



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS
DE SERGIPE – FANESE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JOÃO LEONARDO MENESES FILHO

**COMPENSAÇÃO DE REATIVOS COM USO DE BANCO DE
CAPACITORES NA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL PARA
CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: Estudo de Caso**

**Aracaju – Sergipe
2009.2**

JOÃO LEONARDO MENESES FILHO

**COMPENSAÇÃO DE REATIVOS COM USO DE BANCO DE
CAPACITORES NA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL PARA
CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: Estudo do Caso**

Monografia apresentada à
Coordenação do Curso de
Engenharia de Produção da
FANESE, como requisito parcial
para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de
Produção.

Orientador: Prof. Esp. Josevaldo
dos Santos Feitoza

Aracaju-Sergipe
2009.2

JOÃO LEONARDO MENESES FILHO

**COMPENSAÇÃO DE REATIVOS COM USO DE BANCO DE
CAPACITORES NA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL PARA
CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: Estudo do Caso**

Monografia apresentada à Banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócio de Sergipe - FANESE, como requisito parcial e elemento obrigatório para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção no período de 2009.2.

**Prof. Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza
1º Examinador (Orientador)**

**Profº Msc. Bento Junior
2º Examinador**

**Profº Dr. Jéfferson Arlen Freitas
3º Examinador**

Aprovado (a) com média: _____

Aracaju (SE), de de 2009.

**Dedico este trabalho aos meus filhos
Hugo Leonardo e Bárbara Cristina,
razão da vida, e a minha namorada
Simone Dantas por toda força que me
dá na realização de meus sonhos**

AGRADECIMENTOS

AGRADECEMOS, em primeiro lugar, à Deus pela sabedoria concedida aos seres humanos, dando-nos o instituto eterno de sobrevivência que nos impulsionam a galgar os degraus da vida e ultrapassar as barreiras que nos aparecem

Ao professor Josevaldo dos Santos Feitoza, que como orientador desta pesquisa apresentou-se participativo e cooperador, além de demonstrar as virtudes da paciência e dedicação, comuns à profissão;

Ao professor Marcos Aguiar, que me incentivou a continuar a caminhada acadêmica, através de seu carinho, dedicação e competência;

A todos os educadores que passaram em nossas vidas, por nos inspirarem a tomar o caminho da ética e da retidão profissional;

Aos colegas de profissão que batalham diariamente nas empreitadas da vida, especialmente à Vanuzia, aos Alexandres, Rafael e Paulo Seixas que formavam o quinteto guerreiro de tantas lutas;

E especialmente a toda a minha família, sem excluir um único ente, porque todos são parte do que sou hoje.

“É preciso amar as pessoas como se não houvesse amanhã, porque se você parar para pensar na verdade não há...”(Renato Russo)

RESUMO

Esta pesquisa sob o título de Compensação de Reativos com Uso de Banco De Capacitores na Instalação Industrial para Correção do Fator de Potência: Estudo do Caso, tem como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica e econômica da aplicação de banco de capacitores na indústria. Com o aumento do uso de energia elétrica em virtude dos inúmeros avanços na tecnologia e das comodidades da vida moderna, o homem, atualmente, vê-se com escassez em seus recursos energéticos, razão pela qual, vê-se a necessidade de aproveitamento máximo desta. Diante desta necessidade, o Estado determina o valor mínimo do fator de potência para a realização das atividades durante determinado espaço de tempo, caso contrário, arca-se com o ônus da multa, que, em alguns casos, pode ser milionária. O que fazer para se manter o fator de potência os níveis exigidos na norma? A metodologia utilizada neste estudo de caso foi, quanto aos objetivos, descritiva – explicativa e, quanto ao objeto, foi de campo, documental e bibliografia. Com efeito, após realização da implantação de banco de capacitores, observou-se que houve imediata estabilização do fator de potência em níveis desejáveis, reduzindo-se o desperdício de energia e a aplicação de multas na instituição em estudo.

PALAVRAS – CHAVE: Energia reativa. Capacitores. Banco de capacitores

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Exemplo de Energia Ativa.....	19
Figura 02 – Carga consumindo potência ativa.....	19
Figura 03 – Carga consumindo potência ativa e reativa indutiva.....	20
Figura 04 – Triângulo das potências.....	23
Figura 05 – Variação de ângulo de defasagem.....	24
Figura 06 – Comparação de copo de chope e fator de potência.....	27
Figura 07 – Capacitores de Potência.....	31
Figura 08 – Representação elementar de um capacitor.....	32
Figura 09 – Ligação de capacitores em série.....	35
Figura 10 – Ligação de capacitores em paralelo.....	36
Figura 11 – Placa de identificação de capacitor.....	37
Figura 12 – Armadura de um capacitor.....	37
Figura 13 – Arranjo de uma unidade capacitiva.....	39
Figura 14 – Diagrama de ligação da CAFP.....	63
Figura 15 – Cabine de Banco de Capacitores.....	64
Figura 16 – Célula de capacitores de potência.....	64
Figura 17 – Unidade formada por nove capacitores.....	65
Figura 18 – Equipamentos utilizados para montagem de Banco de Capacitores no Hospital São Lucas.....	66
Figura 19 – Placa de fixação interna do painel do banco de capacitores....	66
Figura 20 – Contactador de unidade do banco de capacitores.....	67
Figura 21 – Chave NH.....	67
Figura 22 – Chave geral ou Manual de banco de capacitores.....	68
Figura 23 – Quadro geral de circuitos.....	69
Figura 24 – Controlador de fator de potência.....	69
Figura 25 – Ligação interna do controlador de FP ao barramento.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Tabela de tangente de fatores de potência.....	51
Quadro 02 – Estudo de fator de potência do São Lucas.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Onda de tensão (V) e corrente (I) em fase. A carga possui característica resistiva (FP=1, Ângulo de fase $\alpha = 0$).....	21
Gráfico 02 – Onda de corrente (I) adiantada em relação à onda de tensão (V). A carga possui característica capacitiva. FP<1 (adiantado).....	21
Gráfico 03 – Onda de corrente (I) atrasada em relação à onda de tensão (V). A carga possui característica indutiva. FP<1 (atrasado).....	22
Gráfico 04 – Avaliação da curva de carga reativa em relação ao horário.....	22
Gráfico 05 – Descarga de um capacitor.....	34
Gráfico 06 – Carregamento de um capacitor.....	35
Gráfico 07 – Fator de potência sem correção e valores multas aplicadas...	71
Gráfico 08 – Representação de banco de capacitores calculado.....	72

SUMÁRIO

RESUMO.....	
LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE QUADRO.....	
LISTA DE GRÁFICOS.....	
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
1.2 Justificativa.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Fator de Potência.....	18
2.1.1 Definições.....	18
2.1.2 Legislação.....	22
2.1.3 Cálculo do fator de potência.....	23
2.1.4 Correção do fator de potência.....	25
2.1.4.1 Correção pelo aumento de consumo de energia ativa.....	26
2.1.4.2 Correção através de motores síncronicos superexcitados.....	26
2.1.4.3 Correção através da instalação de capacitores.....	26
2.1.5 Copo de chope e correção do fator de potência.....	27
2.2 Energia Reativa.....	28
2.2.1 Perdas devido ao reativo.....	28
2.3 Capacitores de Potência.....	30
2.3.1 Características gerais.....	31
2.3.1.1 Capacidade.....	32
2.3.1.2 Energia armazenada.....	33
2.3.1.3 Corrente de carga.....	33
2.3.2 Elementos Construtivos de um Capacitor.....	36
2.3.2.1 Caixa.....	36
2.3.2.2 Armadura.....	37
2.3.2.3 Dielétrico.....	38
2.3.2.4 Líquido de impregnação.....	38
2.3.2.5 Resistor de descarga.....	38
2.3.3 Características Elétricas do Capacitor de Potências.....	39
2.3.3.1 Potência nominal.....	39
2.3.3.2 Frequência nominal.....	40
2.3.3.3 Tensão nominal.....	40
2.3.3.4 Sobretensão.....	40
2.3.3.5 Sobrecargas.....	41

2.3.3.6 Perdas dielétricas.....	42
2.4 Aplicações Específicas dos Capacitores.....	42
2.4.1 Liberação da potência instalada em transformadores.....	42
2.4.2 Redução de Perdas.....	43
2.4.3 Melhoria do Nível de Tensão.....	43
2.5 Compensação Reativa com o Uso de Capacitores.....	43
2.5.1 Otimização técnica das instalações.....	44
2.5.2 Compensação através de capacitores.....	45
2.6 Banco de Capacitores.....	46
2.6.1 Regras práticas para a instalação de bancos capacitores.....	48
2.6.2 Operação dos bancos capacitores.....	48
2.6.3 Banco de capacitores automáticos.....	50
2.7 Cálculo de Capacitância Necessária para a Correção do F. P.....	50
2.8 Influência dos Harmônicos nos Bancos de Capacitores.....	52
2.9 Fator de Potência e Preservação de Recursos Naturais.....	53
3 METODOLOGIA.....	55
3.1 Método.....	55
3.2 Ambiente de Estudo.....	56
3.2.1 Caracterização da empresa.....	56
3.3 Coleta de Dados.....	57
4 ESTUDO DE CASO E ANALÍSE DE RESULTADOS.....	59
4.1 Apresentação do Caso.....	59
4.2 Apresentação e Execução do Projeto.....	63
4.3 Resultados Obtidos.....	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS.....	74

FICHA CATALOGRÁFICA

Meneses Filho, João Leonardo

Compensação de reativos com uso de banco de capacitores na instalação industrial para correção do fator de potência: estudo de caso / João Leonardo Meneses Filho – 2009.

75f.:il.

Monografia (graduação) – Faculdade de Administração Negócios de Sergipe, 2009.

Orientação: Prof. Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza.

1.Energia Reativa 2.Capacitores 3.Banco de capacitores. I. Título

CDU 621.319.44 (813.7)

1 INTRODUÇÃO

À medida que as atividades humanas foram sendo substituídas por máquinas, a maioria delas elétricas, o uso da energia foi sendo intensificada no que se refere à oferta necessária para que se pudessem suprir demandas de plantas de produção cada vez mais complexas.

A evolução tecnológica garantiu o surgimento de novos equipamentos que geram campos indutivos magnéticos e demanda maiores níveis energéticos para o seu funcionamento, solicitando e exigindo novas configurações nas redes de abastecimentos elétricos ofertadas às indústrias e usuários comuns. Tal disponibilidade produtiva gera comportamentos até então não configurados para redes elétricas, que se disponibiliza a atender as demandas de cargas reativas, e isso tornou imperativa a criação de novos paradigmas e regras para o funcionamento do setor elétrico.

A conservação de energia, como conceito socioeconômico, está apoiada em duas ferramentas para conquistar sua verdadeira meta, que são: a mudança de hábitos e a eficiência energética. A primeira ferramenta está sendo, dia a dia, incluída na área educativa, informando, educando e conscientizando inúmeras pessoas sobre a responsabilidade do consumo sustentável. A segunda se verifica com a criação de novos sistemas, tecnologias e equipamentos que possibilitam melhoria na eficiência eletro energética.

A mudança no hábito de consumo seria a medida de impacto mais duradouro. A compensação de reativos tem custos e impactos ambientais menores que os da construção de novas usinas, que deve ser considerada como a segunda opção.

Um sistema de potência que compreende instalações e equipamentos destinados à geração e distribuição de energia elétrica, que deve ter como objetivo atender as demandas geradas nos campo industrial, comercial e doméstico e este consumo pode causar o crescimento das cargas indutivas contribui para o aumento da queda de tensão. Sendo assim, uma opção é o uso de bancos de capacitores

como alternativa eficaz, possibilitadora de redução nas perdas, melhoria dos perfis de tensão, o controle do fluxo de potência, a melhoria da estabilidade nos circuitos indutivos, com compensação da energia reativa utilizando à correção do fator de potência.

O gerenciamento da potência reativa indutiva na indústria é fator competitivo, pois tal estratégia de gestão dos custos de produção possibilita uma redução nos componentes do custo de operação de uma planta industrial e, por conseguinte, no preço final de produtos acabados. Ao passo que se torna evidente a necessidade do uso consciente de recursos energéticos, cabe as concessionárias de energia elétrica ter um maior comprometimento de fornecer energia com qualidade e continuidade, conforme os limites estabelecidos pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

A utilização de banco de capacitores surgiu como uma saída eficaz para o perfeito e máximo aproveitamento da energia, mantendo, o coeficiente do fator de potencia em níveis aceitáveis dentro dos limites exigidas pela legislação brasileira.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade técnica e de redução de custo com a aplicação de banco de capacitores na indústria.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar os circuitos elétricos indutivos;
2. Analisar a implantação de banco de capacitores sob a visão técnica, de redução de custo e de preservação do Meio Ambiente;
3. Identificar as vantagens da aplicação de bancos de capacitores, em circuitos com predominância indutiva.

1.2 Justificativa

Atualmente, tanto empresas geradoras e distribuidoras quanto os próprios consumidores em geral, tem se preocupado mais intensamente com o fornecimento adequado de energia elétrica, isto porque, hodiernamente, tudo é movido a energia, ativa ou reativa, e uma queda ou interrupção no fornecimento desta pode causar inúmeros prejuízos.

A energia elétrica no Brasil vem, predominantemente, de usinas hidro e termoelétricas, sendo as primeiras em maior número em virtude de diversas razões, tais como: sua natureza privilegiada, condições continentais ou o grande número de rios caudalosos capazes de gerar energia em grande escala.

Os sistemas elétricos de potência são justamente o conjunto de usinas, subestações, linhas de transmissão e outros equipamentos que viabilizam a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica.

Destarte, a função precípua destes sistemas é de fornecer energia elétrica aos usuários, grandes ou não, com a qualidade devida. Ocorre, muitas vezes, que, durante o percurso da geração, transmissão ou distribuição, surge desperdício de energia, causando prejuízo às concessionárias e consumidores em geral.

Na atualidade, com toda a escassez de recursos energéticos, os gastos devem ser reduzidos e o desperdício evitado a todo custo. O crescimento populacional, o uso de inúmeros artigos eletro eletrônicos, a era digital e tantos outros fatores fizeram com que o consumo de energia mundial atingisse índices estratosféricos. Ocorre que os recursos naturais, na proporção inversa, ficaram escassos e mais caros. A exploração desmedida e o consumo desenfreado provocaram uma verdadeira crise energética, prevendo-se um futuro obscuro neste ramo para toda a humanidade, caso não sejam tomadas medidas urgentes para contenção de gastos energéticos e preservação de recursos naturais.

Desta forma, todo e qualquer modo de armazenamento, distribuição e utilização que se proponha a reduzir o emprego da energia é considerada uma grande contribuição científica para a civilização humana.

Atualmente, as empresas assumem compromisso social e ambiental, primeiro como meio de angariar clientes, hoje mais exigentes, e, segundo porque

algumas já conseguiram implantar em sua estrutura a chamada consciência ambiental.

A Fundação São Lucas, como se verá adiante, é um grande complexo de saúde, que requer energia constante e sem variáveis negativas. Ocorre que, como foi supra relatado, em razão de uma série de variante, o desperdício de energia, no caso reativa, ainda é um problema corriqueiro.

Com efeito, nestes casos surge o problema que abona a realização desta monografia: Como diminuir esse desperdício de energia de forma eficaz e econômica? A resposta mais acertada é através da correção do fator de potência do sistema em questão. Que no caso em estudo, deve ser realizado através de Banco de Capacitores.

Assim, a justificativa deste estudo está relacionada à significativa contribuição científica que emerge da implantação de Banco de Capacitores Automáticos adotada pelo Hospital São Lucas como meio de corrigir eficazmente o fator de potência da energia utilizada no mesmo, evitando-se, assim, o desperdício de energia produtiva e mantendo o fator de potência dentro dos limites que ordena a normatização brasileira, o que gera a estabilidade e o uso consciente de energia.

