

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
ENGENHARIA ELÉTRICA
SAULO JACOB GERBER

**ESTUDO DE CASO APLICAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES
AUTOMÁTICO DISTRIBUIDO PARA CONTROLE DE FATOR DE
POTÊNCIA EM BAIXA TENSÃO.**

LAGES SC
2019

SAULO JACOB GERBER

**ESTUDO DE CASO APLICAÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES
AUTOMÁTICO DISTRIBUIDO PARA CONTROLE DE FATOR DE
POTÊNCIA EM BAIXA TENSÃO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Universitário UniFacvest de Lages SC,
para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. MSc. Silvio Moraes de
Oliveira

Coorientadora: Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

LAGES SC

2019

Monografia apresentada ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Paulo Jacob Gerber
NOME DO ALUNO

Estudo de Caso Aplicações de Bancos de Capacitores Automáticos Distribuídos para Controle de Fator de Potência em Baixa Tensão
TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. MSc Eng. Eletr. Silvio Moraes de Oliveira
Titulação e nome do Orientador (a)

Prof.^a Dra. Eng. Elet. Francieli Lima de Sá
Titulação e nome do Co-orientador (a).

Prof.^a MSc. Eng. Elet. Nathulle Waldriegas Bruns.
Titulação e nome do Avaliador (a).

Eng. Antonio Carlos Kuhl
Titulação e nome do Avaliador (a) Externo.

Prof.^a Dra. Eng. Elet. Francieli Lima de Sá
Coordenador (a) Prof. (a) Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 10 de julho de 2019.

DEDICATÓRIA

A minha mãe Cristiana Gerber (in memoriam) que me deu a liberdade para que seguisse meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me concedeu a saúde e clareza para seguir o meu caminho, à minha esposa e filhos pela sua paciência e apoio nas horas difíceis, aos meus pais que confiaram em meu julgamento para que pudesse seguir meus estudos, aos meus amigos, colegas e professores por me auxiliarem nos momentos de dúvidas e incertezas durante esta jornada.

Agradeço especialmente ao meu supervisor de estágio, o Eng. Antônio Carlos Kull, o qual me recebeu de braços abertos e sempre esteve disposto a esclarecer as dúvidas e partilhar a sua visão e conhecimento.

RESUMO

Com a crescente demanda de energia, qualquer ganho se torna significativo tanto em relação à economia de energia quanto no uso eficiente da mesma, sendo a correção do fator de potência tem papel fundamental nesta última. Através deste trabalho procura-se demonstrar as vantagens da aplicação da correção do fator de potência e seu controle em instalação industrial em empresa do ramo de celulose e papel, através do uso de bancos de capacitores automáticos distribuídos através de diversas áreas, de forma a atuarem o mais próximo possível de motores alimentados em baixa tensão (380/440V). Desta forma será possível reduzir as perdas por efeito Joule nas linhas assim como a redução de carga de transformadores, possibilitando a redução do uso dos turbo geradores no controle de reativos e liberando os mesmos na geração de potência ativa. Também e apresentado o que é o Fator de Potência, a forma de cálculo para efeito de tarifação do consumo, os efeitos negativos que o baixo fator de potência tem nas instalações elétricas e formas de controle do mesmo.

Palavras-chave: Fator de potência. Banco de capacitores. Carga de transformadores.

ABSTRACT

With the growing demand for energy, any gain becomes significant in relation to energy saving and the efficient use of same, being the power factor correction has a fundamental role in the latter. Through this work seeks to demonstrate the advantages of the application of power factor correction and control in industrial installation in your company in the pulp and paper business, through the use of automatic capacitor banks distributed through several areas in order to work as close as possible of motors powered at low voltage (380/440V). In this way it will be possible to reduce losses by Joule effect in lines as well as the transformer load reduction, enabling the reduction of the use of turbogenerators in the control of reactive and releasing the same active power generation. And also presented what is the power factor, the way of charging effect calculation of consumption, the negative effects that the low power factor has in the electrical installation and control forms.

