



Redução de Perdas Elétricas e Eficiência Energética com a Correção de Fator de Potência por Bancos de Capacitores

Reduction of Electrical Losses and Energy Efficiency Through Power Factor Correction Using Capacitor Banks

Jhoni Fernando Barduco Pinto

Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

Ronaldo Gomes Figueira

Orientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

Fabiana Florian

Coorientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo sobre a redução de perdas elétricas e o aumento da eficiência energética por meio da correção do fator de potência em sistemas elétricos industriais. Considerando que cargas indutivas, como motores e transformadores, reduzem o fator de potência, foi realizada uma simulação computacional da instalação de bancos de capacitores em uma empresa fictícia. O estudo comparou dois cenários: antes e depois da compensação reativa, avaliando os impactos no fator de potência, na corrente de linha e nas perdas técnicas. Os resultados demonstraram que a correção do fator de potência para 0,95 promoveu uma redução média de 15% a 25% na corrente de linha e uma diminuição de aproximadamente 23,6% nas perdas técnicas, o que representa ganhos técnicos, econômicos e operacionais. Conclui-se que a utilização de bancos de capacitores constitui uma solução eficiente, de rápido retorno financeiro e alinhada às práticas de eficiência energética e sustentabilidade no setor elétrico.

Palavras-chave: eficiência energética; fator de potência; bancos de capacitores; perdas elétricas; correção reativa.

Abstract: This work presents a study on the reduction of electrical losses and the improvement of energy efficiency through power factor correction in industrial electrical systems. Since inductive loads, such as motors and transformers, reduce the power factor, a computational simulation of capacitor bank installation in a fictitious company was carried out. The study compared two scenarios: before and after reactive power compensation, assessing the impacts on power factor, line current, and technical losses. The results demonstrated that correcting the power factor to 0.95 promoted an average reduction of 15% to 25% in line current and a decrease of approximately 23.6% in technical losses, which represents technical, economic, and operational benefits. It is concluded that the use of capacitor banks is an efficient solution, with a quick financial return, aligned with energy efficiency and sustainability practices in the electric power sector.

Keywords: energy efficiency; power factor; capacitor banks; electrical losses; reactive power compensation.

INTRODUÇÃO

O crescimento do consumo de energia elétrica e a busca por maior eficiência nos sistemas de distribuição impulsionam a necessidade de melhorias relacionadas à qualidade da energia elétrica. Entre os parâmetros mais relevantes nesse contexto, destaca-se o fator de potência (FP), que mede a relação entre a potência ativa — efetivamente convertida em trabalho — e a potência aparente, correspondente à demanda total do sistema.

Em instalações industriais e comerciais, a predominância de cargas indutivas, como motores, transformadores e equipamentos de climatização, resulta em baixo fator de potência, o que acarreta sobrecarga em cabos e transformadores, aumento das perdas técnicas e, em muitos casos, multas aplicadas pelas concessionárias de energia elétrica.

A correção do fator de potência, por meio da instalação de bancos de capacitores, é uma prática consolidada na engenharia elétrica. Além disso, a compreensão de seus benefícios pode ser potencializada por meio de simulações computacionais, que permitem comparar o desempenho elétrico antes e depois da compensação reativa.

Este trabalho tem como objetivo simular a instalação de bancos de capacitores em uma empresa fictícia, avaliando os impactos sobre o fator de potência, a corrente de linha e as perdas técnicas no sistema de distribuição de energia elétrica.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A eficiência energética e a redução de perdas técnicas são amplamente discutidas na literatura especializada, em função do crescimento da demanda por energia e da busca por soluções sustentáveis. Nesse contexto, a correção do fator de potência destaca-se como prática fundamental para a melhoria do desempenho elétrico.

Potência Elétrica e sua Composição

Entender a composição da potência elétrica é um passo básico para o estudo da correção do fator de potência e eficiência energética. A potência aparente (S), medida em kVA, é composta pela potência ativa (P), que realiza trabalho útil, medida em kW, e pela potência reativa (Q), em kVAr, que fornece os campos magnéticos necessários para motores e todos os equipamentos com operação magnética. A relação entre essas potências é representada pelo triângulo de potência, e o fator de potência (FP) é o cosseno do ângulo formado entre P e S .

