

MANUAL DE ORIENTAÇÃO AOS CONSUMIDORES

ENERGIA REATIVA EXCEDENTE

CODI
COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA

PARTE 1

INTRODUÇÃO:

Em conformidade com o estabelecido pelo Decreto nº 62.724, de 17 de maio de 1968, com a nova redação dada pelo Decreto nº 75.887, de 20 de junho de 1975, as concessionárias de energia elétrica adotaram, desde então, o fator de potência de 0,85 como referência para limitar o fornecimento de energia reativa.

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

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

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

O controle mais apurado do uso de energia reativa é mais uma medida adotada pelo Regulador, visando estimular o consumidor, através da redução de perdas e melhor desempenho de suas instalações, como também para o setor elétrico nacional, pela melhoria das condições operacionais e a liberação do sistema para atendimento a novas cargas com investimentos menores.

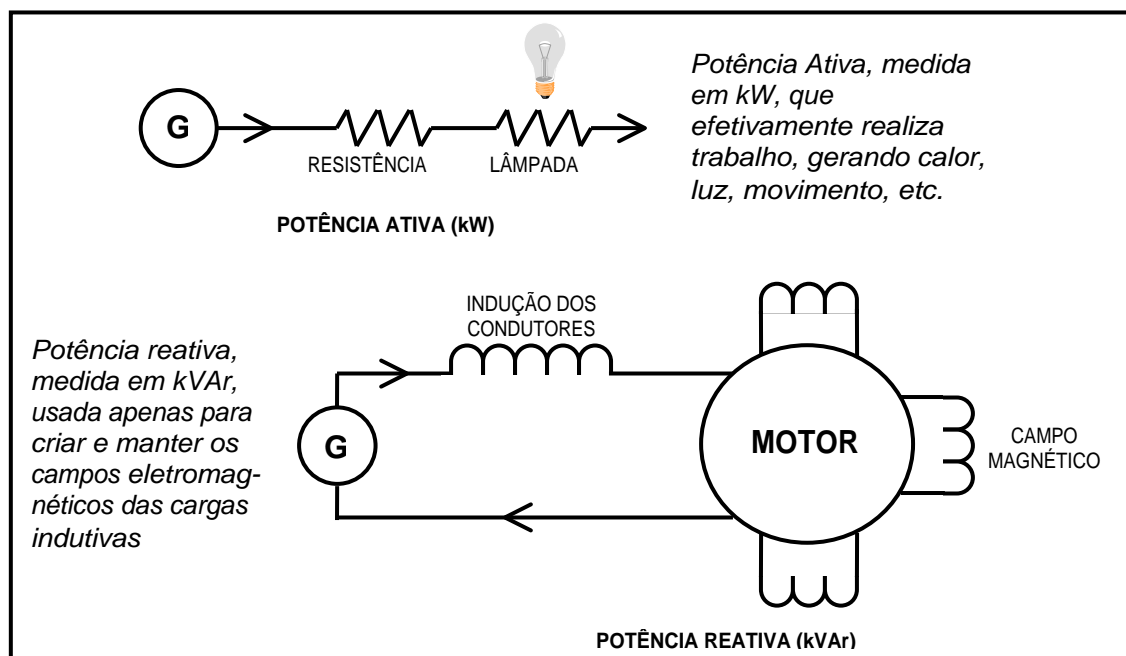
PARTE 2

POTÊNCIA ATIVA E REATIVA:

CONCEITOS BÁSICOS

A maioria das cargas das unidades consumidoras consome energia reativa indutiva, como motores, transformadores, lâmpadas de descarga, fornos de indução, entre outros.

As cargas indutivas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento, por isso sua operação requer dois tipos de potência:



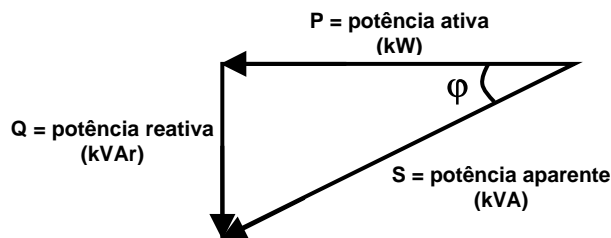
Assim, enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um “espaço” no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa.