Keywords: Power factor. Bank of capacitors. Transformer load.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Defasagem Tensão x Corrente.	22
Figura 2: Triângulo das Potências	23
Figura 3: Relação tensão x corrente em cargas lineares	24
Figura 4: Exemplo de relação tensão x corrente em cargas não lineares	25
Figura 5: Composição de uma onda quadrada a partir das harmônicas.	26
Figura 6: Resposta em frequência capacitor.....	27
Figura 7: Resposta em frequência indutor.....	27
Figura 8: Resposta em frequência induto e capacitor em série.	28
Figura 9: Gerador/Motor síncrono.....	30
Figura 10: Estrutura do capacitor	31
Figura 11: Bancos de capacitores em média tensão.	36
Figura 12: Custo de Energia Reativa Excedente x Custo total Consumo de Energia.	38
Figura 13: Analisador de Qualidade de Energia Trifásica FLUKE 435 série II	39
Figura 14: Gráfico gerado pela aplicação Power Log para análise da qualidade de energia ...	40
Figura 15: Controlador RVT modelo trifásico RVT12-3P.....	42
Figura 16: Forma escolhida para instalação e controle do fator de potência.	42
Figura 17: Análise da distorção harmônica total Trafo 77.	44
Figura 18: Análise da distorção harmônica total Trafo 77 antes da ativação.....	47
Figura 19: Análise da distorção harmônica total Trafo 77 após ativação	48
Figura 20: Desligamento por sobre pressão capacitor.....	50
Figura 21: Ligação de capacitores sem filtro.....	51
Figura 22: Ligação de capacitores com filtro e duplo paralelo.	52
Figura 23: Ligação do comando para capacitores com filtro e duplo paralelo.....	53
Figura 24: Fusíveis de proteção e contator utilizados.	54
Figura 25: Cubículo banco de capacitores.....	55
Figura 26: Acompanhamento durante ativação do Banco de capacitores	56
Figura 27: Ativação Bancos de Capacitores x Fator de potência TG4.....	58
Figura 28: Consumo de energia a partir da concessionária.	59
Figura 29: Leitura com bancos ativados.....	60
Figura 30: Leitura com bancos desativados	60
Figura 31: Fator de Potência mensal MP-13 2018	62
Figura 32: Fator de Potência mensal MP-13 2019	62

Figura 33: Fator de Potência mensal Lavagem 3 e Blow Heat 2018	63
Figura 34: Fator de Potência mensal Lavagem 3 e Blow Heat 2019	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Levantamento carga.....	40
Tabela 2: Demanda e fator de potência antes	42
Tabela 3: Necessidade de correção x capacidade instalada por Transformador em kVAr	45
Tabela 4: Modelo contator x Corrente de pico x potência.	49
Tabela 5: Leitura de Cos φ x Corrente antes e após.	56

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

FP - Fator de Potência

AT - Alta tensão

BT - Baixa tensão

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

kV - quilo volt

kWh - quilowatt por hora, unidade de medida de potência ativa

kVArh - quilovolt ampere por hora, unidade de medida de potência reativa

$D_{re(p)}$ - Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário;

PAM_T - Demanda de potência ativa medida de hora em hora;

$PAF_{(p)}$ - Demanda de potência ativa faturada em cada posto horário;

VR_{DRE} - Tarifa de demanda de potência ativa;

E_{RE} - Faturamento do consumo de reativo excedente por posto tarifário;

$EEAM_T$ - Consumo de energia ativa medido em cada hora;

VR_{ERE} - Tarifa de energia ativa;

f_T - Fator de potência calculado de hora em hora;

f_R - Fator de potência de Referência 0,92;

Σ - Soma dos excedentes de reativo calculados a cada hora;

MAX - Função que indica o maior valor da expressão entre parênteses, calculada de hora em hora;

T - Indica cada intervalo de uma hora;

p - Indica posto tarifário: ponta e fora de ponta, para as tarifas horosazonais, e único, para a tarifa convencional;

n - Número de intervalos de uma hora, por posto horário no período de faturamento;

D_{RE} - Faturamento da demanda de reativo excedente;

PAM - Demanda ativa máxima registrada no mês (kW);

PAF - Demanda ativa faturável no mês (kW);

VR_{DRE} - Tarifa de demanda ativa (R\$/ kW);

E_{RE} - Faturamento do consumo de reativo excedente;

$EEAM$ - Consumo ativo do mês (kWh);

VR_{ERE} - Tarifa de consumo ativo (R\$ / kWh);

f_M - Fator de potência médio mensal;

ϕ (phi) – Defasagem entre o ângulo da tensão em relação a corrente.

