

## Bancada didática: controle e medição fator de potência

**DIAS, Izabella Gomes**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. izagomesdias2224@hotmail.com

**MATIAS, Erick Victor Alves**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. erick.victoram@hotmail.com

**FILHO, Paulo César de Oliveira**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. pcesar77783@gmail.com

**GITIRANA, Maik Batista**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. batistamaik@gmail.com

**SANTOS, Adriano Machado dos**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. adriano.santos@docente.unievangelica.edu.br

**RODRIGUES, Rosemberg Fortes Nunes**

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. rosemberg.rodrigues@unievangelica.edu.br

### Resumo

A fim de colaborar com o conhecimento de construção de bancadas e o desenvolvimento dos estudos em Eficiência Energética com foco em correção do fator de potência, onde visa melhor qualidade da energia recebida. Este projeto visou o estudo para apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, referente ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Evangélica de Goiás tendo como objetivo de ter a oportunidade de explorar o estudo sobre eficiência energética e de forma didática seja criada uma bancada para que possa mostrar na prática como esse tema está envolvido nos meios acadêmicos e industriais, quais aspectos ele aponta, o que é e para que o fator de potência é importante nas cargas, como corrigir para cada sistema necessário e como contribui para a qualidade de energia. Através de pesquisas e seleções, destacou-se alguns artigos referência que contribuiu para o desenvolvimento da bancada didática para os acadêmicos do curso conseguir assimilar durante as aulas de laboratório, os princípios teóricos envolvidos na definição do fator de potência e suas consequências práticas nos sistemas de transmissão de energia. Para a construção da bancada, através de dimensionamento e cálculos desenvolvidos para um circuito trifásico, foram escolhidos os equipamentos e materiais que serão necessários para a visualização do comportamento do FP, como e quando deve ser corrigido para um bom funcionamento do circuito trifásico principalmente dentro das indústrias. Os equipamentos que foram necessários são: indutores, capacitores, wattímetros, amperímetro, cossefímetro, resistores, voltímetro, condutores e equipamentos que compõem as ligações. Os resultados obtidos foram encontrados conforme os dimensionamentos iniciais e foram registrados através de 3 ensaios, obtendo valores variáveis do FP sendo necessária a correção no último ensaio, obtendo o valor ideal de 1.

**Palavras-Chave:** Eficiência Energética; Fator de Potência; Bancada Didática.

## 1. Introdução

De acordo com JUNIOR E PETRY (2012), todo equipamento elétrico consome uma determinada potência para realizar sua função, no entanto, uma parcela de potência consumida é destinada para gerar campos elétricos e magnéticos dentro das máquinas e equipamentos que são armazenados por um determinado instante e devolvidos à rede.

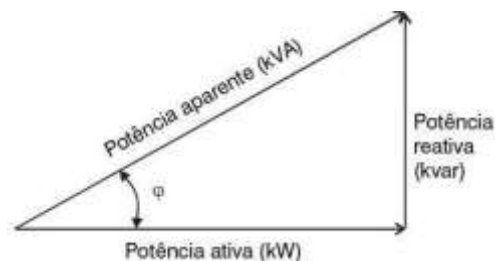
O FP (Fator de potência) é a relação existente entre a potência ativa de a potência aparente em um circuito num determinado momento:

$$fp = P/S \quad (1)$$

Onde P é a potência ativa (W) e S é a potência aparente (VA).

Como mostra MAMEDE (2010), o FP pode ser definido também ao conhecido “triângulo de potências” apresentado na Figura 1 e expresso através do diagrama fasorial (sistemas puramente senoidais):

Figura 1: Triângulo das potências



Fonte [1]

A potência devolvida é chamada de potência reativa que precisa existir para alimentar os campos elétricos e magnéticos, de modo que o uso do sistema elétrico é regulado por leis específicas da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL para limitar os possíveis problemas no sistema elétrico brasileiro.

A maioria das cargas das unidades consumidoras necessita de energia reativa, tais como: motores transformadores, reatores para lâmpadas de descarga, fornos de indução. As cargas indutivas necessitam de campos eletromagnéticos para seu funcionamento, por isso sua operação requer dois tipos de potência: ativa e reativa. Assim, enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação a potência reativa, ocupando “espaço” no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa. Conclui-se que um alto FP indica uma eficiência alta e inversamente, um fator de potência baixo indica baixa eficiência energética.

Os equipamentos indutivos e capacitivos quando operados em corrente alternada causam defasagem entre a tensão da rede e a corrente da carga, modificando o montante de potência reativa demandada da rede elétrica, esta defasagem é medida e é denominada de fator de potência.

Tendo em vista a diferenciação entre as potências observadas, o FP auxilia na demonstração de quanto a potência sendo solicitada pelas cargas elétricas é efetivamente convertida em trabalho útil. Em outras palavras, o FP é um índice de utilização de energia cujo controle adequado em instalações consumidoras é extremamente importante, não apenas sob o ponto de vista eletro-energético, como pelo fato de ser monitorado pelos sistemas de medição das concessionárias, podendo incorrer em custos adicionais nas contas de energia elétrica.

O FP tem sido regulado por leis conforme a necessidade do sistema elétrico brasileiro, podendo-se relatar um breve histórico desta regulação: Iniciada em 17 de maio de 1968 pelo Decreto nº 62.724, reformulada pelo Decreto nº 75.887 de 20 de junho de 1975, que estabeleceu um aumento do fator de potência de 0,8 para 0,85 no intuito de limitar o fornecimento de energia reativa. Posteriormente, o Decreto nº 479 de 20 de março de 1992 reiterou a obrigatoriedade das concessionárias e consumidores em manter o fator de potência próximo de 1,00 e recomendou ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, um novo limite de referência para o fator de potência indutivo e capacitivo. A nova legislação, atualmente em vigor, estabeleceu o novo patamar para o fator de potência em 0,92, além do faturamento da energia reativa excedente e da redução

do período de avaliação do fator de potência de mensal para horário a partir de 1996 para consumidores com medição horo sazonal.

Baixos valores de fator de potência podem causar vários problemas sendo os mais comuns a elevação da corrente no circuito, o aumento do aquecimento nos condutores, a necessidade de transformador maior, o acréscimo na conta de energia e equipamentos de proteção mais robusta que o necessário.

Portanto para este artigo, será dada ênfase à correção do fator de potência, a qual consiste em ajustar o valor de potência da carga para um número igual ou superior a 0,92. Portanto, o uso da bancada didática pode identificar e produzir meios que permitam, num ambiente acadêmico, ensinar conceitos que envolvem a redução de problemas gerados por FP desajustado e promover uma melhor eficiência energética, em consonância com aplicações de correção de fator de potência.

## 2. Metodologia

Esse trabalho foi realizado a partir do tema proposto pelo NDE (Núcleo Docente Estruturante) para a semana de engenharia, desenvolvimento de bancadas técnicas didáticas, que visa oferecer aos alunos experiências multidisciplinares, e possibilitar a vivência prática das teorias aprendidas, com o objetivo de utilizar esses equipamentos desenvolvidos pelos discentes para o ensino prático de processos.

Já com o tema pré-estabelecido, iniciou-se a procura por literaturas relacionadas e para isso, foram consultadas as bases de dados para pesquisa: Google Academic, Springer, PubMed, Science Direct, Web of Science. A partir da proposição do tema e sugestão de foco, decidiu-se que o trabalho trataria sobre eficiência energética com ênfase em correção de fator de potência, desta forma, as buscas foram realizadas em torno desse assunto.

