

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
ENGENHARIA ELÉTRICA

FIDEL JUNQUEIRA RODRIGUES

CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Itatiba
2012

FIDEL JUNQUEIRA RODRIGUES – R.A. 002201000812

CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, campus Itatiba, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Profa. Dra. Annete Faesarella

Itatiba
2012

FIDEL JUNQUEIRA RODRIGUES

CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Monografia aprovada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, campus Itatiba, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data de aprovação: ___/___/___

Banca examinadora:

Profa. Dra. Annete Faesarella

Universidade São Francisco

Prof. Me. Renato Franco de Camargo

Universidade São Francisco

Prof. João Alex Franciscon Vaz

Universidade São Francisco

Para minha mãe Arlinda,
que infelizmente não está mais entre nós.

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais Arlinda e Mário, por todos os princípios me passados, sempre me apoiando e incentivando financeiramente e emocionalmente nos momentos mais adversos, mostrando sempre os melhores caminhos a serem seguidos e nunca deixando que pequenos acontecimentos ou fatos da vida me desanimassem de seguir em busca de meus objetivos e sonhos.

Aos demais familiares que sempre foram muito presentes nas minhas ações, sempre se preocupando com o meu bem estar e me apoiando em minhas decisões. Em especial minha irmã Ximena, a esposa do meu pai Maria de Fátima, meu avô Mário, minha avó Dirce e minha tia Arlete.

A Universidade São Francisco por ter me recebido de portas abertas, me transformando em Engenheiro e também me preparando para o mundo real e tudo que poderei encontrar pela frente.

A todos os professores e colaboradores da Universidade São Francisco que de alguma forma contribuíram para minha formação, em especial Prof(a). Dra. Annete Faesarella que aceitou o convite de ser minha orientadora neste trabalho colaborando sempre que necessário, Prof. Me. Renato Franco de Camargo que além de ser coordenador do curso e Engenharia Elétrica sempre foi um ótimo professor com quem sempre que precisei pude contar inclusive aceitando o convite para participar da minha banca de TCC, Prof. João Alex Franciscon Vaz pelas inúmeras dúvidas sanadas em suas aulas de laboratório e sempre disposto a ajudar indiferente do assunto que se tratava, também aceitando o convite para participar da minha banca de TCC.

A todos os meus amigos e colegas de faculdade, que sempre colaboraram de alguma forma, entre eles Luiz Alberto Silva que quando necessitei de um auxílio para conhecer a linguagem computacional LabVIEW se mostrou totalmente solidário e disposto a me ajudar, ao Diego Nunes e Carolina Nascimento pelos vários encontros para estudar para as temidas provas a serem feitas.

Enfim, sou grato a todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para a minha vida.

“A conquista da liberdade é algo que faz tanta poeira, que por medo da bagunça, preferimos, normalmente, optar pela arrumação.”

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido, primeiramente, como resultado de uma pesquisa realizada junto a alunos de cursos de engenharia, para avaliação do interesse dos mesmos em contar com um suporte para o assunto “Correção do Fator de Potência” apresentado durante o curso, especialmente o de Engenharia Elétrica. A partir de uma detalhada revisão bibliográfica, buscando o máximo de conhecimento sobre o assunto citado, decidiu-se por utilizar um programa computacional chamado LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) para o desenvolvimento de um Laboratório Virtual que simula exemplos de casos vistos na teoria sobre o assunto. Para isso, basta apenas, que o usuário digite alguns dados em espaços específicos, e a partir de uma rotina desenvolvida pelo Laboratório Virtual, obtêm-se todos os resultados mais comumente solicitados. O Laboratório Virtual desenvolvido tem potencial para se tornar uma ferramenta muito útil e de fácil utilização por parte do usuário, uma vez que é possível simular os exemplos de exercícios mais comuns nas bibliografias sobre o assunto “Correção do Fator de Potência”.

Palavras chaves: Laboratório Virtual, Correção do Fator de Potência, LabVIEW.

ABSTRACT

This work was developed primarily as a result of a survey of students in engineering courses, to assess the interest in having the same support for the subject "Power Factor Correction" presented during the course, especially the Electrical Engineering course. From a detailed literature review, seeking as much knowledge on the subject cited, it was decided to use a computer program called LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) for the development of a Virtual Laboratory that simulates examples of cases; most of them had been seen in the theory on classes. The user just clicks in the specific spaces and writes some datas, like current value or voltage value, and the Virtual Laboratory, through a routine, can give us lots of most commonly requested results. The Virtual Laboratory has developed the potential to become a useful and easy tool to the user, since it can simulate even the most common examples of exercises in the bibliographies on the subject "Power Factor Correction".

Key Words: Virtual Lab, Power Factor Correction, LabVIEW.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1: Triângulo das potências	5
Figura 2: Tela inicial do Laboratório Virtual.	18
Figura 3: Exemplo de exercício resolvido em sala de aula.	20
Figura 4: Exemplo de exercício desenvolvido pelo aluno.....	22
Figura 5: Exemplo de exercício sugerido pela banca avaliadora.	23
Gráfico 1: Parcela dos entrevistados conhecedores ou não conhecedores do assunto “Fator de Potência”	14
Gráfico 2: Parcela dos entrevistados que conhecem ou não a necessidade da Correção do Fator de Potência.	14
Gráfico 3: Parcela dos alunos que tem interesse ou não em ter um Laboratório Virtual para auxiliar o estudo do tema correção de Fator de Potência.	15

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LabVIEW - Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

P - Potência Elétrica ou Potência Ativa

U - Valor Instantâneo da Tensão Elétrica

I - Valor Instantâneo da Corrente Elétrica

U_e - Tensão Eficaz Senoidal

I_e - Corrente Eficaz Senoidal

Q - Potência Reativa

S - Potência Aparente

f_{pm} - Valor do Fator de Potência do Período de Faturamento

CA - Consumo de Energia Ativa Medida Durante o Período de Faturamento

CR - Consumo de Energia Reativa Medida Durante o Período de Faturamento

fp - Fator de Potência

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

AC/CA - Circuito com Corrente Alternada

DC/CC - Circuito com Corrente Contínua

VI - Virtual Instrument

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 POTÊNCIAS ELÉTRICAS.....	2
2.1.1 Potência Ativa	2
2.1.2 Potência Reativa	3
2.1.3 Potência Aparente.....	3
2.2 O FATOR DE POTÊNCIA	4
2.3 A CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	7
2.4 ALGUMAS CAUSAS E EFEITOS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA	7
2.4.1 Causas.....	8
2.4.2 Efeitos de baixo Fator de Potência	8
2.5 Alguns benefícios conseguidos com a melhora do fator de potência.....	8
2.6 ALGUNS MÉTODOS PARA CORRIGIR O FATOR DE POTÊNCIA.....	10
2.6.1 Banco de Capacitores	11
2.7 O LABVIEW.....	11
3. METODOLOGIA.....	13
3.1 RESULTADOS DA PESQUISA SOBRE INTERESSE NO LABORATÓRIO VIRTUAL PARA ESTUDO DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	13
3.2 MÉTODOS DE ABORDAGEM DO ASSUNTO “FATOR DE POTÊNCIA” NO LABORATÓRIO VIRTUAL.....	15
3.3 TUTORIAL DO LABORATÓRIO VIRTUAL	18
3.4 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO LABORATÓRIO VIRTUAL.....	19
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho foi feito um estudo sobre potências, fator de potência e a correção do fator de potência em circuitos elétricos. Também explicando as necessidades, vantagens e métodos de se realizar tal correção.