CA - Corrente Alternada;

V - Tensão em volts;

I - Corrente em amperes;

$\cos\phi$ - fator de potência;

V_n - Valor máximo de tensão

I_n - Valor máximo de corrente

V - Valor eficaz de tensão

I - Valor eficaz de corrente

P - Potência ativa

Q - Potência reativa

S – Potência aparente ou complexa;

Z - Impedância do circuito;

CV – Cavalo vapor, unidade de medida de potência motores;

ΔV - Queda de tensão;

R - Resistência [Ω];

X - Reatância [Ω]

I_{kW} - Corrente ativa;

I_{kvar} - Corrente reativa;

MVAr - Mega Volt Ampere Reativo;

TRF – Transformador de força

QDS – Quadro de distribuição

CAPA – Central de Aparas;

CF – Caldeira de força;

CR – Caldeira de Recuperação;

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes;

Lav. – Lavação de Celulose;

MP – Máquina de Papel;

Hz – Hertz, unidade de medida de frequência;

RLC – Resistor, Indutor, Capacitor;

f_r - Frequência de ressonância;

L - Impedância reator em Henry;

C - Capacitância em Farads;

ABB – Asia Brow Boverly, fabricante de equipamentos;

mH – mili Henry, unidade de medida de indutância;

A – Ampere, unidade de medida de corrente;

S_{trafo} - potência do Transformador em kVA;

V_l - tensão de linha;

$Z\%$ - impedância do transformador em porcentagem;

kA – quilo Ampere;

Inc – Corrente Nominal Capacitor;

MWh – Mega Watt hora, unidade de medida de potência elétrica;

CELESC – Centrais Elétrica de Santa Catarina;

SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	15
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	16
1.2	Justificativa.....	16
1.3	Metodologia.....	16
1.3.1	<i>Abordagem – pesquisa quantitativa</i>	16
1.3.2	<i>Quanto à natureza – pesquisa aplicada</i>	16
1.3.3	<i>Quanto aos objetivos</i>	17
1.3.4	<i>Quanto aos procedimentos</i>	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	Histórico da legislação sobre fator de potência	19
2.2	Legislação atual	20
2.2.1	<i>Forma de avaliação</i>	20
2.2.2	<i>Formas de faturamento</i>	20
2.3	Potência Ativa e Potência Reativa.....	22
2.4	Harmônicos em rede de energia.	24
2.4.1	<i>Cargas Lineares e não lineares</i>	24
2.4.2	<i>Harmônicas</i>	25
2.4.3	<i>A necessidade de instalação de reator de dessintonia em série com o capacitor</i>	26
2.5	Consequências e Causas de um Baixo Fator de Potência.....	28
2.5.1	<i>Perdas Joule na Instalação com aquecimento de condutores</i>	28
2.5.2	<i>Quedas de Tensão</i>	28
2.5.3	<i>Subutilização da Capacidade Instalada;</i>	28
2.6	Correção do Fator de Potência.....	29
2.6.1	<i>Principais meios para correção do fator de potência</i>	29
2.6.2	<i>Tipos de Correção do Fator de Potência</i>	31
2.7	Vantagens da Correção do Fator de Potência.....	33
2.7.1	<i>Melhoria da Tensão;</i>	33
2.7.2	<i>Redução das Perdas</i>	34
2.7.3	<i>Vantagens da Empresa</i>	34

2.7.4	<i>Vantagens para Concessionária.....</i>	35
3	ESTUDO DE CASO CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	
	DISTRIBUIDO.....	36
3.1	Controle do fator de potência antes da instalação dos bancos de capacitores automáticos.....	36
3.1.1	<i>Correção por banco de capacitor em média tensão.....</i>	36
3.1.2	<i>Correção por controle do fator de potência dos turbo geradores</i>	37
3.1.3	<i>Custos com excedente de reativos</i>	37
3.2	Levantamento de cargas dos transformadores.....	38
3.3	Calculo de capacitores e critério de instalação de bancos dessintonizados.....	44
3.4	Características dos bancos instalados	48
3.4.1	<i>Controlador automático</i>	48
3.4.2	<i>Contatores de acionamento</i>	48
3.4.3	<i>Módulos de capacitores.....</i>	49
3.4.4	<i>Filtros de harmônicas.....</i>	53
3.4.5	<i>Sistema de proteção.....</i>	54
3.5	Resultados alcançados	55
3.5.1	<i>Ganhos em geração e redução do consumo da concessionária.....</i>	57
3.5.2	<i>Ganhos com redução de corrente circulante pelos transformadores e de potência disponível para novas cargas.....</i>	59
4	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	APÊNDICES	69
	ANEXOS	72

