

## **14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023**

### **ESTUDO E PROJETO DE UM SISTEMA DE ANÁLISE DE CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA OTIMIZADA PARA FINS DIDÁTICOS UTILIZANDO UM BANCO DE CAPACITORES E O DISPOSITIVO D52-2048**

Vinicius de Souza Santos<sup>1</sup>, Getúlio Teruo Tateoki<sup>2</sup>

1 Graduando em Engenharia da Computação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Birigui, [vinicius.souza1@aluno.ifsp.edu.br](mailto:vinicius.souza1@aluno.ifsp.edu.br)

2 Docente, Área da Indústria, Instituto Federal de São Paulo, Campus Birigui, [getuliot@ifsp.edu.br](mailto:getuliot@ifsp.edu.br)

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.04.04-5 Medição, Controle, Correção e Proteção de Sistemas Elétricos de Potência

**RESUMO:** Este estudo apresenta o desenvolvimento de um sistema otimizado para análise e correção do fator de potência, utilizando um banco de capacitores e o dispositivo D52-2048. O objetivo é aprimorar a formação de profissionais e otimizar o consumo de energia em sistemas reais. A metodologia envolveu a realização de testes e análise de dados práticos, além da construção de gráficos para analisar a variação do fator de potência e da corrente elétrica em relação aos valores dos capacitores utilizados. Os resultados indicaram que o sistema é eficiente para o ensino da correção do fator de potência e para a otimização dessa correção em sistemas reais, contribuindo para a formação de profissionais mais qualificados e conscientes da importância da correção do fator de potência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fator de Potência; Banco de Capacitores; D52-2048;

### **STUDY AND DESIGN OF AN OPTIMIZED POWER FACTOR CORRECTION ANALYSIS SYSTEM FOR DIDACTIC PURPOSES USING A CAPACITOR BANK AND THE D52-2048 DEVICE**

**ABSTRACT:** This study presents the development of an optimized system for power factor analysis and correction, using a capacitor bank and the D52-2048 device. The objective is to improve the training of professionals and optimize energy consumption in real systems. The methodology involved carrying out tests and analyzing practical data, in addition to building graphs to analyze the variation in power factor and electric current in relation to the values of the capacitors used. The results indicated that the system is efficient for teaching power factor correction and for optimizing this correction in real systems, contributing to the formation of more qualified professionals who are aware of the importance of power factor correction.

**KEYWORDS:** Power Factor; Capacitor Bank; D52-2048;

### **INTRODUÇÃO**

O sistema de distribuição elétrica no Brasil sofreu mudanças significativas nos últimos 30 anos, principalmente devido aos avanços tecnológicos que levaram ao aumento de cargas indutivas originadas principalmente por motores elétricos que fazem aumentar o consumo de energia sem o correspondente aproveitamento adequado nos setores residencial e industrial (do Nascimento et al., 2022, p. 1). A eficiência energética é essencial para o desenvolvimento econômico e sustentável, permitindo reduzir o consumo de energia elétrica e reduzir os impactos ambientais e econômicos associados à geração e uso de energia (Oliveira, 2023, p. 1). Nesse sentido, uma das principais formas para maximizar a eficiência energética dos sistemas elétricos é a correção do fator de potência (de Souza Machado et al., 2015) que na prática faz com que a Potência Elétrica consumida por cargas

elétricas (medida em Watts) se equipare ao que é fornecida pela operadora ou concessionária de energia elétrica (medida em Volt-Ampère). No entanto, a inexistência de ferramentas práticas e otimizadas para o estudo e análise dessa correção dificulta seu ensino em cursos técnicos e de engenharia elétrica. Essa limitação também restringe a aplicação dessa técnica em sistemas elétricos no mundo real.

Neste trabalho, foi proposto um sistema para análise e correção do fator de potência, especialmente otimizado para fins educacionais. Para isso, foram utilizadas um banco de capacitores em conjunto com o equipamento D52-2048, um dispositivo multifuncional de painel com trilho DIN que, em tempo real, realiza medições de tensão, corrente, potência ativa e aparente, bem como do fator de potência. Buscou-se, assim, contribuir para a capacitação de profissionais no entendimento e importância da correção do fator de potência, promovendo soluções eficientes para otimização energética em sistemas reais.