Segundo El-Hawary (2008), em instalações com elevado consumo de cargas indutivas, a potência reativa pode representar uma fração significativa da potência total, comprometendo a eficiência do sistema e sobrecarregando condutores, transformadores e equipamentos de proteção. “A presença excessiva de potência

reativa nas redes elétricas provoca aumento da corrente e das perdas por efeito Joule, exigindo condutores mais robustos e transformadores de maior capacidade" (EL-HAWARY, 2008, p. 142).

Banco de Capacitores como Método de Compensação

A compensação de potência reativa por bancos de capacitores é a solução mais utilizada. Os capacitores geram potência reativa capacitiva, contrabalançando a reativa indutiva das cargas.

De acordo com Grainger e Stevenson (1994), a correta localização dos bancos (próximos às cargas ou no barramento principal), bem como seu dimensionamento, são fundamentais para evitar insuficiência ou super compensação, que podem gerar problemas harmônicos e sobretensões.

Atualmente, sistemas automáticos ligam ou desligam módulos de capacitores conforme a demanda, o que é essencial em ambientes industriais de carga variável.

Eficiência Energética e Redução de Perdas

A correção do fator de potência está intimamente relacionada ao aumento da utilização da energia elétrica transportada ao longo de fios para reduzir perdas técnicas em condutores e transformadores. Estatísticas brasileiras do PROCEL em 2022 mostram que cerca de 17% da eletricidade total produzida no Brasil é perdida entre a geração e o recebimento, e uma grande parte é devido ao transporte de potência reativa.

Testes de campo sobre empresas industriais mostram que a aplicação de bancos de capacitores sob certas condições pode produzir economias de energia de mais de 10%, e reduzir (ou eliminar) a fatura de energia devido a sobretaxas de baixo fator de potência. Isso reforça o papel estratégico, assim como técnico, da compensação de potência reativa.

"A correção do fator de potência não só melhora a eficiência dos sistemas elétricos," disse Ing. Grainger em uma entrevista com estes autores em 1994. "Também representa uma das formas de economia de energia mais acessíveis com um rápido retorno sobre o investimento" (Grainger; Stevenson, 1994, p. 251).

Normas Técnicas Aplicadas à Compensação Reativa

Ao projetar um sistema de correção do fator de potência, é necessário seguir diretrizes técnicas específicas, garantir segurança e eficiência em conformidade com as regulamentações. No Brasil, a ABNT NBR 5410 estabelece os parâmetros técnicos para instalações de baixa tensão. Também fornece diretrizes sobre o uso de capacitores. A ABNT NBR 15100 lida especificamente com bancos de capacitores em plantas de média tensão para a correção do fator de potência.

No nível internacional, a IEEE Std 1036-2010 fornece orientação sobre a localização, métodos de aplicação, proteção contra sobretensão e manutenção de capacitores em sistemas de potência industriais. Além disso, está especificação

também abrange o uso de capacitores estocados com filtros harmônicos (necessários em redes onde o equipamento eletrônico forma uma grande parte da carga)

Finalmente, a Resolução Normativa ANEEL nº 1000 de 2021 estabelece os limites obrigatórios do fator de potência para consumidores de energia na rede pública. Usuários que não estiverem em conformidade com esses padrões são penalizados financeiramente. Isso reforça a compensação de potência reativa como uma norma, assim como econômica.

Tendências e Desenvolvimentos Tecnológicos

Recentemente, a aplicação de bancos de capacitores foi integrada ao controle inteligente de capacitores de potência e o sistema é capaz de monitorar e corrigir o fator de potência em tempo real, com o dispositivo de reação automática formalmente instalado. Isso é especialmente importante dentro do contexto da Indústria 4.0 surgindo desde a digitalização de processos para o controle de processos e a eficiência geral agora é mais vital do que nunca.

Bollen e Hassan (2011) preveem a futura direção da compensação reativa: automação completa combinada com algoritmos de inteligência artificial, “que podem maximizar os níveis de operação com base em variáveis como tempo, carga esperada e tarifas dinâmicas.”