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo, o desenvolvimento de um Laboratório Virtual para auxiliar os alunos dos cursos de Engenharia, que têm na ementa do curso, o assunto Correção de Fator de Potência.

O Laboratório Virtual foi desenvolvido na linguagem de programação computacional LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), por ser uma linguagem de programação que tem como principal campo de atuação, a realização de medições e a automação e ainda por possuir uma interface amigável, facilitando o trabalho de programação.

No Laboratório Virtual o leitor tem a disposição um exemplo de aplicação do assunto “Correção de Fator de Potência”, bem como as características da carga do circuito (capacitiva ou indutiva), e ainda sugere a metodologia de correção, para que o circuito trabalhe dentro das condições estipuladas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) referentes ao valor do Fator de Potência.

O projeto, aqui desenvolvido, aborda o assunto acima citado de maneira clara e objetiva, facilitando o entendimento da teoria estudada em sala de aula.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Potências Elétricas

Em sistemas elétricos, a potência instantânea desenvolvida por um dispositivo de dois terminais é o produto da diferença de potencial entre os terminais e a corrente que passa através do dispositivo.

$$P = I \cdot U \quad (1)$$

onde I é o valor instantâneo da corrente e U é o valor instantâneo da tensão. Se I está em ampères e U em volts, P estará em watts.

Potência elétrica pode ser definida também como o trabalho realizado pela corrente elétrica em um determinado intervalo de tempo. (POTÊNCIAS ELÉTRICAS, 2012)

2.1.1 Potência Ativa

No caso da corrente alternada, a média de potência elétrica desenvolvida por um dispositivo de dois terminais pode ser determinada pela resolução da integral anterior, de onde resulta o produto dos valores quadrados médios (ou RMS, em inglês) ou eficazes da diferença de potencial entre os terminais e da corrente que passa através do dispositivo com o cosseno do seu ângulo de defasagem.

$$P = U_e \cdot I_e \cdot \cos \phi \quad (2)$$

onde I_e é o valor eficaz da intensidade de corrente alternada senoidal, U_e é o valor eficaz da tensão senoidal e ϕ é o ângulo de fase ou defasagem entre a tensão e a corrente.

A energia transferida num determinado intervalo de tempo corresponde à integral temporal da potência ativa. É esta a integração realizada pelos contadores de energia utilizados no faturamento de consumos energéticos de instalações elétricas. (POTÊNCIAS ELÉTRICAS, 2012)

2.1.2 Potência Reativa

Existe também em CA outra potência, que é a chamada potência reativa, cuja unidade é VAR e é igual a:

$$Q = I_e \cdot U_e \cdot \sin \phi \quad (3)$$

Numa instalação elétrica que apenas possua potência reativa, a potência ativa média tem um valor nulo, pelo que não é produzido nenhum trabalho útil. Pode-se dizer que a potência reativa é uma potência "devatada", ou seja, não produz watts ativos.

Na indústria elétrica recomenda-se que todas as instalações tenham um fator de potência ($\cos \phi$) máximo, com o qual $\sin \phi$ será mínimo, a potência reativa ou não útil será também mínima. (POTÊNCIAS ELÉTRICAS, 2012)

2.1.3 Potência Aparente

Se não se inclui o termo $\cos \phi$ que haveria que contemplar, devido ao fato de que a corrente e a tensão estejam defasados entre si, obtemos o valor do que se denomina potência aparente ou teórica S que se expressa em volt ampères (VA):

$$S = V_e \cdot I_e^* \quad (4)$$

No qual I_e^* entende-se como o conjugado do número complexo I_e .

É com base no valor desta potência que se faz o dimensionamento dos cabos e sistemas de proteção das instalações elétricas. Na contratação de fornecimento de energia elétrica é normalmente especificada a taxa de potência que depende da potência aparente máxima a ser disponibilizada pelo fornecedor. (POTÊNCIAS ELÉTRICAS, 2012)

2.2 O Fator de Potência

De ponto de vista das concessionárias de energia elétrica, pode-se dizer que o fator de potência é a relação entre energia ativa (é aquela que efetivamente produz trabalho) e energia reativa (é aquela que não produz trabalho, mas é importante para criar o fluxo magnético nas bobinas dos motores, transformadores, geradores entre outros equipamentos). O consumo de energia reativa deve ser baixo, pois o uso excessivo da mesma exigirá, por exemplo, condutores de maior seção transversal que são economicamente menos viáveis e transformadores de maior capacidade, além de provocar perdas por aquecimentos e queda de tensão). (ENERGIA REATIVA, 2012)

Tal relação permite descobrir se os clientes de energia elétrica estão consumindo a mesma de maneira adequada, pois monitora o uso da energia ativa e reativa dos consumidores, sendo assim é um dos principais indicadores de eficiência energética.

Quando o fator de potência é medido e estabelecido um valor próximo a 1, isto indica que o consumo de energia reativo está baixo comparado ao consumo de energia ativa.

Para obter o fator de potência, as concessionárias de energia elétrica utilizam a equação matemática (1):

$$fpm = \frac{(CA)}{\sqrt{(CA)^2 + (CR)^2}} \quad (5)$$

Onde:

fpm = valor do fator de potência do período de faturamento.

CA = consumo de energia ativa medida durante o período de faturamento.

CR = consumo de energia reativa medida durante o período de faturamento.

Matematicamente é possível obter o fator de potência, utilizando o triângulo das potências, através do cosseno do ângulo ϕ (fi) ou pela divisão da potência ativa pelo módulo da potência aparente, como fica exemplificado abaixo na equação matemática (2):

$$fp = \cos\phi = \frac{P}{|S|} \quad (6)$$

Onde:

f_p = valor do fator de potência.

P = valor da potência ativa.

$|S|$ = módulo da potência aparente.

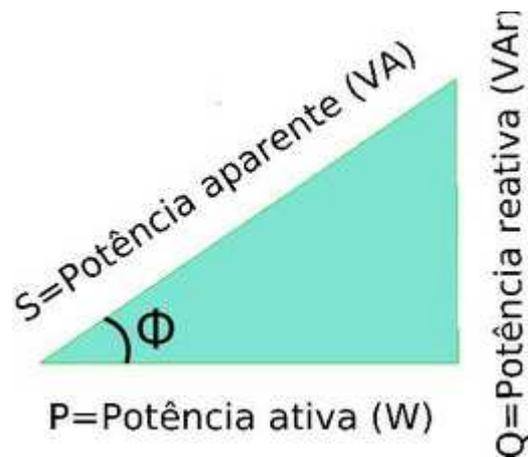


Figura 1: Triângulo das potências
Fonte: www.forumpcs.com.br

O fator de potência pode ser classificado de duas maneiras: indutivo ou capacitivo.

Quando é constatado um **fator de potência indutivo** significa que a instalação elétrica observada está absorvendo a energia reativa, ressaltando que a maioria dos equipamentos elétricos possui características indutivas em função das suas bobinas (ou indutores), que induzem o fluxo magnético necessário ao seu funcionamento.

E quando é constatado um **fator de potência capacitivo** significa que a instalação elétrica esta fornecendo a energia reativa, que são características dos capacitores que normalmente são instalados para fornecer a energia reativa que os equipamentos indutivos absorvem. O fator de potência torna-se capacitivo quando são instalados capacitores em excesso. Isso ocorre, principalmente, quando os equipamentos elétricos indutivos são desligados e os capacitores permanecem ligados na instalação elétrica.