Com pesquisas na base de dados Google acadêmico e Science Direct, utilizando-se os seguintes strings “bancada didática”, “correção de fator de potência”, “eficiência energética”, “fator de potência”, e, “didatic bench”, “power factor AND energy efficiency”, foram encontradas referências que tratam sobre o assunto. A partir dos resultados encontrados, foram feitas seleções, iniciadas pelos títulos, excluindo da busca os artigos que não possuíam relação com o tema escolhido, logo após, por meio dos resumos, novamente selecionando apenas os correlatos, e por fim, a última seleção foi feita a partir da leitura completa dos trabalhos, excluindo os que embora tratassem do mesmo tema, não possuíam informações relevantes para o desenvolvimento deste trabalho.

A partir dos resultados da pesquisa e seleção, cada referência fora analisada de forma isolada, levando em consideração diferentes aspectos a serem debatidos, como, por exemplo, características técnicas do sistema, diferentes aplicações, sustentabilidade, qualidade na execução de processos, aquisição de dados, economia e segurança, após extração das informações necessárias, os resultados obtidos separadamente foram reunidos e discutidos para evidenciar o objetivo deste trabalho que é ressaltar a importância da eficiência energética, e o quão importante é para os engenheiros em formação vivenciar a prática, por meio de laboratórios e bancadas didáticas.

A análise de referência, JUNIOR e PETRY (2012), é uma base de estudo de um circuito monofásico que visa o estudo de correção de potência. O intuito do projeto é desenvolver um circuito trifásico que seja avaliado como é o comportamento em um modelo mais utilizado em grandes indústrias, onde o conceito FP tem elevada importância. Também é observado quando é necessário a correção de do FP e como pode afetar na eficiência energética. Através dos estudos aplicados nas disciplinas de Transmissão de energia elétrica, com ênfase no conhecimento de qualidade de energia e Sistemas Elétricos de Potência I e II, que enfatiza o estudo do fator de potência e como ele pode beneficiar para o uso de uma energia eficiente e com menos perdas durante o processo.

Baseado na monografia referência que desenvolveu a bancada monofásico, decidiu-se que a construção da bancada trifásica teriam resultados que poderiam ser um exemplo do que pode ocorrer em muitas indústrias. Para a construção da bancada, através de dimensionamento e cálculos desenvolvidos para um circuito trifásico, foram escolhidos os equipamentos e materiais que serão necessários para a visualização do comportamento do FP, como e quando deve ser corrigido para um bom funcionamento do circuito trifásico principalmente dentro das indústrias. Os equipamentos que foram necessários são: indutores, capacitores, wattímetros, amperímetro, cossefímetro, resistores, voltímetro, condutores e equipamentos que compõem as ligações.

Estabelecido um padrão da utilização dos equipamentos na bancada é desenvolvido o circuito trifásico para representação das ligações da bancada e como ela funciona teoricamente representadas nas figuras 2 e 3.



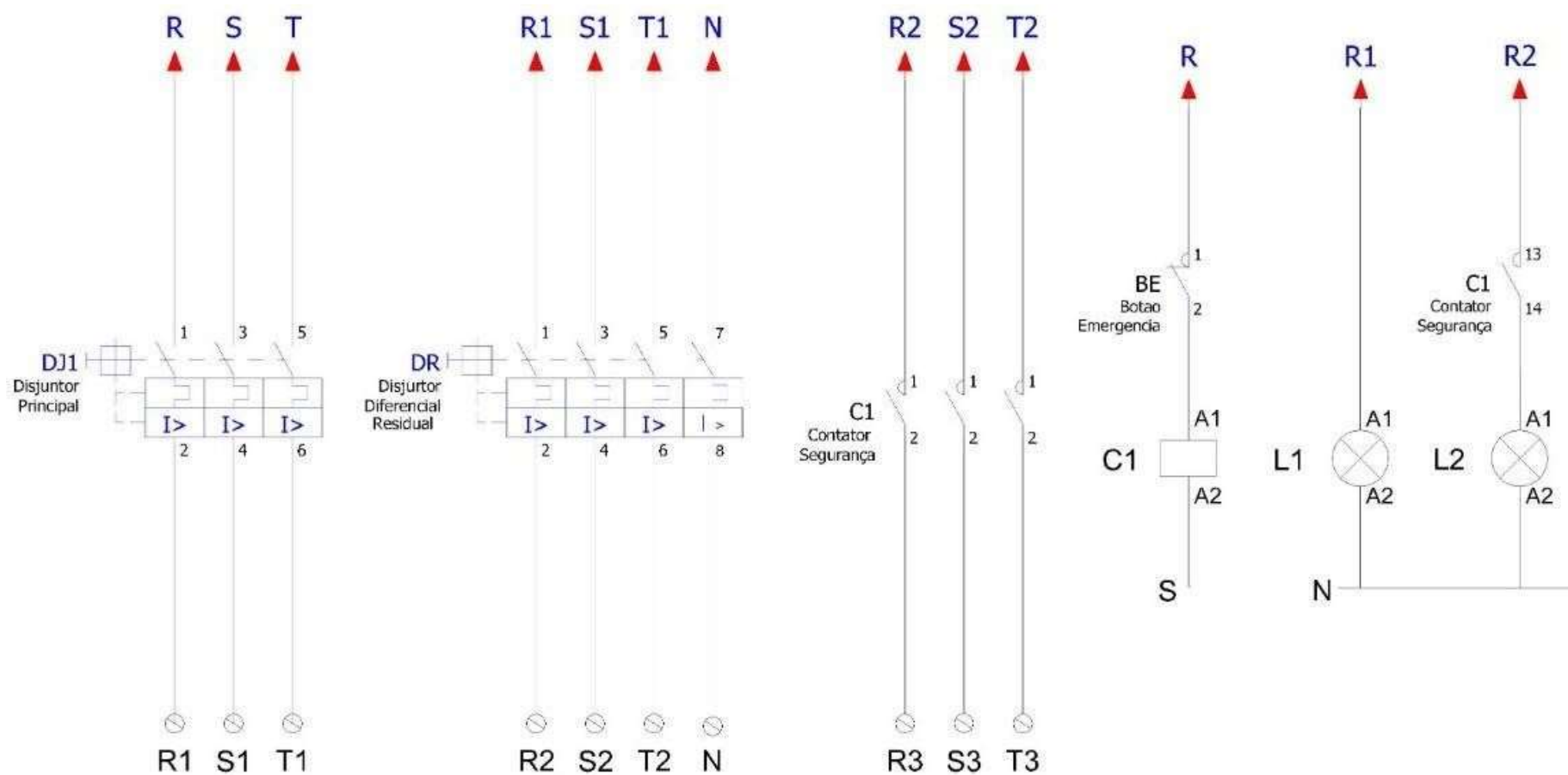
## 6º Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias 27 a 29 de outubro de 2021