A metodologia empregada baseia-se em ensaios e na análise de dados práticos, sendo complementada por gráficos que correlacionam corrente e capacitância. O foco reside na determinação da capacitância ideal, visando a eficiência do consumo energético.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os seguintes materiais: dispositivo D52-2048, um conjunto de sete capacitores para compor um banco de capacitores, diversos equipamentos e/ou dispositivos, como motor Eberle de Corrente Alternada, disjuntores, chave contatora e botoeira chave liga/desliga para fins de teste e análise. Além disso, foi utilizado o software de planilha Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA) versão 2022 para a análise dos dados coletados.

O projeto iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre Sistemas Elétricos de Potência (SEP), com o objetivo de fornecer uma base teórica. Essa revisão buscou atender aos objetivos de gerar, transmitir e distribuir energia elétrica, mantendo os padrões de confiabilidade, disponibilidade, qualidade, segurança e custos, minimizando o impacto ambiental e maximizando a segurança pessoal. Foi abordada a estrutura de um SEP-Sistema Elétrico de Potência, bem como os conceitos teóricos sobre Energia, Potências Ativa, Reativa, Aparente e Fator de Potência.

Em seguida, foi realizada a implementação prática do sistema de análise e correção de fator de potência, com a construção do projeto a partir dos conceitos e fundamentos adquiridos nas etapas anteriores. Foi elaborado um esquemático utilizando a ferramenta em software BricsCad que pode ser observado na Figura 1 e, em seguida, o projeto foi montado em bancada (BrisCad, 2020).

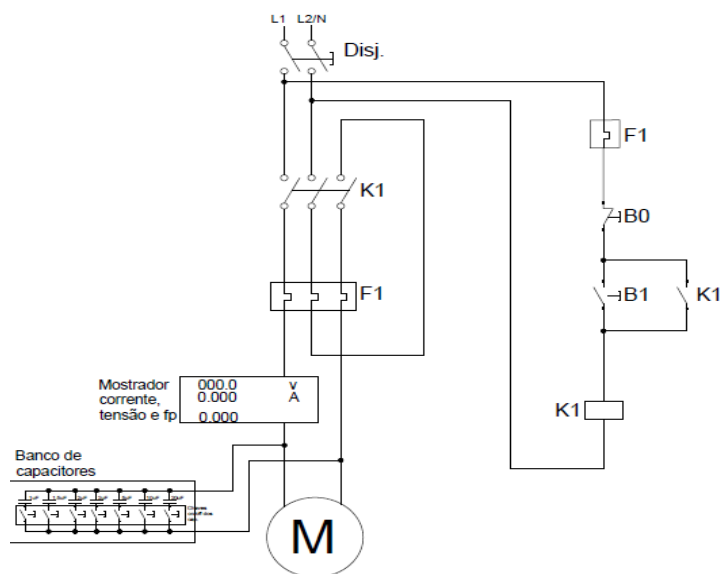


Figura 1. Esquemático do Projeto Sistema de Análise de Correção de Fator de Potência otimizada para fins didáticos utilizando um Banco de Capacitores e o dispositivo D52-2048.

Também foi aplicada a fórmula descrita por Albuquerque (1989) em seu livro, a qual é utilizada para calcular a capacitância em um circuito de corrente alternada, considerando a potência ativa, a frequência angular, a tensão eficaz e os ângulos de deslocamento de corrente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo alcançou os objetivos propostos, implementando um sistema otimizado de correção de fator de potência conforme demonstrado na Figura 2 e determinando a capacitância do capacitor de maneira eficiente. Utilizando o Excel, foram realizados testes analisando a variação do capacitor em relação à corrente, potência ativa, potência aparente e fator de potência.