A seguir, faz-se uma breve explanação sobre as perdas ocasionadas nas instalações elétricas e algumas características dessas instalações segundo os equipamentos ligados a elas.

Determinados equipamentos, tais como motores elétricos, fornos a arco, transformadores entre outros, necessitam para a sua operação de certa quantidade de energia reativa que pode ser suprida por diversas fontes ligadas ao sistema elétrico funcionando individual ou simultaneamente. Essas fontes podem ser (geradores, motores síncronos ou capacitores).

Pode-se considerar que, a rigor, as próprias linhas de transmissão e de distribuição de energia elétrica são fontes de energia reativa, devido sua reatância.

Para evitar o transporte de energia reativa de terminais distantes da carga consumidora, faz-se necessário instalar nas proximidades destes terminais as referidas fontes de energia reativa. Desta forma, reduzem-se as perdas na transmissão referente a esse bloco de energia, resultando um melhor rendimento do sistema elétrico.

Os aparelhos utilizados em uma instalação industrial são em sua maioria consumidores parciais de energia reativa indutiva e que não produzem nenhum trabalho útil. A energia reativa indutiva apenas é responsável pela formação do campo magnético dos referidos aparelhos. É normalmente suprida por fonte geradora localizada distante da planta industrial, acarretando perdas por efeito Joule elevadas no sistema de transmissão e de distribuição.

Dessa forma, como já se mencionou, melhor seria que no próprio prédio industrial fosse instalada a fonte geradora desta energia, aliviando os sistemas de transmissão e de distribuição que poderiam, desta maneira, transportar mais energia que efetivamente resultasse em trabalho, no caso, a energia ativa.

Esta fonte pode ser obtida através da operação de um motor síncrono superexcitado, ou mais economicamente, através da instalação de capacitores de potência.

É importante buscar orientação profissional para uma correta instalação de capacitores, corrigindo efetivamente o fator de potência e proporcionando às empresas maior qualidade e maior competitividade.

2.3 A Correção do Fator de Potência

A correção do fator de potência através, principalmente, da instalação de capacitores tem sido alvo de muita atenção das áreas de projeto, manutenção e finanças de empresas interessadas em racionalizar o consumo de seus equipamentos elétricos.

Com esse mesmo propósito e ainda, objetivando aperfeiçoar o uso da energia elétrica gerada no país, o extinto DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), atualmente com a denominação ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), através do decreto nº 479 de 20 de março de 1992 estabeleceu que o fator de potência mínimo devesse ser de 0,92 para fábricas, indústrias e consumidores com grande demanda de energia elétrica mensal ou que acabam consumindo grande quantidade de energia reativa, e caso o mesmo esteja abaixo deste valor a fatura de energia elétrica do consumidor irá sofrer um ajuste no preço, pois será gerada uma multa. (FILHO, 2007)

Segundo o site da concessionária de energia elétrica Copel, se o fator de potência estiver abaixo de 0,92 a conta de energia elétrica irá sofrer um acréscimo em reais, com base no seguinte cálculo:

$$\text{Acréscimo} = \text{Valor da fatura} \times \left(\frac{0,92}{\text{fator de potência medido}} - 1 \right) \quad (7)$$

2.4 Algumas causas e efeitos do baixo fator de potência

Devemos, aqui, levar em consideração os motivos que geram a ocorrência do baixo fator de potência, com intenção de expor a origem dos problemas alertando os consumidores, citando: tais problemas:

2.4.1 Causas

- Motores elétricos trabalhando em vazio (sem nenhuma carga acoplada aos mesmos);
- Motores elétricos superdimensionados para as respectivas cargas;
- Grandes transformadores alimentando pequenas cargas por muito tempo;
- Lâmpadas de descarga (fluorescente, vapor de mercúrio, etc.) sem correção individual do fator de potência;
- Grande quantidade de motores de pequena potência.

2.4.2 Efeitos de baixo Fator de Potência

- Variações de tensão, provocando a queima de equipamentos elétricos;
- Condutores elétricos aquecidos;
- Perdas de energia;
- Redução do aproveitamento da capacidade dos transformadores;
- Aumento da conta de energia, pela cobrança do custo da energia reativa excedente.

2.5 Alguns benefícios conseguidos com a melhora do fator de potência

Nesta parte do trabalho, é importante ser destacada a importância da melhoria do fator de potência, tanto para a concessionária quanto para o cliente final. São apresentados a seguir, os benefícios desta correção:

- A conta de luz será menor, pois baixo fator de potência requer um aumento na geração de energia elétrica de transmissão para lidar com a potência reativa causada por cargas indutivas;
- A capacidade do sistema elétrico irá aumentar. Fator de potência não corrigido causa perdas de energia do seu sistema de distribuição. Podem ser geradas quedas de tensão, que em excesso causam sobreaquecimento e falha prematura de motores e outros equipamentos indutivos;

- Diminuição nas variações de tensão;
- Melhor aproveitamento da capacidade de transformadores;
- Aumento da vida útil dos equipamentos;
- Utilização racional da energia consumida.

2.6 Alguns métodos para corrigir o fator de potência

Seguem algumas ações que devem ser tomadas para que a correção do fator de potência seja realizada de maneira adequada:

- Evitar o funcionamento de equipamentos acima de sua tensão nominal;
- Instalar capacitor no circuito AC do consumidor para diminuir a magnitude de energia reativa;
- Instalar capacitores onde for necessário;
- Dimensionar corretamente motores e equipamentos;
- Procurar serviço de técnicos habilitados para a realização do trabalho.

A utilização de motores síncronos pode ser exclusivamente para a correção do Fator de Potência, e também podem estar acoplados a uma carga já existente na instalação, assim, substituindo, por exemplo, um motor de indução.

- Motor sub excitado - corresponde à condição de baixa corrente de excitação na qual o valor da força eletromotriz induzida nos pólos do estator (circuito estatórico) é pequena, o que acarreta a absorção de potência reativa necessária à formação de seu campo magnético. Assim, a corrente estatórica mantém-se atrasada em relação à tensão.
- Motor excitado para a condição de fator de potência unitário – Partindo da condição anterior e aumentando-se a corrente de excitação, obtém-se uma elevação da força eletromotriz no campo estatórico cuja corrente ficará em fase com a tensão de alimentação. Desta forma, o fator de potência assume o valor unitário e o motor não necessita de potência reativa para a formação de seu campo magnético.
- Motor sobre excitado – Qualquer elevação de corrente de excitação a partir de então proporciona o adiantamento da corrente estatórica em relação à tensão aplicada, fazendo com que o motor funcione com o fator de potência capacitivo, fornecendo potência reativa a rede.

2.6.1 Banco de Capacitores

Os capacitores são equipamentos capazes de armazenar energia reativa, fornecendo aos equipamentos essa energia necessária para seu funcionamento. A instalação de banco de capacitores próximo a esses equipamentos é uma forma econômica e racional de obter-se tal energia reativa necessária. A instalação de capacitores deve ser seguida de medidas que levem à diminuição da necessidade de reativo, como o desligamento de motores e outras cargas superdimensionadas.

Com os capacitores funcionando como fontes de reativo, a circulação dessa energia fica limitada aos pontos onde ela é necessária, reduzindo assim as perdas e melhorando as condições operacionais do sistema elétrico em questão.