Anápolis, GO - UniEVANGÉLICA

---

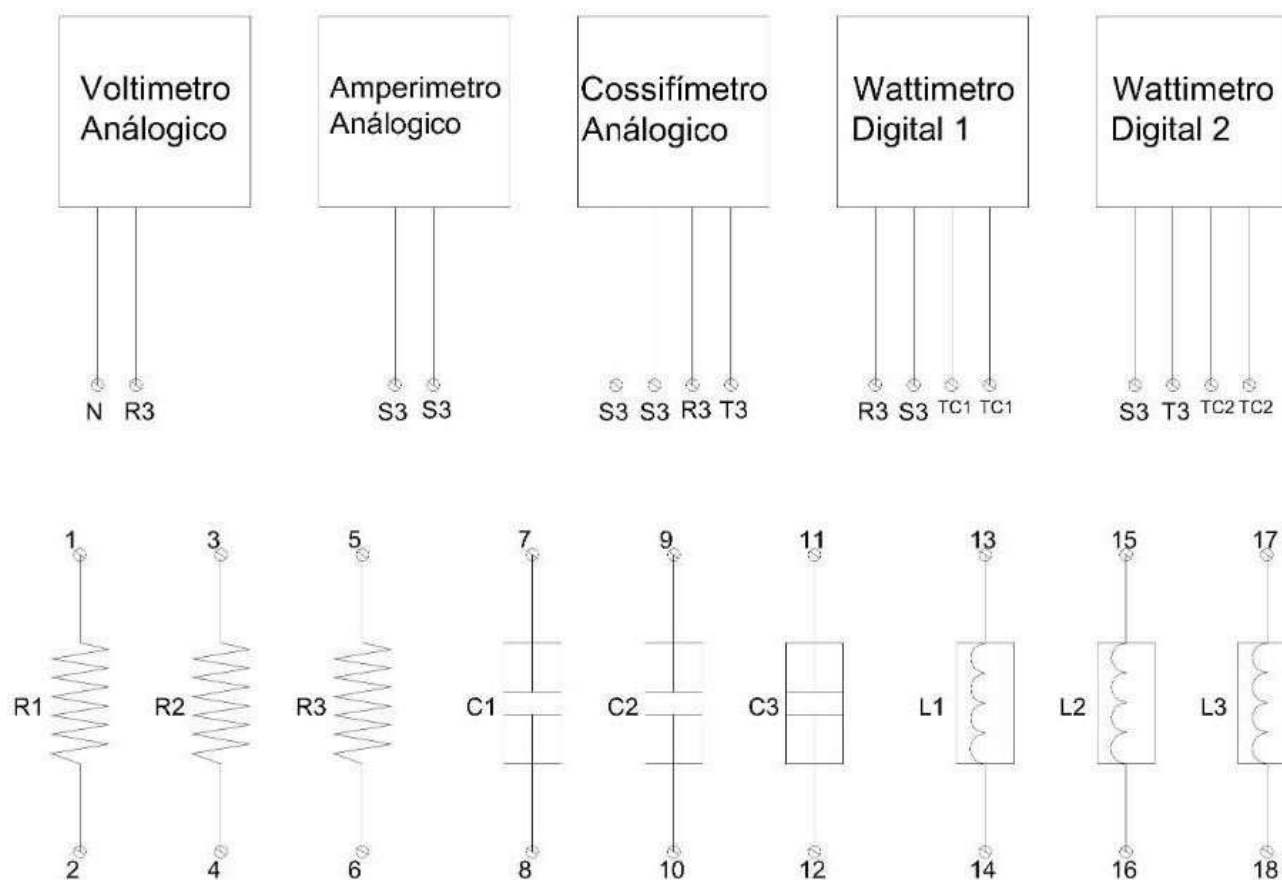
Desenvolvida pelo grupo através dos estudos teóricos desenvolvidos durante o curso e sendo representados através dos dispositivos conforme dispostos na bancada didática.

Figura 2: Ligações



Fonte: Autores

Figura 3: Ligações



Fonte: Autores

As figuras 2 e 3 representam as ligações que são usadas devidamente para que a bancada seja energizada. Seguramente analisada para que todos os sinais iniciais de emergência sejam acionados após a energização e todos os dispositivos estejam devidamente carregados eletricamente e seja possível realizar as leituras.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Fator de Potência e estado da arte

De acordo com a legislação vigente, estabelecida pela Resolução Normativa Nº 414 de 9/10/2010 da ANEEL e alterada pela Resolução Nº 569 de 23/07/2013 onde determinou - se os limites do FP, bem como a aplicação da cobrança pela energia reativa e potência reativa excedente, os intervalos a serem considerados são: O período de 6 (seis) horas consecutivas, compreendido, a critério da distribuidora, entre as 23h30min e as 6h30min, apenas para os fatores inferiores a 0,92 capacitivo, verificados em cada intervalo de uma hora; O período diário complementar ao definido anteriormente, ou seja, entre as 6h30min e as 23h30min, apenas para os fatores de potência inferiores a 0,92 indutivo, verificados em cada intervalo de uma hora.

Uma forma de avaliar se a energia reativa está sendo utilizada racionalmente é relacioná-la com a energia ativa através do FP, ou seja, valores altos de fator de potência (próximo de 1,00) indicam que está sendo utilizada pouca energia reativa em relação à energia ativa, revelando uso racional de energia elétrica. Em oposição, valores baixos de fator de potência (abaixo de 0,92) indicam que há excesso de energia reativa. (SILVA, 2009).

De uma forma resumida, o Fator de Potência (FP) nada mais é que uma medida de quanto da potência elétrica consumida está de fato sendo convertido em trabalho útil. Segundo a Legislação Brasileira, o FP mínimo permitido para as contas de energia é de 0,92. Abaixo deste valor, a concessionária deve cobrar multa na fatura de energia sobre o consumo de potência reativa além dos 8% máximos permitidos.

As principais cargas que causam baixo FP são lâmpadas fluorescentes, transformadores em vazio (sem carga) ou com baixa carga em motores de indução (motores mais usados na indústria). Equipamentos baseados em resistências elétricas como lâmpadas incandescentes e aquecedores elétricos em geral tem FP próximo a 1, ou seja, são os que menos contribuem para o surgimento das multas.

Tanto a energia reativa indutiva como a energia reativa capacitivo excedente serão medidas e faturadas. O ajuste por baixo fator de potência será realizado através do faturamento do excedente de energia reativa indutiva consumida pela instalação e do excedente de energia reativa capacitiva fornecida à rede da concessionária pela unidade consumidora.

Com base em uma revisão sistemática da monografia publicada por JUNIOR e PENTRY (2012), a qual demonstra como foram realizados os estudos teóricos e práticos para desenvolvimento de uma bancada didática para estudo de FP, mostrando a necessidade desse sistema no estudo do comportamento de cargas resistivas, indutivas, capacitivas e das possíveis combinações entre as mesmas, além de ressaltar a problemas decorrentes de um baixo fator de potência, assim como os benefícios de sua correção.

Segundo os autores da mencionada monografia, os problemas mais comuns relacionados ao baixo fator de potência incluem o aumento da seção dos condutores do sistema, devido à maior corrente que circulará nos condutores, além disto, é possível destacar o maior aquecimento dos condutores, a exigência de transformadores e proteções mais robustas, bem como o aumento da conta de energia elétrica. Em contrapartida, a correção do fator de potência traz consigo benefícios como, desaparecimento do aumento na conta de energia, melhor aproveitamento da energia para realização de trabalho, redução nas oscilações de tensão, menor aquecimento nos equipamentos (melhor aproveitamento), diminuição das perdas por liberação de carga nas instalações e melhor rendimento dos transformadores.

A correção do FP tem o objetivo de deixar a rede elétrica mais eficiente, e isso ocorre através de diferentes formas, sendo amplamente difundida a técnica de instalação de bancos de capacitores. Os bancos de capacitores são basicamente unidades onde ficam os sistemas de manobra, proteção e controle. Existem dois tipos de banco de capacitores: Banco de capacitor fixo: este não possui nenhum tipo de controle, os capacitores ficam ligados ao sistema independentemente das condições de carga representado pela figura 4 e o Banco de capacitor automático: geralmente possui um controlador eletrônico, o qual retira ou insere carga no sistema de acordo com o fator de potência representado pela figura 5.

Figura 4: Banco de capacitor fixo.