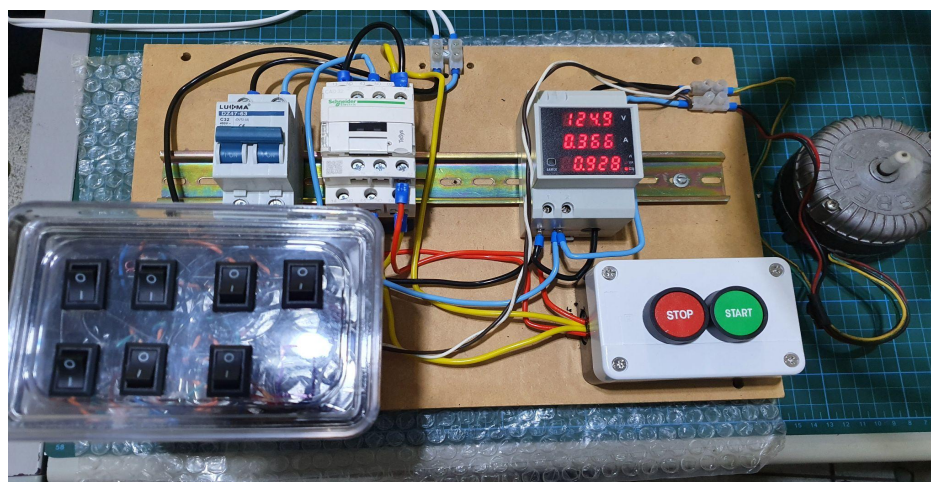


Figura 2. Projeto Sistema de Análise de Correção de Fator de Potência otimizada para fins didáticos utilizando um Banco de Capacitores e o dispositivo D52-2048.

Para facilitar a visualização e interpretação dos resultados obtidos a partir dos experimentos realizados, as informações são apresentadas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Medidor de Fator de Potência - Motor Eberle - Capacitor e Dispositivo

| Medida | Capacitor( $\mu$ F) | Potência Ativa(W) | Potência Aparente (VA) | Corrente(A) | Fator de Potência |
|--------|---------------------|-------------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 1,000  | 0,000               | 47,200            | 74,100                 | 0,609       | 0,617             |
| 2,000  | 1,000               | 45,500            | 69,400                 | 0,559       | 0,657             |
| 3,000  | 2,000               | 45,000            | 64,000                 | 0,517       | 0,702             |
| 4,000  | 3,000               | 44,400            | 59,100                 | 0,479       | 0,745             |
| 5,000  | 4,000               | 43,700            | 54,900                 | 0,445       | 0,799             |
| 6,000  | 5,000               | 43,300            | 50,800                 | 0,411       | 0,850             |
| 7,000  | 6,000               | 42,100            | 47,300                 | 0,383       | 0,888             |
| 8,000  | 7,000               | 41,600            | 44,600                 | 0,361       | 0,937             |
| 9,000  | 8,000               | 42,300            | 42,600                 | 0,345       | 0,976             |
| 10,000 | 9,000               | 40,900            | 40,900                 | 0,333       | 0,997             |
| 11,000 | 10,000              | 40,900            | 40,500                 | 0,329       | 0,996             |
| 12,000 | 11,000              | 39,800            | 41,100                 | 0,334       | 0,969             |
| 13,000 | 12,000              | 39,000            | 42,400                 | 0,345       | 0,922             |
| 14,000 | 13,000              | 38,400            | 44,500                 | 0,364       | 0,864             |
| 15,000 | 14,000              | 38,800            | 47,400                 | 0,388       | 0,819             |
| 16,000 | 15,000              | 38,600            | 51,100                 | 0,416       | 0,757             |
| 17,000 | 16,000              | 38,400            | 55,200                 | 0,450       | 0,697             |
| 18,000 | 17,000              | 37,800            | 60,900                 | 0,520       | 0,597             |
| 19,000 | 18,000              | 38,200            | 64,200                 | 0,552       | 0,565             |
| 20,000 | 19,000              | 37,900            | 73,600                 | 0,599       | 0,515             |
| 21,000 | 20,000              | 38,500            | 80,800                 | 0,657       | 0,476             |

Os resultados obtidos na Tabela 1 foram posteriormente analisados e visualizados através da criação de gráficos. Através dessa análise, foi possível observar as tendências, compreender os comportamentos do sistema em diferentes cenários e tomar decisões informadas sobre as configurações ideais do sistema para otimizar a correção do fator de potência.