METODOLOGIA

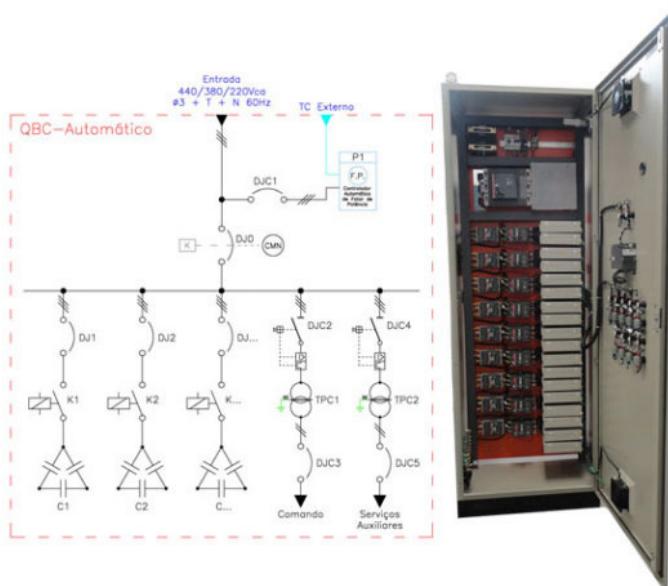
Este trabalho se caracteriza como uma simulação computacional, de natureza quantitativa e exploratória, uma vez que não envolve coleta de dados em campo, mas sim a construção de cenários hipotéticos que representam uma instalação industrial fictícia.

Cenário Simulado

O estudo foi desenvolvido considerando um sistema trifásico de 380 V (linha a linha), com perfil diário de consumo ativo variando entre 100 kW e 420 kW ao longo de 24 horas. O software utilizado nesse estudo será o CCK AUTOMAÇÃO. O fator de potência inicial foi assumido entre 0,75 e 0,90, valores típicos de ambientes industriais com predomínio de cargas indutivas.

O sistema simulado foi modelado conforme o Diagrama Unifilar (Figura 1), que representa a entrada de energia, o transformador e o barramento principal da empresa fictícia, onde o banco de capacitores foi posicionado para correção do fator de potência, conforme detalhado na seção 3.3. A representação inclui os principais componentes indutivos que geram a baixa potência reativa inicial.

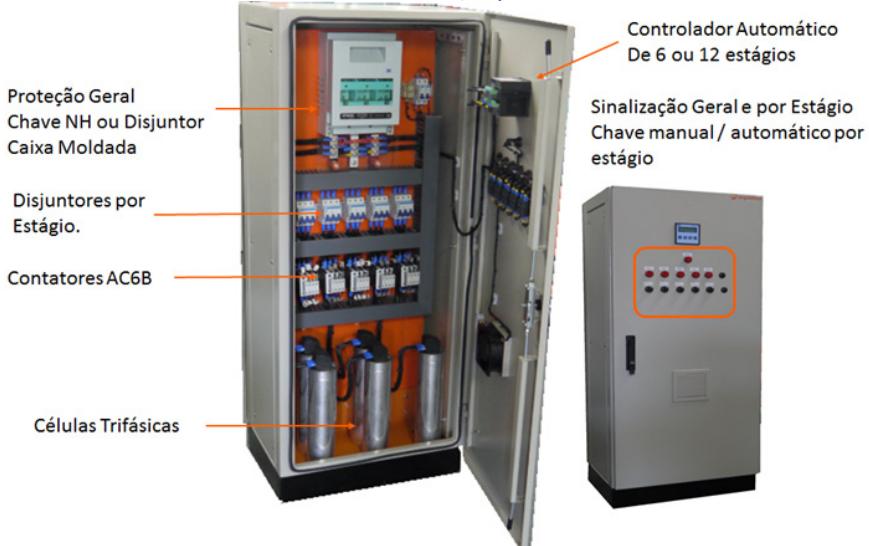
Figura 1- Diagrama Unifilar do Sistema de Distribuição e Ponto de Compensação.



Fonte: engelétrica serviços (2025).

Para a simulação, o dimensionamento considerou um Banco de Capacitores automático em estágios (Figura 2), com o controlador programado para manter o FP em 0,95, conforme o critério de correção estabelecido.

Figura 2- Banco de Capacitores Automático (Modelo de Referência para a Simulação).



Fonte: Hz Painéis (2025).