Desta forma, deseja-se que, com o estudo do caso, outras empresas, ligadas a área de saúde ou não, adotem a mesma postura, assumindo compromisso de preservação ambiental e observando que a adoção de tal atitude só a tornará mais evidente diante da sociedade e de seus clientes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A primeira pergunta feita ao se mencionar capacitores é o que é energia elétrica? A definição no seu sentido mais amplo, vez que posteriormente haverá a conceituação das diversas energias existentes ao redor do tema ora apresentado.

Energia Elétrica pode ser definida como a capacidade de trabalho de uma corrente elétrica. Como toda Energia, a energia elétrica é a propriedade de um sistema elétrico que permite a realização de trabalho. Ela é obtida através de várias formas. O que se chama de “eletricidade” pode ser entendido como Energia Elétrica se, no fenômeno descrito, a eletricidade realiza trabalho por meio de cargas elétricas. Ela pode ser um subproduto de outras formas de Energia, como a mecânica e a química. Através de turbinas e geradores pode se transformar estas formas de energia em eletricidade. O Dínamo é um exemplo de gerador de eletricidade, um aparelho que transforma energia mecânica em energia elétrica. Sabe-se hoje que a variação de campo magnético gera corrente elétrica. No dínamo, o ímã gira com a bobina ao seu redor. Este movimento gera a variação do campo magnético do mesmo, surgindo então, uma corrente elétrica no conjunto de espiras da bobina (ALBADO, 2001).

Deve se ter em mente que a geração de energia elétrica é uma atividade basicamente humana, vez que está diretamente relacionada com os requerimentos primários do homem. Todas as formas de utilização das fontes de energia, tanto as convencionais como as denominadas alternativas ou não convencionais, agredem em maior ou menor medida o nosso meio ambiente.

Por ser um conceito tão fundamental, definir energia é difícil. Entretanto, vem frequentemente associado ao conceito de potência, que corresponde ao fluxo de energia no tempo, de enorme importância ao se tratar de processos humanos e econômicos, onde o tempo é essencial.

Com efeito, diante da crescente proteção ao meio ambiente, o desperdício de energia tornou-se intolerável e, assim, o homem, praticamente escravo da energia elétrica, iniciou uma cruzada para evitá-lo. Entre as inúmeras invenções no

campo da eletricidade, o uso de capacitores surgiu como a forma mais prática de aproveitamento máximo de energia em alguns complexos.

2.1 Fator de Potência

A primeira questão aventada é: o que será fator de potência? Fator de potência é um valor pré determinado, por órgãos do governo, para que haja um melhor aproveitamento da energia elétrica, já que nos dias atuais ela se encontra escassa. Esse valor determinado foi de 92% (noventa e dois por cento) da potência total de uma Empresa, ou seja, apenas oito por cento da energia entregue pela concessionária pode se perder.

Com efeito, como adiante vai se explicar, o banco de capacitores parece ser a melhor forma de gerenciamento de energia. O gerenciamento é o método de racionalização do uso de energia elétrica que requer menores investimentos ao sistema elétrico, representando melhores resultados em menor prazo após sua implementação (ALBADO, 2001).

O sistema elétrico é criado com a finalidade de executar determinado trabalho nas instalações consumidoras. Observe-se que o ideal é que ele realize um trabalho somente com transporte de energia ativa. Ocorre, no entanto, que muitos equipamentos consomem correntes reativas que, na verdade, contribuem para sobrecarregar os condutores, transformadores e geradores (ALBADO, 2001).

A correção de potência produz a redução no valor da corrente do alimentador e aumenta a tensão nos terminais do equipamento, em virtude da redução da queda de tensão e pela compensação da energia reativa exigida do sistema. Em que pese a boa condução do tema, para melhor entendimento a cerca do assunto, vê-se a necessidade de se elencar algumas definições, como se fará no próximo item (TAMIETI, 2002).

2.1.1 Definições

Neste item serão apresentadas algumas definições que irá melhorar a compreensão de todo o trabalho monográfico ora apresentado.

Energia ativa é aquela que realiza trabalho efetivo sem a necessidade de energia intermediária, ou, como define Santos (2006) “é a energia elétrica que pode ser convertida em outra forma de energia”. **Energia reativa** é a trocada entre o gerador e o receptor, não realizando nenhum trabalho efetivo, sendo necessária e consumida na geração de campo magnético, como define Santos (2006) na figura 01. Assim, energia é a utilização da potência num intervalo de tempo (TAMIETI, 2002).

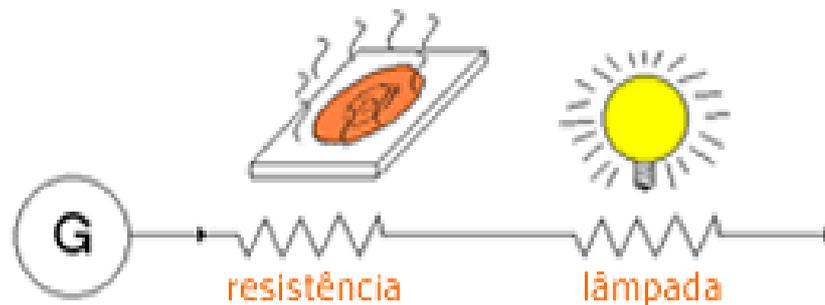


Figura 01 – Exemplo de Energia Ativa
Fonte : Burian (1999)

Potência é a capacidade de produzir trabalho na unidade de tempo. Pode-se dividi-la em dois tipos. A **potência ativa**, medida em Watts (W) ou kilowatts (KW) é a que realmente produz trabalho útil, é utilizada para efetuar o trabalho de gerar calor, luz, movimento, etc. (Figura 02). A **potência reativa**, medida em kilovolt-Amperes-Reativos (kVAR), é aquela usada para manter um campo eletromagnético. Ela não produz um trabalho útil, mas fica circulando entre o gerador e a carga, exigindo do gerador e do sistema de distribuição uma corrente adicional. Em outras palavras é a potência usada para criar um campo eletromagnético de cargas indutivas. A potência pode ser ainda **aparente** que é a soma vetorial das potências ativa e reativa, ou seja, é a potência total absorvida pela instalação (TAMIETI, 2002).

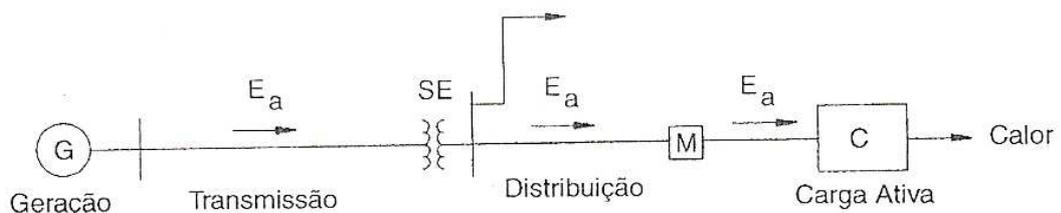


Figura 02 – Carga consumindo potência ativa
Fonte: Mamede (2007)

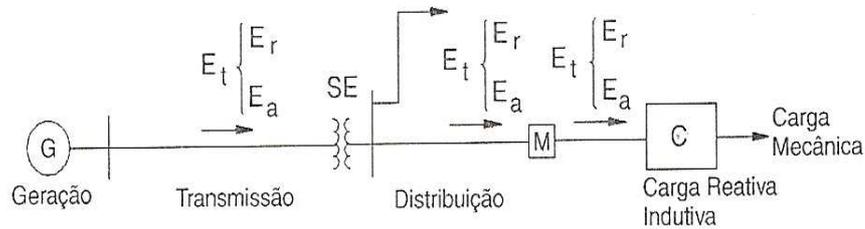


Figura 03 – Carga consumindo potência ativa e reativa indutiva
Fonte: Mamede (2007)

O **Fator de Potência** é a relação ente a potência ativa e a aparente. Ele indica quanto da potência total fornecida é efetivamente utilizada como potência ativa (TAMIETI, 2002). Dessa forma o fator de potência vai demonstrar o grau de eficiência dos sistemas elétricos. Assim, o fator de potência pode ser expresso como:

$$\mathbf{FP = P / S} \quad \text{ou} \quad \mathbf{FP = \cos \alpha} \quad (1)$$

Sendo:

FP= Fator de Potência

P= Potência ativa

S= Potência Aparente

$\cos \alpha$ = Ângulo de Fase

Observe-se que, valores altos de fator de potência (próximos de 1) indicam uso eficiente de energia elétrica, e o oposto, o mal aproveitamento da mesma (Gráfico 01). O fator de potência é determinado pelo tipo de carga ligada ao sistema elétrico, que podem ser: indutiva, capacitiva e resistiva. **Carga resistiva** é quando o fator de potência é igual a 1 e a energia elétrica flui numa mesma direção através do sistema em cada ciclo. Quando a carga é puramente resistiva a corrente e a tensão mudarão de polaridade em fase (MAMEDE, 2007).

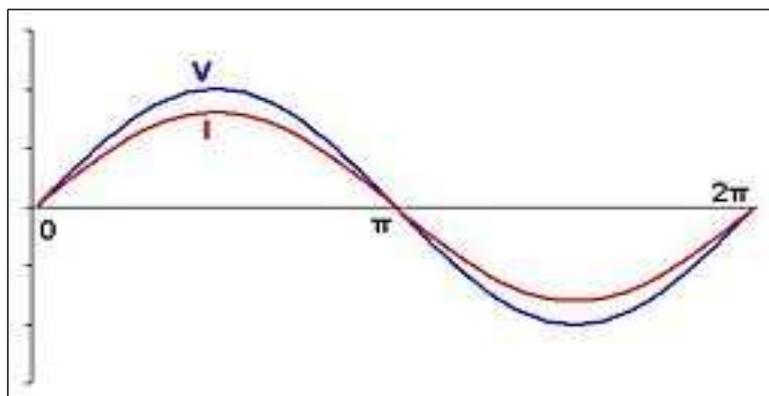


Gráfico 01 – Onda de tensão (V) e corrente (I) em fase. A carga possui característica resistiva (FP=1, Ângulo de fase $\alpha = 0$).
Fonte: Mamede (2007)

Carga capacitiva, principal alvo de nossos estudos, é as que têm em bancos de capacitores ou cabos elétricos enterrados e que produzem potência reativa com corrente adiantada em relação a tensão (Gráfico 02). Aqui o fator de potência é adiantado e o circuito fornece energia reativa que os equipamentos indutivos absorvem, como se ver adiante (MAMEDE, 2007).

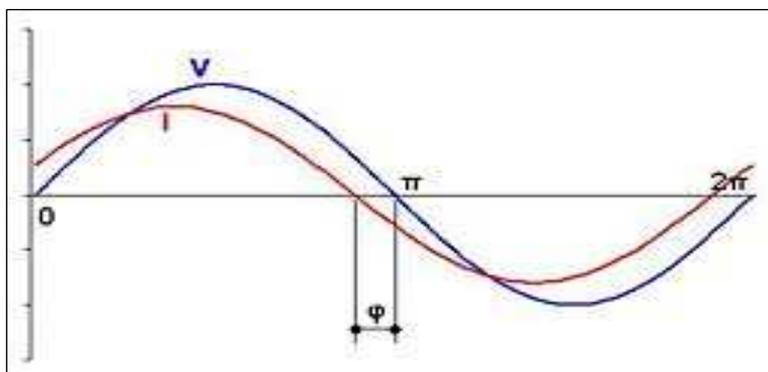


Gráfico 02 – Onda de corrente (I) adiantada em relação à onda de tensão (V). A carga possui característica capacitiva. FP<1 (adiantado)
Fonte: Mamede (2007)

Carga indutiva, é quando o fator de potência é atrasado, onde o circuito consome energia reativa. Observe-se que em motores e transformadores, ou seja, equipamentos com bobinas são produzidas potências reativas com a onda de corrente atrasada em relação à tensão (GRÁFICO 03). O consumo dessa energia reativa indica o fator de potência indutivo. A maioria dos equipamentos elétricos possui características indutivas em relação a suas bobinas (MAMEDE, 2007).

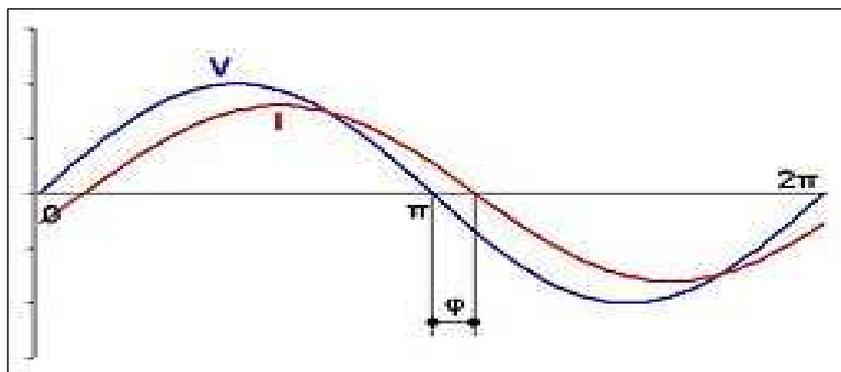


Gráfico 03 – Onda de corrente (I) atrasada em relação à onda de tensão (V). A carga possui característica indutiva. $FP < 1$ (atrasado) .
Fonte: Mamede (2007)

2.1.2 Legislação

Atualmente a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabelece normas e condições para a medição e faturamento de energia reativa excedente, através da resolução nº 456 de 29 de novembro de 2000. De acordo com esta nova legislação, tanto a energia indutiva excedente quanto a capacitiva devem ser medidas e faturadas. O fator de potência deve ser controlado de forma que permaneça dentro do limite de 0,92 indutivo, durante às 18 horas do dia e 0,92 capacitivo, durante as seis horas da madrugada. Observe-se que, feito os cálculos, o consumidor que descumprir esse fator, mantendo-se abaixo dele, será multado. Esta multa leva em consideração o fator de potência medido e a energia consumida no dia (Gráfico 04).

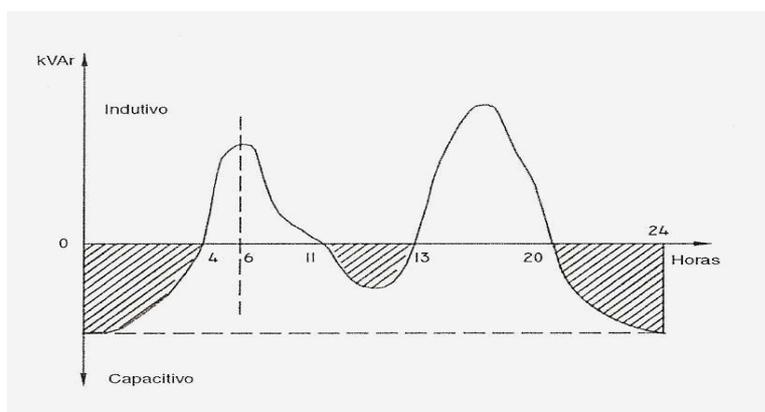


Gráfico 04 – Avaliação da curva de carga reativa em relação ao horário
Fonte: Mamede (2007)

Esta norma tem a intenção de promover o uso racional da energia, promover a redução do consumo de energia reativa indutiva que provoca sobrecarga

no sistema das empresas fornecedoras e concessionárias de energia elétrica, além de criar condições para que os custos de expansão do sistema elétrico nacional sejam distribuídos para sociedade de forma mais justa (MAMEDE, 2007).

Esta norma estabelece ainda a forma de avaliação do fator de potência, que poderá ser realizado de duas formas: A primeira pela avaliação horária, onde o fator de potência será calculado através de valores de energia ativa e reativa medidos a cada intervalo de 1 hora, durante o ciclo de faturamento e, a segunda, pela avaliação mensal, quando o fator será calculado através de valores de energia ativa e reativa medidas durante o ciclo de faturamento (MAMEDE, 2007).