Fonte [4]

Figura 5: Banco de capacitor automático



Fonte [5]

De forma conceitual, baseado em eficiência energética e publicado por ROLIM (2019), que evidencia a importância do planejamento industrial de gestão de energia elétrica, já que este é um dos recursos mais importantes para a produção industrial, que por sua vez, necessita de uma grande confiabilidade quando se trata do fornecimento de energia, e isso, primeiramente remete a uma maior geração, porém, investimentos em projetos para economia de energia são mais viáveis do que aumentar a geração, quando se trata de indústrias os benefícios aumentam, porque além da economia de energia e redução de custos, leva-se em consideração a melhoria nos processos.

Uma forma de desenvolver a gestão de energia elétrica é por meio da eficiência energética corretiva, que pode ser atingida por meio da inovação tecnológica e conscientização sobre o uso racional da energia elétrica, sendo assim, uma das principais áreas para se por em prática a eficiência energética é na correção do fator de potência, e como dito por MARTON (2017), a maior parte das empresas brasileiras pagam multas todos os meses em decorrência do fator da potência estar abaixo do que está previsto.



MARTON (2017) apresenta uma abordagem mais pedagógica do que técnica, quando comparada ao trabalho citado anteriormente, porque desenvolve um estudo sobre a implementação do estudo do fator de potência e eficiência energética já no ensino médio. Uma bancada didática é utilizada como ferramenta para promover um ensino mais dinâmico e ativo por parte dos alunos, utilizando a “Abordagem de Vygotsky” como referencial pedagógico. A “Abordagem de Vygotsky” é um método de aprendizagem por assimilação, aplicado a indivíduos com diferentes capacidades cognitivas (alunos), e um mediador (professor). Esse método influencia os alunos a terem uma base da importância da eficiência energia e o porquê a correção do fator de potência pode alterar a qualidade de energia que sai da concessionária e entra em grandes empresas.

Para o desenvolvimento da bancada, foi utilizado como base a monografia publicada por JUNIOR e PETRY que possui uma bancada monofásica, porém como forma de contextualizar a teoria com a prática, foi decidido que uma bancada trifásica teria melhor proveito para o ensino, já que os sistemas que se faz necessário as correções do FP são em sua maioria trifásicos.

Ressaltar o princípio de funcionamento da bancada didática para a visualização da correção de FP é de extrema importância, pois pode haver situações que acontece no dia a dia dentro das empresas e será possível ver o quão isso altera na qualidade de energia que a empresa tem, como pode afetar outros pontos. Para o ambiente acadêmico, o estudo dessa correção é compreender as características importantes do FP em relação a eficiência energética, aprender de forma prática como ocorre essa correção, como será feito, entender a importância dos equipamentos elétricos, principalmente o uso dos capacitores, principal elemento capaz de realizar a correção e por fim, associar os estudos teóricos com a prática, sendo possível o uso da bancada para desenvolvimentos de pesquisas e análises de dados e informações.

Figura 6: Exemplo de bancada inicial



Fonte [6]

A bancada didática de medidas elétricas desenvolve habilidades nos estudantes em uma série de tarefas sobre técnicas de medição de grandezas elétricas, iniciando de uma maneira bem simples com circuitos alimentados por fonte de corrente contínua e evoluindo para corrente alternada monofásica ou trifásica. A bancada foca não só nas habilidades, mas também, nos requisitos de segurança que o profissional da área deve seguir.

### 3.2. Bancada didática

A partir da análise da referência, JUNIOR e PETRY, foi montado um circuito elétrico trifásico Y-Y equilibrado, com cargas resistivas e indutivas para simular uma carga real, capacitores para correção do fator de potência. O desenvolvimento da lista de orçamentos foi baseado no modelo monofásico de bancada apresentado na referência, porém com intuito de representação trifásica, conforme obetendo-se a listagem da tabela abaixo:

Quadro 1: Lista de materiais

Componentes	Quantidade	Características
Borne	42	Borne para pino banana vermelha

Borne	6	Borne para pino banana azul
Borne	2	Borne para pino banana verde
Botão de emergência	11	-
Condutor	20	Vermelho 1,5mm <sup>2</sup>
Condutor	15	Azul 1,5mm <sup>2</sup>
Condutor	5	Verde 1,5mm <sup>2</sup>
Contatora	1	Contator Tripolar, 380V CA, 25A
Indutor	3	Monofásico, 220V CA, 2A, 60Hz, dimensão: 165mH
Metalon	12	-
Pino	42	Banana vermelho
Pino	42	Banana azul
Pino	42	Banana verde
Wattímetro	2	10000W - 400VCA - 5A
Amperímetro	1	5A (Analógico)
Capacitor	3	13µF, 220V, 2A CA, 60Hz
Cossefímetro	1	Analógico
Disjuntor	1	Tripolar 16A
DR	1	Tetrapolar 16A
Resistor	3	100Ω, 500W
Voltímetro	1	400V (Analógico)

Fonte: Autores, 2021

Realizado as escolhas dos equipamentos e componentes, realizou-se uma pesquisa de preço devido ser materiais e características específicas. Realizada as cotações individualmente e dado ênfase nos equipamentos de mais difícil acesso, coletou-se os seguintes dados: para os resistores, o valor aproximado de cada unidade R\$ 217,00 reais; os indutores: R\$ 280,00; os capacitores: R\$22,90 por serem mais comuns de encontrar no mercado; os wattímetros: R\$ 115,00; o cossímetro: R\$ 271,00; DR e contatora aproximadamente R\$ 78,00 . Os demais materiais como: condutores, bornes e os pinos variam nos valores até aproximadamente R\$ 3,00. Totalizando uma cotação por volta de R\$ 3.800,00 para a construção da bancada.

Os instrumentos foram dimensionados para a bancada com o intuito de simular um sistema trifásico real. Por se tratar de uma bancada didática, algumas grandezas trabalhadas como corrente e potência foram ajustadas para valores baixos para manter a segurança da utilização da bancada e a tensão foi estabelecida em aproximadamente 311 volts de pico para que a tensão de fase seja em torno de 220 volts eficazes.

Definir os resistores foi umas das etapas essenciais por notar a potência a ser dissipada pelo sistema. Por questões de segurança experimentais, os resistores utilizados serão 100Ω, para manter a baixa potência e corrente dos equipamentos.

Estabelecido um fator de potência de interesse de 0,85, encontra-se um ângulo de necessário na impedância, de 31,78° em sua representação fasorial. A impedância por fase será, portanto 100+j62Ω, implicando, para a frequência de 60Hz (comum ao sistema brasileiro) e um indutor de 162mH por fase, e 227 varW de potência reativa por fase.

Desta configuração, caso o fator de potência desejado fosse 1, seria necessária a instalação de um capacitor de exatos 227 var (negativos) para anular o valor solicitado pela indutor da fase. Assim sendo, se faz necessário uma impedância capacitiva de 213,2Ω por fase e para atingir esse valor torna-se necessário um capacitor de 12,5 µF.

Para a correção deste fator de potência, deve-se zerar ou reduzir a potência reativa, adicionando uma carga igual ou próxima da mesma, porém com solicitação de potência reativa oposta à do circuito original. Como, o sistema possui característica indutiva, potência reativa será solicitada por uma carga capacitiva, calculada por meio da equação:

$$Q_c = V^2/X_c \quad (2)$$

Por questões de disponibilidade de catálogo e buscando o fator de potência próximo à 0,92, o capacitor escolhido para a bancada foi de 13 µF. Este capacitor representará uma impedância capacitiva de 204 Ω na frequência fundamental, solicitando a potência reativa de 237,25 var (negativos).