Fórmulas Utilizadas

As grandezas calculadas foram:

$$\text{Potência aparente: } S = \frac{P}{\cos(\theta)}$$

- Potência reativa: $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$
- Potência reativa desejada: $Q' = P * \tan(\arccos(FPfinal))$
- Potência compensada: $Qc = Q - Q'$
- Corrente: $I = \frac{S}{\sqrt{3} * Vl}$
- Perdas: $P=3*I^2*R$. Onde “R” é a resistência da linha.

Critério de Correção

O fator de potência foi elevado até **0,95**, evitando supercompensação.

Foram comparados dois cenários:

1. **Sem compensação**: situação original;
2. **Com compensação**: aplicação de bancos de capacitores.

DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A simulação feita no software da CCK demonstrou a eficácia da instalação do banco de capacitores, elevando o Fator de Potência (FP) do sistema para o mínimo regulamentar de 0,95. Os resultados são apresentados a seguir, conforme o Figura 1 e a Tabela 1, além das análises detalhadas.

Figura 3 - Fator de Potência (inicial vs final) – Jhoni F. Pinto.

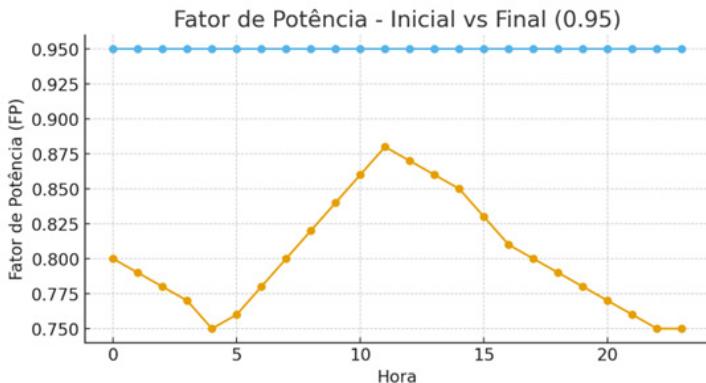
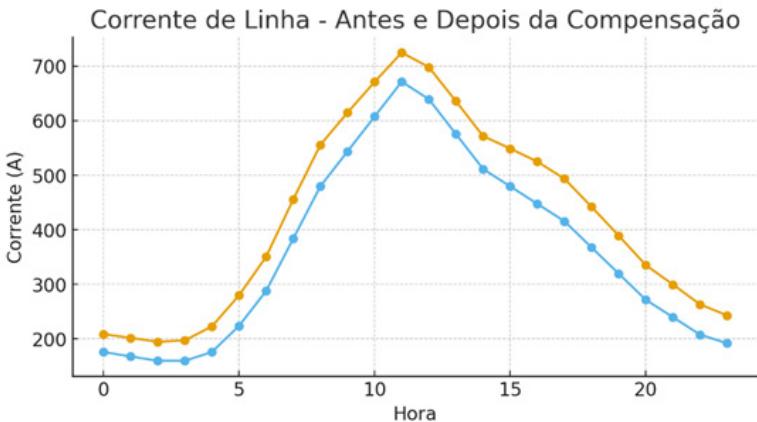
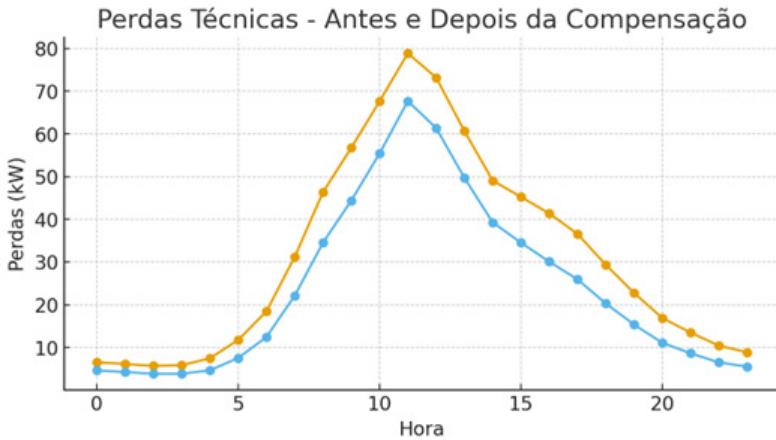