2.1.3 Cálculo do fator de potência

O fator de potência é uma relação entre a potência ativa e a potência aparente total numa instalação.

$$\text{Fator de potência} = \frac{KW}{KVA} \quad (2)$$

Estas três potências formam o triângulo de potências apresentado a seguir (Figura 04):

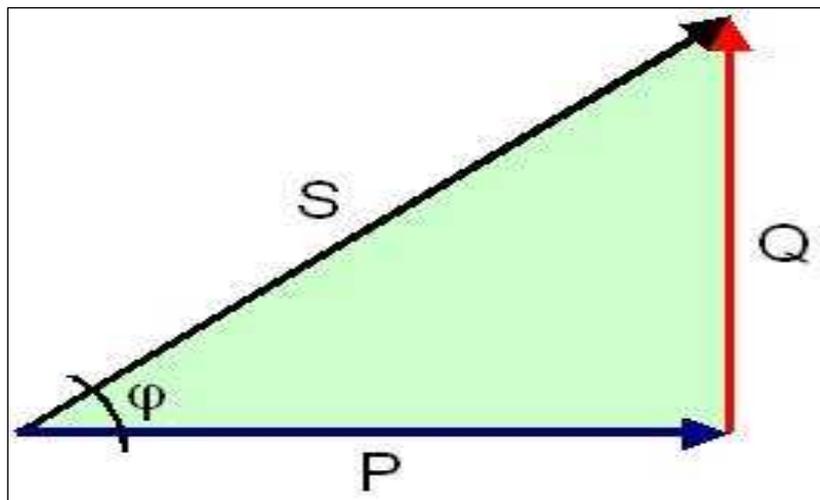


Figura 04 – Triângulo das potências
Fonte: NBR 5060 (1977)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \text{Potência Aparente} \quad (3)$$

O fator de potência pode ser expresso como sendo o cosseno do ângulo α do triângulo de potência. Pode ser também calculado a partir dos consumos de energia ativa (kWh) e a reativa (kVarh), através das expressões:

$$FP = \frac{\text{kWh}}{\sqrt{(\text{kWh})^2 + (\text{kvarh})^2}} \quad (4)$$

$$FP = \cos \arctg \frac{\text{kvarh}}{\text{kWh}} \quad (5)$$

O fator de potência pode ser indutivo (atrasado) ou capacitivo (adiantado), variando de 0 (potência totalmente reativa, carga puramente indutiva ou capacitiva) e 1 (potência totalmente ativa, carga puramente resistiva), como fica demonstrado abaixo:

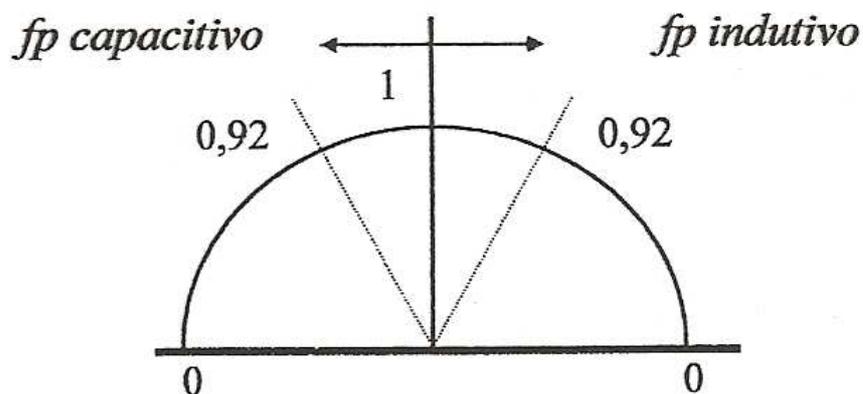


Figura 05 Variação de ângulo de defasagem
Fonte: NBR 5060 (1977)

2.1.4 Correção do fator de potência

É bom se ter em mente que um baixo fator de potência traz malefícios para o sistema elétrico. Um deles é a elevação das perdas, cujo custo da energia adquirida para suprir as mesmas será repassado a todos os consumidores. Outra é a degradação da energia, que pode repercutir em perdas na produção. Além disso, existe a redução de disponibilidade do sistema. Pode-se enumerar ainda: as variações de tensão (que podem provocar a queima de equipamentos elétricos; condutores aquecidos; perdas de energia); redução do aproveitamento da capacidade de transformadores; bem como o aumento na conta de energia (pela cobrança do custo da Energia Reativa Excedente). Pensando nestes fatores negativos, deve se proporcionar meios para que haja correção do fator de potência (TAMIETI, 2002).

Para melhor eficiência de todo o sistema elétrico, é necessário o controle e a correção do fator de potência, para, assim, haver a liberação de capacidade dos referidos equipamentos. A priori, para que haja a devida correção, deve se fazer uma análise detalhada das causas que estão levando à utilização excessiva de energia reativa. Passa-se, então, à eliminação dessas causas, que podem ser, principalmente: motores trabalhando em vazio durante grande parte do tempo; motores e/ou transformadores superdimensionados; grandes transformadores alimentando pequenas cargas por muito tempo; lâmpadas de descarga (de vapor de mercúrio, fluorescente, etc) sem correção individual do fator de potência; grande quantidade de motores de pequena potência; além de excesso de energia reativa capacitiva. Assim, corrigindo-se esses problemas, corrige-se o fator de potência (TAMIETI, 2002).

Desta forma, o fator de potência pode ser corrigido com o redimensionamento correto de motores e equipamentos; a seleção, utilização e operação correta de motores e equipamentos elétricos em geral; a utilização permanente de reatores de alto fator de potência; a instalação de capacitores ou banco de capacitores onde for necessário (de preferência próximo da carga), além da instalação de motores síncronos em paralelo com a carga (TAMIETI, 2002)

Depois destas providências, outra forma de reduzir a circulação de energia reativa é utilizar os capacitores para produzir o máximo possível da carga necessária. Na prática, a energia reativa é fornecida pelos capacitores, que libera

um percentual da capacidade do sistema e das instalações, dando-se a este evento o nome de compensação de energia reativa. Assim, como já se disse anteriormente, a melhor forma de corrigir e manter o fator de potência dentro dos limites legais é a utilização de capacitores (MAMEDE, 2007).

De forma geral, quando se quer corrigir o Fator de Potência de uma instalação pergunta-se qual o melhor método a ser adotado nessa correção.

2.1.4.1 Correção pelo aumento de consumo de energia ativa

Pode-se alcançar um aumento de energia ativa através de duas formas: pela adição de novas cargas com alto Fator de Potência ou pelo aumento do período de operação das cargas com Fatores de Potência próximos ou iguais a unidade. Este método é recomendado quando o consumidor tem uma jornada de trabalho fora do período de ponta de carga do sistema elétrico (aproximadamente das 18 às 20 horas). Observe-se para que este método atende às necessidades da produção industrial, a carga ativa que aumentou o consumo de KW/h deverá ser cuidadosamente escolhida para que não se aumente a demanda de potência da indústria (MAMADE, 2007).

2.1.4.2 Correção através de motores síncronos superexcitados

Esse método além de corrigir evidentemente o fator de potência, também fornece potência mecânica útil. Ocorre, no entanto, que, em virtude dos altos custos de sua implementação, nem sempre é compensador do ponto de vista econômico. Só sendo competitivo em potência superior a 200 CV, e funcionando por grandes períodos, superiores a 8/h pôr dia (MAMEDE, 2007).

2.1.4.3 Correção através da instalação de capacitores

Quando não é possível visualizar o aumento de energia, em decorrência de a instalação estar no limite ou estar sobrecarregada, a melhor saída é a

instalação de capacitores, para, assim, reduzir a potência reativa absorvida (kVAr) e fazer aumentar a potência ativa, sem, todavia, afetar a potência aparente ou total (MAMEDE, 2007).

2.1.5 Copo de chope e a correção do fator de potência

Para se ter uma idéia da relação entre as potências ativa e aparente, faz-se a analogia com um copo de chope (Figura 06). Neste, uma parte está ocupada só pelo líquido e outra só pela espuma. Se há pretensão de aumentar a quantidade de líquido vai ter que se diminuir o de espuma. Assim, de maneira semelhante ao copo de chope, a potência elétrica solicitada, por exemplo, por um motor elétrico comum, é composta de potência ativa (que corresponde ao líquido) e potência reativa (que corresponde à espuma). Como já foi mencionada, a soma vetorial das potências ativa e reativa é a potência aparente, que corresponde ao volume total do copo (TAMIETI, 2002).

Assim, como o volume do copo é limitado, também a capacidade de fornecer potência aparente é limitada de tal forma que, caso queiro aumentar a potência ativa em circuito de uma instalação elétrica, deve-se reduzir a potência reativa. Outrossim, através desta comparação, fica fácil avaliar como um baixo fator de potência pode ser prejudicial à instalação elétrica, vez que diminui sua eficiência e desperdiça energia elétrica (TAMIETI, 2002).

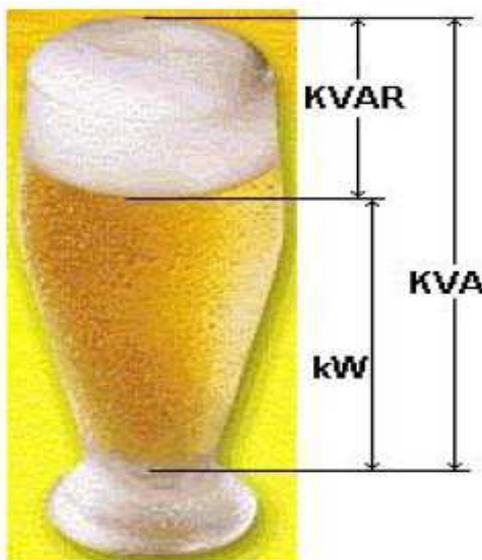


Figura 06 – Comparação de copo de chope e fator de potência
Fonte: Siemens Brasil

2.2 Energia Reativa

As maiorias das unidades consumidoras utilizam energia reativa indutiva, como motores, transformadores, entre outros. A carga indutiva, como já se disse anteriormente, necessita de campos eletromagnéticos para que funcionem e por isso sua operação vai requerer potência ativa e a reativa (TAMIETE, 2002).

Não haverá maiores problemas para compreensão vez que já se conceituou as potências acima citadas. A energia reativa, que será o principal alvo de nosso estudo, é a fornecida por inúmeras fontes ligadas a um sistema elétrico, à exemplo de geradores, motores síncronos e capacitores funcionando de maneira individual ou combinada. Normalmente expressa em kVArh, quando seus valores são positivos ela é considerada indutiva, e, quando negativa, dar-se o nome de capacitiva (TAMIETE, 2002).

Tem-se por energia reativa indutiva, a necessária ao funcionamento de motores. Ela é responsável pela magnetização dos enrolamentos de motores e transformadores. E, por Reativa Capacitiva, o verdadeiro oposta daquela e, por isto, ela é expressa na mesma unidade, porém com valor negativo. Esta ultima é normalmente fornecida ao sistema elétrico por capacitores (SANTOS 2006).

Com efeito, todo o excesso de energia reativa, indutiva ou capacitiva, é prejudicial ao sistema elétrico. Assim, deve se ter controle sobre o fator de potência mantendo-o sempre ao nível de 0,92, tanto na indutiva quanto na capacitiva.

2.2.1 Perdas devido ao reativo

As perdas de energia elétrica ocorrem na 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 direta entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência, provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos (SANTOS, 2006).

No circuito de distribuição contêm resistência, indutância e capacitância. A corrente que circula através da resistência está em fase e o produto da corrente pela queda de tensão na resistência representa uma perda de potência no condutor.

$$P = E \times I \quad (6)$$

Sendo:

P = Perda de potência (watts)

E = Queda de tensão

I = Corrente de circuito

Como, pela Lei de Ohm:

$$E = I \times R \quad (7)$$

Sendo:

E = Tensão

I = Corrente de circuito

R = Resistência de circuito

Que resulta:

$$P = I^2 \cdot R \text{ (watts)} \quad (8)$$

Em um circuito, a tensão no terminal receptor é sempre menor do que a tensão no terminal do transmissor, sendo essa diferença determinada pelo produto da corrente e a resistência do circuito. Esta relação é a seguinte: a tensão no terminal receptor é igual à tensão no terminal transmissor menos a queda de tensão no circuito, sendo esta igual à corrente de circuito vezes a resistência do mesmo. De forma matemática:

$$E = E_s - I R_L \quad (9)$$

Sendo:

E = Tensão no terminal receptor (cara)

E_s = Tensão no terminal transmissor (fonte)

I = Corrente do circuito

R_L= Resistência do circuito

O caso da corrente alternada é muito mais complexo. A indutância de um circuito é distribuída por todo o seu comprimento, e existe capacitância entre os condutores e também entre os condutores e a terra. A capacidade é também distribuída ao longo do circuito. Assim, em um circuito com comprimento apreciável, mesmo com uma carga de fator de potência unitário, é necessário um fornecimento de reativo capacitivo para suprir a corrente de carga capacitiva (ou em vazio) do mesmo. O valor desta corrente capacitiva é determinado pela reatância capacitiva do circuito e ela sempre está em avanço com relação à tensão. Por outro lado, quando a corrente circula através do circuito, do terminal transmissor para o receptor, também encontra uma reatância indutiva (IRWIN, 2005)

Um circuito de atuação para redução das perdas na distribuição é a redução dos fluxos de energia reativa nos circuitos, através da instalação e controle adequado de capacitores. Quando bem sucedidas, essas iniciativas proporcionam, além da redução de perdas, melhoras nos níveis de tensão dos alimentadores e aumento da capacidade útil das redes (IRWIN, 2005).

2.3 Capacitores de Potência

A minimização de quedas de energia, o aumento da capacidade do sistema de energia elétrica e a eliminação de multas aplicadas nas contas de energia elétrica devido ao baixo fator de potência, podem ser realizados com a utilização de bancos de capacitores automáticos ou fixos.

De acordo com especificações técnicas, os capacitores shunt (Figura 07) são largamente utilizados nos alimentadores primários dos sistemas de distribuição para compensar potência reativa e, conseqüentemente, obter melhor perfil de tensão, reduções das perdas de potência e energia, e aumento da capacidade da rede de distribuição em atender carga ativa, em virtude do volume de perdas que ocorre nos sistemas de distribuição de energia elétrica (MAMEDE, 2007).

São muitas as vantagens e as justificativas relacionadas à utilização de capacitores em sistemas de potência, principalmente em nível de distribuição, como já relatava a Westinghouse Electric Corporation em documento de 1965 [WEC1965]:

- Redução da componente reativa de corrente do circuito;

- Melhoria do nível de tensão no ponto de consumo;
- Melhoria da regulação de tensão se a unidade capacitiva for apropriadamente chaveada;
- Redução de perdas de potência ativa I^2R no sistema devido à redução da corrente;
- Redução de perdas de potência reativa I^2X no sistema devido à redução da corrente;
- Aumento do fator de potência das fontes geradoras;
- Reduzindo carga reativa nas fontes geradoras, carga ativa adicional pode ser colocada nos geradores se a capacidade da turbina permitir;
- Redução da demanda de reativos onde a carga é atendida;
- Redução de investimentos em equipamentos por MW atendido.



Figura 07 – Capacitores de Potência
Fonte: Mamede (2007)

2.3.1 Características gerais

De acordo com os ensinamentos de Souza (2003), os capacitores são equipamentos capazes de acumular cargas elétricas. Basicamente possuem duas placas condutoras postas frontalmente de forma paralela e separadas por um isolante, que pode ser o ar, papel, plástico, etc. Nas faces externas destas placas, liga-se uma fonte de tensão que gera um campo eletrostático no espaço compreendido entre as duas placas, conforme Figura 08.