As grandezas trabalhadas no sistema são medidas por meio dos instrumentos descritos e esquematizados

nos anexos 1 e 2. O voltímetro é utilizado para ler a tensão entre condutor fase e condutor neutro, já o amperímetro é utilizado em uma das fases para medir a corrente. O cossímetro deve comparar a tensão e a corrente de uma fase para determinar o FP. E os wattímetros serão conectados utilizando a técnica de medição de “dois wattímetros”.

O esquema elétrico desenvolvido pelo software autoCAD direciona como serão utilizados os equipamentos conforme as bases de cálculo. Ao energizar os bornes de entrada da bancada, a mesma se encontrará pronta para os estudos a serem realizados. Após energizá-la, liga-se os disjuntores de proteção para que haja eletricidade nos demais pontos, por segurança dos demais é inserida uma botoeira de emergência que, quando liberada, aciona um contator de segurança. Este contator dá condições para a eletricidade chegar a todos os pontos de interligação. Os elementos base utilizados na construção da bancada podem ser observados na figura 7.

Figura 7: Materiais e equipamentos



Fonte: Autores, 2021

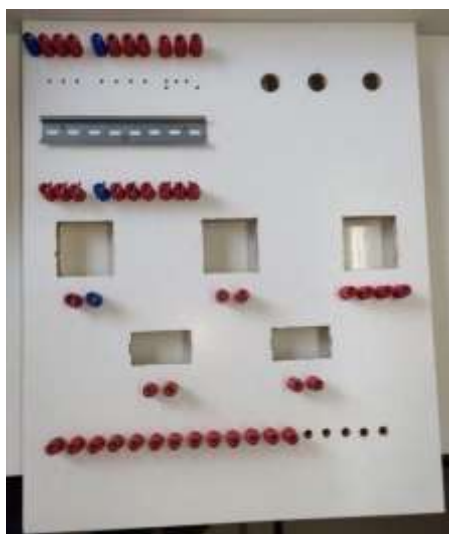
A bancada foi projetada tendo-se em mente o uso didático para percepção da correção do fator de potência e seus impactos no sistema elétrico. A sequência idealizada de utilização dos equipamentos de medição e componentes do circuito está descrita no item 3.4, constando o roteiro didático proposto. Seguindo todo estudo, desenvolvimento teórico inicial e após os equipamentos e materiais serem realizadas as solicitações de compras, aguarda-se a entrega dos mesmos para o início do desenvolvimento da bancada.

De início é abordado um exemplo de bancada conforme o artigo referência, porém, através de análises, indicações de professores e técnicos, decidiu-se realizar a mudança de estrutura da bancada para que seja mais fácil de transportá-la, caso seja necessário e também seja mais prático visualizar o funcionamento da mesma.

Os anexos 1 e 2 desenvolvidos no software autoCAD, representam o esquema das bancadas. No anexo 1 é representado o esquema da bancada inicial, baseado no artigo referência, porém por se tratar de uma estrutura grande poderia ter complicações de locomoção da bancada e os equipamentos poderiam ficar dispersos. Portanto, conforme o anexo 2, a alteração na escolha da estrutura da bancada é devido ao modelo indicado ser mais prático e os equipamentos utilizados para o projeto ficarem totalmente visíveis e de fácil identificação.

Conforme os equipamentos e materiais estão dispostos para ser utilizados, foi necessário realizar o dimensionamento de cada um, como seriam posicionados e como seriam feitas as ligações dos equipamentos, conforme representado na figura 8.

Figura 8: Bancada dimensionada e cortada



Fonte: Autores, 2021

Após todos os passos conferidos é necessário realizar as ligações dos equipamentos, porém algumas dificuldades foram encontradas. Durante a definição dos equipamentos foi decidido a necessidade de 3 (três) resistências para um bom desempenho da bancada trifásica, porém, durante a conferência de materiais, somente 1 (uma) das resistências foi disponibilizada, portanto, foi necessário a solicitação das resistências para dar continuidade a montagem da bancada. Após o problema ser solucionado, foi possível realizar as ligações de todos os equipamentos, representada pela figura 9.

Figura 9: Bancada finalizada



Fonte: Autores, 2021

A bancada é energizada obtendo as informações conforme é demonstrado. As luzes vermelha e verde são acionadas quando a bancada está energizada e quando está em uso, respectivamente sendo possível observar assim que os disjuntores e o botão de emergência são acionados.

### 3.3 Bancada em funcionamento

A partir da finalização sobre a questão estrutural e ligações conforme o circuito da figura 11, o funcionamento da bancada, após a energização é necessário observar as luzes de advertência que sinalizam a situação da bancada (energizada ou não) e armar as proteções: disjuntor (para evitar sobrecargas), contatora e DR (para evitar fugas de corrente como: choques elétricos), logo após, verificar os instrumentos de medição tensão e corrente, voltímetro e amperímetro para constatar a passagem dessas grandezas através do circuito, em seguida acionar a carga, resistores e indutores, mais adiante checar os wattímetros e o cosfímetro, para obter os valores de potência dissipada e fator potência respectivamente. Por fim, acionar os capacitores para correção do fator de potência.

Sendo finalizadas as fixações, energizou-se parte da bancada pela primeira vez, onde pode-se observar o valor da tensão que a mesma recebia de 220V, potência dos indutores de aproximadamente 800W, e corrente de 2.2 A. Na segunda vez da energização da bancada, foi energizada completamente e observado o primeiro problema. As resistências adquiridas não são isoladas, portanto, quando energizada, duas das três resistências entraram em curto-circuito (ocorre quando a corrente elétrica atravessa um condutor ou um dispositivo com resistência desprezível, causando um superaquecimento).

Utilizando multímetro e realizando uma análise, constata-se que as resistências estavam danificadas devido a baixa resistência no funcionamento do circuito e a partir de um olhar mais técnico, foi analisado que as resistências estavam com as trilhas rompidas devido ao curto. Sendo realizado os reparos das mesmas, foram recolocadas nas posições, fixadas e medidas, obtendo o valor de 100  $\Omega$ . Conforme a figura 10 é representado os problemas citados devido a bancada estar energizada e o cosfímetro não demonstrar nenhuma leitura.