Os bancos de capacitores devem ser total ou parcialmente desligados, em conformidade com o uso dos motores e transformadores, para não haver excesso de energia reativa capacitiva, o que gera efeitos adversos no sistema elétrico à concessionária.

2.7 O LabVIEW

O LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) é uma linguagem de programação gráfica originária da National Instruments. Sua primeira versão foi desenvolvida em 1986 para o Macintosh. Hoje em dia essa linguagem de programação já está disponível para plataformas que utilizam outros sistemas operacionais, como Windows, Linux e Solaris. (LabVIEW, 2011)

Como características do LabVIEW pode-se citar os instrumentos virtuais (VI's) que são os programas propriamente ditos, o painel frontal contendo a interface e o diagrama de blocos que contém o código gráfico do programa. (LabVIEW, 2011)

Os VI's (*Virtual Instruments*) são os blocos de funções que podem ser executados isoladamente ou realizar a função de sub-VI, ou seja, fazer parte de outro programa computacional. Cada VI é ligado através de suas entradas/saídas por linhas (conectores), pelo programador, definindo assim o fluxo dos dados. (LabVIEW, 2011)

Uma vez que neste trabalho utilizam-se dados a serem manipulados, o LabVIEW apresenta vantagens quanto a sua escolha para o desenvolvimento do trabalho. (LabVIEW, 2011)

No LabVIEW um VI começa a ser executado quando todas as entradas estão disponíveis e os resultados do processamento ficam disponíveis nas saídas dos VI's assim que a execução do sub-programa tenha terminado. Desta forma, a ordem pela qual as tarefas são executadas é definida em função dos dados e exatamente em função dos dados que a ordem das tarefas a serem executadas é definida. (LabVIEW, 2011)

Muitos VI's em LabVIEW são polimorfos, ou seja, tem suas funções adaptadas ao tipo de dados que recebem. Por exemplo, a função *Build-Array* pode ser utilizada para a criação de quaisquer variáveis, ou seja, de *strings*, de inteiros e também de *arrays* e de *clusters*. O programador pode construir os seus próprios VI's polimorfos. Esses consistem de vários VI's com diferentes tipos de dados, entradas e saídas. (LabVIEW, 2011)

A maneira mais amigável para construir programas é utilizando-se os painéis frontais do LabVIEW. Não se faz necessário que o programador escreva qualquer linha de código ou afim. A apresentação gráfica dos processos aumenta a facilidade de leitura e de utilização. Uma grande vantagem em relação às linguagens baseadas em textos é a facilidade com que se criam componentes que se executam paralelamente. (LabVIEW, 2011)

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento desse trabalho se deu vista a grande necessidade da Correção do Fator de Potência atualmente, principalmente nas indústrias.

Esse é um tema que deve ser observado pelos estudantes de Graduação de Engenharia Elétrica para que possam entender e assimilar a sua importância no cenário em que vivemos.

Este trabalho conta com pesquisas a livros de Engenharia Elétrica, a artigos relacionados com o tema em trabalhos de outros alunos dessa ou outras instituições de ensino que abordaram o mesmo assunto e a buscas pela internet, a fim de encontrar novidades e curiosidades do tema escolhido.

Nesse trabalho realizou-se uma pesquisa com os alunos de outros períodos e até professores para analisar a possibilidade de se elaborar um laboratório virtual para estudo de correção de fator de potência com intenção de explicar na prática de maneira simples e objetiva sanando as dúvidas que possam existir a respeito do tema.

Como o resultado dessa pesquisa mostrou que os entrevistados, na sua maioria, foi favorável ao desenvolvimento do Laboratório Virtual, partiu-se então, para a escolha do Programa Computacional para o desenvolvimento do Laboratório Virtual. A linguagem de programação LabVIEW, foi escolhida para a construção desse Laboratório Virtual.

3.1 Resultados da pesquisa sobre interesse no Laboratório Virtual para estudo de Correção do Fator de Potência

Como já foi citado no item 2, foi realizada uma pesquisa para análise do interesse dos alunos dos curso de Engenharia Elétrica e Mecânica da Universidade São Francisco, em estudar o assunto “Correção do Fator de Potência” num Laboratório Virtual.

Esse Laboratório Virtual tem a finalidade de proporcionar um melhor entendimento do assunto abordado nas aulas teóricas, a respeito de Correção do Fator de Potência, através da prática de simulação de casos, com os cálculos sendo realizados pelo programa computacional desenvolvido e obtendo-se o resultado do caso em questão, da mesma forma que se resolve um exercício de fixação sobre o tema.

A seguir são apresentados três gráficos, confeccionados a partir de dados da pesquisa de opinião 33 (trinta e três) alunos de Engenharia Elétrica e Mecânica.

No gráfico 1, é apresentada a resposta dos entrevistados, sobre a pergunta: “ Você conhece o assunto “Fator de Potência”?”

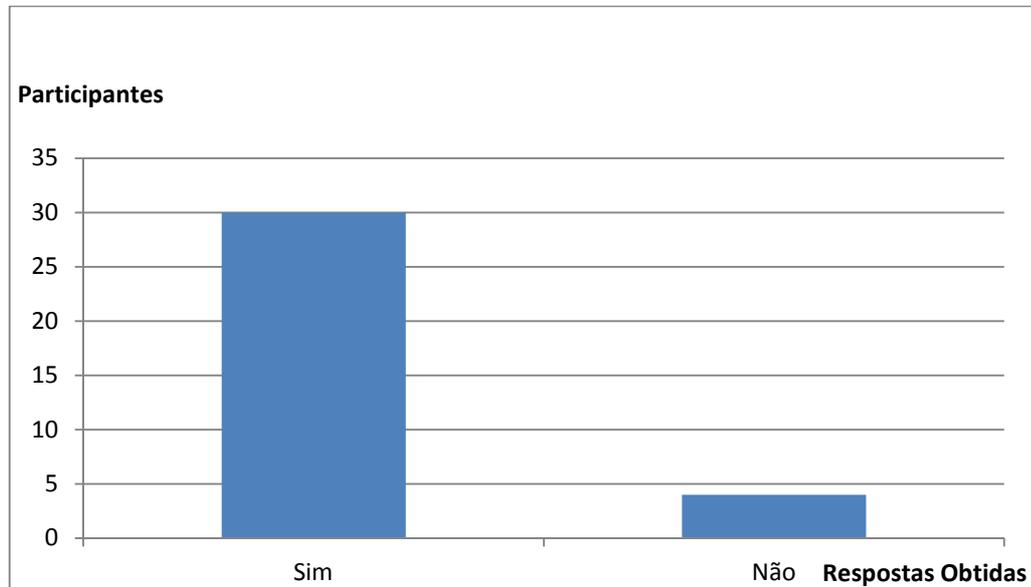


Gráfico 1: Parcela dos entrevistados conhecedores ou não conhecedores do assunto “Fator de Potência”.

No gráfico 2, são apresentadas as respostas dos alunos entrevistados, a respeito da necessidade da Correção do Fator de Potência.