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda por energia no mundo moderno assim como a necessidade de se otimizar cada vez mais o seu gasto, busca-se evitar desperdício, gastos desnecessários, e maximizar a eficiência dos equipamentos que a utilizam. Como consequência, estes itens podem resultar num retorno financeiro, devido à redução da conta de energia, na redução do desgaste dos equipamentos, e também refletir na capacidade de expansão da indústria, sem a necessidade de novos investimentos em estrutura para suporte da nova demanda.

Uma das formas de se alcançar estes objetivos é a correção do fator de potência, a mesma se dá de forma obrigatória para grandes consumidores por norma regulamentadora no Brasil, através do parágrafo 95 da resolução normativa nº 414 de 2010, prevendo a cobrança de multa por reativo excedente, esta correção pode ser feita na entrada de energia, caso o interesse seja evitar esta cobrança, mas com isto perdem-se vários outros ganhos como o aumento da capacidade de transporte desta energia dentro do parque fabril sem a necessidade de se investir mais em condutores e transformadores, ou seguindo esta linha a instalação de condutores e transformadores menores e mais baratos para acionar as mesmas cargas, ou a redução das perdas por aquecimento dos condutores com a diminuição da corrente circulante no sistema de forma geral.

Este trabalho tem como objetivo apresentar de forma rápida o que é o Fator de Potência, também apresentar a forma de cálculo para efeito de tarifação do consumo de reativos por parte da concessionária de energia, os efeitos negativos que o baixo fator de potência tem nas instalações elétricas assim como os ganhos que podem ser obtidos e as formas de correção e controle do Fator de Potência.

Será apresentado o caso de aplicação e controle do fator de potência em instalação industrial em empresa de celulose e papel da serra catarinense, através do uso de bancos de capacitores automáticos distribuídos.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

Como objetivo geral definiu-se apresentar o caso da aplicação industrial de banco de capacitores automáticos distribuídos sendo estes bancos de BT (Baixa Tensão) de 380 e 440 V (Volts), estes bancos são utilizados em conjunto com dois bancos de média tensão e alto valor, de forma a verificar a melhor estratégia de controle para evitar custos referentes ao consumo de energia reativa e otimizar a utilização dos turbo geradores próprios.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Apresentar de forma resumida o que é fator de potência e as principais formas de controle;
- Apresentar os ganhos do controle do fator de potência em BT com relação à diminuição da corrente circulante nos transformadores;
- Apresentar os ganhos referentes à redução de geração de Potência reativa a partir dos Turbos geradores assim como o aumento de performance ao aumentar a geração de Potência ativa;
- Apresentar o critério de utilização dos bancos dessintonizados;

1.2 Justificativa

A justificativa deste trabalho é através do registro e análise da instalação de bancos de capacitores na unidade fabril de empresa de celulose e papel, confirmar a importância e a necessidade da aplicação da correção do fator de potência distribuída para gerar economia e melhores condições operacionais em uma maior parte da rede elétrica interna da fábrica.

1.3 Metodologia

1.3.1 *Abordagem – pesquisa quantitativa*

Segundo (FONSECA,2002, p. 20)

A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc.

Desta forma a pesquisa quantitativa tem seu fundamento na objetividade, centrando-se nas bases do assunto, tendo como Referência o ponto inicial o que é necessário para compreensão do assunto em si.

Ainda de acordo com (POLIT, BECK e HUNGLER,2004, p. 201); “A pesquisa quantitativa, que tem suas raízes no pensamento positivista lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana.”.

1.3.2 *Quanto à natureza – pesquisa aplicada*

Tem o objetivo de gerar conhecimento para uma aplicação prática dirigida a uma ampla gama de usos. Envolvendo interesse localizado.

