

Utilização do banco de capacitores para correção do fator de potência

Matheus Ávila¹, Alef Frederico², Moises Souza³, Wesley Olimpio⁴

(matheusmjoa@gmail.com¹, alefangelo18mtzgmail.com², moissouza25@gmail.com³, wesley.olimpio92@gmail.com⁴)

Professor Orientador: Sérgio Ribeiro Silva

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica

Resumo

Neste artigo, foi conduzida uma análise em um ambiente empresarial específico, com o intuito de obter dados sobre o consumo de energia elétrica. Conceitos básicos como: tensão, corrente e potência, são essenciais para o entendimento deste artigo, que tem como objetivo principal identificar possíveis oportunidades de aprimoramento relacionadas ao fator de potência, bem como a sua correção por meio de um estudo da implementação de um banco de capacitores adequado à demanda identificada. Ao corrigir o fator de potência, espera-se alcançar diversos impactos positivos. Primeiramente, há a redução das emissões de gás carbônico, contribuindo para a preservação do meio ambiente. Além disso, essa melhoria promove um aproveitamento mais eficiente da infraestrutura elétrica, otimizando o uso dos recursos disponíveis. Por fim, a correção do fator de potência pode resultar em reduções de custos associados ao consumo de energia, o que beneficia as finanças da empresa.

Palavras-chave: Reativa, Potência, Capacitor, Corrente, Fator.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética é uma preocupação cada vez mais presente no mundo empresarial, uma vez que a otimização do consumo de energia elétrica não apenas resulta em economia financeira, mas também contribui para a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, a correção do fator de potência emerge como uma estratégia fundamental para alcançar esses objetivos, permitindo que as empresas reduzam suas despesas com energia elétrica e promovam uma utilização mais eficiente dos recursos energéticos.

O fator de potência é um parâmetro que mede a eficiência do consumo de energia elétrica em uma instalação. Quando o fator de potência é baixo, indica que existe uma quantidade significativa de energia reativa circulando na rede elétrica, resultando em perdas de energia e ineficiência no sistema. Essa ineficiência se traduz em um aumento dos custos de eletricidade, uma vez que as concessionárias aplicam penalidades financeiras para empresas com fatores de potência abaixo do estabelecido. (JUNIOR, 2022)

Diante desse cenário, muitas empresas têm buscado alternativas para corrigir o fator de potência e promover a eficiência energética em suas instalações. Uma das soluções mais comuns é a implantação de um banco de capacitores, que consiste em dispositivos capazes de compensar a energia reativa e melhorar o fator de potência. No entanto, é fundamental realizar um estudo de viabilidade antes de implementar essa solução, a fim de avaliar sua eficácia, custo-benefício e impacto nas operações da empresa.

O objetivo deste estudo de caso é medir a viabilidade da implantação de um banco de capacitores em uma empresa, visando corrigir seu fator de potência e promover economia e eficiência energética. Serão analisados os dados de consumo de energia elétrica da empresa, bem como os custos associados ao fator de potência baixo, a fim de identificar os benefícios financeiros e operacionais que poderiam ser alcançados com a correção.

Além disso, será avaliado o impacto ambiental da implantação do banco de capacitores, considerando a redução das perdas de energia e as emissões de gases de efeito estufa associadas à operação da empresa. Dessa forma, busca-se não apenas mensurar os benefícios econômicos da correção do fator de potência, mas também destacar seu papel na promoção da sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

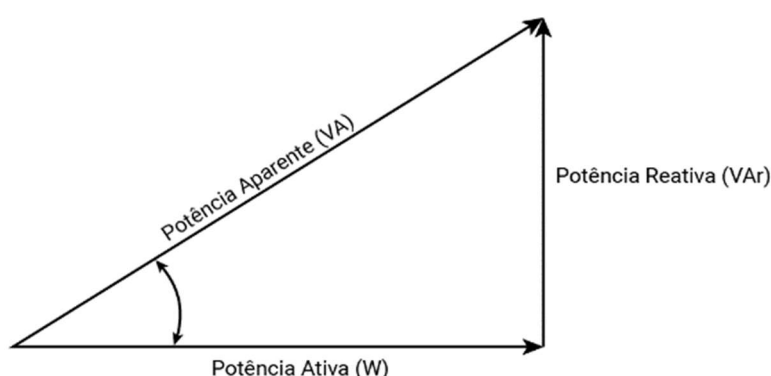
Ao realizar esse estudo de caso, pretende-se fornecer à empresa informações concretas sobre a viabilidade e os potenciais ganhos associados à implantação de um banco de capacitores para corrigir o fator de potência. Essa análise embasará a tomada de decisão dos gestores, permitindo que eles optem por soluções que contribuam para a eficiência energética e a redução dos custos operacionais. Além disso, os resultados obtidos poderão servir como referência para outras empresas que também buscam melhorar sua eficiência energética e alcançar resultados econômicos e ambientais mais positivos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 CONCEITOS E RELAÇÕES DAS POTÊNCIAS

A potência elétrica é um conceito importante no campo da engenharia elétrica e está relacionada à quantidade de energia transferida por unidade de tempo em um sistema elétrico. Existem três tipos principais de potência elétrica: potência ativa, potência reativa e potência aparente.

Figura 01 – Triângulo das potências



Fonte: CAMPINHO (2021).