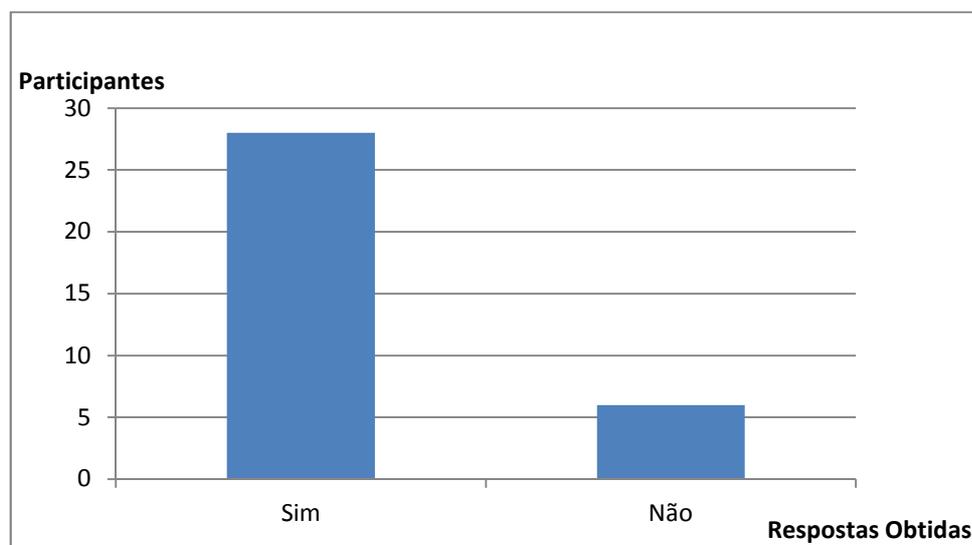


Gráfico 2: Parcela dos entrevistados que conhecem ou não a necessidade da Correção do Fator de Potência.

No gráfico 3, são apresentadas as respostas dos entrevistados, a respeito do interesse em se ter um Laboratório Virtual para auxiliar o estudo do tema citado anteriormente.

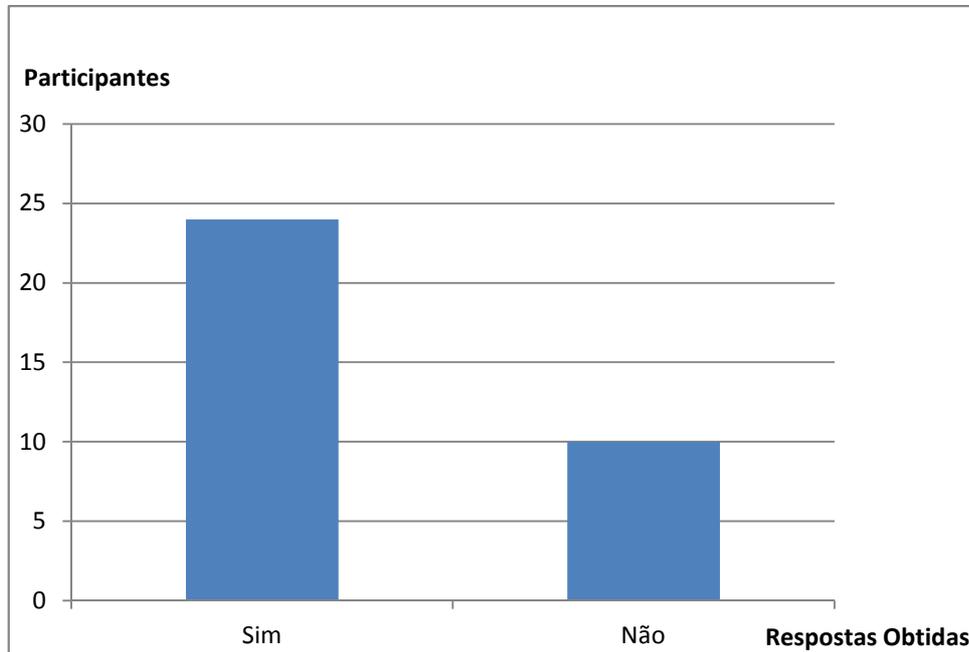


Gráfico 3: Parcela dos alunos que tem interesse ou não em ter um Laboratório Virtual para auxiliar o estudo do tema correção de Fator de Potência.

Visto que, após avaliação dos resultados da pesquisa de opinião dos alunos, obteve-se uma porcentagem de 70%, apresentando real interesse em utilizar um Laboratório Virtual para auxiliar no estudo do assunto “Fator de Potência”, parte-se então, para o desenvolvimento da ferramenta.

3.2 Métodos de abordagem do assunto “Fator de Potência” no Laboratório Virtual

Para a elaboração do Laboratório Virtual, foi desenvolvida uma programação no LabVIEW voltada para realizar cálculos matemáticos com o intuito de calcular o fator de potência, sugerir uma possível correção desse fator caso seja necessário e realizar a tal correção. Para realizar as ações citadas, a programação foi feita da seguinte forma:

Primeiramente foram criados quatro campos que possibilitam a entrada de dados vindos de um usuário, que são a amplitude e a fase da tensão e também a amplitude e a fase

da impedância coletados em algum circuito elétrico monofásico, ressaltando que esses valores que são introduzidos na entrada do sistema são números complexos e se encontram na forma polar, por isso foram necessárias entradas de valores para os módulos e entradas de outro valor para as fases.

Após esta etapa, o Laboratório Virtual começa a realizar cálculos com o intuito de apresentar para o usuário as características do sistema, e para isso, inicialmente transforma os valores das entradas que são os módulos e fases de tensão e impedância da forma polar para a forma retangular, expondo os valores das duas maneiras que podem ser encontrados. Após essas transformações é calculada a corrente elétrica também nas duas formas complexas já citadas, retangular e polar. Com a intenção de ilustrar o que está ocorrendo no sistema, foram introduzidos dois gráficos junto ao Laboratório Virtual, que após a entrada de dados ser realizada, um mostra o comportamento da tensão elétrica do circuito e outro mostra o comportamento da corrente elétrica do circuito.

Possuindo os valores de tensão e corrente elétrica, basta multiplicar o valor da tensão pelo complexo conjugado da corrente (mantendo o valor do módulo da corrente, porém alterando o sinal da fase da mesma, ou seja, se era positivo passa a ser negativo e vice-versa) na forma polar, calculando-se o valor da Potência Aparente desse sistema nas duas formas complexas, retangular e polar.

Através do valor da Potência Aparente na forma complexa polar, o Laboratório Virtual apresenta o módulo dessa Potência Aparente calculada. E através do valor da Potência Aparente na forma complexa retangular, o Laboratório Virtual apresenta os valores de Potência Ativa e Potência Reativa, pois a parte real do número na forma retangular representa a Potência Ativa do sistema e a parte complexa do número na forma retangular representa a Potência Reativa do sistema.

Com tais valores obtidos, o Laboratório Virtual parte para o cálculo do Fator de Potência, e para isso divide o valor da Potência Ativa pelo módulo da Potência Aparente, e analisa a condição em que esse Fator de Potência se encontra, podendo ser três opções: indutivo (quando a corrente calculada do sistema está atrasada em relação a tensão do sistema), capacitivo (quando a corrente calculada do sistema está adiantada em relação a tensão do sistema) ou resistivo (quando a corrente calculada do sistema está em fase com a tensão do sistema).

Com todas essas características do sistema apresentadas para o usuário na tela, o Laboratório Virtual parte para realizar a Correção do Fator de Potência, caso o mesmo seja necessário, ou seja, se o valor do Fator de Potência for inferior a 0,92.