1.3.3 *Quanto aos objetivos*

1.3.3.1 *Pesquisa Descritiva*

Segundo (TRIVIÑOS,1987)“A pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar. Esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade”.

Neste tipo de pesquisa é necessária à coleta de informações sobre o objeto de pesquisa de forma a oferecer a ampla descrição dos fatos e fenômenos que o caracterizam.

1.3.4 *Quanto aos procedimentos*

Segundo (FONSECA,2002) a pesquisa se processa através de aproximações sucessivas da realidade, sendo por natureza um processo sem fim, mas que fornece subsídios para uma intervenção no mundo real.

1.3.4.1 *Pesquisa Bibliográfica*

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA,2002, p. 32).

Sendo a principal característica da pesquisa Bibliográfica o levantamento do assunto já publicado de alguma forma, e que serve de base ao trabalho.

1.3.4.2 *Pesquisa Documental*

Segundo (FONSECA,2002, p. 32)

A pesquisa documental trilha os mesmos caminhos da pesquisa bibliográfica, não sendo fácil por vezes distingui-las. A pesquisa bibliográfica utiliza fontes constituídas por material já elaborado, constituído basicamente por livros e artigos científicos localizados em bibliotecas.

A pesquisa documental recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc.

Por ser um assunto de cunho tecnológico é importante a diversificação das fontes as quais podem abranger periódicos, e materiais técnicos disponibilizados pelo fabricante.

1.3.4.3 *Estudo de caso*

Segundo (GIL,2002, p. 54)“Esta modalidade de pesquisa é amplamente usada nas ciências biomédicas e sociais”, esta modalidade foi escolhida de forma a simplificar a coleta de dados e os procedimentos.

Um estudo de caso pode ser caracterizado como um estudo de uma entidade bem definida como um programa, uma instituição, um sistema educativo, uma pessoa, ou uma unidade social. Visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico. O pesquisador não pretende intervir sobre o objeto a ser estudado, mas revelá-lo tal como ele o percebe.

O estudo de caso pode decorrer de acordo com uma perspectiva interpretativa, que procura compreender como é o mundo do ponto de vista dos participantes, ou uma perspectiva pragmática, que visa simplesmente apresentar uma perspectiva global, tanto quanto possível completa e coerente, do objeto de estudo do ponto de vista do investigador (FONSECA,2002, p. 33).

Sendo esta a metodologia escolhida para a parte principal deste trabalho, este tipo de pesquisa se aplica geralmente ao estudo de uma unidade segundo (ALVES-MAZZOTTI e GEWANDSZNAJDERI,1999), podendo ser aplicado ao estudo de uma aplicação para efeito de análise.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico da legislação sobre fator de potência

Conforme (SILVEIRA,2018); (WEG,2019) a legislação referente ao Fator de potência no Brasil data de 1968, através do Decreto nº 62.724 de 17 de maio, e com a redação revisada através do Decreto nº 75.887 de 20 de junho de 1975, foi adotado pelas concessionárias de energia desde então o FP (Fator de Potência) de 0,85 como referência para limitar o fornecimento de energia reativa.

A partir de 1992, através do Decreto nº 479, de 20 de março, reiterou-se a obrigatoriedade de se manter o fator de potência o mais próximo possível da unidade (1,00) , tanto pelas concessionárias quanto pelos consumidores, recomendando ainda, ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE - o estabelecimento de um novo limite de referência para o fator de potência indutivo e capacitivo, bem como a forma de avaliação e de critério de faturamento da energia reativa excedente a esse novo limite.

A nova legislação estabelecida pelo DNAEE estabeleceu uma nova forma de abordagem do ajuste pelo baixo fator de potência, no qual houve o aumento do limite mínimo do fator de potência de 0,85 para 0,92, também passou a multar a energia reativa excedente na forma de faturamento desta, também houve a redução do período de avaliação do fator de potência de mensal para horário, a partir de 1996 para consumidores com medição horosazonal.

Ainda segundo (SILVEIRA,2018) Com isso houve a mudança do objetivo do faturamento, o qual deixa de ser cobrado como um ajuste por baixo fator de potência, como era feito até então, é passado a faturar a quantidade de energia ativa que poderia ser transportada no espaço ocupado por esse consumo de reativo pelas concessionárias. Por este motivo as tarifas aplicadas são de demanda e consumo de ativos e reativos, inclusive ponta e fora de ponta para os consumidores enquadrados na tarifação horosazonal.

