potência.

6.5. QUALIDADE DE ENERGIA

Energia elétrica é um produto fornecido pelas distribuidoras de energia elétrica e sua qualidade é verificada através dos seguintes parâmetros:

- **Continuidade de fornecimento**, isto é, baixo índice de **interrupções**, atualmente medido pelos índices DIF e FIC da ANEEL, estabelecido através da resolução 024/2000;
- **Níveis de tensão**, isto é, baixo índice de: **afundamentos** (SAGs), **elevações** (SWELLs) e **transientes** (perturbações), sendo que para níveis de tensão, existe a resolução 505/2001 da ANEEL;
- **Níveis de frequência**: as variações ocorrem quando há sobrecarga no sistema elétrico;
- **Níveis de distorção harmônica de tensão** (THD U), isto é, baixo índice de **harmônicos**, em ordens e percentuais, compatíveis com o funcionamento normal de máquinas e equipamentos elétricos e eletrônicos.

Em caso de danos nos equipamentos e máquinas elétricas causados por inadequações nestes parâmetros, o consumidor, desde que munido de elementos probatórios, poderá interpelar judicialmente a concessionária de energia elétrica, através da caracterização da responsabilidade objetiva por parte da mesma como causadora dos danos ocorridos em razão de ineficiência no fornecimento de energia elétrica, sendo a distribuidora, nesses casos, obrigada a ressarcir os prejuízos comprovados.

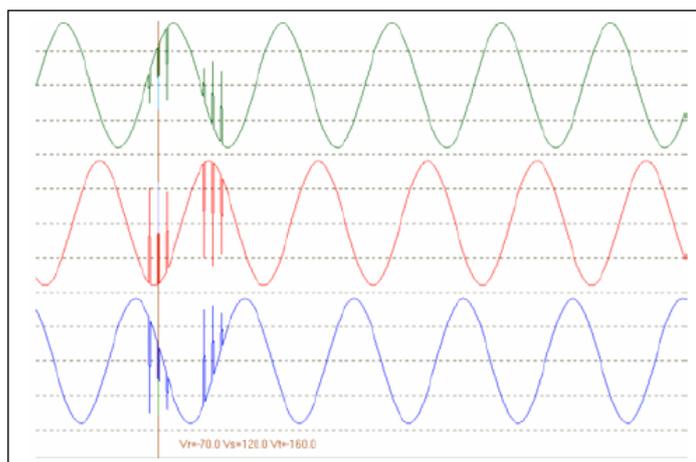


Figura 17. Captura de Transientes

6.6. MEDIÇÃO SETORIAL DE ENERGIA

Medição de energia é uma das principais ferramentas do Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica e uma das chaves do sucesso na implantação de plano de eficiência energética através da verificação de índices energéticos.

As medições setoriais através de transdutores irão possibilitar a obtenção da relação KWh/unidade de produção, onde a otimização deste índice poderá implicar muitas vezes em uma efficientização também, no processo produtivo, permitindo um acompanhamento total das ações a serem implementadas, e ainda adoções de medidas corretivas tais como:

- Dimensionamento de motores (a potência de acordo com a operação);
- Dimensionamento de transformadores e cabos elétricos;

Em alguns pontos chaves da instalação (ex: transformadores, motores muito grandes, etc), poderão ser implantadas medições de energia não só quantitativas (KWh), como também qualitativas através do medidor, onde outros parâmetros elétricos tais como variações de tensão, corrente de partida de um motor, nível de harmônicas, etc. devem ser conhecidos para garantir o correto funcionamento de determinados equipamentos.



Figura 18. Registro do Nível de Corrente Segundo a Segundo

As medições setoriais permitem ainda a obtenção de chaves de rateio de consumo, atribuindo a parcela correta de consumo de energia para cada centro de custo, permitindo ainda que estes dados venham a ser utilizados em outras áreas como:

- Controle de mão-de-obra;
- Integração com Sistema ABC;