A potência ativa e a potência reativa, juntas, constituem a potência aparente, medida em kVA (quilo-volt-ampère), que é a potência total gerada e transmitida à carga.

O “triângulo das potências” ao lado, é utilizado para mostrar, graficamente, a relação entre as potências ativa, reativa e aparente.

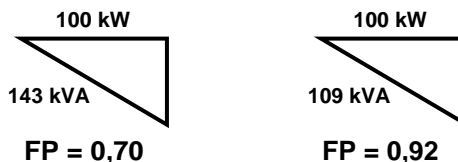
A razão entre a potência ativa e a potência aparente de qualquer instalação se constitui no “fator de potência”.

$$FP = \frac{kW}{kVA} = \cos(\varphi) = \cos(\arctg \frac{kVAr}{kW})$$



O fator de potência indica qual porcentagem da potência total fornecida (kVA) é efetivamente utilizada como potência ativa (kW). Assim, o fator de potência mostra o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos. Valores altos de fator de potência (próximos a 1,0) indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento, além de representar uma sobrecarga para todo o sistema elétrico.

Por exemplo, para alimentar uma carga de 100 kW com fator de potência igual a 0,70, são necessários 143 kVA. Para a mesma carga de 100 kW, mas com fator de potência igual a 0,92, são necessários apenas 109 kVA, o que representa uma diferença de 24% no fornecimento em kVA.



PARTE 3

BAIXO FATOR DE POTÊNCIA: PRINCIPAIS CAUSAS

As causas mais comuns da ocorrência de baixo fator de potência são:

- motores e transformadores operando em “vazio” ou com pequenas cargas;
- motores e transformadores superdimensionados;
- grande quantidade de motores de pequena potência;
- máquinas de solda;
- lâmpadas de descarga: fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio – sem reatores de alto fator de potência;
- excesso de energia reativa capacitiva.

PARTE 4

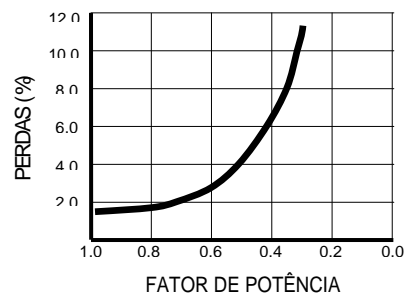
EXCEDENTE DE REATIVO: EFEITOS NAS REDES E INSTALAÇÕES

Baixos 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 consumidores, 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 NA REDE

As perdas de energia elétrica ocorrem em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente total. Como essa corrente cresce com o excesso de energia reativa, estabelece-se uma relação direta entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência, provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos.



A tabela seguinte mostra a diminuição das perdas anuais em energia elétrica de uma instalação com consumo anual da ordem de 100 MWh, quando se eleva o fator de potência de 0,78 para 0,92.

	SITUAÇÃO INICIAL	SITUAÇÃO FINAL
FATOR DE POTÊNCIA	0,78	0,92
PERDAS GLOBAIS	5%	3,59%
REDUÇÃO DAS PERDAS	28,1%	

$$REDUÇÃO_DAS_PERDAS_(\%) = \left(1 - \frac{FP_i^2}{FP_f^2} \right) \times 100$$

QUEDAS DE TENSÃO

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

SUBUTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA

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

As figuras ao lado, dão uma idéia da consequência do aumento do fator de potência, de 0,85 para 0,92, no fornecimento de potência ativa para cada 1.000 kVA instalado. A redução da potência reativa, de 527 kVAr para 392 kVAr, permite ao sistema elétrico aumentar de 850 kW para 920 kW a sua capacidade de fornecer potência ativa, para cada 1.000 kVA instalado.