Conforme (CREDER,2016), (SILVEIRA,2018)e (MAMEDE,2007) outro ponto importante ficou definido além do novo limite e da nova forma de medição: foi que a partir das 6h da manhã às 24h o fator de potência deve ser no mínimo 0,92 para a energia e demanda de potência reativa indutiva fornecida, e das 24h até às 6h no mínimo 0,92 para energia e demanda de potência reativa capacitiva recebida.

2.2 Legislação atual

2.2.1 Forma de avaliação

Segundo a Resolução normativa ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica) nº 414 de 2010, que é a norma que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica atual, a ocorrência de excedente de reativo pode ser verificada pela concessionária nos consumidores do grupo A, nos quais se incluem consumidores com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV (quilo volt) e/ou possuam tarifação binômica, onde as tarifas são cobradas tanto por consumo quanto por demanda, de duas formas a depender da capacidade do equipamento de medição fornecido pela distribuidora de energia:

- Fator de potência horário, o qual é calculado com base nos valores de energia ativa em kWh (quilowatt por hora) e de energia reativa em kVArh (quilovolt ampere por hora) medidos de hora em hora.

- Através do fator de potência mensal, que é calculado com base nos valores mensais de energia ativa (kWh) e energia reativa (kVArh).

2.2.2 Formas de faturamento

2.2.2.1 Fator de potência horário

A demanda de potência e o consumo de energia reativa excedentes, calculados através do fator de potência horário, serão faturados pelas expressões (2.1) e (2.2) conforme a Resolução normativa ANEEL nº 414 de 2010:

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^n \left[EEAM_T \times \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE} \quad (2.1)$$

$$D_{RE}(p) = \left[MAX_{T=1}^n \left(PAM_T \times \frac{f_R}{f_T} \right) - PAF(p) \right] \times VR_{DRE} \quad (2.2)$$

onde:

$D_{re(p)}$ - Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário;

PAM_T - Demanda de potência ativa medida de hora em hora;

$PAF_{(p)}$ - Demanda de potência ativa faturada em cada posto horário;

VR_{DRE} - Tarifa de demanda de potência ativa;

E_{RE} - Faturamento do consumo de reativo excedente por posto tarifário;

$EEAM_T$ - Consumo de energia ativa medido em cada hora;

VR_{ERE} - Tarifa de energia ativa;

f_T - Fator de potência calculado de hora em hora;

f_R - Fator de potência de Referência 0,92;

Σ - Soma dos excedentes de reativo calculados a cada hora;

MAX - Função que indica o maior valor da expressão entre parênteses, calculada de hora em hora;

T - Indica cada intervalo de uma hora;

p - Indica posto tarifário: ponta e fora de ponta, para as tarifas horosazonais, e único, para a tarifa convencional;

n - Número de intervalos de uma hora, por posto horário no período de faturamento;

2.2.2.2 Fator de potência mensal:

Ainda segundo a resolução normativa nº 414 (ANEEL,2010), onde o equipamento de medição não permite a aplicação das equações acima, a demanda de potência e o consumo de energia reativa excedentes podem ser calculados através do fator de potência mensal, que serão faturados pelas expressões (2.3) e (2.4) :

$$D_{RE} = \left(PAM \times \frac{f_R}{f_M} - PAF \right) \times VR_{DRE} \quad (2.3)$$

$$E_{RE} = EEAM \times \left(\frac{f_R}{f_M} - 1 \right) \times VR_{DRE} \quad (2.4)$$

onde:

D_{RE} - Faturamento da demanda de reativo excedente;

PAM - Demanda ativa máxima registrada no mês (kW);

PAF - Demanda ativa faturável no mês (kW);

VR_{DRE} - Tarifa de demanda ativa (R\$/ kW);

E_{RE} - Faturamento do consumo de reativo excedente;

$EEAM$ - Consumo ativo do mês (kWh);

VR_{ERE} - Tarifa de consumo ativo (R\$ / kWh);

f_R - Fator de potência de Referência 0,92;

f_M - Fator de potência médio mensal;

Através da redação dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 569, de 23.07.2013 (ANEEL,2013), os consumidores do grupo B não podem mais ser cobrados por excedente de reativos devido ao baixo fator de potência.