A potência ativa, também conhecida como potência real, é a potência que é efetivamente convertida em trabalho útil, como aquecimento, iluminação ou movimento mecânico. É medida em watts (W) e é representada pelo símbolo "P". A potência ativa é diretamente proporcional à corrente e à tensão em um sistema de corrente contínua ou em um sistema de corrente alternada em que a corrente e a tensão estão em fase, além disso é possível estabelecer a sua relação entre os catetos e a hipotenusa de um triângulo, tal afirmação é comprovada a partir da seguinte fórmula: (FARIA et al., 2010).

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

Onde:

P= potência ativa, expressa em W(watts);

Q= potência reativa, expressa em VAR (volt-Amper-reactivo

S= potência aparente, expressa em VA (volt-Amper);

A potência reativa é a potência que oscila entre a fonte de energia e os componentes reativos do sistema elétrico, como indutores e capacitores. Essa potência não realiza trabalho útil, mas é necessária para sustentar o fluxo de energia entre a fonte e esses componentes reativos. É medida em volt-ampère reativo (VAR) e é representada pelo símbolo "Q". A potência reativa é necessária em sistemas de corrente alternada para manter a operação adequada dos equipamentos e garantir uma tensão estável (TZIOUVARAS et al., 2019).

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

A potência aparente é a soma vetorial da potência ativa e da potência reativa. Representa a magnitude total da potência elétrica envolvida em um sistema. É medida em volt-ampère (VA) e é representada pelo símbolo "S". A potência aparente é calculada usando o teorema de Pitágoras, levando em consideração a potência ativa e a potência reativa (MELIOPOULOS, 2003).

$$S = \sqrt{(Q^2 + P^2)}$$

Do ponto de vista qualitativo, o fator de potência é expresso através do cosseno do ângulo presente entre os catetos que mostra a representação da energia ativa em comparação com a energia total (aparente), que será absorvida pelo equipamento. Em Equipamentos com carga indutiva ou capacitiva onde é exigida uma força de trabalho o fator de potência variará entre 0 (zero) e 1 (um), ou seja, entre zero e 100%. (SILVA, 2009).

2.2 CAPACITORES PARA A CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

A maioria das cargas elétricas, incluindo transformadores, conjuntos de solda, motores de indução e fornos de indução, são indutivos. As cargas indutivas exigem tanto a força de trabalho, geralmente medida em quilowatts (kW), quanto a potência reativa, geralmente medida em quilowatts-ampères-reativos (kVAr), para operar. A força de trabalho é usada para executar o trabalho real, enquanto a energia reativa é usada para sustentar o campo magnético exigido pelas cargas indutivas. Quando combinados, a potência de trabalho e a potência reativa formam uma potência aparente, geralmente medida em quilovolt-ampères (kVA) (DIAS, 2002).

O fator de potência é uma medida da eficiência com a qual as cargas elétricas convertem energia elétrica em trabalho útil. É uma proporção de potência útil (potência de trabalho) e potência total (potência aparente) fornecida. Um fator de potência alto é um indicador de que as cargas elétricas estão utilizando energia de maneira eficiente, enquanto um fator de potência baixo indica que as cargas elétricas conectadas estão utilizando energia de maneira ineficiente. Um fator de potência ruim resulta em desperdício de energia significativo e diminui a capacidade do sistema elétrico. Isso pode ser causado por uma diferença de fase entre corrente e tensão nos terminais de uma carga elétrica ou uma forma de onda de corrente distorcida (MAMEDE FILHO, 2002).

Um fator de potência ruim devido a motores de indução, transformadores e outras cargas indutivas podem ser corrigidas conectando capacitores adequados. Um fator de potência ruim causado pela forma de onda atual distorcida é corrigido adicionando filtros harmônicos. O processo de criação do campo magnético exigido por uma carga indutiva causa uma diferença de fase entre a tensão e a corrente. Um capacitor corrige o fator de potência, fornecendo uma corrente inicial para compensar a corrente atrasada. Os capacitores de correção do fator de potência são projetados para garantir que o fator de potência esteja o mais próximo possível da unidade. Embora os capacitores de correção do fator de potência possam reduzir consideravelmente a carga causada por uma carga indutiva na fonte, eles não afetam a operação da carga (VIEIRA, 2012).

Para desencorajar o desperdício de energia, algumas empresas de distribuição de eletricidade penalizam os consumidores com um fator de potência abaixo de um valor especificado e oferecem um incentivo aos consumidores com um bom fator de potência (geralmente acima de 0,95). Isso incentiva os consumidores a instalar equipamentos de correção do fator de potência em seus sistemas elétricos. Os benefícios da adição de

capacitores de correção do fator de potência às redes de eletricidade incluem perdas reduzidas, voltagem aprimorada, aumento da capacidade do sistema e contas de eletricidade reduzidas. As principais variáveis a serem consideradas ao selecionar capacitores para correção do fator de potência incluem tipo de carga, constância de carga, tamanho da carga, capacidade de carga, método de cobrança de serviços públicos e métodos de início de carga (CREDER, 1995).

Os capacitores de correção do fator de potência são geralmente instalados como bancos de capacitores quando subestações ou grandes instalações estão envolvidas. No caso de cargas sinusoidais ou lineares, eles podem ser instalados como capacitores individuais, fáceis de instalar ou substituir, e não requerem comutação separada. Por outro lado, as instalações do banco de capacitores têm um custo mais baixo por kVAr e fornecem capacitância exata de correção do fator de potência quando sistemas de comutação automática são usados (FILHO, 2007).