Através da Tabela 1 foram coletados dados com variações de capacitores entre 1 e 20  $\mu\text{F}$  em um banco de capacitores e gerados quatro gráficos. Os resultados indicaram que, ao aumentar o valor do capacitor até 10  $\mu\text{F}$ , a potência aparente diminuiu o que pode ser observado na Figura 3, enquanto valores acima de 11  $\mu\text{F}$  apresentaram aumento. Isso ocorre devido à transição do circuito de capacitivo para indutivo, com o banco de capacitores anulando o efeito indutivo do motor e tornando o circuito resistivo.

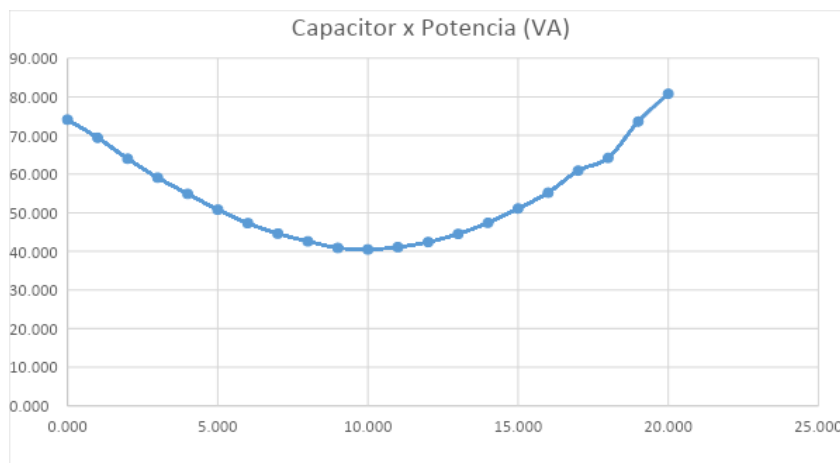


Figura 3. Comportamento da Análise entre Capacitor( $\mu\text{F}$ ) x Potência Aparente(VA).

A observação do comportamento da corrente em relação aos valores dos capacitores apresentou resultados semelhantes à potência aparente, conforme demonstrado na Figura 4. Os resultados da análise da potência ativa demonstraram um ganho correspondente ao aumento do valor dos capacitores, conforme observado na Figura 5. No entanto, a análise do fator de potência indicou uma redução contínua até o valor de 10  $\mu\text{F}$ , conforme observado na Figura 6, devido ao aumento da capacitância e à consequente diminuição da potência aparente em circuitos indutivos. Quando o valor do capacitor atingiu 10  $\mu\text{F}$ , o circuito tornou-se capacitivo, resultando na redução adicional do fator de potência. Esses resultados destacam a relevância do uso adequado de bancos de capacitores para otimizar a correção do fator de potência em sistemas de energia.

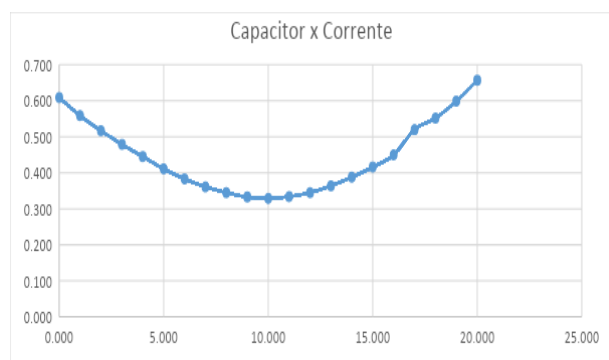


Figura 4. Comportamento da Análise entre Capacitor( $\mu\text{F}$ ) x Corrente(A)