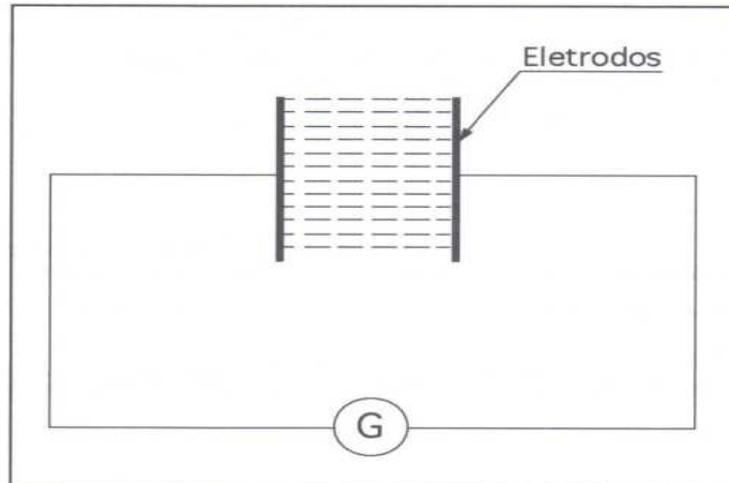


Figura 08 – Representação elementar de um capacitor
Fonte: Mamede (2007)

O gerador G, ora representado na figura acima, pode ser uma bateria ou um gerador de corrente contínua ou alternada. Os chamados eletrodos são as placas paralelas. As linhas de fluxo entre as placas paralelas são imaginárias. O material isolante colocado entre as placas paralelas é denominado dielétrico. A energia eletrostática fica acumulada entre as placas e em menor intensidade na sua vizinhança (MAMEDE, 2007).

A carga de 1 Coulomb origina uma linha de fluxo. Com efeito, ao se considerar todas as linhas de fluxo do campo eletrostático, se pode afirmar que elas se originam de uma carga de Q Coulomb. Desta forma, pode-se deduzir que Coulomb é a quantidade de carga elétrica que pode ser armazenada ou descarregada em forma de corrente elétrica durante certo período de tempo tomado como unidade (MAMEDE, 2007).

2.3.1.1 Capacidade

De acordo com Burian (1999), todo capacitor é avaliado pela quantidade de carga elétrica que é capaz de armazenar no seu campo. Pode-se avaliar esta assertiva através da seguinte equação:

$$C = \frac{Q}{V} \text{ (coulombs)} \quad (10)$$

Sendo:

C = Capacitância, em F;

V = tensão aplicada, em V;

Q = carga, em Coulomb.

A unidade que mede a capacidade de carga C de um capacitor é o farad. Logo, 1 farad é a capacidade de carga elétrica de um capacitor, quando uma carga elétrica de 1 Coulomb ($6,25 \times 10^{18}$ elétrons) é armazenada no meio dielétrico, sob a aplicação da tensão de 1 V entre os terminais das placas paralelas.

2.3.1.2 Energia armazenada

Conforme Irwin (2000), em seu livro sobre análise de circuitos em engenharia, quando os eletrodos de um capacitor são submetidos a uma tensão nos seus terminais, uma corrente de carga passa a circular no seu interior, o que faz com que uma determinada quantidade de energia se acumule no seu campo elétrico. A energia média armazenada no capacitor pode ser dada pela equação.

$$E = \frac{1}{2} \times C \times V_m^2 \text{ (J)} \quad (11)$$

Sendo:

C = Capacidade do capacitor, em F;

V_m = Tensão aplicada, em volts, valor de pico.

2.3.1.3 Corrente de carga

De acordo com Copel (1996), a corrente de carga de um capacitor vai depender da tensão aplicada em seus terminais. Quando se eleva a tensão, faz-se o mesmo com a carga acumulada. Ao considerar uma corrente I, correspondente a uma carga média do capacitor circulando durante um período de tempo Δt , para uma variação ΔV de tensão em seus terminais, a sua grandeza vale conforme a equação

a seguir representada.

$$I = C \times \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ (A)} \quad (12)$$

Sendo:

ΔV = Variação da tensão, em V;

Δt = Período de tempo durante o qual se variou a tensão.

Quando uma fonte de corrente contínua energiza um capacitor, se estiver inicialmente descarregado, a corrente fica muito elevada e este se comporta praticamente como curto-circuito, cuja corrente somente é limitada pela impedância do circuito de alimentação (MAMEDE, 2007).

Após um tempo expresso pela constante de tempo do capacitor, a sua corrente chega à zero, que pode ser expressa pela equação abaixo e representada pelo Gráfico 05.

$$I_c = I \times e^{\frac{-T}{Ct}} \text{ (A)} \quad (13)$$

Sendo:

I = Corrente inicial de carga no instante da energização, em A;

Ct = Constante de tempo, em s;

T = Tempo em qualquer instante, em s;

I_c = Corrente do capacitor no instante T .

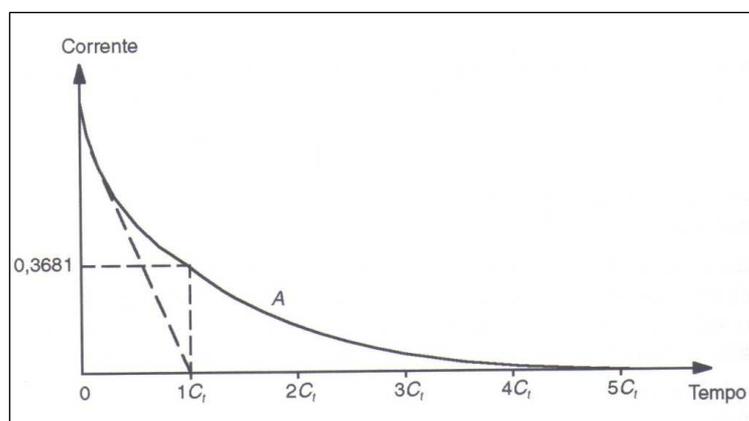


Gráfico 05 – Descarga de um capacitor
Fonte: Mamede (2007)

A tensão no capacitor cresce em conformidade com a curva mostrada pelo GRAFICO 06 e pela equação seguinte:

$$V_c = V \times \left(1 - e^{-\frac{T}{Ct}} \right) (V) \quad (14)$$

Sendo:

V = Tensão correspondente ao capacitor a plena carga, em V;

Vc = Tensão no capacitor para qualquer instante T, em V.

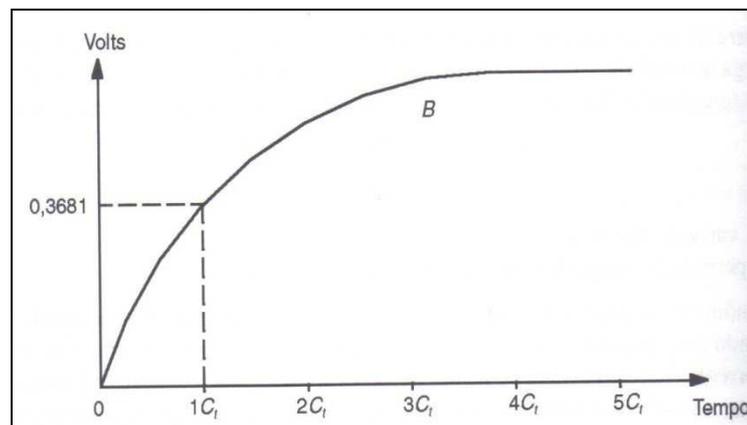


Gráfico 06 – Carregamento de um capacitor
Fonte: Mamede (2007)

Como qualquer elemento de um circuito, os capacitores podem ser ligados em série ou em paralelo (Figura 09). A ligação em série de um determinado número de capacitores resulta numa capacidade do conjunto mostrada na equação abaixo:

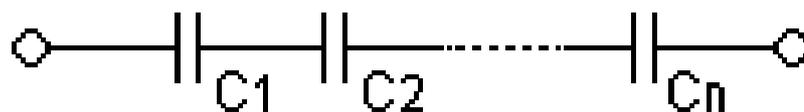


Figura 09 – Ligação de capacitores em série
Fonte: Mamede (2007)

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (15)$$

Sendo:

C_s = capacidade equivalente do conjunto, em F;

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ = capacidade individual de cada célula capacitiva, em F.

A ligação em paralelo de um determinado número de capacitores (Figura 10), resulta numa capacidade do conjunto mostrada na equação abaixo:

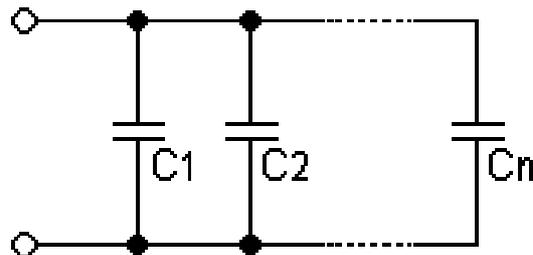


Figura 10 – Ligação de capacitores em paralelo
Fonte: Mamede (2007)

$$C_s = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (16)$$

2.3.2 Elementos Construtivos de um Capacitor

São partes componentes de um capacitor de potência: a caixa, a armadura, o dielétrico, o líquido de impregnação e o resistor de descarga, dos quais vai se explicar detalhadamente adiante.

2.3.2.1 Caixa

De acordo com Mamede (2007), a caixa é o invólucro da parte ativa do capacitor. Ela é feita em chapa de aço com espessura adequada ao volume da célula, ela também é conhecida como carcaça do capacitor de potência. A caixa compreende as seguintes partes:

- **Placa de Identificação** → Nela, estão contidos todos os dados

característicos necessários à identificação do capacitor, de conformidade com a Figura 11.

- **Isoladores** → Correspondem aos terminais externos das células capacitivas.
- **Olhais para levantamento** → Utilizados para alçar a célula capacitiva.
- **Alças ou suporte para fixação** → Utilizadas para fixar a célula capacitiva na sua estrutura de montagem.

DRM S.A.		
Capacitor de Potência - All Film		
Nº de série 0765	Tipo 466815	Data de Fabricação 25/07/94
Potência 25 kVAR	Tensão Nominal 13,80 kV	Capacitância 551,09 µF
Frequência 60 Hz	Nível de Isolamento 34/110 kV	Peso/Massa 15 kg
Categoria de Temperatura -10° a 50° C	Conforme ABNT NBR 5289 e 5282	Ordem de Compra BMP-CE-051
Contém Dispositivo interno de Descarga		
FLUIDO WENCOL BIODEGRADÁVEL		
COMBUSTIVEL CLASSE OSHA 8 - B		
CGC 025.964.283/04 - 07		Indústria Brasileira

Figura 11 – Placa de identificação de capacitor
Fonte: Mamede (2007)

2.3.2.2 Armadura

Esta parte é constituída de folhas de alumínio enroladas com o dielétrico, conforme Figura 12, com espessuras compreendidas entre 3 e 6 mm e padrão de pureza de alta qualidade, a fim de manter em baixos níveis as perdas dielétricas e as capacitâncias nominais de projeto (MAMEDES, 2007).

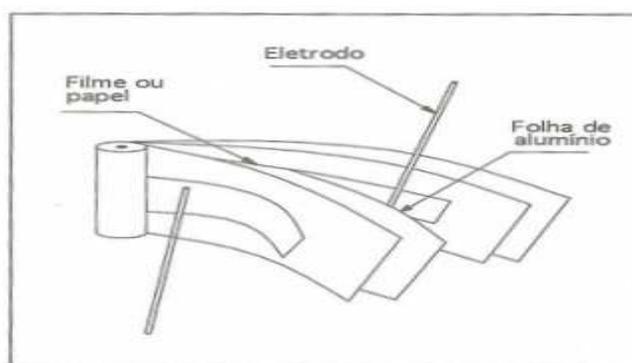


Figura 12 – Armadura de um capacitor
Fonte: Mamede (2007)

2.3.2.3 Dielétrico

Atualmente existem dois tipos básicos de capacitores quanto ao meio dielétrico, obedecendo aos conceitos dados por Mamede (2007):

- **Capacitores do tipo ajustável** → São aqueles cujo dielétrico é formado por uma fina camada de filme de polipropileno especial, associada muitas vezes, a uma camada de papel dielétrico (papel Kraft) com cerca de 18 micromilímetros de espessura;
- **Capacitores do tipo impregnado** → São construídos por uma substância impregnante.

2.3.2.4 Líquido de impregnação

Até os meados da década de 70, os capacitores fabricados no Brasil e, mesmo os importados, eram impregnados com um líquido denominado ascarel. Em virtude de não conter substâncias biodegradáveis, que poderiam provocar manifestações cancerígenas nas pessoas que entrassem em contato direto com o líquido, o governo pátrio proibiu a sua fabricação e utilização (MAMEDE, 2007).

Atualmente, os fabricantes utilizam como líquido impregnante uma substância biodegradável com estrutura molecular constituída de carbono e hidrogênio (Ecóleo 200- hidrocarboneto aromático sintético). Além de não agredir o meio ambiente, este impregnante apresenta características físicas até superiores ao seu antecessor (MAMEDE, 2007).

2.3.2.5 Resistor de descarga

Para que seja possível a drenagem da tensão resultante eliminada, insere-se, entre os terminais, um resistor com a finalidade de transformar em perdas Joule a energia armazenada no dielétrico, reduzindo para 5V o nível de tensão num tempo máximo de 1 min para capacitores de tensão nominal superior ao valor nominal de até 660 V, e de 5 min para capacitores de tensão nominal superior ao valor anterior. Este dispositivo de descarga pode ser instalado interna ou externamente a célula

sendo mais comum internamente, como resta demonstrada na Figura 13 (BURIAN, 1999).

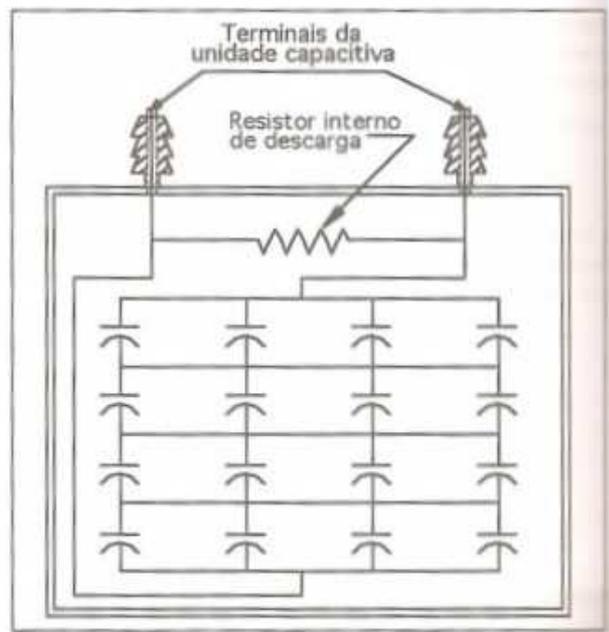


Figura 13 – Arranjo de uma unidade capacitiva
Fonte: Burian (1999)

2.3.3 Características Elétricas do Capacitor de Potências

São características elétricas do capacitor de potência: a potência nominal, a frequência nominal, tensão nominal, a sobretensão, a sobrecarga e as perdas dielétricas. Todas elas serão detalhadamente explanadas a seguir.

2.3.3.1 Potência nominal

Os capacitores são normalmente designados por sua potência nominal reativa, contrariamente aos equipamentos, cuja característica principal é a potência nominal aparente.