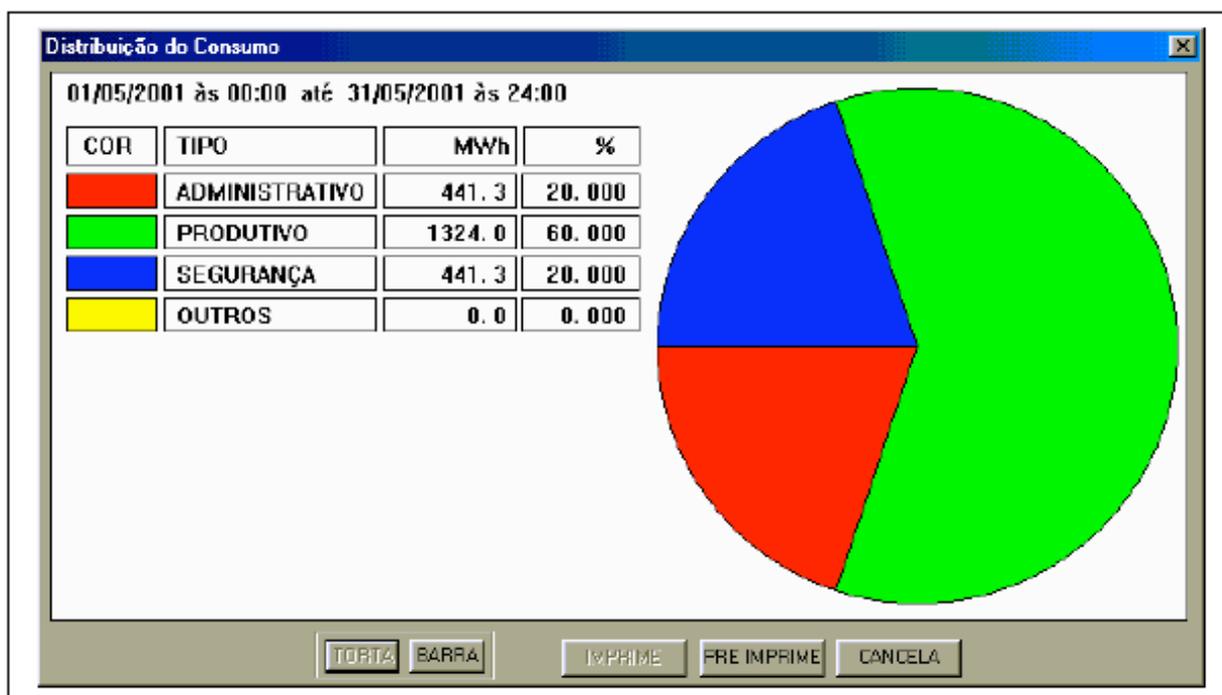


Figura 19. Rateio do Consumo de Energia por Centro de Custo

A conectividade do Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica permite ainda que as informações registradas venham a ser compartilhadas com outros sistemas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia do estudo apresentado tem o objetivo em demonstrar uma forma de implantação correta e eficaz de Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica, conhecendo primeiro os conceitos teóricos voltado a obtenção da eficiência energética e, por consequência, a conservação de energia

Com o entendimento teórico fica mais evidente a necessidade de se implantar um Gerenciamento de Energia.. As etapas estabelecidas no trabalho, atenua a necessidade de se fazer altos investimentos, sendo que após implantando o Gerenciamento de Energia de maneira correta e eficaz, o retorno é garantido não só na forma de economia de energia como também na melhoria contínua do processo produtivo, onde os maiores beneficiários são:

- Consumidor;
- Concessionária;
- Governo;
- Meio-Ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GUERRINI, Délio Pereira. Eletrotécnica Aplicada e Instalações Elétricas Industriais. 2. ed. São Paulo: Erica, 1990.
- [2] CREDER, Hélio. Instalações Elétricas. 13. ed. Rio de Janeiro: RTC, 1995.
- [3] NISKIER, Julio. Instalações Elétricas. Rio de Janeiro: Guarabara, 1985.
- [4] BOLTON, W. Analise de Circuitos Elétricos. São Paulo : Makron, 1994.
- [5] WEG. Manual para Correção do Fator de Potência, Disponível em: <<http://www.weg.com.br>>. Acesso em: 14 novembro 2007.
- [6] CCK. Automação. Gerenciamento de Energia Elétrica, Disponível em: <<http://www.cck.com.br>>. Acesso em 27 novembro 2007.
- [7] Elipse Software. Elipse Scada. Disponível em: < <http://www.elipse.com.br> >. Acesso em 27 novembro 2007.
- [8] MF Capacitores. Fator de Potência. Disponível em: <<http://www.mfcapacitores.com.br>>. Acesso em 08 novembro 2007.