Dependendo das necessidades de uma subestação ou instalação específica, podem ser instalados bancos de capacitores fixos ou comutados automaticamente. Um banco de capacitores de fator de potência fixo pode ser ligado quando a carga indutiva está ligada e desligado quando a carga individual está desligada. Esses capacitores são energizados somente quando a correção do fator de potência é necessária. Em instalações com várias cargas, as condições de carga e a correção do fator de potência precisam mudar com frequência. Os sistemas de capacitores automáticos são adequados para essas instalações. Eles impedem a super correção e sub-correção (O'MALLEY, 1983).

Grandes cargas indutivas, como plataformas de perfuração de petróleo, turbinas eólicas, grandes motores, fornos a arco e trituradoras automáticas, têm características dinâmicas de carga. Essas grandes cargas dinâmicas exigem sofisticados sistemas automáticos de capacitores com capacidade de resposta rápida. Bancos de capacitores automáticos isentos de transientes são usados para correção do fator de potência em aplicações em que grandes cargas indutivas estão envolvidas. Os harmônicos podem reduzir significativamente a vida útil dos bancos de capacitores. Para cargas que produzem harmônicos, um filtro harmônico deve ser adicionado. Este filtro remove frequências harmônicas indesejadas do sistema elétrico (MONTEIRO, 2009).

Os capacitores para correção do fator de potência são fabricados em uma variedade de tipos, tamanhos e modelos. Os tipos mais usados são construídos usando um filme de polipropileno metalizado, enquanto alguns empregam filme ou papel de poliéster metalizado (MAMEDE FILHO, 2002).

Figura 02 – Conjunto de capacitores



Fonte: WEG – Capacitores para correção do fator de potencia

Capacitores de papel bi metalizados são comumente usados em aplicações que exigem soluções robustas de correção de fator de potência. O papel especial usado na construção desses capacitores contém uma fina camada de liga de metal. Folhas de papel são separadas por um filme de polipropileno. Esses capacitores são construídos para suportar altas temperaturas e alto conteúdo harmônico. Os capacitores de papel bi metalizados encontram muitas aplicações na eletrônica de potência. Os capacitores de filme de poliéster metalizado são compactos, leves e oferecem excelente estabilidade de capacitância. Embora esses capacitores sejam usados principalmente para aplicações de corrente contínua, eles também são adequados para filtragem de linha CA e correção do fator de potência (O'MALLEY, 1983).

2.3 BENEFÍCIOS DA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Existem inúmeros benefícios a serem obtidos através da correção do fator de potência. Esses benefícios variam de taxas de demanda reduzidas em seu sistema de energia a capacidades aumentadas de transporte de carga em seus circuitos existentes e perda total do sistema de energia. E os benefícios da correção do fator de potência não se limitam apenas ao balanço; também existem enormes benefícios ambientais associados à correção do fator de potência, o que significa que a empresa está reduzindo sua pegada de carbono e ajudando o meio ambiente (MAMEDE FILHO, 2002).

Os fatores de potência abaixo de 1,0 requerem que a concessionária gere mais do que os volt-ampères mínimos necessários para fornecer a potência real (watts). Isso aumenta os custos de geração e transmissão. Por exemplo, se o fator de potência da carga fosse tão baixo quanto 0,7, a potência aparente seria 1,4 vezes a potência real usada pela carga. A corrente da linha no circuito também seria 1,4 vezes a corrente necessária no fator de potência 1,0, de modo que as perdas no circuito seriam duplicadas (uma vez que são proporcionais ao quadrado da corrente). Como alternativa, todos os componentes do sistema, como geradores, condutores, transformadores e aparelhagem, aumentariam em tamanho (e custo) para transportar a corrente extra. Quando o fator de potência está próximo da unidade, para a mesma classificação KVA do transformador, mais carga pode ser conectada (DIAS, 2002).

Normalmente, os serviços públicos cobram custos adicionais a clientes comerciais que possuem um fator de potência abaixo de algum limite, que geralmente é de 0,9 a 0,95. Os engenheiros costumam se interessar pelo fator de potência de uma carga como um dos fatores que afetam a eficiência da transmissão de energia. Clientes pequenos, como residências, geralmente não são cobrados por energia reativa e, portanto, o equipamento de medição de fator de potência para esses clientes não será instalado (MONTEIRO, 2009).

2.3.1 Encargos de Demanda Reduzida

A maioria das concessionárias de energia elétrica cobra pela demanda máxima medida com base na maior demanda registrada em quilowatts (KW) ou em uma porcentagem da maior demanda registrada em KVA (KVA), o que for maior. Se o fator de potência for baixo, a porcentagem do KVA medido será significativamente maior que a demanda de KW. Melhorar o fator de potência através da correção do fator de potência reduzirá, portanto, a cobrança de demanda, ajudando a reduzir a conta de luz (COTRIM, 2008).

2.3.2 Maior Capacidade de Carga em Circuitos Existentes

Cargas que consomem energia reativa exigem corrente reativa. A instalação de capacitores de correção do fator de potência no final dos circuitos existentes perto das cargas indutivas reduz a corrente transportada por cada circuito. A redução no fluxo de corrente resultante de um fator de potência aprimorado pode permitir que o circuito carregue novas cargas, economizando o custo de atualização da rede de distribuição quando é necessária capacidade extra para máquinas ou equipamentos adicionais, economizando milhares de dólares em sua empresa em custos desnecessários de atualização. Além disso, o fluxo de corrente reduzido reduz as perdas resistivas no circuito (O'MALLEY, 1983).