Segundo Mamede (2007), a potência nominal de um capacitor, em kVAr, é aquela absorvida do sistema quando este está submetido à tensão e frequência nominais a uma temperatura ambiente não superior a 20°C (ABNT). Conhecida a potência nominal do capacitor, pode-se facilmente calcular a sua capacitância

$$C = \frac{1000 \times P_c}{2\pi \times F \times V_n^2} \quad (17)$$

Sendo:

P_c = Potência nominal do capacitor, em kVAR;

F = Frequência nominal, Hz;

V_n = Tensão nominal, em kV;

C = Capacitância, em μF

Para capacitores de até 660 V, a potência nominal não ultrapassa normalmente a 50 kVAR, em células 1 a 30 kVAR, em células monofásicas. Já os capacitores de tensão de isolamento de 2,2 a 15 kV são geralmente monofásicos com potências padronizadas dos capacitores.

2.3.3.2 Frequência nominal

De acordo com Mamede (2007), os capacitores devem operar normalmente na frequência de 60 Hz. Para outras frequências é necessário especificar o seu valor corretamente já que a sua potência nominal é diretamente proporcional a este parâmetro.

2.3.3.3 Tensão nominal

Os capacitores são normalmente fabricados para a tensão nominal do sistema entre fases ou entre fase e neutro, respectivamente, para células trifásicas e monofásicas (MAMEDE, 2007).

2.3.3.4 Sobretensão

Segundo a NBR 5282, os capacitores devem suportar os seguintes limites de sobretensão:

a) 110% da tensão nominal em regime de operação contínua;

b) acima de 110% da tensão nominal durante períodos curtos de operação não superiores a 300 ocorrências ao longo de sua vida útil. Neste caso, tem-se:

- Duração de 6 Hz: $2,2 \times V_n$;
- Duração de 15 Hz: $2,0 \times V_n$;
- Duração de 1 s: $1,75 \times V_n$;
- Duração de 15 s: $1,40 \times V_n$;
- Duração de 1 min.: $1,30 \times V_n$;
- Duração de 5 min.: $1,20 \times V_n$;
- Duração de 30 min.: $1,15 \times V_n$.

Com efeito, Mamede (2007) diz que a operação de acionamento de banco de capacitores pode provocar sobretensões elevadas no sistema elétrico, causando problemas aos equipamentos eletrônicos sensíveis. As sobretensões resultam da interação entre a reatância indutiva e a reatância capacitiva do sistema, incluindo o banco de capacitores.

As principais características das sobretensões são a longa duração, alta energia e alta frequência. O pico de tensão pode atingir 5 μ da tensão senoidal do sistema.

2.3.3.5 Sobrecargas

Copel (1996) determina que os capacitores podem suportar uma sobrecarga admissível de até 135% da sua potência nominal, com tensão não superior a 110% da sua tensão nominal, acrescida das eventuais tensões harmônicas a que são submetidas às células capacitivas, como no caso de instalação contendo retificadores.

O autor supra mencionado também expõe que os capacitores podem operar continuamente com no máximo 180% da sua corrente nominal, em valor eficaz, com até 110% da sua tensão nominal, à frequência nominal, considerando as eventuais correntes harmônicas.

2.3.3.6 Perdas dielétricas

Ainda de acordo com Copel (1996), os capacitores produzem perdas Joule em virtude da corrente que flui no seu meio dielétrico. As perdas médias obtidas nas células capacitivas são:

- Dielétrico de papel Kraft: 2,2 W/kVAr;
- Dielétrico de papel Kraft e filme: 1 W/kVAr;
- Dielétrico de filme: 0,6 W/kVAr.

2.4 Aplicações Específicas dos Capacitores

2.4.1 Liberação da potência instalada em transformador

Segundo Mamede (2007), a instalação de capacitores na rede de tensão inferior de uma instalação libera potência, em kVA, das unidades de transformação em serviço. Muitas vezes, é necessária a implantação de uma determinada máquina numa indústria em funcionamento, onde a subestação está operando com sua capacidade plena para um dado fator de potência. Em vez de ampliar a potência da subestação com gastos elevados, pode-se instalar um banco de capacitores, de forma que reduza a potência reativa fornecida através da subestação, aliviando os respectivos transformadores.

2.4.2 Redução de perdas

De acordo Mamede (2007), as perdas nos condutores são registradas nos medidores de energia da concessionária e o consumidor como consumo desperdiçado. A equação abaixo permite que se determine a energia economizada num período anual.

$$E_e = \frac{R_{cir} \times P_c (2 \times P_d \times \text{sen}\varphi_1 - P_c) \times 8760}{1000 \times V_{cir}^2} \quad (18)$$

Sendo:

E_e = Energia anual economizada, em kWh;

P_d = Demanda do circuito, em kVA;

R_{cir} = Resistência do circuito para o qual se está calculando as perdas, em Ω ;

V_{cir} = Tensão composta do circuito, em kV.

Φ = Ângulo de Seno

2.4.3 Melhoria do nível de tensão

A instalação de capacitores num sistema conduz ao aumento do nível de tensão, como consequência da redução da corrente de carga e da redução efetiva da queda de tensão nos circuitos terminais e de distribuição. É importante frisar que a melhoria do nível de tensão deve ser encarada como uma consequência natural da instalação dos capacitores para corrigir o fator de potência ou outra solução desejada para um caso particular da instalação (MAMEDE, 2007).

2.5 Compensação Reativa com o Uso de Capacitores

A questão da compensação reativa e sua influência na tensão de um determinado sistema de potência, são assuntos que vêm sendo discutidos entre os especialistas do setor de energia elétrica durante algum tempo. Neste aspecto, Mamede (2007) informa que a compensação reativa, quando efetuada de forma adequada, é necessária para, dentre outras razões, garantir um maior e melhor aproveitamento do sistema elétrico existente, propiciando o equilíbrio no balanço entre a geração e o consumo de potência reativa e, desse modo, disponibilizando para a operação uma condição adequada de controle de tensão e, principalmente, o atendimento ao sistema.

Sendo assim, o desejo de se controlar a tensão é justificável, pois praticamente todos os equipamentos utilizados num sistema de potência são projetados para funcionar num dado nível de tensão, a tensão nominal ou tensão de placa. Se a tensão do sistema afastar-se desse valor, o desempenho desses equipamentos, bem como sua expectativa de vida útil, diminui. Por exemplo, o

conjugado de um motor de indução é proporcional ao quadrado da tensão aplicada, o fluxo luminoso de uma lâmpada varia fortemente com a tensão, entre outros. São, portanto, fortes, os motivos que levam a controlar o nível de tensão em um sistema elétrico. Entretanto, não há necessidade de controlá-lo mantendo-o entre estreitos limites, como o que ocorre com a frequência. Existem padrões industriais que fixam as variações toleráveis da tensão da rede, em valores relativamente amplos (MAMAEDE, 2007).

2.5.1 Otimização técnica das instalações

A instalação de bancos de capacitores reduz o consumo de potência reativa na rede de distribuição. De acordo com Irwin (2000), como consequência imediata se obtém os seguintes benefícios:

- Manutenção da potência ativa solicitada (P);
- Redução da potência aparente (S) na rede de distribuição;
- Condutores com bitolas menores;
- Diminuição da corrente elétrica;
- Redução das perdas elétricas resultantes da potência reativa presente no sistema.

Irwin (2000), também diz que o custo dos sistemas de comando, proteção e controle dos equipamentos crescem com o aumento da energia reativa. Da mesma forma, para transportar a mesma potência ativa sem aumento de perdas, a seção dos condutores deve aumentar na medida em que o fator de potência diminui, ou seja, ficando mais distante de 1.

Depreende-se das lições de Mamede (2007), que os valores de fator de potência são decorrentes de quantidades elevadas de energia reativa. Essa condição resulta em aumento na corrente total que circula nas redes de distribuição de energia elétrica da concessionária e das unidades consumidoras, podendo sobrecarregar as subestações, as linhas de transmissão e distribuição, prejudicando a estabilidade e as condições de aproveitamento dos sistemas elétricos, trazendo inconvenientes diversos, tais como perdas e quedas de tensão.

2.5.2 Compensação através de capacitores

Os capacitores desempenham um papel importante tanto nas redes de transmissão como na de distribuição. O rendimento da rede e a tensão diminuem rapidamente se forem sujeitos a efeitos reativos, harmônicos e perda de transmissão de potências. Assim, de modo geral, o rendimento é melhorado por meio de compensação de reativo, o mais próximo possível do local de consumo (MAMEDE, 2007).

Como já mencionado, os capacitores são fontes de energia reativa e os objetivos de sua aplicação em sistemas de potência é justamente a compensação de energias reativas produzidas por cargas indutivas ou reatâncias de linhas.

De acordo com Mamede (2007) , quando adequadamente utilizados os capacitores, permite a obtenção de um conjunto de benefícios correlatos que incluem a redução de perdas de energia, correção dos perfis de tensões, controle dos fluxos de potência, melhoria do fator de potência e aumento da capacidade dos sistemas.

Com efeito, os benefícios concretos advindos da instalação de capacitores em sistemas de distribuição dependem das características dos equipamentos e da forma como é feita essa instalação. Quando estes estão em operação num sistema, eles produzem kVAr, fornecendo corrente magnetizante para os motores, transformadores, etc., reduzindo, assim, a corrente da fonte supridora. Desta forma, menor corrente significa menos kVA ou carga nos transformadores, alimentadores ou circuitos de distribuição. Especificamente, dependem do número e tamanho dos capacitores, de sua localização, do tipo (fixos ou chaveados) e do esquema de controle utilizado (MAMEDE, 2007).

Existem várias alternativas para a instalação de capacitores em uma instalação, cada uma delas apresentando vantagens e desvantagens. Nesse sentido, a escolha da melhor alternativa dependerá de análises técnicas de cada instalação com orientação de profissionais especializados.

Dentre as alternativas de planejamento de curto prazo para redes de distribuição, está a instalação de capacitores shunt, que, adequadamente automatizados e instalados em um alimentador de distribuição, melhoram o fator de potência do sistema, reduzem a carga aparente na fonte supridora e circuitos,

liberando capacidade para a ligação de cargas adicionais; elevam a tensão na carga; reduzem a componente atrasada da corrente do circuito e como consequência reduzem as perdas ativas e reativas e reduz o custo de operação do sistema (MAMEDE, 2007).

2.6 Banco de Capacitores

A forma mais econômica e racional de obter-se a energia reativa necessária para a operação dos equipamentos é a instalação de bancos de capacitores. Com os capacitores funcionando como fontes de reativo, a circulação da energia fica limitada aos pontos onde ela é efetivamente necessária, reduzindo perdas, melhorando condições operacionais e liberando capacidade em transformadores e condutores para atendimento a novas cargas, tanto nas instalações consumidoras como nos sistemas elétricos das Concessionárias (IRWIN, 2005).

Os capacitores aplicados em sistemas de distribuição estão geralmente localizados nos alimentadores de distribuição ou nas subestações. A sua utilização está focada no fator de potência local, destacando que os bancos podem ser fixos ou automáticos dependendo das condições da carga (IRWIN, 2000).

A aplicação de Bancos de Capacitores nos alimentadores de distribuição deve respeitar as normas técnicas das Concessionárias e estar em consonância com o estabelecido nas resoluções ANEEL N°456/2000 e 505/2001.

Considerando o fato de que a potência reativa não produz trabalho útil, porém, deva ser transportada desde a geração até a unidade consumidora, sem que as empresas concessionárias transformem esta energia em receita, a Resolução N° 456 da ANEEL, de 29 de novembro de 2000 (ANEEL, 2000), estabeleceu em 0,92 o valor mínimo para o fator de potência de referência, indutivo ou capacitivo, das instalações elétricas das unidades consumidoras.

Os princípios fundamentais da legislação são os seguintes:

- a) Necessidade de liberação da capacidade do sistema elétrico nacional;
- b) Promoção do uso racional de energia;
- c) Redução do consumo de energia reativa indutiva que provoca

sobrecarga no sistema das empresas fornecedoras e concessionárias de energia elétrica, principalmente nos períodos em que ele é mais solicitado;

d) Redução no consumo de energia reativa capacitiva nos períodos de carga leve que provoca elevação da tensão no sistema de suprimento, havendo necessidade de investimento na aplicação de equipamentos corretivos e realização de procedimentos operacionais nem sempre de fácil execução;

e) Criação de condições para que os custos de expansão do sistema elétrico nacional sejam distribuídos para a sociedade de forma justa.

Os bancos de capacitores instalados nos alimentadores de distribuição são geralmente protegidos, de acordo com Souza (2003), por chaves fusíveis monofásicas, independente se o mesmo é formado por um, dois, três ou quatro capacitores por fase. Segundo ele, um exemplo clássico é de um banco de 600 kVAr – Unidades de 100 kVAr. Nos bancos trifásicos ligados em estrela isolada, a corrente máxima que ocorrerá no caso de um curto circuito em alguma das unidades será de no máximo 3 vezes a corrente nominal do banco, pois as unidades das outras fases limitarão a corrente de curto a este valor. Em condição normal a corrente nominal do banco é dada por:

$$I = Q/\sqrt{3} \times V \quad (19)$$

Sendo:

I = Corrente

Q = Carga

V = Tensão

Existem três tipos de bancos de capacitores, quais sejam: os programáveis, que podem atuar em condições pré-definidas (Períodos ou eventos) de acordo com a necessidade específica, os fixos, indicado para a correção de cargas constantes, e os automáticos, que realizam uma compensação automática por meio de sinais de tensão e corrente ligando e desligando módulos capacitivos de acordo com a necessidade (SOUZA, 2003).

Os bancos de capacitores geralmente padronizados pelas empresas são: 150, 300, 600, 900 e 1200KVAR. A localização adequada destes bancos, fixos ou automáticos, é de grande importância no conhecimento da curva diária e semanal do

consumo de reativos em pontos estratégicos do alimentador. A fim de se usufruir dos benefícios decorrentes da aplicação de capacitores, deve-se instalá-los o mais próximo possível das cargas. Devem-se observar as seguintes recomendações: Nas instalações de bancos fixos, a carga da linha no ponto de instalação na hora de carga leve deve ser superior a uma vez e meia da corrente do banco de capacitores. I carga leve > 1,5 I capacitor e na instalação de bancos automáticos, nos casos que sobram (IRWIN, 2000).

2.6.1 Regras práticas para a instalação de bancos capacitores

Segundo Freitas (2004), alguns procedimentos devem ser tomados para a instalação de capacitores em alimentadores de distribuição, tais como:

- Manter um fator de potência mínimo de 0,95 durante o período de carga média e pesada, na saída do alimentador;
- A máxima compensação resultante deverá ser limitada pelo fator de potência (FP) igual a 1,0 no início do alimentador em carga máxima, admitindo-se em determinados períodos o FP levemente adiantado, desde que não ocorra sobretensões no consumidor;
- Instalar os Bancos de Capacitores no tronco do alimentador;
- Localizar os Bancos de Capacitores próximos a grandes consumidores industriais;
- Em alimentadores com carga residencial, comercial e grandes consumidores industriais localizar os bancos no centro de carga de uma área do alimentador;
- Não instalar Bancos de Capacitores em ramais protegidos por chaves fusíveis, pois em caso de abertura involuntária em uma das fases no lado da fonte, provocará a energização da fase aberta através dos capacitores conectados em estrela isolada.

2.6.2 Operação dos bancos de capacitores

Os bancos fixos possuem um valor fixo de potência e estão

permanentemente em operação. Já para os bancos automáticos é possível ligar e desligar o Banco de capacitores dependendo da condição de carga para a qual está operando e de controles adequados (FREITAS, 2004).

Normalmente, segundo ensinamentos de Freitas (2004), os bancos de capacitores são projetados para 10% de sobretensão e 30% de sobrecorrente, alguns podendo operar de maneira fixa para situações em que o sistema está sem carga ou com carga mínima ou através de bancos de capacitores chaveados para que seja possível ajustar a quantidade de capacitores necessários para atender às necessidades de potência reativa do sistema de acordo com o seu perfil de carga diário.