Os investimentos em ampliação das instalações estão relacionados, principalmente, aos transformadores e condutores necessários. O transformador a ser instalado deve atender à potência ativa total dos equipamentos utilizados, mas, devido à presença de potência reativa, a sua capacidade deve ser calculada com base na potência aparente das instalações. A tabela abaixo mostra a potência total que deve ter o transformador, para atender uma carga útil de 800 kW para fatores de potência crescentes.

POTÊNCIA ÚTIL ABSORVIDA (kW)	FATOR DE POTÊNCIA	POTÊNCIA DO TRANSFORMADOR (kVA)
800	0,50	1.600
	0,80	1.000
	1,00	800

Também o custo dos sistemas de comando, proteção e controle dos equipamentos cresce 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 à medida em que o fator de potência diminui. A tabela seguinte ilustra a variação da seção necessária de um condutor em função do fator de potência. Nota-se que a seção necessária, supondo-se um fator de potência 0,70, é o dobro da seção para o fator de potência 1,00.

SEÇÃO RELATIVA	FATOR DE POTÊNCIA
1,00	1,00
1,23	0,90
1,56	0,80
2,04	0,70
2,78	0,60
4,00	0,50
6,25	0,40
11,10	0,30

A correção do fator de potência por si só já libera capacidade para instalação de novos equipamentos, sem a necessidade de investimentos em transformador ou substituição de condutores para esse fim específico. É o que mostra a tabela a seguir, ilustrando o aumento do fator de potência de 0,80 para 0,92 em uma instalação genérica, com potência de transformação de 315 kVA.

	SITUAÇÃO INICIAL	SITUAÇÃO FINAL
FATOR DE POTÊNCIA	0,80	0,92
POTÊNCIA DISPONÍVEL kW	252	290
AUMENTO DE POTÊNCIA kW	38	

PARTE 5

FATOR DE POTÊNCIA: CORREÇÃO

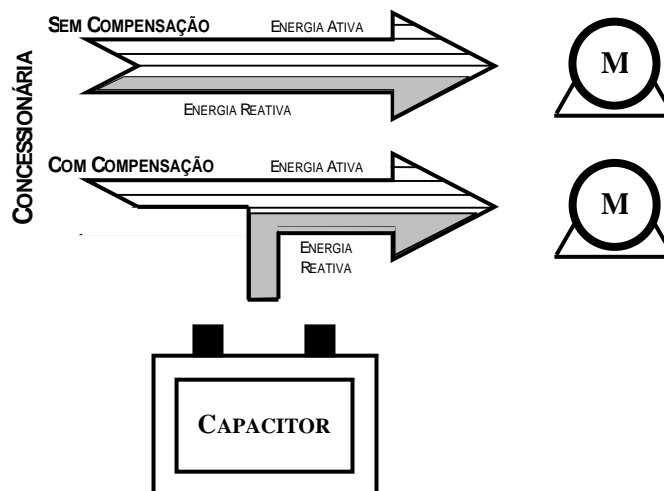
A primeira providência para corrigir o baixo fator de potência é a análise das causas que levam à utilização excessiva de energia reativa. A eliminação dessas causas passa pela racionalização do uso de equipamentos – desligar motores em vazio, redimensionar equipamentos superdimensionados, redistribuir

cargas pelos diversos circuitos, etc. – e pode, eventualmente, solucionar o problema de excesso de reativo nas instalações.

A partir destas providências, uma forma de reduzir a circulação de energia reativa pelo sistema elétrico, consistem em “produzi-la” o mais próximo possível da carga, utilizando um equipamento chamado capacitor.

Instalando-se capacitores junto às cargas indutivas, a circulação de energia reativa fica limitada a estes equipamentos. Na prática, a energia reativa passa a ser fornecida pela capacidade do sistema elétrico e das instalações da unidade consumidora. Isso é comumente chamado de “compensação de energia reativa”.

Quando está havendo consumo de energia reativa, caracterizando uma situação de compensação insuficiente, o fator de potência é chamado de indutivo. Quando está havendo um fornecimento de energia reativa à rede, caracterizando uma situação de compensação excessiva, o fator de potência é chamado capacitivo.