2.3.3 Tensão Aprimorada

Um fator de potência mais baixo causa um fluxo de corrente mais alto para uma determinada carga. À medida que a corrente da linha aumenta, a queda de tensão no condutor aumenta, o que pode resultar em uma tensão mais baixa no equipamento. Com um fator de potência aprimorado, a queda de tensão no condutor é reduzida, melhorando a tensão no equipamento (BOYLESTAD, 2004).

2.3.4 Perdas Reduzidas no Sistema de Energia

Embora o retorno financeiro da redução de perda de condutor raramente seja suficiente para justificar a instalação de capacitores, às vezes é um benefício adicional atraente; especialmente em plantas mais antigas com alimentadores longos ou em operações de bombeamento em campo. As perdas do condutor do sistema são proporcionais à corrente ao quadrado e, como a corrente é reduzida em proporção direta à melhoria do fator de potência, as perdas são inversamente proporcionais ao quadrado do fator de potência (FILHO, 2007).

2.3.5 Diminuição na Emissão de Carbono

Ao reduzir a carga de demanda do seu sistema de energia por meio da correção do fator de energia, a empresa está colocando menos pressão na rede elétrica, reduzindo, assim, sua emissão de carbono. Com o tempo, essa demanda reduzida na rede elétrica pode ser responsável por centenas de toneladas de produção reduzida de carbono, tudo graças à melhoria da eficiência elétrica do sistema de energia através da correção do fator de potência (SILVA, 2009).

2.4 Desvantagens do baixo fator de potência

A corrente para uma determinada carga fornecida em tensão constante será maior com um fator de potência mais baixo e menor com um fator de potência mais alto. Segundo Creder (1995), se a carga P for fornecida à tensão terminal V e ao fator de potência $\cos \phi$ por um sistema balanceado trifásico, a corrente de carga será dada por:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi}$$

Se P e V são constantes, a corrente de carga, I_L é inversamente proporcional ao fator de potência, $\cos \phi$ e, quanto menor o fator de potência, maior a corrente e vice-versa. A corrente mais alta devido ao fator de potência ruim afeta o sistema e resulta nas seguintes desvantagens, segundo Gussow (1997), Amorim (2008) e Vieira (2012):

- A classificação de geradores e transformadores é proporcional à sua corrente de saída, portanto inversamente proporcional ao fator de potência; portanto, são necessários grandes geradores e transformadores para fornecer a mesma carga, mas com baixo fator de potência;
- A área de seção transversal da barra de barramento e a superfície de contato do painel de distribuição devem ser ampliadas para que a mesma potência seja fornecida, mas com baixo fator de potência;
- Para que a mesma energia seja transmitida, mas com baixo fator de potência, a linha de transmissão, o distribuidor ou o cabo precisam carregar mais corrente;
- O tamanho do condutor terá que ser aumentado se a densidade de corrente na linha for mantida constante. Assim, é necessário mais material condutor para as linhas de transmissão, distribuidores e cabos para fornecer a mesma carga, mas com baixo fator de potência;
- As perdas de energia são proporcionais ao quadrado da corrente, portanto inversamente proporcional ao quadrado do fator de potência, ou seja, mais perdas de energia incidem no baixo fator de potência, o que resulta em baixa eficiência;
- O baixo fator de potência atrasado resulta em grande queda de tensão em geradores, transformadores, linhas de transmissão e distribuidores, o que resulta em uma regulamentação deficiente. Portanto, é necessário equipamento de regulação extra para manter a queda de tensão dentro dos limites permitidos;
- O baixo fator de potência retardado reduz a capacidade de manuseio de todos os elementos do sistema.

Assim, vemos que o baixo fator de potência leva a um alto custo de capital para os alternadores, comutadores, transformadores, linhas de transmissão, distribuidores e cabos etc. Tendo em vista as várias desvantagens associadas ao baixo fator de potência, os



fornecedores de energia insistem em um fator de potência igual ou superior a 0,8 para estabelecimentos industriais. As tarifas de energia são criadas para penalizar os consumidores com baixo fator de potência atrasado e incentivá-los a instalar dispositivos ou equipamentos de correção do fator de potência (MAMEDE FILHO, 2002).

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas pesquisas exploratórias em recursos eletrônicos, como artigos, periódicos eletrônicos, documentos e atas de reuniões, a fim de agregar valor à pesquisa e a todo o referencial teórico. Paralelamente, foram verificadas as normas, resoluções e legislações existentes no setor elétrico brasileiro de pesquisas relacionadas a equipamentos.

A seleção dos materiais referenciados foi baseada na temática proposta, sendo descartadas as pesquisas que, embora incluídas na busca, não propusessem uma metodologia consistente com a temática deste artigo.

Inicialmente, buscou-se apurar a relação de empresas com alto índice de excedente de potência reativa em seu processo produtivo por meio da distribuidora municipal de energia, o que afetava diretamente o custo total das contas de energia.

Iniciou-se então a fase de apuração, com a solicitação das informações do parque de ativos consumidores de energia reativa da empresa.

Para verificar o custo da correção do fator de potência, foi obtido um orçamento de uma empresa local que presta serviços de instalação e manutenção de banco de capacitores. O orçamento incluía equipamentos, materiais e mão de obra para verificar a viabilidade de implantação de capacitores no banco de empresa em estudo.

Por meio da análise e comparação dos dados, foi apresentada graficamente a eficiência da correção do fator de potência no processo produtivo, com o objetivo de reduzir custos e gerar rentabilidade e lucratividade para a empresa.