Para isso primeiramente é apresentando uma breve explanação de como deve ser realizada tal Correção do Fator de Potência, ou seja, se o sistema precisar realizar a Correção e estiver com características indutivas aparecerá na tela para o usuário os seguintes dizeres: “É necessária a correção, pois parte da potência entregue pela fonte de alimentação não é convertida em trabalho pela carga e é perdida pelo sistema. Para minimizar as perdas é necessário associar um conjunto de cargas capacitivas em paralelo com a carga já existente.” Se o sistema precisar realizar a Correção e estiver com características capacitivas aparecerá na tela para o usuário os seguintes dizeres: “É necessária a correção, pois parte da potência entregue pela fonte de alimentação não é convertida em trabalho pela carga e é perdida pelo sistema. Para minimizar as perdas é necessário associar um conjunto de cargas indutivas em paralelo com a carga já existente.” Caso o valor do Fator de Potência encontrado seja igual a 1, ou não seja necessária realizar a Correção, o que se trata de um sistema com características resistivas, aparecerá na tela para o usuário os seguintes dizeres: “Nenhuma correção é necessária, pois toda potência entregue pela fonte alimentação é convertida em trabalho pela carga.”

Após apresentar um dos dizeres acima citados na tela, se a Correção for necessária o Laboratório Virtual apresenta para o usuário a impedância a ser corrigida, ou seja, o valor de impedância que deve ser adicionado em paralelo com a impedância já existente no sistema, se for um sistema com características capacitivas apresenta o valor do banco de capacitores para fornecer tal impedância a ser colocada em paralelo e também apresenta um botão para o usuário apertar com o intuito de realizar a Correção do Fator de Potência automaticamente, alterando os valores do sistema de modo a fazer com que o Fator de Potência do sistema se aproxime de 1.

Esse Laboratório Virtual foi programado e planejado para rodar funcionar automaticamente, ou seja, o usuário precisa apenas entrar com os valores de entrada que já foram citados anteriormente que o programa faz tudo sozinho, e conforme o usuário altera os valores, o Laboratório Virtual altera tudo automaticamente.

3.3 Tutorial do Laboratório Virtual

Para a utilização do Laboratório Virtual pelos alunos, estes necessitam, primeiramente, se familiarizar com o programa computacional LabVIEW, linguagem esta, que foi utilizada para o desenvolvimento do Laboratório Virtual para estudo da Correção do Fator de Potência.

Perante tal necessidade, desenvolveu-se um tutorial para auxiliar o estudante na utilização do mesmo.

A seguir, apresenta-se o tutorial acima citado.

Primeiramente o usuário deve ligar o computador e abrir o Laboratório Virtual, para isso deve saber onde este arquivo está salvo e clicar duas vezes em cima do ícone com o nome do mesmo.

Após irá abrir na tela do Laboratório Virtual abaixo:

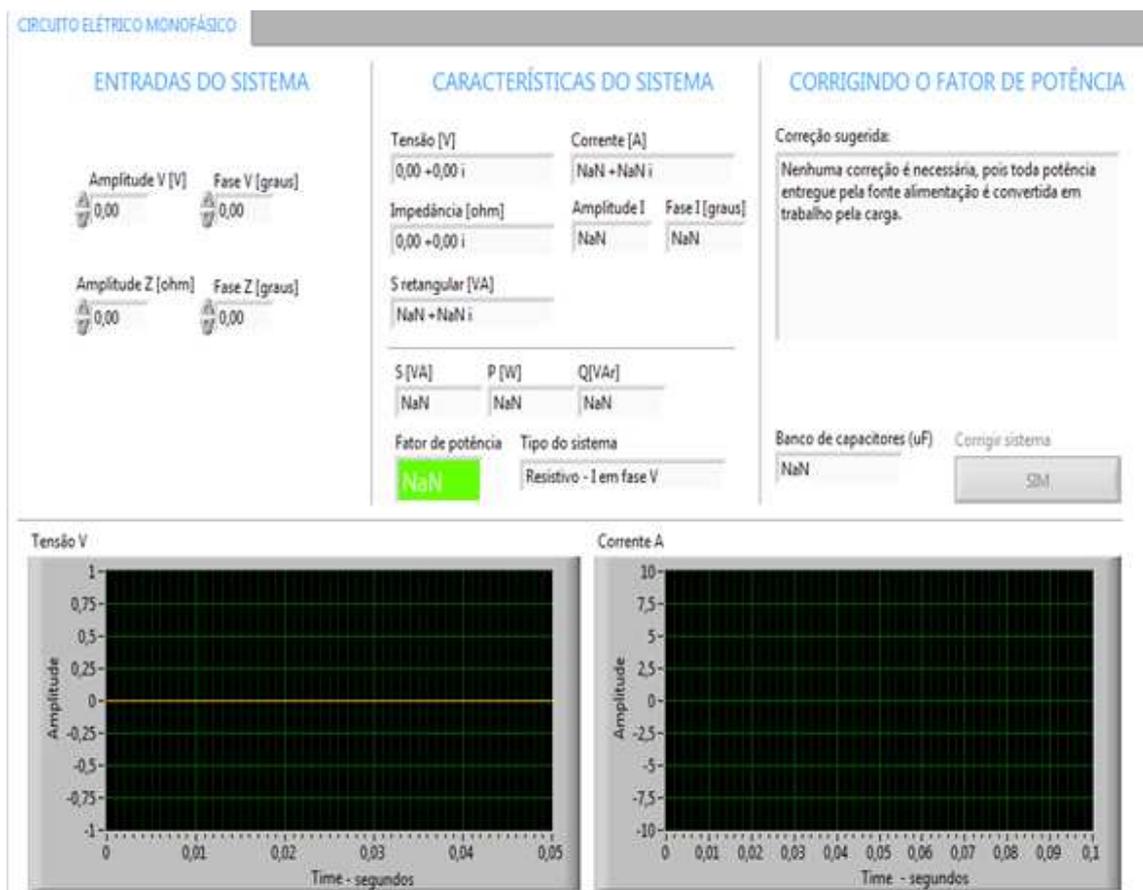


Figura 2: Tela inicial do Laboratório Virtual.

Em seguida, o usuário deve entrar com valores de amplitude da tensão e da impedância e fase da tensão e da impedância, isso pode ser realizado de duas maneiras, ou clicar no espaço em branco do valor de entrada a ser digitado e digitar o valor desejado, ou clicar nas setas que apontam para cima ou para baixo, aumentando ou diminuindo o valor de entrada.

Após isso o Laboratório Virtual apresenta as características do sistema e caso necessário apresenta um método para realizar a Correção do Fator de Potência e ainda possibilita que essa Correção seja feita automaticamente, bastando que o usuário clique em um botão que aparece na tela principal do Laboratório Virtual escrito SIM, que se refere a realizar a Correção do Fator de Potência do sistema.

3.4 Exemplos de Aplicação do Laboratório Virtual

Nesta parte do trabalho, foram testados vários exemplos de aplicação da teoria de Correção de Fator de Potência, a fim de confirmar se toda a programação do Laboratório Virtual estava correta e funcionando da maneira desejada.

Entre os exemplos de aplicação testados, encontra-se um exercício, apresentado na disciplina de Circuitos Elétricos II, do 6º período de Engenharia Elétrica, na ocasião, ministrada pelo Professor Renato Franco de Camargo, mais especificamente na data: 24/10/2011.

Segue o enunciado do exercício, junto com a solução encontrada:

EX. 1) Dados: $Z = 25 \angle 36,87^\circ (\Omega)$ e $V(T) = 50\cos\omega t$ (V). Determine.

- a) P (potência ativa);
- b) Q (potência reativa);
- c) $|S|$ (módulo da potência aparente);
- d) Diga se o Fator de Potência está adiantado ou atrasado;
- e) O valor do Fator de Potência desse sistema.