PARTE 6

COMPENSAÇÃO ATRAVÉS DE CAPACITORES

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.

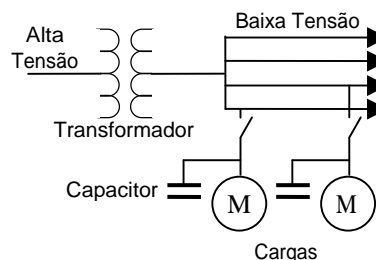
COMPENSAÇÃO INDIVIDUAL

É efetuada instalando os capacitores junto ao equipamento cujo fator de potência se pretende melhorar. Representa, do ponto de vista técnico, a melhor solução, apresentando as seguintes vantagens:

- reduz as perdas energéticas em toda a instalação;
- diminui a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos compensados;
- melhora os níveis de tensão de toda a instalação;
- pode-se utilizar um sistema único de acionamento para a carga e o capacitor, economizando-se em equipamentos de manobra;
- gera reativos somente onde é necessário.

Existem, contudo, algumas desvantagens dessa forma de compensação com relação às demais:

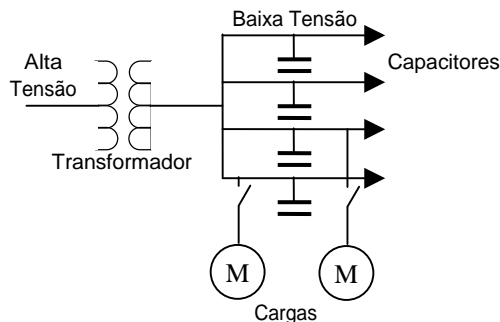
- muitos capacitores de pequena potência têm custo maior que capacitores concentrados de potência maior;
- pouca utilização dos capacitores, no caso do equipamento compensado não ser de uso constante;
- para motores, deve-se compensar no máximo 90% da energia reativa necessária.



COMPENSAÇÃO POR GRUPOS DE CARGAS

O banco de capacitores é instalado de forma a compensar um setor ou um conjunto de máquinas. É colocado junto ao quadro de distribuição que alimenta esses equipamentos.

A potência necessária será menor que no caso da compensação individual, o que torna a instalação mais econômica. Tem como desvantagem o fato de não haver diminuição de corrente nos alimentadores de cada equipamento compensado.



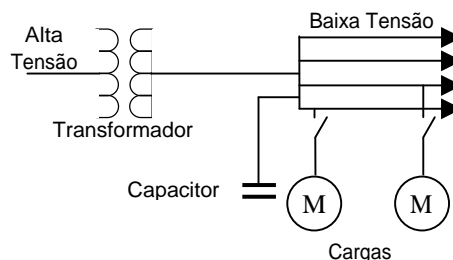
COMPENSAÇÃO GERAL

O banco de capacitores é instalado na saída do transformador ou do quadro de distribuição geral, se a instalação for alimentada em baixa tensão.

Utiliza-se em instalações elétricas com número elevado de cargas com potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes. Apresenta as seguintes vantagens principais:

- os capacitores instalados são mais utilizados;
- fácil supervisão;
- possibilidade de controle automático;
- melhoria geral do nível de tensão;
- instalações adicionais suplementares relativamente simples.

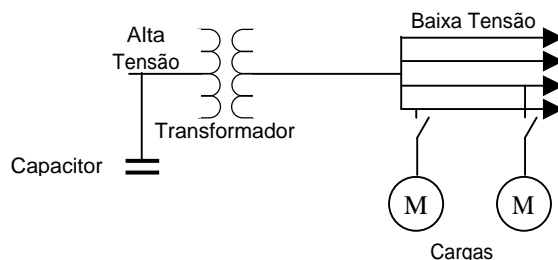
A principal desvantagem consistem em não haver alívio sensível dos alimentadores de cada equipamento.