3.1 REALIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM

A coleta de dados foi realizada por amostragem nas contas de luz semestral da empresa e informações de características técnicas corporativas, com o objetivo de determinar o investimento corrente para o investimento proposto na relação de benefícios entre o valor atualmente pago pelas fontes não funcionais e o custo.

Segundo Marconi e Lakatos (2000), a amostra da pesquisa é definida por um processo não probabilístico, baseado em um método de descrição quantitativa, relacionada aos dados coletados para fins de pesquisa e qualitativamente, a fim de analisar os dados coletados para o fator de potência, para fins de correção e investigação. Para Rudio (1996), a escolha da amostra deve comprovar o motivo da escolha e as características da pesquisa. A amostra deste estudo é razoável, pois seu fator de potência é inferior a 0,87 permitido pelo artigo 76 da Resolução 414/2010.

Para verificar e medir o consumo mensal da empresa, a concessionária local adotou o medidor de energia elétrica PN-5D homologado pelo INMETRO através do atual Decreto nº 085 de 04/06/1990, fabricado pela Nansen SA em 2000, medindo o consumo, potências ativas e reativa. Esses valores são tributados e descritos na fatura de energia emitida pela concessionária.

3.2 TRATAMENTO DA AMOSTRAGEM

Os dados são coletados de forma verdadeira e se esforçam para estar atentos aos menores detalhes de suas investigações e aos requisitos e especificações internas da empresa, e serão processados em pesquisas posteriores sem distorcer os fatos. O método utilizado baseia-se no desvio padrão, média ponderada e percentual. Utilizando as ferramentas do Microsoft Office Excel, procuramos apontar e apresentar as principais evidências e resultados de forma mais clara e objetiva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A empresa estudada possui um vasto leque de serviços na área da engenharia civil e construção em geral. A análise post-mortem pode produzir benefícios em termos de redução de custos de produção e despesas relacionadas ao consumo de energia.

A demanda contratual de energia da empresa é de 200 quilowatts. Portanto, de acordo com os regulamentos atuais, ela pertence à unidade consumidora do grupo A no subgrupo A4. A faixa de tensão de alimentação representativa é de 2,3 KV a 25 KV. O franqueado é de 22 KV. A Empresa foi estabelecida sob o sistema de hora verde.

4.1 CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMENTO

Segundo Duailibi (2000), a instalação de bancos de capacitores é a ferramenta técnica e financeira mais viável para corrigir o fator de potência de um empreendimento. A potência de carga indutiva instalada na empresa é de 123,8KW. Considerando o fator de potência padrão especificado no artigo 95 da RN 414/2010, que é de 0,92, para a correta determinação do tamanho do banco de capacitores é necessário conhecer a potência reativa máxima consumida pela empresa. Conforme mostrado no cálculo abaixo, o valor é 25,9 KVAR

Tabela 1 – Análise de Cargas Reativas

Qde.	FP(Carga plena)	Potência Ativa (Kw)	Potência Reativa (KVAR)	Potência ativa total (kW)	Potência reativa total (kVAr)	Potência Capacitor (kVAr)
1	0,86	45	26,65	45	26,65	7,48
5	0,85	11	6,81	55	34,05	10,6
4	0,83	2,2	1,47	8,8	5,88	2,12
10	0,78	1,5	1,2	15	12	5,7
			TOTAL	123,8	78,58	25,9

Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

Cálculo de Potência Reativa por carga em Pleno funcionamento:

- $$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

$$Q = \sqrt{(52,32^2 - 45^2)}$$

$$Q = 26,65KVAR$$
- $$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

$$Q = \sqrt{(12,94^2 - 11^2)}$$

$$Q = 6,81KVAR$$
- $$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

$$Q = \sqrt{(2,65^2 - 2,2^2)}$$

$$Q = 1,47KVAR$$
- $$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}$$

$$Q = \sqrt{(1,92^2 - 1,5^2)}$$



$$Q = 1,2\text{KVAr}$$

Calculo de Potência Reativa para correção do Fator de Potência para 0,92:

- $S = P \div \cos\phi$
 $S = 45 \div 0,92 \Rightarrow 48,91\text{KVA}$
 $Q_{\text{cap}} = Q - \sqrt{(S^2 - P^2)}$
 $Q_{\text{cap}} = 26,65 - \sqrt{(48,91^2 - 45^2)}$
 $Q_{\text{cap}} = 26,65 - 19,16 \Rightarrow 7,48\text{KVAr}$
- $S = P \div \cos\phi$
 $S = 11 \div 0,92 \Rightarrow 11,95\text{KVA}$
 $Q_{\text{cap}} = Q - \sqrt{(S^2 - P^2)}$
 $Q_{\text{cap}} = 6,81 - \sqrt{(11,95^2 - 11^2)}$
 $Q_{\text{cap}} = 6,81 - 4,68 \Rightarrow 2,21\text{KVAr}$
- $S = P \div \cos\phi$
 $S = 2,2 \div 0,92 \Rightarrow 2,39\text{KVA}$
 $Q_{\text{cap}} = Q - \sqrt{(S^2 - P^2)}$
 $Q_{\text{cap}} = Q - \sqrt{(2,39^2 - 2,2^2)}$
 $Q_{\text{cap}} = 1,46 - 0,93 \Rightarrow 0,53\text{KVAr}$
- $S = P \div \cos\phi$
 $S = 1,65 \div 0,92 \Rightarrow 1,63\text{KVA}$
 $Q_{\text{cap}} = Q - \sqrt{(S^2 - P^2)}$
 $Q_{\text{cap}} = Q - \sqrt{(1,63^2 - 1,5^2)}$
 $Q_{\text{cap}} = 1,2 - 0,63 \Rightarrow 0,57\text{KVAr}$