De acordo com Freitas (2004), o importante, no entanto, é ter em mente as seguintes precauções para operar bancos de capacitores:

- Evitar transientes de sobretensão perigosos no caso de interrupções do fornecimento de energia, os bancos de capacitores devem ser desligados antes de a energia ser restabelecida;
- Transformadores de potência nas subestações e bancos de capacitores não devem ser carregados simultaneamente quando o sistema está sendo restabelecido após uma falta de energia;
- Bancos de capacitores devem ser colocados em serviço um a um de acordo com a necessidade momentânea do sistema;
- Se a tensão na barra em que o Banco de Capacitores está conectado atingir 1,1 vezes ou mais a tensão nominal, o banco deve ser desligado.

O mesmo autor alerta que a solicitação de potência reativa é variável ao longo do dia, sendo a entrada de capacitores em operação causa de elevação na tensão, que pode ser elevada, principalmente em períodos de carga leve. Como também é inviável a colocação e retirada do equipamento por operação manual diariamente, os bancos de capacitores são acoplados a controles automáticos, que comandam as operações de ligar e desligar dos bancos, conforme o dispositivo sensor do controle (FREITAS, 2004).

E mais, dentre os dispositivos disponíveis, o mais utilizado é o com sensor de tempo e tensão, ou seja, o qual opera em função do nível de tensão e das horas do dia, existem, porém outros, como o com sensor apenas de tensão e o com sensor de corrente (FREITAS, 2004).

2.6.3 Banco de capacitores automáticos

O método de cálculo utilizado para correção do fator de potência empregado nos banco de capacitores automáticos é o mesmo utilizado nos outros. A diferença está na avaliação da capacidade do banco em função das frações inseridas durante o ciclo de carga da instalação. Estes bancos são utilizados em instalações onde existe uma razoável variação na curva de carga reativa diária ou a necessidade de manutenção do fator de potência numa faixa muito estreita de variação (MAMEDE, 2007).

Como mencionado anteriormente, o banco de capacitores é instalado de forma a compensar um setor ou um conjunto de máquinas, sendo colocado junto ao quadro de distribuição que alimenta esses equipamentos.

Nas formas de compensação em geral e por grupos de equipamentos, é usual utilizar-se uma solução em que os capacitores são agrupados por bancos controláveis individualmente. Um relé varimétrico, sensível às variações de energia reativa, comanda automaticamente a operação dos capacitores necessários à obtenção do Fator de Potência desejado (ENGELÉTRICA, 2007).

Em muitos casos utilizam-se, conjuntamente, as diversas formas de compensação, podendo ser realizada através de banco fixo, cuja utilização ininterrupta; por banco fixo, ligado somente no período de atividade dos equipamentos a ele ligado; e, como no caso em estudo, por banco automático, controlando continuamente a quantidade de kVAr, da forma escrita anteriormente (ENGELÉTRICA, 2007).

2.7 Cálculo de Capacitância Necessária à Correção de F. P.

De acordo com o Manual de Correção de Fator de Potência da ENGELÉTRICA, o princípio é um só, porém, dependendo dos dados disponíveis do sistema tarifário e da adoção ou não da média horária, é necessário a utilização do Fator de Carga ou Horas Trabalhadas. Como a resolução vigente determina que seja adotado o sistema de média horária, vai se abordar o cálculo com base nesta condição, seja para bancos automáticos ou programáveis. É

necessário que se tenha os seguintes dados (que devem ser obtidos na fatura de energia elétrica ou em medição com equipamento adequado): Demanda máxima; Consumo ou Demanda Ativa; Consumo ou Demanda Reativa. Como já foi mencionado existem várias formas de cálculos, porém a que vai se adotar, neste caso, é o da diferença de tangente (TAMIETI, 2002).

PRIMEIRO PASSO

Determine a tangente relativa ao consumo ativo e reativo (veja triângulo das potências apresentada na Figura 04:

$$Tg \alpha = \frac{KVAR}{KW} \quad (20)$$

SEGUNDO PASSO

Calcule a diferença entre o valor obtido e o valor de referência para um fator de potência de 0,92 que é 0,425. (se preferir um fator de potência superior a 0,92 utilize os valores da tabela abaixo):

$$Dtg = tg1 - tgr \quad (21)$$

Sendo:

Dtg. = Diferença das tangentes;

Tg1 = Tangente obtida no primeiro passo;

Tgr = Tangente de referência.

FATOR DE POTÊNCIA (cos.φ)						
Tg p/ 0,92	Tg p/ 0,93	Tg p/ 0,95	Tg p/ 0,96	Tg p/ 0,97	Tg p/ 0,98	Tg p/ 0,99
0,425	0,395	0,328	0,291	0,250	0,203	0,142

Quadro 01 : Tabela de tangente de fatores de potência
Fonte: Tamietti (2002)

TERCEIRO PASSO

Multiplique o valor de Dtg pela demanda máxima. O valor aqui obtido é a

potência em KVAr a instalar.

2.8 Influência dos Harmônicos nos Bancos de Capacitores

As normas nacionais e internacionais estabelecem condições específicas quanto à utilização de capacitores em sistemas elétricos submetidos a condições anormais de operação, tais como sobretensão sustentada, transitórios, tensões, correntes harmônicas, etc (MAMAEDE, 2007).

O projeto de um capacitor está condicionado, segundo Mamede (2007), durante a sua vida útil, a operar com tensões e correntes senoidais. Para um projeto de capacitor atender às condições operacionais anormais dos sistemas elétricos, seria necessário elevar o valor da sua tensão nominal, aumentando os custos de manufatura, para que o mesmo pudesse operar sem perda de vida útil.

A vida útil dos capacitores está, portanto, condicionada aos efeitos dos componentes harmônicos sobre as diversas partes desse equipamento. Pode-se, pois, resumir os efeitos ocasionados pelos componentes sobre os capacitores analisando os seguintes parâmetros presentes nos sistemas elétricos: a tensão, a corrente, o efeito simultâneo da tensão e da corrente (MAMEDE, 2007).

A tensão de um capacitor, de acordo com ensinamentos de Irwin (2000), é definida, entre outros parâmetros, pelo nível de corrente de fuga que ocorre no interior do dielétrico, o que é denominado também de descargas parciais. O dimensionamento do isolamento entre as placas de um capacitor (dielétrico) é determinado de forma a garantir uma baixa corrente de fuga. No entanto, se a tensão no dielétrico é elevada acima do valor previsto em projeto observa-se um aumento da corrente de fuga que faz aquecer o meio dielétrico, reduzindo a vida útil do capacitor. Esse aumento de tensão pode ser propiciado pela tensão sustentada do próprio sistema de regulação da rede elétrica ou simplesmente pela presença de conteúdos de tensão harmônica.

Mamede (2007) define que as correntes harmônicas resultantes que fazem elevar o valor da corrente total que circula pelas placas do capacitor sobreaquecem não somente o meio dielétrico, mas também os condutores, os pontos de conexão das placas, entre outros.

E mais, que a variação instantânea da tensão em relação ao tempo, isto é, dv/dt , aumenta a corrente que atravessa os diversos componentes elétricos da célula capacitiva, elevando o efeito Joule no seu interior, o que é reconhecido como efeito simultâneo dos dois fenômenos anteriormente descritos (IRWIN, 2005).

2.9 Fator de Potência e Preservação dos Recursos Naturais

A educação ambiental é um dos assuntos mais discutidos em escolas, empresas e em todo o meio científico. Este interesse geral advém do fato de que os recursos naturais, renováveis ou não, estão dia a dia mais escassos. A necessidade de preservação do meio ambiente e de desenvolvimento sustentável fica mais evidente conforme a sobrevivência da civilização humana se vê ameaçada. A previsão obscura de um futuro seco, desértico e quente para as gerações futuras já é uma realidade crua e concreta, deixando o mundo dos devaneios dos chamados “ambientalistas radicais” da década de 80. O hoje, já faz parte do futuro e as ações imediatas têm influencia imperiosa na vida e morte de centenas de espécies, inclusive a humana. Decisões e atitudes não podem mais ser projetadas, devem ser tomadas agora. Cada segundo que se passou desde o início desta leitura, representa um mundo um pouco mais seco. A água, essência da vida, fica cada dia mais rara e cara (RAMOS, 2009).

Na atualidade, praticamente tudo é movido à energia. As facilidades da vida moderna imprimem o desejo e uso desenfreado dela. Ocorre que as pessoas parecem não saber que a produção de energia envolve o uso da água nas hidrelétricas. Assim, mesmo que não se esteja usando a água diretamente, cada vez que se liga desnecessariamente uma lâmpada, joga-se fora dezenas de litros deste líquido precioso (RAMOS, 2009).

Para se ter uma idéia mais concreta sobre o fato acima mencionado, tome-se como exemplo um banho quente com 20 minutos de duração. Os cálculos que muitos fazem a cerca do banho é que se gasta em média 100 litros de água, o que a nível mundial seria um gasto absurdo deste líquido precioso. Ocorre que outros números não costumam entrar nesta conta. É necessária uma grande quantidade de água represada, cerca de 4320 litros, para a produção da energia

necessária para o banho quente acima mencionado, excluindo-se aí os 100 litros. Isso tudo para um único banho. Faça-se a conta, agora, de quantos litros de água serão gastos em um único banho, de um único dia de metade da população mundial. Os números serão estratosféricos (MACHADO, 2007).

Não se pode impedir que as pessoas deixem de tomar banho quente, cabe à consciência de cada ser humano realizar o uso sustentável da energia. Veja, mais do que economizar água, economizar energia seria uma ótima lição de preservação dos recursos naturais (RAMOS, 2009).

Enquanto a consciência ambiental não é totalmente inculcada nas mentes humanas, a correção do fator de potências, por todas as razões ora apresentadas nesta pesquisa, e a conseqüente aplicação de multa caso esta não se realize, é a melhor forma de diminuir os desperdícios energéticos que muitas empresas praticam.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Apresentação do Caso

Como mencionado anteriormente, o Hospital São Lucas é um grande complexo hospitalar que consome muita energia elétrica para manter-se funcionando. Ocorre que feito o estudo de fator de potência na referida empresa, percebeu-se que em vários momentos havia queda do mesmo, o que indica desperdício de energia e pagamento de multa a concessionário de energia local (ENERGISA).

Com o intuito de corrigir os mencionados desperdícios e diante dos estudos realizados, foi adotada como medida a implantação de Banco de Capacitores Automáticos, que tem como responsabilidade manter o fator de potência estável em níveis aceitáveis ou desejados.

O estudo apresentado no Quadro 02, determina o fator de potência mínimo que o sistema pode permitir, no caso de 0,92. Este valor é o mínimo permitido pela ANEEL, sendo estabelecidas multas para aqueles cujo sistema alcança valor menor. Pelo referido estudo, visualiza-se claramente que o Hospital São Lucas, nos meses de Fevereiro, Julho e Agosto do ano 2009, dentro ou fora da ponta, atingiram fator de potência inferior ao permitido por lei. O Fator de potência desses três meses foi, em média, de 0,76.

Tabela 02: Estudo de fator de potência da Hospital São Lucas

ESTUDO DE FATOR DE POTENCIA							
Cálculos com demanda							
CLIENTE:	Hospital São Lucas						
Dados:	Maiores consumos						
Ponta	Consumo	Demanda	Fator de Potência	Fora da Ponta	Consumo	Demanda	Fator de Potência
ago / 09	24.550,00	428,820	0,88	ago / 09	221.983,00	477,540	0,89
jul / 09	9.304,00	286,560	0,61	jul / 09	89.612,00	313,200	0,66
fev / 09	22.627,00	419,760	0,8	fev / 09	204.485,00	483,120	0,83
médias	18.827,00	378,380	0,76	médias	172.026,67	424,620	0,79
Cálculos da Quantidade de horas trabalhadas				Cálculos da Quantidade de horas trabalhadas			
	Horas	Dias			Horas	Dias	
	3	30			21	30	
Qtde de horas trabalhadas		90		Qtde de horas trabalhadas		630	
Cálculos:				Cálculos:			
Demanda media CONSUMO =		209,19		Demanda media =		273,06	
Demanda de projeto =		293,78		Demanda de projeto =		348,84	
Fator de potência médio =		0,76		Fator de potência médio =		0,79	
Fator de potência mínimo =		0,92		Fator de potência mínimo =		0,92	
Fator de potência desejado =		0,95		Fator de potência desejado =		0,95	
ment		0,99		Fator de potência máximo =		0,99	
Carga capacitiva Mínima =		123,48	kVar	Carga capacitiva Mínima =		119,09	kVar
Carga capacitiva Desejada =		152,07	kVar	Carga capacitiva Desejada =		153,03	kVar
Carga capacitiva Máxima =		206,77	kVar	Carga capacitiva Máxima =		217,98	kVar
Capacitores Indicados =				Capacitores Indicados =			
2	de	5	Automático		de	5	Automático
2	de	10	Automático	1	de	10	Automático
2	de	25	Automático	1	de	20	Automático
3	de	50	Automático	ou	4	de	50
	Totalizando:	230	Automático		Totalizando:	230	Automático

Fonte: Hospital São Lucas

Sabendo-se disso, passa-se aos cálculos para se saber quantos capacitores serão necessários para a implantação do Banco de Capacitores Automáticos. A demanda média CONSUMO será dada pela divisão entre a média de consumo total dos três meses analisados pelas horas trabalhadas, seguindo-se a seguinte equação:

$$\mathbf{DCm = MC / Ht} \quad (22)$$

$$\mathbf{DCm = 18.827,00 / 90 \longrightarrow DCm = 209,19 KVA}$$

Sendo:

DCm = Demanda média de Consumo

MC = Média de Consumo total dos meses de FP baixo

Ht = Horas trabalhadas

Alcançada a Demanda Média de Consumo (209,19), passa-se ao cálculo da demanda do projeto, afinal, é através deste valor que se vai chegar indiretamente ao número de capacitores almejados. Este cálculo será realizado pela soma da demanda média de consumo mais horas efetivamente trabalhadas, conforme equação abaixo:

$$\mathbf{D(proj) = DCm + H} \quad (23)$$

$$\mathbf{D(proj) = 209,19 + 84,6 \longrightarrow D (projeto) = 293,78 KVA}$$

Sendo:

D (proj) = Demanda do Projeto

DCm= Demanda média de consumo

H = Horas efetivamente trabalhadas

Observe-se que o número de horas indicado na equação acima e no estudo em questão é aproximado e leva em consideração o fato do mês de fevereiro ter 28 dias e não 30 como os demais meses.