COMPENSAÇÃO NA ENTRADA DA ENERGIA EM ALTA TENSÃO (AT)

Não é muito freqüente a compensação no lado da alta tensão. Tal localização não alivia nem mesmo os transformadores e exige dispositivos de comando e proteção dos capacitores com isolamento para a tensão primária.

Embora o preço por kVAr dos capacitores seja menor para tensões mais elevadas, este tipo de compensação, em geral, só é encontrada nas unidades consumidoras que recebem grandes quantidades de energia elétrica e dispõem de subestações transformadoras. Neste caso, a diversidade da demanda entre as subestações pode resultar em economia na quantidade de capacitores a instalar.

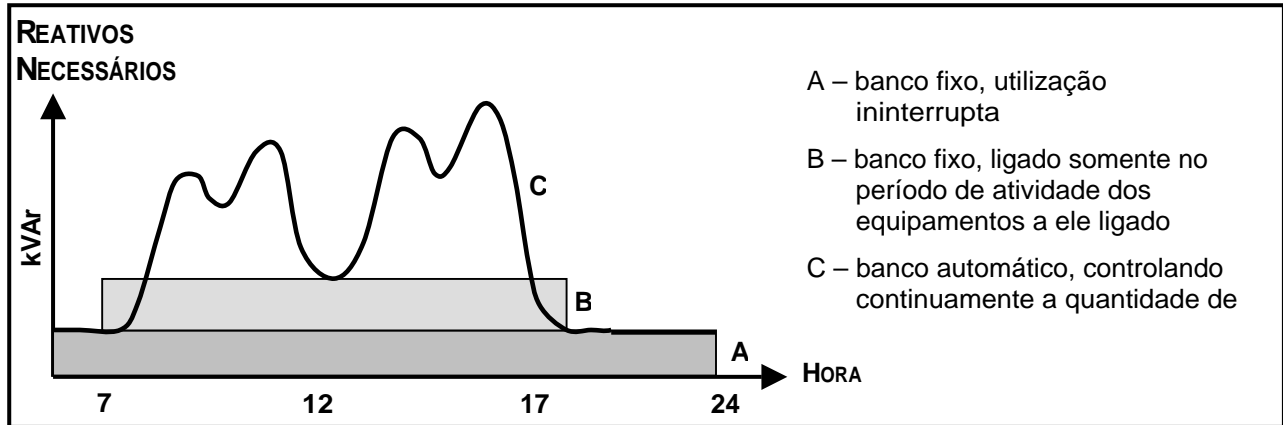


COMPENSAÇÃO COM REGULAÇÃO AUTOMÁTICA

Nas formas de compensação 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.

COMPENSAÇÃO COMBINADA

Em muitos casos utilizam-se, conjuntamente, as diversas formas de compensação.



COMPENSAÇÃO POR MOTORES SÍNCRONOS

Motores síncronos podem ser utilizados para compensação do fator de potência por gerarem energia reativa, da mesma forma como um gerador convencional o faz. A potência reativa capacitiva fornecida por um motor síncrono à instalação, é função da corrente de excitação e da carga em seu eixo.

Entretanto, devido ao fato de ser um equipamento bastante caro, nem sempre é compensador do ponto de vista econômico, sendo competitivo, em princípio, para potências superiores a 200 CV e funcionamento por períodos longos.

PRECAUÇÕES NA INSTALAÇÃO E OPERAÇÃO DE CAPACITORES

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

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

- evitar a energização simultânea de dois ou mais bancos de capacitores, a fim de se evitar possíveis sobretensões.

HARMÔNICAS

Alguns equipamentos comuns em instalações elétricas, como retificadores, inversores, fornos à arco, lâmpadas fluorescentes, transformadores e outros, produzem alterações na forma da corrente elétrica, denominadas distorções harmônicas. Essas distorções harmônicas provocam superaquecimento e aumentos de perdas em máquinas rotativas, diminuem a vida útil dos equipamentos, alteram as características de operação dos relés de proteção e geram interferências nos equipamentos de comunicação.