Com base nos dados apresentados na Tabela 1, pode ser observado que para manter o fator de potência (FP) desse setor em 0,92, fará necessário um banco de capacitores de 25,9 kVAr. Levando em consideração os valores totais de potência ativa e reativa representados, podemos concluir que o FP médio do setor, com a instalação em pleno funcionamento, é de 0,81. Supondo que ocorram modificações na instalação elétrica projetada, com um aumento de 25% nas cargas instaladas, mantendo o FP médio em 0,81, prevê-se a necessidade de um banco de capacitores de 32,37 kVAr. No entanto, como esse valor precisa ser arredondado para se adequar aos capacitores trifásicos disponíveis no mercado para esse tipo de aplicação, será utilizado um banco de 35 kVAr para a correção

Para obter eficiência e correção do fator de potência, a fim de evitar perdas no sistema, um banco de capacitores deve ser montado. Para tal, uma empresa especializada nesta área foi contatada para que fossem fornecidas as informações levantadas anteriormente para então fornecerem um orçamento para a realização do serviço. Assim, de acordo com o fornecedor, o valor para os serviços ficaria em torno de R\$ 9.500,00.

4.2 OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

Com o objetivo de melhor nos ajustarmos aos parâmetros analisados, procuramos destacar o conjunto tecnológico reativo da empresa para uma compreensão mais aprofundada da variação da grandeza em estudo. Isso inclui os motores de indução presentes no circuito, juntamente com suas informações técnicas. Os motores da marca WEG e suas características podem ser observados na Tabela 2.

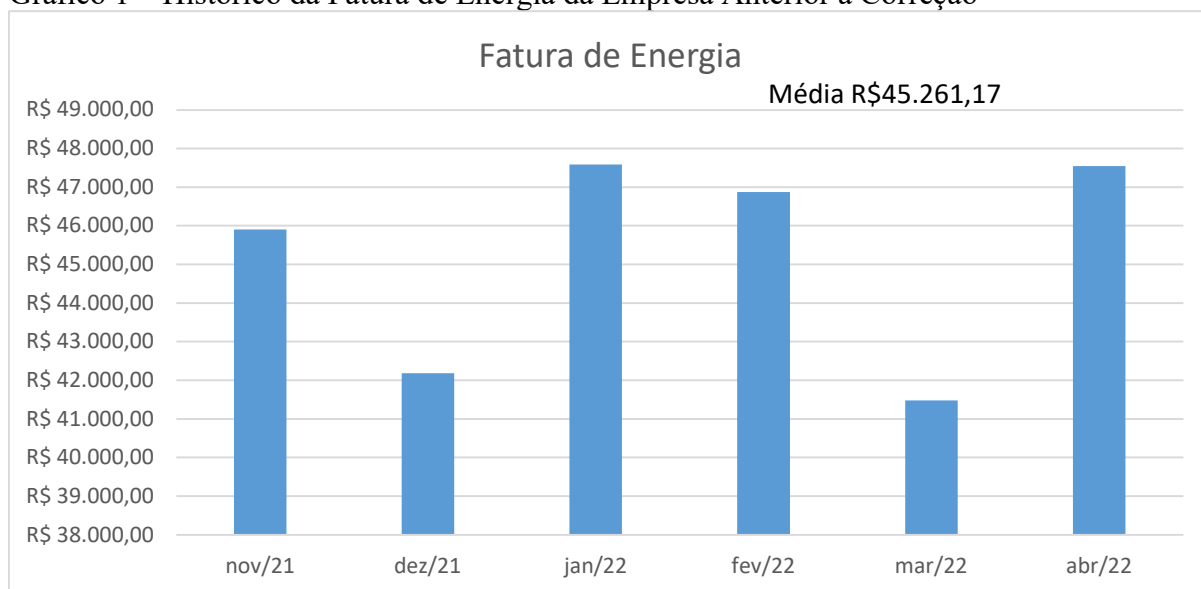
Tabela 2 – Análise das informações prestadas pela Empresa

Quantidade	Potência (cv)
1	60
5	15
4	3
10	2

Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Em vista dos dados coletados, o baixo fator de potência resultante tem uma instabilidade observacional muito óbvia e visível, o que levará a multas pesadas e custos de energia aumentados. Diante dessa visão e dos valores incompatíveis, observou-se a importância do diagnóstico e da pesquisa aplicada para corrigir e reduzir custos. O Gráfico 1 ilustra o valor da conta de energia mensal gerada durante o período de amostragem anterior a instalação do banco de capacitores.