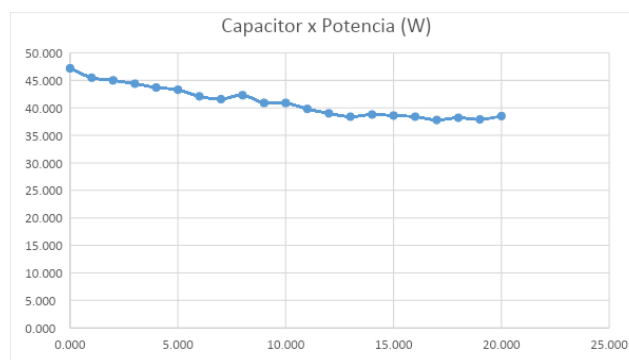


Figura 5. Comportamento da Análise entre Capacitor( $\mu\text{F}$ ) x Potência Ativa(W)

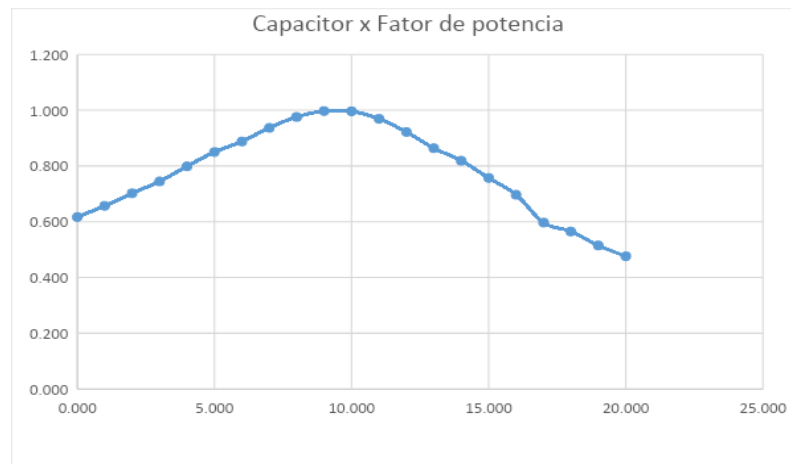


Figura 6. Comportamento da Análise entre Capacitor(μF) x Fator de Potência

De acordo com o cálculo realizado por Albuquerque (1989), a capacitância ideal em um circuito de corrente alternada para alcançar um fator de potência mais próximo de 1 é de 10 μF, conforme demonstrado na Figura 6 e no cálculo abaixo, a tensão admitida no projeto foi de 124 V com uma frequência da rede elétrica de 60Hz:

$$C = \frac{P}{W * Vg^2} * (Tg0 - Tg1) = \frac{47.2}{377 * 124^2} * (1.27 - 0) \approx 10.34 * 10^{-6}$$

onde

- C é a capacitância em farads (F)
- P é a potência ativa em watts (W)
- $\omega$  é a frequência angular em radianos por segundo ( $\omega = 2\pi f$ )
- Vg é a tensão eficaz em volts (V)
- Tg0 é a tangente do ângulo de deslocamento de corrente inicial
- Tg1 é a tangente do ângulo de deslocamento de corrente final

Portanto, o projeto demonstrou-se satisfatório na promoção de um sistema otimizado de correção de fator de potência, fundamentado em conceitos elétricos e proporcionando uma maneira mais eficiente de encontrar valores de capacitância em sistemas elétricos.

## CONCLUSÕES

De maneira geral, o presente artigo abordou um sistema otimizado de análise de correção do fator de potência com o uso de um banco de capacitores e equipamentos de medição D52-2048 para fins educacionais. A metodologia consistiu em ensaios e análises de valores práticos simples e construção de gráficos para análise da variação de fator de potência e corrente elétrica em função dos capacitores utilizados. O sistema desenvolvido pode ser uma ferramenta eficiente para o ensino de correção do fator de potência e otimização dessa correção em sistemas reais que auxilia na redução do consumo em redes de energia elétrica. Os resultados obtidos foram satisfatórios e contribuíram para a formação de profissionais mais qualificados e conscientes da importância da correção do fator de potência para desenvolver soluções práticas e eficientes na otimização do consumo de energia em sistemas reais.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Rômulo Oliveira Albuquerque forneceu a base teórica para a análise de circuitos em corrente alternada, que foi fundamental para a concepção do sistema de análise e correção do fator de potência. O software BricsCAD (v21) foi utilizado para a modelagem e simulação do sistema, com a assistência da equipe de desenvolvimento da Bricsys NV.