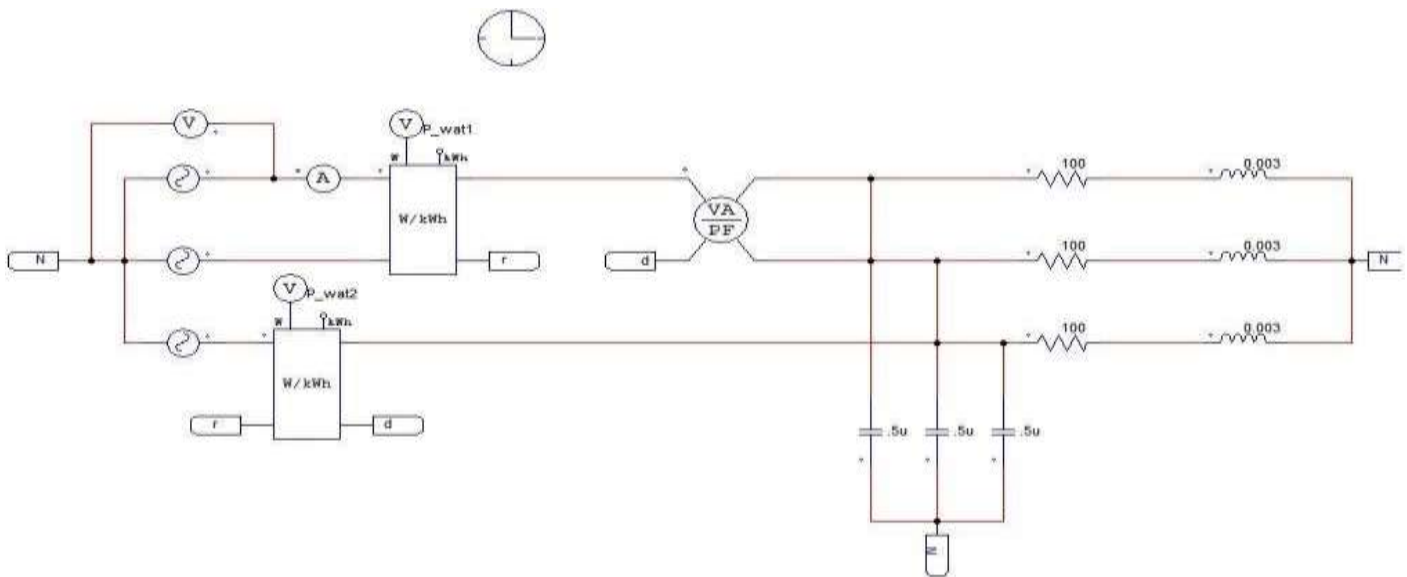
Figura 10: Bancada finalizada



Fonte: Autores, 2021

A partir que a bancada foi energizada, pode-se analisar a tensão no voltímetro, a corrente, a potência nos indutores e nos resistores e a potência dissipada em um dos ensaios realizados. Durante o teste foi observado que no esquema elétrico desenvolvido e representado na figura 11.

Figura 11: Esquema elétrico



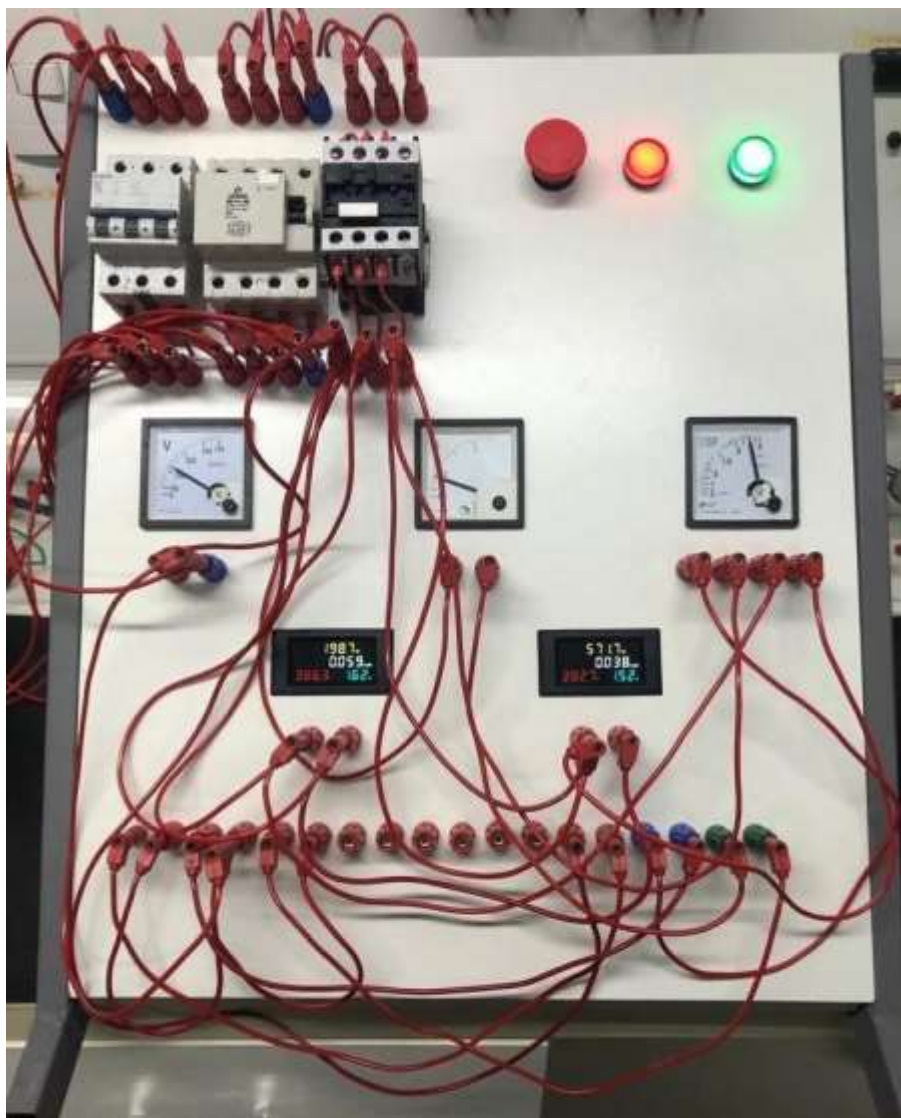
Fonte: Autores, 2021

Portanto, com o uso do software, não obtinha a opção de inserir o cossifmetro, sendo necessário fazer uma adaptação, representado esquema elétrico pelo simbolo nomeado por VA/PF, para que o mesmo seja inserido no circuito. Durante o funcionamento da bancada, foi analisado que o cossifmetro não estava realizando as leituras conforme o previsto. Durante novos testes e alterações de ligações foi detectado que os indutores

adquiridos não conseguiam dissipar a capacidade de potência reativa gerada no sistema, por isso, um dos indutores danificou-se. Os indutores adquiridos obtêm a potência de 120VA e a tensão de 220V, sendo necessário rebobinar todos para que pudessem suportar a potência durante o processo.

Sendo religados os dispositivos, energizada a bancada, foi possível realizar os ensaios e por fim observar o funcionamento do cossifmetro e o uso dos capacitores para correção do FP. Foram realizados vários ensaios com características diferentes para realmente ser observado o comportamento de cada instrumento durante cada ligação. O primeiro ensaio foi realizado com somente os resistores energizados analisando os valores de potência, corrente e tensão nos wattímetros e o FP no valor de 1. No segundo ensaio com a bancada energizada e com os indutores e capacitores em série, analisando o funcionamento com os capacitores desligados na pré correção do FP obtendo uma variação nos valores encontrados na potência, corrente e tensão e o FP no valor de 0,7. E por fim, a bancada realizando a correção do valor encontrado anteriormente, sendo possível o valor ser o de 1.

Figura 12: Bancada em funcionamento



Fonte: Autores

Conclui-se que o objetivo da construção e análise do funcionamento da bancada é alcançado sendo possível realizar o controle da medição do FP e ter uma visão de qual a importância e a relevância da correção do FP no caso real dentro de grandes indústrias e como pode afetar na eficiência energética.

### 3.4 Roteiro didático pedagógico

A correção do baixo Fator de Potência é uma das soluções para reduzir as perdas de energia elétrica, diminuir os riscos com acidentes elétricos por superaquecimento e, também, para evitar acréscimo na fatura de energia por estar operando com baixo fator de potência.

O baixo Fator de Potência pode ser corrigido com:

- O dimensionamento correto de motores e equipamentos;
- A seleção, utilização e operação correta de motores e equipamentos elétricos em geral;
- A utilização permanente de reatores de alto Fator de Potência;
- A instalação de capacitores ou banco de capacitores onde for necessário (de preferência próximo à carga);
- A instalação de motores síncronos em paralelo com a carga, o que normalmente não é economicamente viável em indústrias.