Gráfico 1 – Histórico da Fatura de Energia da Empresa Anterior a Correção

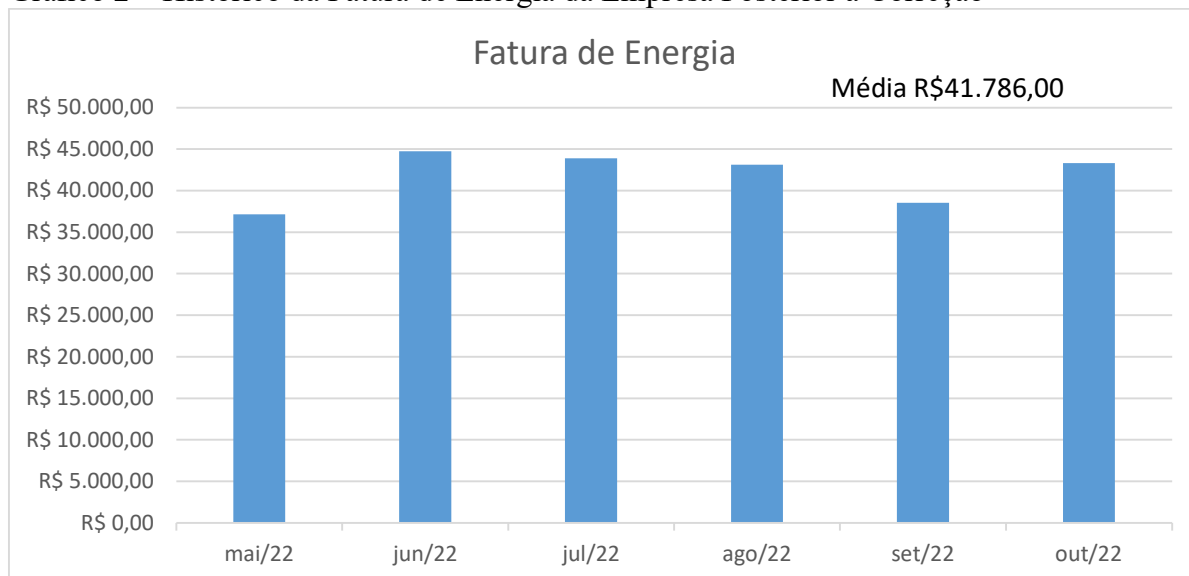


Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Conforme ilustrado no Gráfico 1, durante o período de amostragem fornecido pela empresa, observou-se que o mês de março de 2022 registrou a mínima, enquanto que o mês de janeiro do mesmo ano alcançou o valor máximo.

Após a instalação do banco de capacitores, foi construído o Gráfico 2, onde no mesmo é feita uma simulação que prova que o valor da conta de energia após a correção do fator de potência foi significativo.

Gráfico 2 – Histórico da Fatura de Energia da Empresa Posterior a Correção



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Com os resultados da simulação acima, a empresa conseguirá arcar com o consumo excedente de energia elétrica reativa, reduzindo o valor pago em sua conta mensal de energia em cerca de R\$ R\$580,00. considerando que a cada seis meses, o montante economizado será de R\$ 3500,00.

De acordo com o orçamento e cálculo feito para a seleção do banco de capacitores necessário para compensar a carga reativa e corrigir o fator de potência para o nível permitido, conforme indicado na simulação, a empresa precisará investir um total de R\$9.500,00.

Considerando que a vida útil dos capacitores seja em torno de 10 anos, podemos afirmar que o retorno do investimento ocorrerá a partir do décimo sétimo mês. Isso significa que, a partir desse período, os benefícios econômicos da economia de energia superarão o custo inicial do investimento.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados acima são consistentes com o estudo de caso aqui realizado, que comprovou a viabilidade da correção do fator de potência através da instalação de um banco de capacitores no secundário de um transformador trifásico para correção do fator de potência ao limite estabelecido Resolução nº. 414. Para o estudo de caso aqui realizado, observou-se que a gestão da conta de energia está se tornando cada vez mais imprescindível para as empresas, pois o foco dessa questão é reduzir custos e, assim, aumentar as margens de lucro.

De acordo com os resultados obtidos na seleção da potência do banco de capacitores, pode-se verificar a viabilidade econômica da utilização do banco de capacitores para correção do fator de potência. Portanto, observa-se que o investimento é compensado após 17 meses após sua realização, onde após o mesmo a empresa poderá desfrutar de economias visíveis em seus gastos com energia elétrica.

Ao longo deste trabalho, exploramos os benefícios da correção do fator de potência para as empresas, com o intuito de promover a eficiência energética. Foi evidente que a correção do fator de potência desempenha um papel fundamental na otimização do consumo de energia elétrica, resultando em diversos ganhos operacionais e financeiros para as organizações.

Em primeiro lugar, a correção do fator de potência possibilita a utilização mais eficiente da energia elétrica, reduzindo as perdas e melhorando a qualidade do fornecimento de energia. Com uma potência reativa adequada, evita-se o desperdício de energia, diminuindo as correntes desnecessárias na rede elétrica e minimizando as penalidades associadas ao baixo fator de potência.

Além disso, a correção do fator de potência contribui para a redução do consumo de energia e, consequentemente, dos custos operacionais das empresas. Ao minimizar as perdas de energia nas instalações elétricas, ocorre uma diminuição das demandas sobre a rede elétrica, resultando em uma redução nos valores das contas de energia elétrica. Essa economia financeira pode ser significativa, especialmente para indústrias e empresas de grande porte, que demandam uma quantidade substancial de energia.

Outro benefício importante é a melhoria da vida útil dos equipamentos elétricos. Com uma correção adequada do fator de potência, reduz-se o estresse e a sobrecarga nos equipamentos, evitando danos, falhas prematuras e custos de manutenção excessivos. Dessa forma, as empresas podem prolongar a vida útil de seus ativos elétricos e reduzir os investimentos em substituição e reparos frequentes.

Além dos benefícios diretos, a correção do fator de potência também tem um impacto positivo no meio ambiente. Ao reduzir o consumo de energia elétrica, contribui-se para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e a preservação dos recursos naturais. Isso está alinhado com as preocupações globais em relação à sustentabilidade e à responsabilidade ambiental das empresas.