Embora os capacitores não sejam propriamente geradores de distorções harmônicas, a interação entre elas e o banco de capacitores pode agravar sensivelmente as condições de operação das instalações elétricas. Dessa forma, as análises técnicas necessárias para a escolha da melhor alternativa de dimensionamento e localização dos capacitores, devem levar em conta também as distorções harmônicas eventualmente existentes na unidade consumidora.

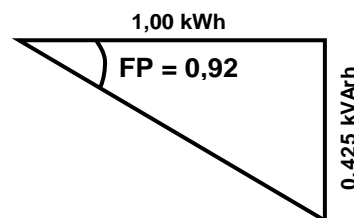
PARTE 7

LEGISLAÇÃO SOBRE EXCEDENTE DE REATIVO

O fator de potência das instalações elétricas deve ser mantido sempre o mais próximo possível de 1,00 (um), conforme determinação do Decreto nº 479, de 20 de março de 1992.

A Resolução ANEEL nº 456, de 29 de dezembro de 2000, estabelece um nível máximo para utilização de reativo indutivo ou capacitivo, em função da energia ativa consumida ("kWh").

Por esse princípio, para cada "kWh" de energia ativa consumida, a concessionária permite a utilização de "0,425 kVArh" de energia reativa, indutiva ou capacitiva, sem acréscimo no custo.



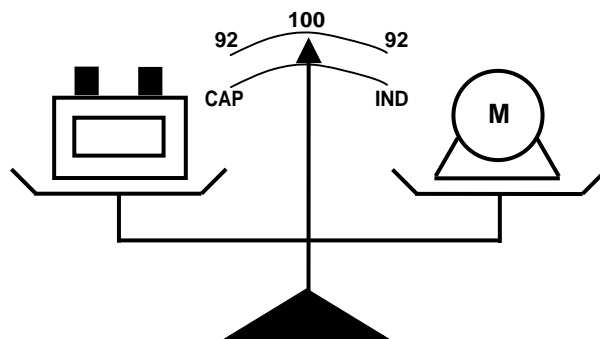
FATOR DE POTÊNCIA LIMITE

O nível máximo de energia reativa permitido sem cobrança, está associado ao fator de potência de referência de 0,92. Valores de fator de potência menores que 0,92, capacitivo ou indutivo, indicam excedente de reativo e esse excedente é passível de faturamento.

FATOR DE POTÊNCIA CAPACITIVO

Todo excesso de energia reativa é prejudicial ao sistema elétrico, seja o reativo indutivo, consumido pela unidade consumidora, ou o reativo capacitivo, fornecido à rede pelos capacitores dessa unidade.

Disso resulta que o controle da energia reativa deve ser tal, que o fator de potência da unidade consumidora permaneça sempre dentro da faixa que se estende do fator de potência 0,92 indutivo até 0,92 capacitivo. Nas instalações com correção do fator de potência através de capacitores, os mesmos



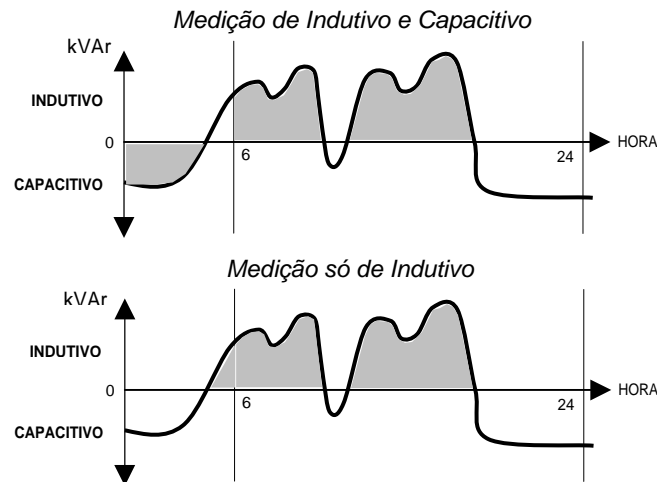
ser desligados, conforme se desativam as cargas indutivas, de forma a manter uma compensação equilibrada entre reativo indutivo e capacitivo.