O Núcleo Desenvolvimento da Chesp forneceu informações valiosas sobre o banco de capacitores, que foram essenciais para a implementação do sistema. M. Elis contribuiu com conhecimentos sobre o sistema elétrico de potência, que foram cruciais para a análise dos dados.

A Engetec forneceu orientações práticas sobre a instalação do banco de capacitores. Ivan Souza Machado e colegas contribuíram com um software auxiliar para a correção do fator de potência, que foi utilizado na análise dos resultados.

O Microsoft Excel foi utilizado para a análise de dados e construção de gráficos, com a assistência da Microsoft Corporation. Samuel Nascimento e colegas forneceram insights sobre a correção do fator de potência e seus impactos no sistema elétrico de potência.

Finalmente, Felipe Oliveira forneceu informações sobre eficiência energética, que foram fundamentais para a interpretação dos resultados e a redação do manuscrito.

Todos os autores aprovaram a versão final do manuscrito que foi submetida para publicação, confirmando sua responsabilidade pelo conteúdo do trabalho.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (PIVICT).

### REFERÊNCIAS

Albuquerque, Rômulo Oliveira. **Análise De Circuitos Em Corrente Alternada**. 10. Ed. São Paulo: Érica Editorial Ltda, 1989.

Bricscad. **Bricscad** (V21). Bricsys Nv, 2020. Disponível em: <https://Www.Bricsys.Com/Pt-Br/>. Acesso Em: 14 De Maio De 2023.

chesp - Núcleo Desenvolvimento. **Banco De Capacitores** :. chesp. chesp.Com.Br. Disponível em: [<https://Www.chesp.Com.Br/Pagina/Institucional/45-Banco-De-Capacitores>](https://Www.chesp.Com.Br/Pagina/Institucional/45-Banco-De-Capacitores/). Acesso Em: 13 Dez. 2022.

De Souza Machado, Ivan Et Al. **Software Para Auxiliar Na Correção Do Fator De Potência**. Revista Sinergia, V. 17, N. 1, P. 15-21, 2016.

Do Nascimento, Samuel Soares; Sokoloski, Antônio Luiz; Merigue, Rafael. **Correção Do Fator De Potência E Os Impactos No Sep**. Revista Terra & Cultura: Cadernos De Ensino E Pesquisa, V. 38, N. Especial, P. 1185-1198, 2022.

Elis, M. **Sistema Elétrico De Potência**. Disponível Em: [<https://Www.Goconqr.Com/Mapamental/37315253/Sistema-Eletrico-De-Potencia>](https://Www.Goconqr.Com/Mapamental/37315253/Sistema-Eletrico-De-Potencia/). Acesso Em: 14 Ago. 2022.

Engetec - **Instalação De Banco De Capacitores**. Engetecengenharia.Com.Br. Disponível Em: [<http://Engetecengenharia.Com.Br/Instalacao-De-Banco-De-Capacitores/>](http://Engetecengenharia.Com.Br/Instalacao-De-Banco-De-Capacitores/). Acesso Em: 13 Dez. 2022.

Microsoft Corporation. (2022). **Microsoft Excel** [Versão 2022]. Redmond, WA: Microsoft Corporation.

Oliveira, Felipe. **O Que É Eficiência Energética E Quais Os Seus Benefícios** - Helexia. Helexia. Disponível Em: [<https://Www.Helexia.Com.Br/O-Que-E-Eficiencia-Energetica-E-Quais-Os-Seus-Beneficios/>](https://Www.Helexia.Com.Br/O-Que-E-Eficiencia-Energetica-E-Quais-Os-Seus-Beneficios/). Acesso Em: 27 Abr. 2023.