Portanto, diante de todos os benefícios apresentados, é evidente que a correção do fator de potência é uma estratégia fundamental para promover a eficiência energética nas empresas. Através da implementação de medidas de correção, as organizações podem não apenas reduzir seus custos operacionais e melhorar sua competitividade, mas também contribuir para a preservação do meio ambiente e para um futuro mais sustentável.

Nesse sentido, é fundamental que as empresas adotem uma abordagem proativa em relação à correção do fator de potência, buscando a conscientização dos gestores e colaboradores sobre a importância dessa prática. Além disso, é importante investir em equipamentos e tecnologias modernas, bem como buscar parcerias com especialistas e

consultorias especializadas, a fim de garantir a eficiência e eficácia do processo de correção do fator de potência.

A correção do fator de potência é um investimento inteligente e estratégico, que traz benefícios tanto para as empresas quanto para o meio ambiente. Ao adotar essa prática, as organizações estão alinhadas com os princípios da eficiência energética e da sustentabilidade, contribuindo para um futuro energético mais consciente e responsável. A correção do fator de potência é uma solução eficaz e viável para promover a eficiência energética nas empresas e deve ser considerada como parte integrante das estratégias de gestão e operação.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus pela oportunidade de viver com saúde e plena capacidade.

Expressamos nossa gratidão aos nossos pais, namoradas e amigos por sua valiosa contribuição e por terem acreditado em nosso crescimento. Eles nos incentivaram e nos deram a certeza de que, mesmo nos momentos mais desafiadores, a melhor decisão era seguir em frente.

Ao nosso orientador Prof. Sérgio Ribeiro pela força, entusiasmo e paciência que nos conduziu ao sucesso de nossa missão.

A todos os professores que com maestria nos ensinaram, capacitaram e por vezes nos aconselharam.

Aos amigos e colegas, que aqui conhecemos e compartilhamos boas horas de nossas vidas, gostaríamos de dizer que serão sempre lembrados em nossas memórias.

7. REFERÊNCIAS

-
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 414/2010.
-
- AMORIM, E. Efeitos da correção do FP na BT sob o ponto de vista da eficiência energética. 2008. Disponível em: <http://www.tec.abinee.org.br/2008/arquivos/20a2_1.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.
-
- A.P. Sakis Meliopoulos, "Current distortion and reactive power in power systems," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, no. 2, pp. 431-438, April 2003.
-
- BOYLESTAD, R. L. Introdução à Análise de Circuitos. São Paulo: Pearson Hall, 2004.
-
- COTRIM, A. A. M. B. Instalações Elétricas. São Paulo: Pearson, 2008
-
- CREDER, H. Instalações Elétricas. Rio de Janeiro: LTC, 1995.
-
- DIAS, G. A. D. Harmônicas em sistemas industriais. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.
-
- DUAILIBE, P. Consultoria para uso Eficiente de Energia. 2000. Disponível em: <www.uff.br/lev/downloads/apostilas/Capacitores.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.
-
- D. Tziouvaras, P. M. Santos, C. Lucas, G. P. Harrison, "An improved three-phase power flow for networks with high penetration of distributed energy resources," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 34, no. 4, pp. 3045-3053, July 2019.
-
- E. F. Faria, P. A. B. Cerqueira, J. A. S. Lopes, P. M. S. Carvalho, J. C. O. Matias, L. A. Ribeiro, "An Active Power Theory Approach for Power-Electronics-Based Distributed Generation Units", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 25, no. 12, pp. 2982-2991, Dec. 2010.
-
- FILHO, J. M. Instalação Elétricas Industriais. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
-
- GUSSOW, M. Eletricidade Básica. São Paulo: Pearson Makron Books, 1997.
-
- JUNIOR, Alexandre Pereira Genuino; CARREIRO, Felipe Silveira; DE OLIVEIRA, Rafael Lima. Eficiência energética: Como corrigir o fator de potência Energy efficiency: How to correct the power factor. Disponível em: < <https://ayaeditora.com.br/wp-content/uploads/2022/02/L122C9.pdf>> Acesso em: 22 jun 2023.
-
- MAMEDE FILHO, J. Instalações Elétricas Industriais. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
-
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. Metodologia científica. São Paulo: Atlas, 2000.
-
- MONTEIRO, P. R. D. Eficiência dos sistemas elétricos industriais com aplicação de capacitores. 2009. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/308689791_EFICIENCIA_DOS_SISTEMAS_EL_ETRICOS_INDUSTRIAIS_COM_APLICACAO_DE_CAPACITORES>. Acesso em: 22 jun. 2023.

MOTTA, R. da R.; CALÔBA, G. M. Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais. São Paulo: Atlas, 2002.

O'MALLEY, J. R. Análise de circuitos. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 1983.

Silva, Marcos Cesar Isoni. Correção do fator de potência de cargas industriais com dinâmicas rápidas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, [2009].

SILVA, M. C. I. Correção do fator de potência de cargas industriais com dinâmica rápida. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - UFMG, Belo Horizonte, 2009.

VIEIRA, D. Comparação de técnicas de medição de potência reativa sob condições não-senoidais com ênfase na transformada Wavelet. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

WERNKE, R. Aplicações do conceito de valor presente na contabilidade gerencial. Revista Brasileira de Contabilidade. Conselho Federal de Contabilidade, n. 126. Brasília: 2000.

WEG Fonte: Pagina da WEG – Capacitores para correção do fator de potencia.
Disponivel em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hda/ha0/WEG-capacitores-para-correcao-do-fator-de-potencia-50009818-pt.pdf>> Acesso em: 22 jun 2023.