Alcançado esse valor, e sabendo-se que o valor de fator de potência desejado é 0,95 e o máximo a ser alcançado é de 0,99, inicia-se o cálculo da Carga Capacitiva Mínima, Máxima e a Desejada. Todas elas são calculados pela multiplicação da Demanda do Projeto pela diferença entre o arco da tangente encontrado no fator de potência médio e a tangente do fator de potência Mínimo, Máximo e Desejado, respectivamente. Como se pode verificar pelas equações abaixo:

$$\begin{aligned} \Rightarrow \quad CC_{\min} &= D (\text{proj}) \times (\text{tg FP}_{\text{m\u00e9dio}} - \text{tg FP}_{\text{m\u00edn}}) & (24) \\ \Rightarrow \quad CC_{\min} &= 293,78 \times (0,845 - 0,425) \quad CC_{\min} = 123,48 \text{ Kvar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \quad CC_{\text{des}} &= D (\text{proj}) \times (\text{tg FP}_{\text{m\u00e9dio}} - \text{tg FP}_{\text{des.}}) & (25) \\ \Rightarrow \quad CC_{\text{des}} &= 293,78 \times (0,845 - 0,328) \quad CC_{\text{des}} = 152,07 \text{ Kvar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \quad CC_{\text{m\u00e1x}} &= D(\text{proj}) \times (\text{tg FP}_{\text{m\u00e9dio}} - \text{tg FP}_{\text{Max}}) & (26) \\ \Rightarrow \quad CC_{\text{m\u00e1x}} &= 293,78 \times (0,845 - 0,142) \quad CC_{\text{m\u00e1x}} = 206,77 \text{ Kvar} \end{aligned}$$

Sendo:

CC_{\min} é Carga Capacitiva M\u00ednima

CC_{des} \u00e9 a Carga Capacitiva Desejada

$CC_{\text{m\u00e1x}}$ \u00e9 a Carga Capacitiva M\u00e1xima

$D (\text{proj})$ \u00e9 a Demanda do Projeto

$\text{Tg FP}_{\text{m\u00e9dio}}$ \u00e9 a tangente do fator de pot\u00eancia m\u00e9dio dos tr\u00eas meses estudados, cujo valor \u00e9 0,845

$\text{Tg FP}_{\text{min}}$ \u00e9 a tangente do fator de potencia m\u00ednimo permitido, cujo valor \u00e9 0,425

$\text{Tg FP}_{\text{des}}$ \u00e9 a tangente do fator de pot\u00eancia desejado pelo projeto, cujo valor \u00e9 0,328 e,

$\text{Tg FP}_{\text{Max}}$ \u00e9 a tangente do fator de pot\u00eancia m\u00e1ximo que o banco de capacitores vai atingir, cujo valor \u00e9 0,142

Observe-se que quanto maior o valor do fator de pot\u00eancia menor \u00e9 a sua tangente, o que indica que o arco \u00e9 menor e, conseq\u00fcentemente, h\u00e1 menos desperd\u00edcio de energia.

Encontrados todos esses valores, definiu-se a pot\u00eancia em KVAR a ser instalada e, conseq\u00fcentemente, quantos capacitores s\u00e3o necess\u00e1rio para atender a demanda desejada. No caso em estudo foram indicados um total de 230 capacitores, todos autom\u00e1ticos, formando 25 unidades de 9 capacitores que ser\u00e3o interligados conforme disposi\u00e7\u00e3o de circuitos internos do Hospital S\u00e3o Lucas, que no caso foram 12. Alcan\u00e7ados esses valores exatos, inicia-se a execu\u00e7\u00e3o da implanta\u00e7\u00e3o do Banco de Capacitores Autom\u00e1ticos do Hospital S\u00e3o Lucas.

4.2 Apresentação e Execução do Projeto

O projeto escolhido e contratado pelo Hospital São Lucas, foi o de Banco de Capacitores Automáticos, que obedece às especificações próprias. Como mencionado, através da análise dos sinais de tensão e corrente provenientes da rede elétrica da empresa estudada, decidiu-se pela implantação de Banco de Capacitores que calculam as potências ativas e aparentes, determinando o fator de potência da instalação e corrigindo-o para o valor pré-estabelecido, que no caso em estudo vai variar entre 0,92, que é o aceitável, e 0,96, que é o desejado.

O referido projeto foi executado no mês de outubro do corrente ano. A Figura 14 apresenta diagrama de ligação de um Capacitor de Fator de Potência.

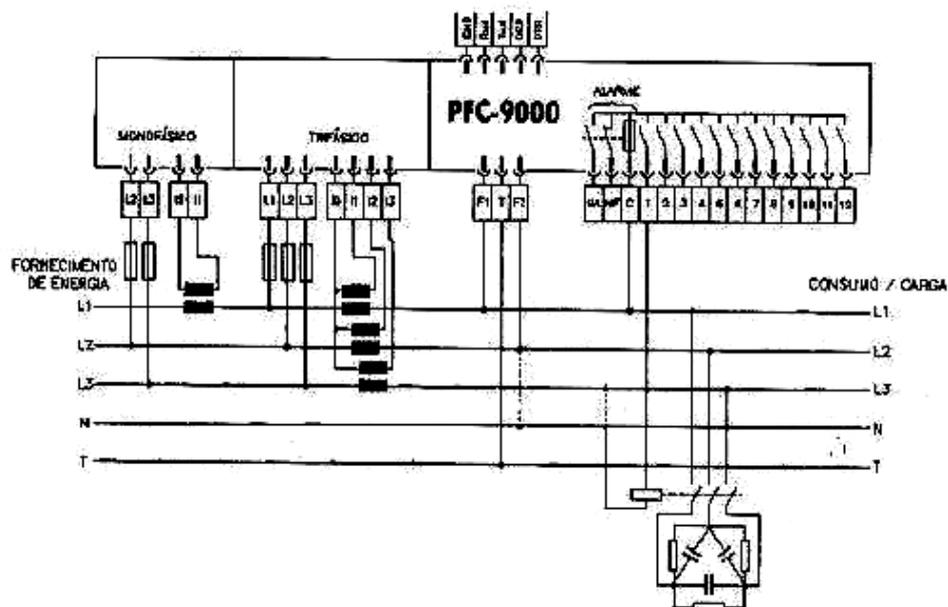


Figura 14 – Diagrama de ligação de CAFP
Fonte: Pesquisa do autor

Os Bancos de Capacitores Automáticos efetuam manobra automática dos capacitores em função da falta ou excesso de potência reativa no sistema, utilizando controladores automáticos de fator de potência microprocessados. São seguros contra toques acidentais. Possuem proteção geral para o banco e proteção individual para cada estágio.

Eles podem ser fixos ou não. No caso em estudo foi utilizado o primeiro

tipo, onde são montados em caixa de aço com pintura eletrostática a pó (Figura 15). Eles permitem fixação horizontal ou vertical. Podem ser fornecidos com chave seccionadora e/ou contactor. A tampa removível possibilita manutenção individual de cada unidade capacitiva, possuindo terminais para ligação e resistor de descarga, como vai ser ver adiante.



Figura 15 – Cabine de Banco de Capacitores
Fonte: Pesquisa do autor

Através de cálculos averiguam-se quantas células (Figura 16) de capacitores são necessárias para formar um banco de capacitores.



Figura 16 – Células de capacitores de potência
Fonte: Pesquisa do autor

No caso em estudo, verifica-se, através da planilha, antes apresentada, que o Hospital São Lucas precisa de aproximadamente 230 unidades. Feitos os cálculos, passa-se à montagem de unidades de capacitores, cujo número será determinado pelo total de células necessárias e o tamanho da cabine do Banco a ser formado. Cada unidade dessas, foi composta por nove células, formando 25 unidades, conforme se verifica na Figura 17, vista frontalmente. Estas células são montadas em placas de fixação, por ligações em série, através de cabeamento.



Figura 17: Unidade formada por nove capacitores
Fonte: Pesquisa do autor

Feitas estas montagens, deve-se reunir todo o equipamento que será utilizado na montagem do Banco de Capacitores, como se depreende da Figura 18, na ordem em que será montado, de cima para baixo verifica-se: Chave Geral do Banco de Capacitores (a) , Reler (b), a Chave NH (c), os Contactores (d) e as supra mencionadas unidades (e).

Depois de reunido o equipamento, passa-se a montagem. Todas as unidades de células serão fixadas na placa de fixação do painel do Banco de

Capacitores (Figura 19), colocando-a na cabine.

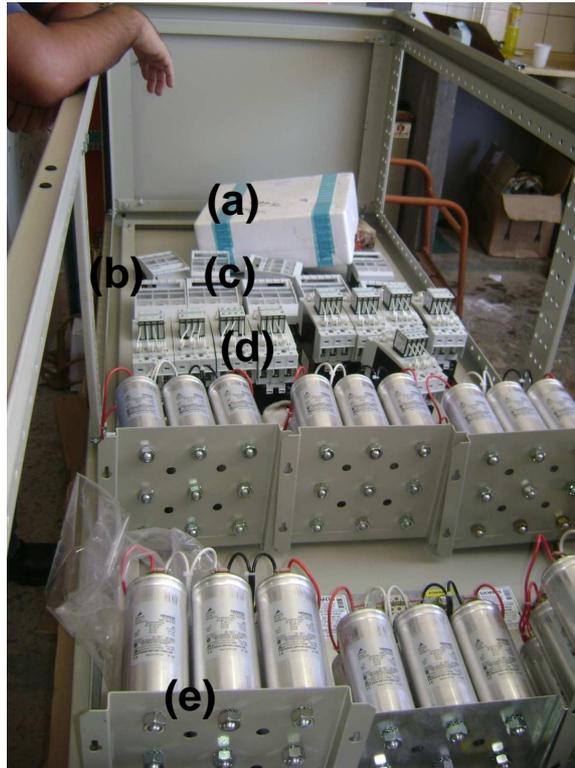


Figura 18 – Equipamento utilizado para montagem de Banco de Capacitores do Hospital São Lucas
Fonte: Pesquisa do autor



Figura 19 – Placa de fixação interna do painel do Banco de capacitores
Fonte: Pesquisa do autor

Fixadas as unidades de capacitores, passa-se a fazer a ligação com os contactores, através de cabeamento (Figura 20). Estes contactores são aparelhos que viabilizam a alimentação do Banco de Capacitores, sendo montados de acordo com as necessidades descritas na ultima parte da planilha apresentada, sempre atendendo ao circuito.



Figura 20 – Contactor de unidades do banco de capacitores
Fonte: Pesquisa do autor

Realizada estas conexões, liga-se os contactores às chaves Seccionadora para fusível NH (Figura 21). As chaves NH dos circuitos serve para a abertura individual dos mesmos. Ela é necessária para o caso de manutenção ou simples abertura e proteção do circuito em questão. Essas chaves podem ser com carga ou sem carga, como é a utilizada no caso em estudo.



Figura 21 – Chave NH
Fonte: Pesquisa do autor

É importante observar que cada Chave NH é ligada somente a um circuito. Assim, o número de circuitos existentes determina o número de chaves NH necessárias para a montagem do Banco de Capacitores. No caso em estudo, havia 12 circuitos, exigindo-se, então, 12 Chaves NH para a referida montagem.

Frise-se que todas as ligações até o momento realizadas e as que ainda vão se realizar são feitas por cabos de cobre com características específicas para cada tipo de circuito.

A Chave geral do Banco de Capacitores tem como objetivo proteger e desligar todos os circuitos de uma só vez (Figura 22). É ela quem comanda as chaves NH. Colocada na parte superior do gabinete e do painel do banco de capacitores, alimenta as barras de cobre onde estão conectadas, alimentando-as. Esse mesmo barramento, por sua vez alimenta as chaves NH.



Figura 22 – Chave Geral ou Manual do Banco de Capacitores
Fonte: Pesquisa do autor

Está é a etapa final da primeira fase de montagem do Banco de Capacitores. É importante explicar que o painel deste Banco fica localizado dentro da subestação, ao lado do quadro geral de circuitos do hospital (Figura 23). Faz-se a ligação deste quadro geral de circuitos ao painel do Banco de Capacitores através do cabeamento adequado e da chave geral do referido banco.



Figura 23 : Quadro geral de circuitos
Fonte: Pesquisa do autor

Passa-se, então a montagem da porta ou tampa móvel do painel do Banco de Capacitores. A esta tampa é fixada o Controlador do Fator de Potência (Figura 24), no lado externo da referida tampa. Este controlador monitora o fator de potência dos circuitos e dispara o start para os mesmos, acionando os Bancos de Capacitores para normalizar o fator de potência alterado, trazendo-o a níveis desejados e normatizados, que no caso em estudo vai variar de 0,92 a 0,96.



Figura 24 – Controlador de fator de potência
Fonte: Pesquisa do autor

Frise-se, então a referida porta ao gabinete do Banco de Capacitores, fazendo-se uma ligação interna do controlador do reler (Figura 25). O Reler enxerga os circuitos, quando existe uma queda do fator de potência ou de tensão de energia, acusado pelo controlador, já mencionado, ele aciona o contactor para que o banco de Capacitores seja alimentado e assim se corrija o fator de potência alterado.

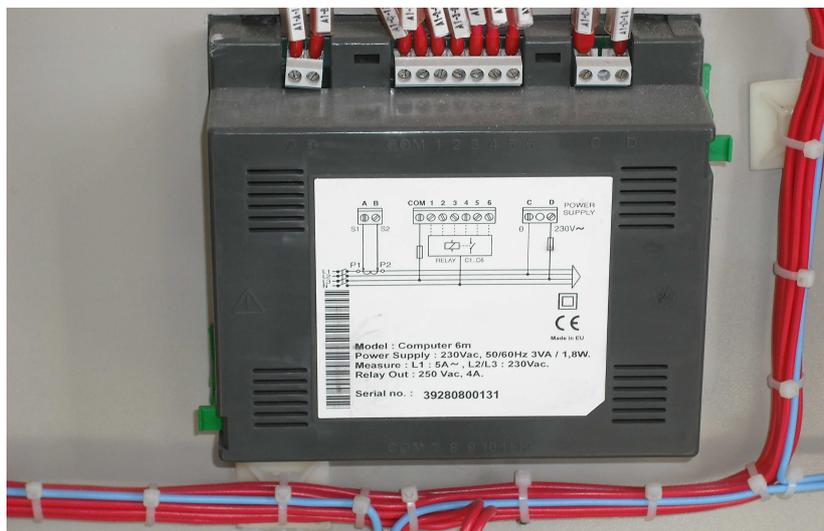


Figura 25 – Ligação interna do controlador de FP ao barramento
Fonte: Pesquisa do autor

4.3 Resultados Obtidos

De uma rápida avaliação de um gráfico (Gráfico 07) onde se leva em conta os fatores de potência sem correção do período avaliado pelo estudo realizado no Hospital São Lucas e o faturamento das multas aplicadas a esta instituição, com tarifas dentro e fora da ponta, conforme foi anteriormente aplicado.

O valor estabelecido como mínimo aceitável pela resolução 456 da ANEEL para o fator de potência é de 0,92. Abaixo desse valor a concessionária cobre com preços de energia ativa o excedente de energia reativa. Esses valores apresentados diferenciados são em função da tarifa Verde (horo-sazonal), composta com quatro importâncias diferenciadas que variam 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.