Quando o Fator de Potência é corrigido e elevado para 0,92 ou mais, a empresa passa a utilizar energia da forma mais correta e econômica. Isto acontece porque:

- Desaparece o acréscimo cobrado nas contas de energia elétrica com a correção do fator de potência;
- Melhora o aproveitamento da energia elétrica para geração de trabalho útil;
- Diminuem as variações de tensão (oscilações);
- Melhora o aproveitamento dos equipamentos com menor consumo;
- Aumenta a vida útil dos equipamentos;
- Os condutores tornam-se menos aquecidos, diminuindo as perdas por efeito Joule na instalação;
- Devido à liberação de carga, a capacidade dos transformadores alcança melhor aproveitamento.

O objetivo do roteiro é entender como funciona a correção do fator de potência através da utilização de cargas capacitivas aplicadas a circuitos com cargas resistivas e indutivas e as principais competências adquiridas com roteiro pedagógico é explanar sobre a forma de se corrigir o fator de potência com o uso de capacitor; corrigir o fator de potência e elaborar os triângulos de potência.

O procedimento experimental é saber analisar de forma prática todos os conceitos utilizados durante todo o progresso, desde aos dimensionamentos, a configuração do circuito elétrico, as ligações seguras, o conhecimento sobre os indutores, capacitores, resistências, a tensão, corrente, potência encontradas durante o experimento e o por quê os usos desses equipamentos e quais leituras que pode-se coletar através do uso da bancada.

Durante os procedimentos experimentais realizados foram registrados os valores dos seguintes ensaios:

**Quadro 2:** Dados coletados

Dados para análise	Ensaio		
	1º ensaio	2º ensaio	3º ensaio
	<b>Somente os resistores foram energizados</b>	<b>A bancada toda energizada, indutores e capacitores em série. (Pré correção – capacitor desligados)</b>	<b>Pós correção – Capacitor ligados</b>
Tensão no wattímetro 1	383,7 V	386,5 V	380,0 V
Tensão no wattímetro 2	385,0 V	383,0 V	378,3 V
Corrente no wattímetro 1	2,23 A	1,62 A	1,25 A
Corrente no wattímetro 2	2,18 A	1,53 A	1,20 A
Potência no Wattímetro 1	777,8 W	199,0 W	368.8 W
Potência no Wattímetro 2	752,0 W	572.4 W	421.7 W





# 6º Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias 27 a 29 de outubro de 2021

Anápolis, GO - UniEVANGÉLICA

<b>Fator de potência</b>	1	0,7 (indutivo ou atrasado)	1
--------------------------	---	----------------------------	---

Fonte: Autores, 2021

#### MEMORIAL DE CÁLCULO:

- Cálculo da Potência ativa ( $3V_f \times I_f \times \cos \Theta$ ):
  - $P = (3 \times 220 \text{ V}) \times 1,5 \text{ A} \times \cos (45,57^\circ) = 693,03 \text{ W}$
- Potência reativa ( $3V_f \times I_f \times \sin \Theta$ ):
  - $Q = (3 \times 220 \text{ V}) \times 1,5 \text{ A} \times \sin (45,57^\circ) = 706,96 \text{ Var}$

Os valores encontrados de tensão, corrente, potência e o FP nos ensaios são valores correspondentes através dos cálculos realizados. O ângulo  $45,57^\circ$  é obtido através do dimensionamento realizado através da impedância em sua representação fasorial. Os resultados estão tecnicamente de acordo com os dimensionamentos realizados pelos autores, sendo possível realizar varios testes para observar o comportamento dos capacitores quando estão ligados e desligados, como é realizada as leituras dos dispositivos, o uso do cossifmetro e os resultados encontrados a partir do uso da bancada.

#### 4. Conclusão

O FP é um índice adimensional que indica a representatividade da energia ativa perante a energia total absorvida por um equipamento ou uma instalação. Na prática, quando se diz que uma instalação apresenta baixo fator de potência, isso significa que a energia total consumida pelo conjunto de seus equipamentos em operação compõe-se por uma parcela de energia ativa e por uma parcela de energia reativa, tomando como base a faixa permissível para o FP estabelecida pela atual legislação para consumidores cativos (entre 0,92 indutivo e 0,92 capacitivo).

O objetivo da construção de uma bancada didática para estudo da correção do fator de potência. A bancada foi construída, com os seguintes dispositivos de medição e cargas: amperímetro, cosfímetro, voltímetro, wattímetro, cargas encontradas. Com a bancada é possível simular a defasagem e a correção da mesma, com cargas indutivas, capacitivas e resistivas. Durante a aquisição dos dispositivos e materiais necessários ao projeto, houve algumas dificuldades devido aos resistores e indutores que foram danificados, porém foram problemas rapidamente resolvidos.

A bancada foi construída com objetivo de proporcionar aos acadêmicos um meio adequado para aplicar os conhecimentos teóricos obtidos no decorrer do curso e ainda ressaltar a importância da correção do fator de potência através de simulações e cálculos. O projeto também utiliza-se simulações de circuito para dimensionar os dispositivos de medida, apresenta-se montagem prática e propôs procedimentos experimentais para aulas de laboratório. Os resultados encontrados são coerentes com as simulações e o resultados previstos andecipadamente, sendo assim, foi possível controlar e corrigir quando necessário o FP.

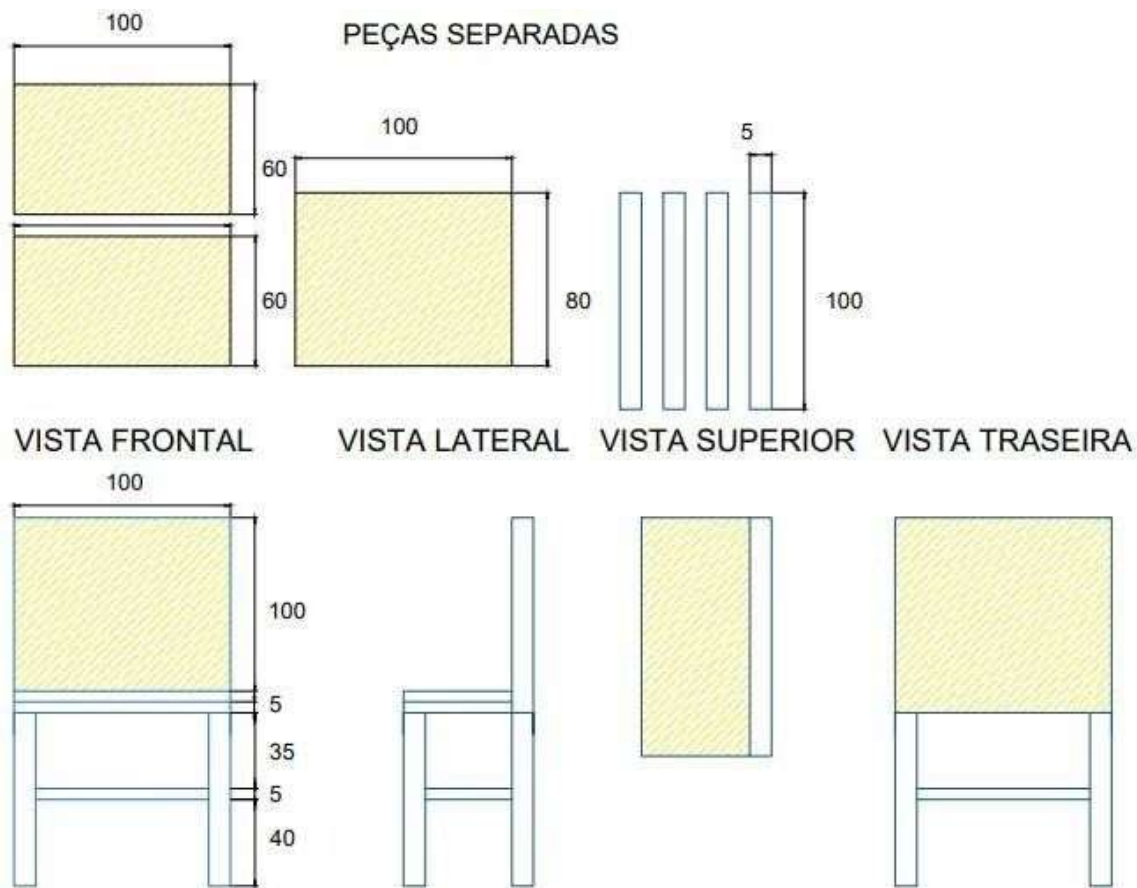
A correção do FP tem o objetivo de deixar a rede elétrica mais eficiente, e isso ocorre através de diferentes formas, sendo amplamente difundida a técnica de instalação de bancos de capacitores. Portanto, dentre os sistemas em corrente alternada, o sistema trifásico tornou -se o mais conveniente, por razões técnicas e econômicas (como a transmissão de potência com menor custo e a utilização dos motores de indução trifásicos), e passou a ser o padrão para a geração, transmissão e distribuição de energia em corrente alternada. E é importante corrigir o fator de potência através dos bancos de capacitores para reduzir a corrente elétrica que flui pelo sistema de transmissão de energia reduzindo perdas, permitindo uma melhor utilização dos transformadores e da rede existente e melhorando a desempenho do sistema elétrico como um todo.