Segue resolução do exercício na figura abaixo:



Figura 3: Exemplo de exercício resolvido em sala de aula.

Como podemos perceber, essa tela de programação realiza todos os cálculos e informações solicitadas no enunciado, e ainda apresenta o valor da corrente que circula pelo sistema e o valor do Fator de Potência. Os resultados esperados foram obtidos, ressaltando que para a resolução desse exercício utiliza-se o valor de tensão de linha do circuito.

- $P = 80$ (W);
- $Q = 60$ (VAr);
- $|S| = 100$ (VA);
- Esse sistema apresenta características indutivas, ou seja, a corrente que circula por esse sistema encontra-se atrasada em relação a tensão que alimenta o sistema.
- $fp = 0,80$.

Todos os resultados esperados foram obtidos, sendo possível concluir que o funcionamento do Laboratório Virtual está correto e de acordo com o esperado inicialmente.

A seguir, apresenta-se outro exemplo de aplicação de Correção de Fator de Potência, sendo esse exemplo, uma sugestão do autor.

Ressalta-se que todos os cálculos foram realizados também pelo autor, para validar os resultados apresentados pelo Laboratório Virtual.

EX. 2) Dados: $Z = 100 \angle 30^\circ$ (Ω) e $V(T) = 440 \angle 0^\circ$ (V). Determine.

- a) I (corrente que circula pelo sistema, na forma complexa retangular e polar);
- b) S (potência aparente na forma complexa retangular);
- c) |S| (módulo da potência aparente);
- d) P (potência ativa);
- e) Q (potência reativa);
- f) Diga se o Fator de Potência está adiantado ou atrasado;
- g) O valor do Fator de Potência desse sistema;
- h) Sugira uma correção para o Fator de Potência, caso seja necessário;
- i) Indique um valor de impedância que deva ser adicionado em paralelo ao circuito para realizar tal correção;
- j) Se a correção necessária for adicionar banco de capacitores, indique o valor desses capacitores que devem ser adicionados ao sistema em μF (micro Faradays);
- k) Plotar os gráficos da tensão e de corrente desse sistema.

Segue abaixo a resolução para o exemplo no Laboratório Virtual:

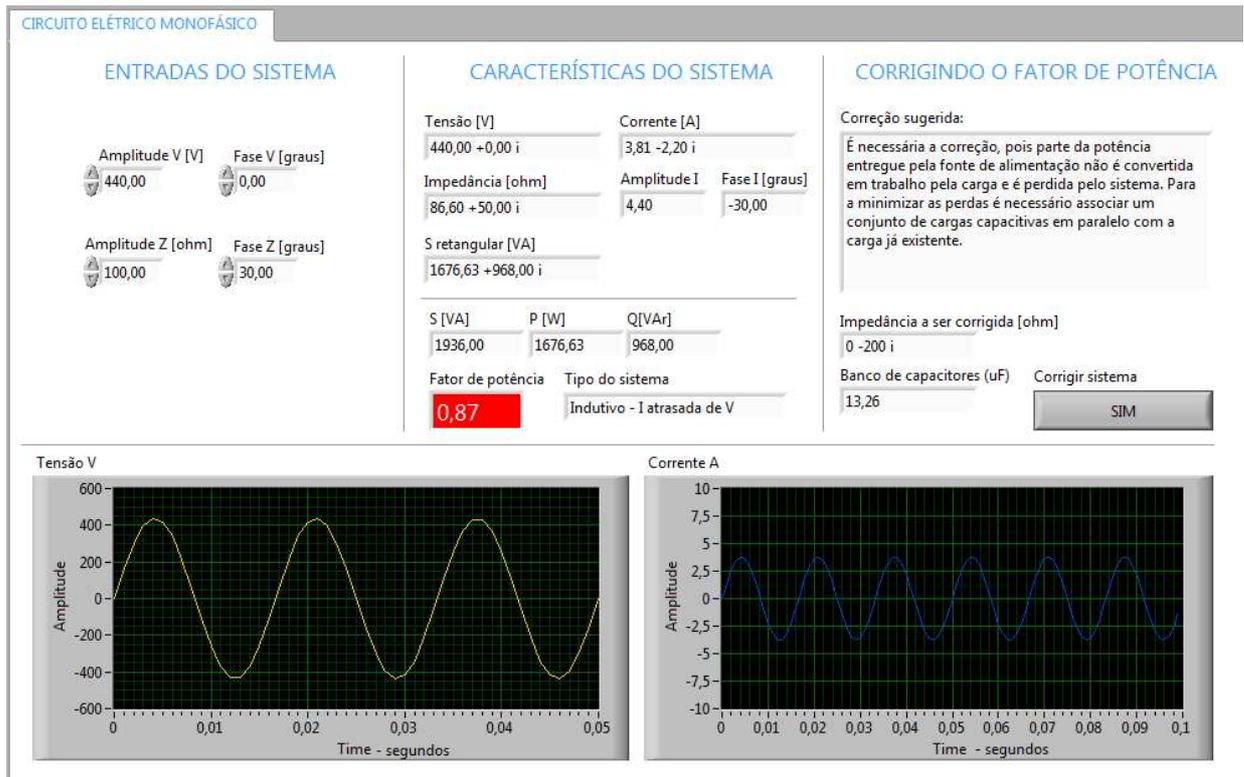


Figura 4: Exemplo de exercício desenvolvido pelo aluno.

Abaixo seguem as respostas obtidas no Laboratório Virtual:

- $I = 3,381 - 2,2 i \text{ (A)} / 4,4 \angle -30^\circ$;
- $S = 1676,73 + 968 i \text{ (VA)}$;
- $|S| = 1936 \text{ (VA)}$;
- $P = 1676,73 \text{ (W)}$;
- $Q = 968 \text{ (VAr)}$;
- Esse sistema apresenta características indutivas, ou seja, a corrente que circula por esse sistema encontra-se atrasada em relação a tensão que alimenta o sistema;
- $\text{fp} = 0,87$;
- É necessária a correção, pois parte da potência entregue pela fonte de alimentação não é convertida em trabalho pela carga e é perdida pelo sistema. Para minimizar as perdas é necessário associar um conjunto de cargas capacitivas em paralelo com a carga já existente.;
- $Z = 0 - 200 i \text{ (\Omega)}$;
- $C = 13,26 \text{ \mu F}$;
- Os gráficos podem ser observados na Figura 4 logo acima.

EX. 3) Exemplo sugerido pela banca avaliadora.

Dados: $Z = 25 \angle -36,87^\circ$ (Ω) e $V(T) = 440 \angle 0^\circ$ (V). Determine.