A concessionária aplicará ao excedente de reativo capacitivo os mesmos critérios de faturamento aplicados ao excedente indutivo.

PERÍODOS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA REATIVA INDUTIVA E CAPACITIVA

A energia reativa capacitiva será medida de 0 h às 6 h. A medição da energia reativa indutiva será feita no intervalo entre 6 h e 24 h.

Se a energia reativa capacitiva não for medida, a medição da energia reativa indutiva será efetuada durante as 24 horas do dia.



CÁLCULO DO FATOR DE POTÊNCIA

O cálculo do fator de potência será efetuado com base nos valores de energia ativa “kWh” e energia reativa “kVArh”, medidas durante o período de faturamento por posto tarifário.

$$FP = \cos\left(\arctg \frac{kVAr}{kW}\right)$$

EXCEDENTE DE REATIVO

FORMA DE AVALIAÇÃO

A ocorrência de excedente de reativo será verificada pela concessionária através do fator de potência mensal ou do fator de potência horário.

O fator de potência mensal é calculado com base nos valores mensais de energia ativa (“kWh”) e energia reativa (“kVArh”). O fator de potência horário é calculado com base nos valores de energia ativa (“kWh”) e de energia reativa (“kVArh”) medidos de hora em hora.

FATURAMENTO

Fator de Potência Horário

A demanda de potência e o consumo de energia reativa excedentes, calculados através do fator de potência horário, serão faturados pelas expressões:

$$FDR_{(p)} = \left[\max_{t=1}^n \left(DA_t \times \frac{0,92}{f_t} \right) - DF_{(p)} \right] \times TDA_{(p)}$$

$$FER_{(p)} = \left\{ \sum_{t=1}^n \left[CA_t \times \left(\frac{0,92}{f_t} - 1 \right) \right] \right\} \times TCA_{(p)}$$

FDR_(p)	Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário.
DA_t	Demanda de potência ativa medida de hora em hora
DF_(p)	Demanda de potência ativa faturada em cada posto horário
TDA_p	Tarifa de demanda de potência ativa.
FER_(p)	Faturamento do consumo de reativo excedente por posto tarifário
CA_t	Consumo de energia ativa medido em cada hora
TCA_(p)	Tarifa de energia ativa.
f_t	Fator de potência calculado de hora em hora.
Σ	Soma dos excedentes de reativo calculados a cada hora
max	Função que indica o maior valor da expressão entre parênteses, calculada de hora em hora.
t	Indica cada intervalo de uma hora.
p	Indica o posto tarifário: ponta e fora de ponta, para as tarifas horo-sazonais, e único, para a tarifa convencional.
n	Número de intervalos de uma hora, por posto horário, no período de faturamento.

Fator de Potência Mensal

A demanda de potência e o consumo de energia reativa excedentes, calculados através do fator de potência mensal, serão faturados pelas expressões:

$$FDR = \left(DM \times \frac{0,92}{f_m} - DF \right) \times TDA$$

$$FER = CA \times \left(\frac{0,92}{f_m} - 1 \right) \times TCA$$

FDR	Faturamento da demanda de reativo excedente.
DM	Demanda ativa máxima registrada no mês (kW)
DF	Demanda ativa faturável no mês (kW)
TDA	Tarifa de demanda ativa (R\$ / kW)
FER	Faturamento do consumo de reativo excedente
CA	Consumo ativo do mês (kWh)
TCA	Tarifa de consumo ativo (R\$ / kWh)

f_m

Fator de Potência médio mensal.

VIGÊNCIA DA LEGISLAÇÃO

A presente condição de faturamento do excedente de reativo são aplicadas desde os faturamentos correspondentes às leituras efetuadas a partir do mês de abril de 1994, inclusive.

O fator de potência horário é aplicado aos consumidores com medição feita através de registradores digitais, desde as leituras efetuadas a partir do mês de abril de 1996, inclusive.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.