## 5. Referências

- [1] **EngEletrica** - <http://www.engeletrica.com.br/fatordepotencia-manual-fatordepotencia.html>;
- [2] SILVA, A. M. D. **Uma Análise Comparativa entre a Simulação do Modelo Clássico de Capacitores de Potência e Capacitores de Potências Reais Testados em um Ambiente Laboratório Controlado**. Ed: Universidade de São Paulo - USP, São Carlos - São Paulo, 2013.
- [3] WEG Automação S.A. **Manual para Correção do Fator de Potência**. Jaraguá do Sul - Santa Catarina.
- [4] **Minulightcapacitores** - <https://www.minulightcapacitores.com.br/banco-de-capacitores-fixos-com-disjuntor/>;
- [5] **Ruthmann** - <http://www.ruthmann.com.br/produto/7/banco-de-capacitores-automatico/>;
- [6] **Algetec** - <https://www.algetec.com.br/br/bancada-didatica-de-medidas-eletricas>
- [7] SPOMBERG, T. K. **Conversor CC/CC Aplicado à Correção do Fator de Potência**. Ed: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- [8] JUNIOR, E. L. S; PETRY, J. R. **Bancada Didática Para Estudo de Fator de Potência**. Ed: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2012.
- [9] MARTON, I. L. D. A. **Desenvolvimento de um Protótipo de Bancada para Medição e Análise de Fator de Potência utilizando Osciloscópio aplicado ao Ensino de Física**. Ed: Universidade Estadual de Maringá, Maringá - Paraná, Fevereiro, 2017.
- [10] ROLIM, J. L. L. **A Importância de um Projeto de Eficiência Energética na Indústria**. 2019. 35p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica - Faculdade Pitágoras, São Luís, 2019.
- [11] GARCIA, A. G. P. **Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria**. Ed: Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, Dezembro, 2003.
- [12] SILVA, D. D. R. D. **Técnica para Correção do Fator de Potência e Aumento da Suportabilidade dos Circuitos Retificadores a Afundamentos Temporários de Tensão**. Ed: Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.
- [13] BENTO, A. A. D. M. **Estudo das Técnicas do Controle de Carga em Conversores Monofásicos para Correção de Fator de Potência**. Ed: Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Paraíba, Fevereiro, 2005.
- [14] SILVA, C. R. C. D; DESCHAMPS, E; PÉRES, A. **Eficiência Energética na Indústria**. Ed: Universidade Regional de Blumenau - FURB, Blumenau - Santa Catarina, 2009.
- [15] FERNANDES, R. A. S; SILVA, I. N. D; OLESKOVICZ, M. **Identificação de Cargas Lineares e Não Lineares em Sistemas Elétricos Residenciais Usando Técnicas para Seleção de Atributos e Redes Neurais Artificiais**. Ed: Revista Controle e Automação, Vol.: 21; Nº 4, São Carlos - São Paulo, Julho, 2010.
- [16] MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 9ª edição. Cap.4
- [17] SEIXAS, J.L. **Circuitos elétricos**. Unidade 3
- [18] ALEXANDER, C. K; SADIKU, M. N.O. **Fundamentos de circuitos elétricos**. Cap. 12
- [19] SILVA, M. C. I; **Correção do Fator de Potência de Cargas Industriais Com Dinâmicas Rápida**. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte - MG, 2009.

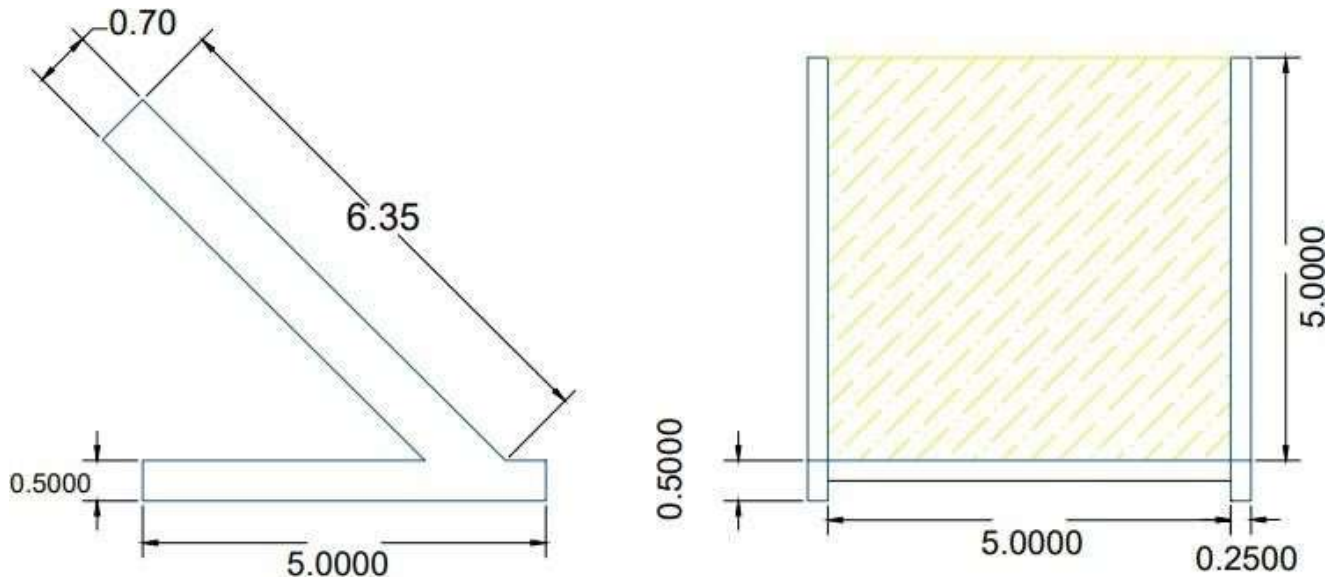
6. Anexos

Anexo 1: Bancada inicial



Fonte: Autores, 2021

Anexo 2: Bancada final



Fonte: Autores, 2021