- I (corrente que circula pelo sistema, na forma complexa retangular e polar);
- S (potência aparente na forma complexa retangular);
- |S| (módulo da potência aparente);
- P (potência ativa);
- Q (potência reativa);
- Diga se o Fator de Potência está adiantado ou atrasado;
- O valor do Fator de Potência desse sistema;

Segue abaixo a resolução para o exemplo no Laboratório Virtual:

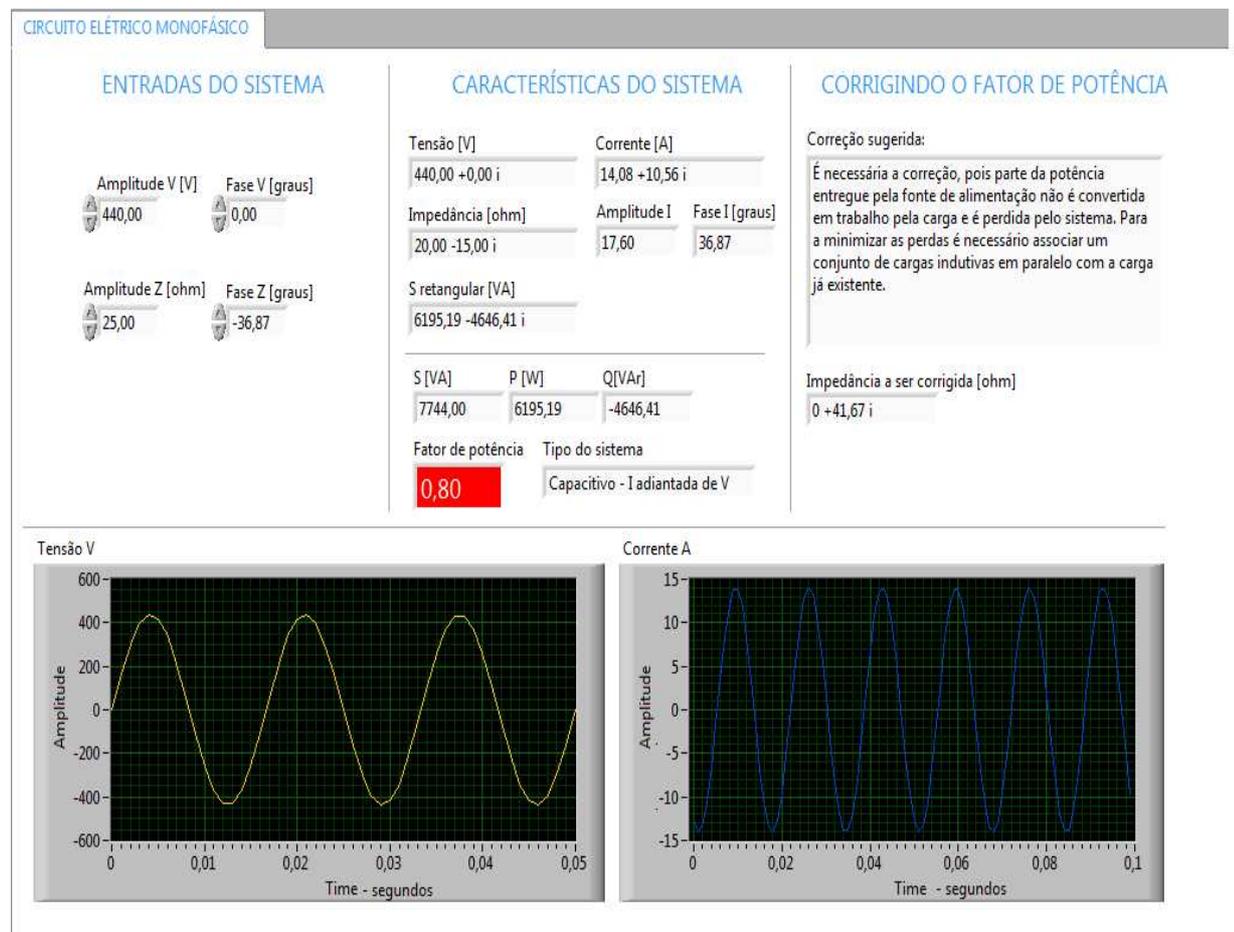


Figura 5: Exemplo de exercício sugerido pela banca avaliadora.

Abaixo seguem as respostas obtidas no Laboratório Virtual:

- a) $I = 14,08 + 10,56 i \text{ (A)} / 17,6 \angle 36,87^\circ$;
- b) $S = 6195,19 - 4646,41 i \text{ (VA)}$;
- c) $|S| = 7744 \text{ (VA)}$;
- d) $P = 6195,19 \text{ (W)}$;
- e) $Q = -4646,41 \text{ (VAr)}$;
- f) Esse sistema apresenta características capacitivas, ou seja, a corrente que circula por esse sistema encontra-se adiantada em relação a tensão que alimenta o sistema;
- g) $f_p = 0,80$;

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse Trabalho de Conclusão de Curso apresenta, além de uma ferramenta para auxiliar o aluno dos cursos de Engenharia em geral no estudo de Correção de Fator de Potência, dois exemplos de aplicações que fazem parte de uma disciplina do Curso de Engenharia Elétrica. Esse fato situa o trabalho no panorama atual do Ensino em Cursos de Engenharia, tornando-se uma ferramenta preciosa para um melhor entendimento do assunto. Devido a forma com que essa ferramenta foi desenvolvida, obteve-se o resultado esperado de maneira simples, didática e objetiva, o que permite que pessoas que irão utilizar tal ferramenta com pouco conhecimento na área técnica ou pouco conhecimento no LabVIEW se familiarizem rapidamente com o Laboratório Virtual.

Também faz parte do atual trabalho, uma Revisão Bibliográfica sobre o assunto “Correção de Fator de Potência”, o que o torna útil também, como teoria a ser estudada para fixação do assunto apresentado em sala de aula. O autor do trabalho procurou abordar todos os assuntos que se fazem necessários para um bom entendimento e acompanhamento deste. Essa Revisão Bibliográfica tem total importância de ter sido bem elaborada, pois ela é a base para o desenvolvimento do Laboratório Virtual construído pelo presente trabalho, ou seja, o sucesso deste está ligado diretamente a uma boa pesquisa sobre o tema Correção do Fator de Potência.

Ressalta-se, porém, que por motivo de tempo, não foi possível abordar o assunto Correção de Fator de Potência, segundo análise de distorções harmônicas, mas por outro lado, fica aberto o caminho para um trabalho futuro, tendo como base para esse possível estudo, todo este trabalho desenvolvido até o presente momento, além do fato da aquisição de dados por parte do Laboratório Virtual também não ter sido abordada nesse trabalho.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FILHO, João Mamede, **Instalação Elétricas Industriais**. 7. Ed. Editora:LTC, 2007. Páginas 176 e 177.

CREDER, Hélio, **Instalações Elétricas**. 13. Ed. Editora: Afiliada, 1995. Páginas 324 a 337.

LABVIEW, Wikipédia a enciclopédia livre, 2011, disponível em:

<<http://pt.wikipedia.org/wiki/Labview>> Acesso em 12 de mar. de 2012.

POTÊNCIAS EM CIRCUITOS DE CORRENTE ALTERNADA, Ocw Unicamp, disponível em: <http://www.ocw.unicamp.br/fileadmin/user_upload/cursos/et016/Capitulos/Aula016-Capitulo-7.pdf> Acesso em 12 de set. de 2012.

ENERGIA REATIVA, Grupo Neenergia, 2012, disponível em:

<<http://www.celpe.com.br/energiareativa/default.asp>> Acesso em: 20 de abr. de 2012.

<http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/pdfs/mc60405.pdf> Acesso em: 04 de abr. de 2012.

LabVIEW Professional Development System Version 8.6: National Instruments, 2008. 1 - CD-ROM.

COPEL, 2012, disponível em:

<[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/\\$FILE/fator_potencia.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/$FILE/fator_potencia.pdf)> Acesso em: 09 de dezo. de 2012.

POTÊNCIAS ELÉTRICAS, Wikipédia a enciclopédia livre, 2012, disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Potência_elétrica> Acesso em: 09 de dezo de 2012.