Figura 4 - Corrente de Linha (Antes e Depois) – Jhoni F. B. Pinto.**Figura 5- Perdas em KWh -Jhoni F. B Pinto 2025.****Tabela 1 – Resultados representativos da simulação em três horários distintos.**

Hora	Potência Ativa (kW)	FP Inicial	Corrente Antes (A)	Corrente Depois (A)	Perdas Antes (kW)	Perdas Depois (kW)
3.00	100.00	0.77	196.53	159.97	5.79	3.84
11.00	420.00	0.88	723.35	639.85	78.55	61.39
20.00	170.00	0.77	310.34	259.84	14.45	10.12

Impacto Técnico-Operacional

Os resultados mostraram que a correção do FP resultou em uma redução média da corrente de linha entre 15% e 25% no alimentador principal. Essa diminuição da corrente é o fator chave que previne a sobrecarga de transformadores, condutores e dispositivos de proteção, otimizando o uso dos ativos instalados na empresa.

Eficiência Energética e Redução de Perdas

O impacto mais significativo foi observado na eficiência do sistema. A eliminação do transporte de grande parte da potência reativa resultou em uma redução de perdas por efeito Joule (técnicas) de aproximadamente 177 kWh por dia, o que corresponde a uma queda percentual de 23,6% em relação ao cenário original.

Este resultado está em linha com a literatura especializada, que aponta a correção do FP como uma das formas mais acessíveis e de rápido retorno para a economia de energia em ambientes industriais. Ao reduzir as perdas, a empresa não apenas consome menos energia da concessionária para a mesma demanda de trabalho útil, mas também contribui para a eficiência global do sistema de distribuição da concessionária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho alcançou seu objetivo ao simular a instalação de bancos de capacitores, demonstrando o impacto positivo e mensurável da compensação de potência reativa.

A correção do Fator de Potência para 0,95 não se traduz apenas em uma melhoria de conformidade técnica, mas representa um ganho econômico e operacional direto para a empresa simulada. A redução de 23,6% nas perdas técnicas representa uma economia significativa na fatura de energia elétrica, além de eliminar o risco de penalidades e multas aplicadas pela ANEEL por baixo fator de potência.

Em um contexto de busca contínua por Eficiência Energética e aderência à Indústria 4.0, a aplicação de bancos de capacitores prova ser uma estratégia essencial e de alto valor agregado, oferecendo um rápido retorno sobre o investimento devido à maior capacidade de carga do sistema existente e à economia de energia imediata.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15100: Banco de capacitores para correção de fator de potência em instalações elétricas de média tensão.** Rio de Janeiro, 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão.** Rio de Janeiro, 2004.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 1000, de 7 de dezembro de 2021. **Estabelece os procedimentos e condições para a prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica.** Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2025.

BOLLEN, M. H. J.; HASSAN, F. **Integration of Distributed Generation in the Power System.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

CHAPMAN, S. J. **Máquinas elétricas.** 4. Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2002.

EL-HAWARY, M. E. **Principles of Electric Machines and Power Electronics.** 3. Ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

GRAINGER, J. J.; STEVENSON, W. D. **Power System Analysis.** New York: McGraw-Hill, 1994.

IEEE – Institute Of Electrical And Electronics Engineers. **IEEE Std 1036-2010 – IEEE Guide for the Application of Shunt Power Capacitors.** New York, 2010.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais.** 6. Ed. São Paulo: Érica, 2013.

MOTTA, L. A. C. **Eficiência energética e qualidade de energia: conceitos e aplicações.** Rio de Janeiro: Interciênciac, 2017.

OLIVEIRA, S. A. **Qualidade de energia e correção do fator de potência.** São Paulo: Érica, 2014.

PROCEL – PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório de Eficiência Energética 2022.** Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.gov.br/procel>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ENGELETRICA SERVIÇOS – **Banco de Capacitores Automático.** Disponível em: <https://engeletrica.com.br/banco-de-capacitores-automatico> Acesso em 02/09/2025

HZ PAINéis – **Banco de capacitores automáticos.** Disponível em: <https://www.hzpaineis.com.br/banco-de-capacitores-automaticos> Acesso em 02/09/2025