2.3 Potência Ativa e Potência Reativa

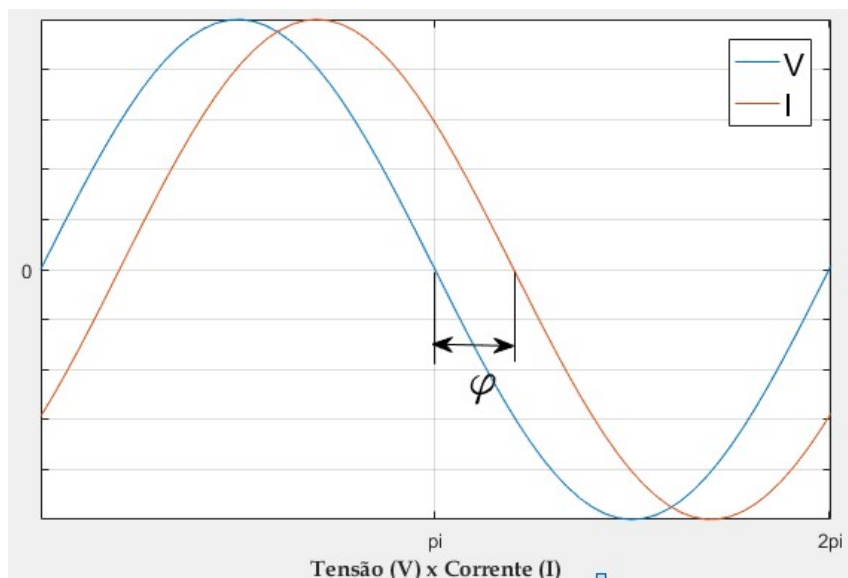
O primeiro ponto a se definir para caracterizar o fator de potência é definir o que é energia ativa e energia reativa:

Qualquer equipamento que transforme a energia elétrica em outra forma de energia útil (térmica, luminosa, cinética) é um consumidor de energia ativa. Qualquer equipamento que possua enrolamentos (transformadores, motores, reatores etc.), e, portanto, necessite de energia magnetizante como intermediária na utilização de energia ativa, é um consumidor de energia reativa. (CREDER,2016, p. 281)

Assim pode-se dizer que a potência ativa é toda aquela utilizada para gerar trabalho de alguma forma, e a potência reativa é a utilizada para estabelecer os campos elétricos e magnéticos em cargas não lineares como capacitores e indutores respectivamente.

Segundo Creder (2016, p. 78), "Chama-se fator de potência o cosseno do ângulo de defasagem entre a corrente e a tensão." Como ilustrado na Figura 1, sendo este ângulo representado por ϕ (phi) que representa esta defasagem entre a tensão e a corrente quando o circuito opera em CA (Corrente Alternada).

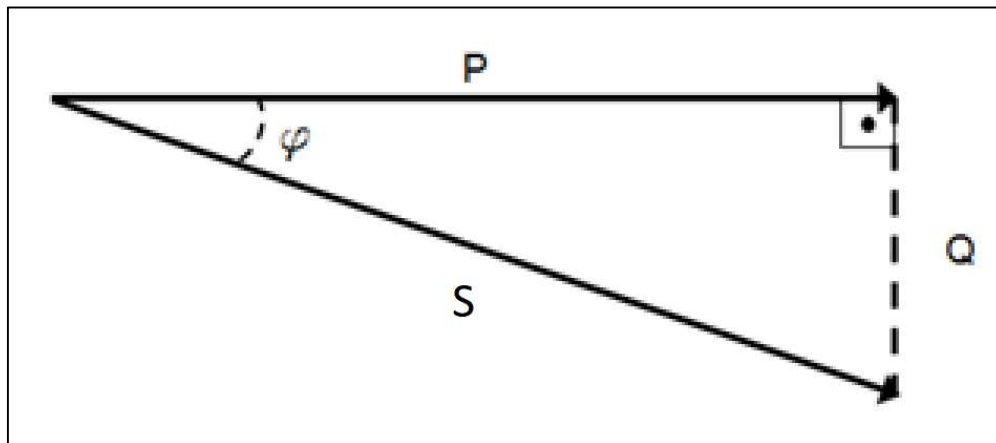
Figura 1: Defasagem Tensão x Corrente.