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. O impacto é significativo caso não faça um ajuste no seu fator de potencia, quando o momento é economizar

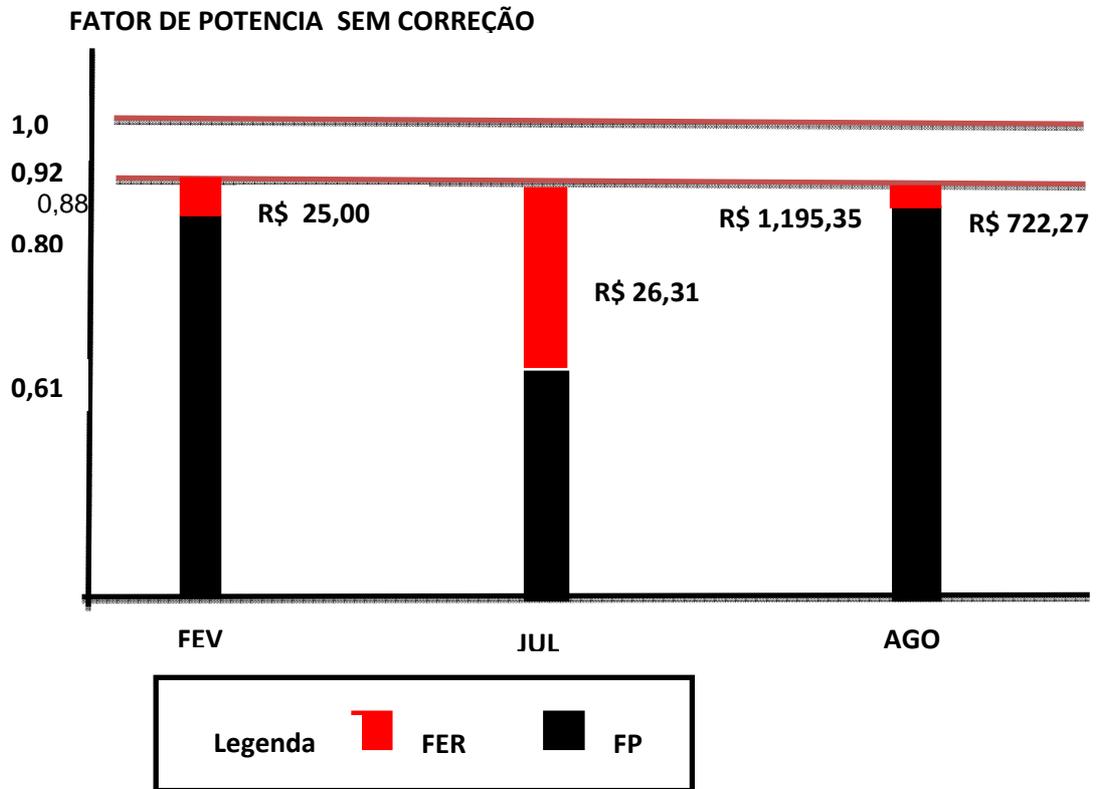


Gráfico 07 – Fator de potencia sem correção e valores de multas aplicadas
Fonte: Gráfico elaborado pelo autor

Através da visualização gráfica acima apresentada percebe-se a nítida diferença entre os fatores de potência apresentadas pela referida empresa e o exigido legalmente, que é 0,92. A diferença apresentada em vermelho corresponde ao valor do FER (Faturamento de energia reativa excedida), cobrado através de multas pela concessionária local, ou seja , pela ENERGISA. No mês de Julho verificou-se a imposição de multa no valor de R\$ 26, 31. Este valor é baixo porque o período em que o fator de potência estava abaixo do permitido estava fora de ponta. Observe-se que o mesmo não ocorre, no mês de agosto quando o fator de potência foi mais próximo ao legalmente permitido, mas o valor da multa foi extremamente superior, isto porque as multas incidiram sobre as tarifas mais altas, porque o funcionamento com fator menor se realizou mais dentro da ponta.

O Gráfico abaixo (Gráfico 08), mostra que após os cálculos apresentados para ajuste do fator de potencia, foram necessário utilizar média dos valores mais baixos encontrados, onde verificou-se que para, atingir o estabelecido pela ANNEL, aplicaram-se cargas capacitivas com valores acima já mencionados, formando banco de capacitores automáticos.

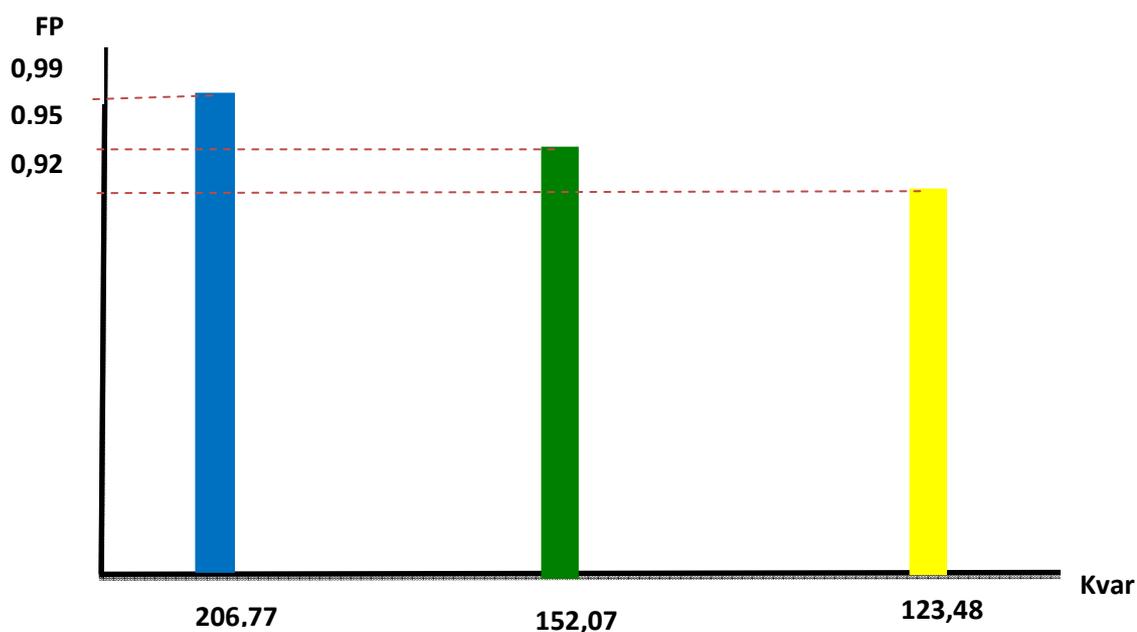


Gráfico 08 – Representação de banco de capacitores calculado
Fonte: Gráfico elaborado pelo autor

Realizadas essas demonstrações percebeu-se que com a implantação do Banco de Capacitores Automático houve imediata redução do desperdício de energia, reduzindo-os a números quase nulos e mantendo a tensão elétrica estável, o que diminui os riscos de queima ou defeito nos equipamentos e nos dispositivos de proteção utilizados pelo hospital, estabilizar a luminosidade durante suas atividades, elevando, assim, a qualidade do serviço ali prestado. Além disso, manteve-se o valor do fator de potência dentro dos limites desejados, o que inibiu a aplicação de multas ao referido hospital. Observe-se ainda que a empresa em estudo, com a aplicação do Banco de Capacitores cumpriu com o compromisso social e ambiental adotado, vez que a economia e a utilização responsável da energia são meios de preservação do meio ambiente.

3 METODOLOGIA

Metodologia, segundo Lakatos (2004) “é a utilização de métodos científicos na concepção de trabalhos de pesquisa, oferecendo maior segurança no alcance dos objetivos traçados no decorrer da atividade, detectando erros e auxiliando nas decisões.” (LAKATOS; MARCONI, 2004, p. 06).

3.1 Método

O método científico é um conjunto de regras básicas para desenvolver uma experiência a fim de produzir novo conhecimento, bem como corrigir e integrar conhecimentos pré-existentes. Pode, ainda, ser considerado um processo de etapas utilizado por cientistas para obter, do modo mais rigoroso e inequívoco possível, o conhecimento científico. O método “identifica [...] o momento de definir como se irá proceder na coleta de dados, pra encontrar soluções para problemas propostos...” (GIL apud BATISTA, 2008)

De acordo com Gil apud Batista (2008), as pesquisas se classificam quanto aos objetivos ou forma de estudo em: descritivas, exploratórias e explicativas; quanto aos meios em: bibliográficas, documental, experimental e estudo de caso ou de campo; e quanto à abordagem em: quantitativa, qualitativa e quali-quantitativa.

A presente monografia, quanto aos objetivos é classificada como descritivo-explicativo. Descritiva por se expõe todas as etapas para a implantação de banco de capacitores na Fundação São Lucas e explicativa, pois esclarece os conceitos que cercam capacitores, fator de potência, energia reativa e outros aspectos que norteiam o tema

Quanto aos meios está pesquisa é bibliográfica, vez que é fundamentada em diversos livros e obras publicadas; Documental, porque as etapas de implantação e de fiscalização do projeto é baseada em documentos guardados pelo

Hospital São Lucas , e pela terceirizada contratada pela mesma para a implantação do Banco de Capacitores; é Estudo do Caso, porque ele analisa fato específico de uma empresa, que no caso é a adoção da medida acima descrita para estabilização de fator de potência; É de Campo, porque é realizada no local onde é aplicada a implantação de bancos de capacitores, caracterizando, assim, uma pesquisa empírica.

Quanto à abordagem, este trabalho é qualitativo, pois interpreta, observa diretamente, descreve e compreende um fenômeno concreto que é implantação de banco de capacitores na Fundação São Lucas, promovendo a economia energética exigida pelo desenvolvimento sustentável e corrigindo o fator de potência em atendimento às exigências legais. Adota , assim, um estudo que objetiva um análise de compreensão do promovendo uma pesquisa indutiva.

3.2 Ambiente de Estudo

Universo ou população “é o conjunto de elementos (empresas, produtos, pessoas, por exemplo) que possuem características que serão objeto de estudo.” (VERGARA, 2004, p. 50). E amostra “é uma parcela conveniente selecionada do universo; é um subconjunto do universo.” (LAKATOS; MARCONI, 2004, p. 36).

O universo e a amostra de pesquisa do presente estudo são a mesma empresa que é o Hospital São Lucas, que necessita de Banco de Capacitores para gerir seus fatores de potência.

3.2.1 Caracterização da empresa

A Clínica e Hospital São Lucas, com de 39 anos de existência, está ajudando a salvar, manter e prolongar a vida. O pontapé inicial para chegar ao que é hoje – um complexo formado por hospital, laboratórios, consultórios, urgência – foi fundado em 1969, a partir da construção de uma clínica ambulatorial pelo médico José Augusto Barreto e Dr. Dietrich W. Todt que juntos com uma equipe de colegas idealistas construíram esta obra.

Depois de dois anos de atividades, foi organizado o Serviço de Urgências Médicas, idealizado para fazer atendimentos na própria sede e em domicílio. Mais tarde, através de um programa da Caixa Econômica que disponibilizava recursos para hospitais, clínicas, escolas, creches, etc, foi criado o São Lucas Médico-Hospitalar Ltda, com a participação de outros acionistas. Foi erguida a Unidade de Internação, e, em 30 de setembro de 1978, era inaugurado o Hospital São Lucas.

Para acompanhar a evolução da Medicina, o Hospital necessitou ser ampliado no final da década de 80, o que só foi possível com a incorporação de salas de consultórios para médicos que trabalhavam na clínica, além de empréstimos através do BNB e Banese. A partir de então, a Clínica e Hospital São Lucas tem acompanhado o desenvolvimento técnico-científico, constituindo-se numa unidade moderna e bem aparelhada.

Anos mais tarde, foi erguida a Fundação São Lucas, que, entre outras ações, promove cursos técnicos de instrumentação cirúrgica e enfermagem.

Faz parte da estrutura do Hospital São Lucas: o»Centro Cirúrgico, »Centro Cirúrgico Ambulatorial, »São Lucas Prevenção e Diagnóstico, »Unidade de Quimioterapia em parceria com a Vitta - Centro de Oncologia, »Laboratório 24h, »Serviço de urgências Médicas 24h, »Unidade de ressonância magnética (Junho 2008), »Tomografia em parceria com o São Lucas imagem,»124 leitos, UTI/UCO - 14 leitos, »Hemodinâmica 24h. E da Fundação São Lucas:»Centro de Estudos, »Creche Dom Luís Mousinho, »Biblioteca José Machado de Souza Centrinho;

Todo esse complexo estrutural exige grande consumo de energia, e a variação negativa no fator de potência que vem sendo observada nesta empresa, além de promover altíssimas multas pela companhia energética de Sergipe – Energisa representa um grave desperdício de energia, devendo, assim, ser o fator de potência corrigido e o meio eficaz para tanto é a implantação de banco de capacitores.

3.3 Coleta de Dados

Segundo Santos (2002), a coleta de dados é juntar as informações necessárias ao desenvolvimento dos raciocínios previstos nos objetivos. Neste

trabalho, a coleta de dados foi realizada através de pesquisa bibliográfica, de projeto de implantação de banco de capacitores na Fundação e Hospital São Lucas, bem como por documentos da respectiva empresa.

A pesquisa bibliográfica foi realizada através de levantamento de obras publicadas com relação ao tema, priorizando a conceituação de fator de potência, dos meios de sua correção, do estudo de capacitores, de energia reativa e da implantação de banco de capacitores para correção de fator de potência, entre outros aspectos ora abordados.

Em uma segunda etapa, entrou-se em contato com a empresa contratada pela Fundação e Hospital São Lucas para elaboração de projeto, de onde se passou a analisar o mesmo. A terceira etapa passou-se a fiscalizar e observar a implantação do projeto, colhendo todas as informações necessárias para a realização da pesquisa.

5 CONCLUSÃO

O capacitor de potência é um instrumento de medição desse fator, fazendo funcionar dentro dos limites normatizados. Ocorre que, em um grande complexo, onde inúmeros circuitos funcionam simultaneamente, a necessidade de um Banco de Capacitores é a melhor forma de mensurar e manter estável do fator de potência do referido complexo.

O caso em estudo apresenta um hospital, Hospital São Lucas, como empresa que apresentou durante certo período de tempo fator de potência inferior ao que determina a lei, com média de 0,76. O efeito deste valor foi, além das multas aplicadas pela concessionária de energia local, a promoção do desperdício de energia, a queda de tensão regular e, muitas vezes queima de equipamentos.

A implantação do Banco de Capacitores teve resultados imediatos, estabilizando o fator de potência, reduzindo-se os desperdícios e diminuindo-se os riscos de queima de equipamentos, entre outras ocorrências.

A presente pesquisa atingiu todos os seus objetivos pretendidos, vez que foi avaliado a viabilidade técnica e econômica da aplicação de banco de capacitores na indústria, bem como foram caracterizados os circuitos elétricos indutivos; foi analisada a implantação de banco de capacitores sob a ótica técnica, econômica e ambiental e identificar as vantagens da aplicação de bancos de capacitores, em circuitos com predominância indutiva.

Mas do que isso, através do estudo de caso, pôde-se promover o conhecimento a cerca do assunto que, embora muito discutido na área, é pouco conhecida na área empresarial, em resposta ao problema proposto por esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALDABO, Ricardo. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo:Artliber, 2001

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 5060/ 1977 - **Guia para instalação e operação de capacitores de Potência**.

_____. NBR 5282/ 1998
- **Capacitores de potência em derivação para sistema de tensão nominal acima de 1000V**.

ANEEL. **Resolução 456/ 2000**. Agência Nacional de Energia Elétrica.

_____. **Resolução 505/ 2001**. Agência Nacional de Energia Elétrica.

_____. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional** – PRODIST – Módulo I. Agência Nacional de Energia Elétrica.

BATISTA, E. U. R. **Guia de orientação para trabalhos de conclusão de curso: relatórios, artigos e monografias**. Aracaju: FANESE, 2008

BURIAN JR, Yaro. **Circuitos Elétricos**,Campinas, São Paulo: FEE, UNICAMP, 1999.

COPEL. Março 1996. **Recomendações básicas para a aplicação de bancos de capacitores em alimentadores**. Curitiba, Brasil.

ENGELÉTRICA, **Manual de correção de fator de potencia**. São Paulo, 2007

FREITAS, J. S., De Freitas, M. V., Haffner, S., Lemos, F. A. B.: **Alocação de capacitores fixos e chaveados em redes de distribuição considerando diferentes níveis de carga**, XV Brazilian Automation Congress CBA 2004

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5º edição. São Paulo. Atlas, 1999.

IRWIN, David. **Análise de circuitos em engenharia**. 4^o edição São Paulo: Makron Books, 2000

_____ **Introdução a análise de circuito elétrico** 1^o edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2005

LAKATOS, Eva Maria.; MARCONI, Mariana de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas. 2004.

MAMEDE, João Filho. **Instalações elétricas industriais**. 7^o edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2007

MACHADO, Maurício. **Chuveiro, água e energia** . Artigo público no dia 14 de Maio de 2007.

RAMOS, Elaine Cristina S B. **Energia elétrica e preservação de recursos naturais**. Artigo Científico, Sergipe/Aracaju, 2009.

SANTOS, Afonso Henrique M. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamento e instalações**. Minas Gerais : FUPAI, ELETROBAS, 2006

SOUSA, T.; 2003. **Estudo de planejamento de reativos em sistemas elétricos de potência**. São Paulo, SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

TAMIETE, Ricardo P. **Correção do fator de potência**. Minas Gerais, Belo Horizonte: Vert Engenharia 2002

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

<www.siemens.com.br > acesso no dia 25 de outubro de 2009, às 18:30 horas.