Fonte: o autor baseado em (DAVID E JOHNSON,1994, p. 254).

Outra forma de representar a relação entre Potência Ativa e Potência Reativa segundo (DAVID E JOHNSON,1994, p. 310) e (CREDER,2016, p. 282) é através da representação conhecida como triângulo das Potências representado na Figura 2:

Figura 2: Triângulo das Potências



Fonte: O autor baseado em (CREDER,2016).

onde:

V - Tensão em volts;

I - Corrente em amperes;

$\cos\varphi$ - fator de potência;

Observando as relações pode-se chegar às equações que definem a Potência Ativa (2.5), Potência Reativa (2.6) e Potência Aparente (2.7) respectivamente:

$$P = V \times I \cos\varphi - \text{Potência Ativa em Watts (W)} \quad (2.5)$$

$$Q = V \times I \sin\varphi - \text{Potência Reativa em volts x amperes reativo (VAr)} \quad (2.6)$$

$$S = V \times I - \text{Potência Aparente em Volts x Amperes (VA)} \quad (2.7)$$

Onde a Potência aparente é dada pela soma vetorial das Potências Ativa e Reativa, (WEG,2019, p. 9) A qual resulta na potência total absorvida pela instalação como dado em (2.8);

$$kVA = \sqrt{kWh^2 + kVArh^2} \quad (2.8)$$

Também pode obter o valor de $\cos\varphi$ através da relação entre Potência ativa e a Potência Aparente, como demonstrado na equação (2.9) (CREDER,2016); (WEG,2019);

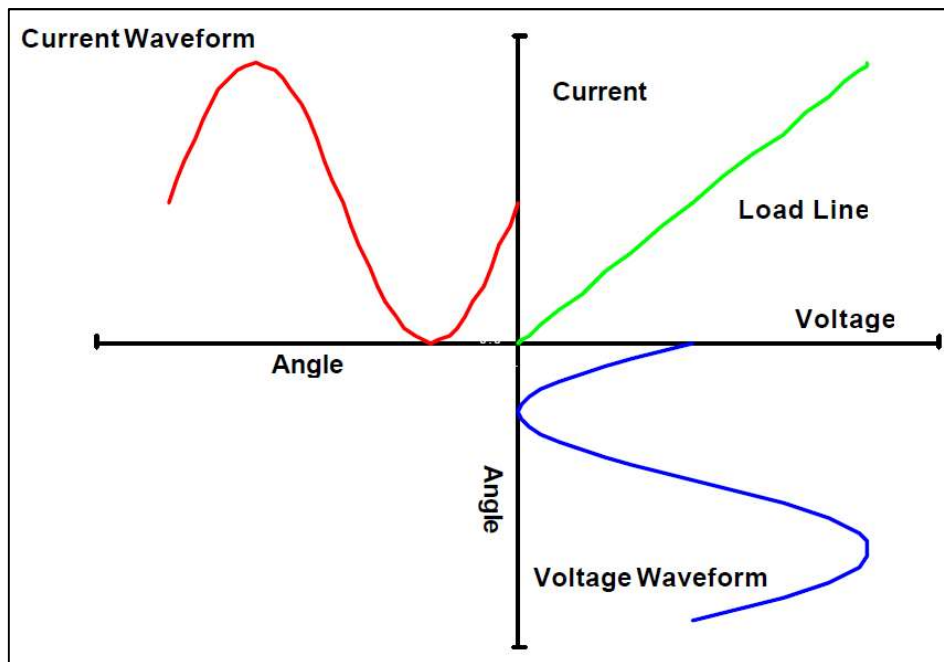
$$\cos\varphi = \frac{kW}{kVA} \quad (2.9)$$

2.4 Harmônicos em rede de energia.

2.4.1 Cargas Lineares e não lineares.

Segundo (LEÃO,2010, p. 99) basicamente existem dois tipos de cargas que podem ser ligadas a rede de energia quanto à relação existente entre a tensão e a corrente circulante, as cargas lineares, em que a corrente tem relação direta com a tensão aplicada, e a carga segue uma relação direta conforme ilustrado na Figura 3 abaixo:

Figura 3: Relação tensão x corrente em cargas lineares

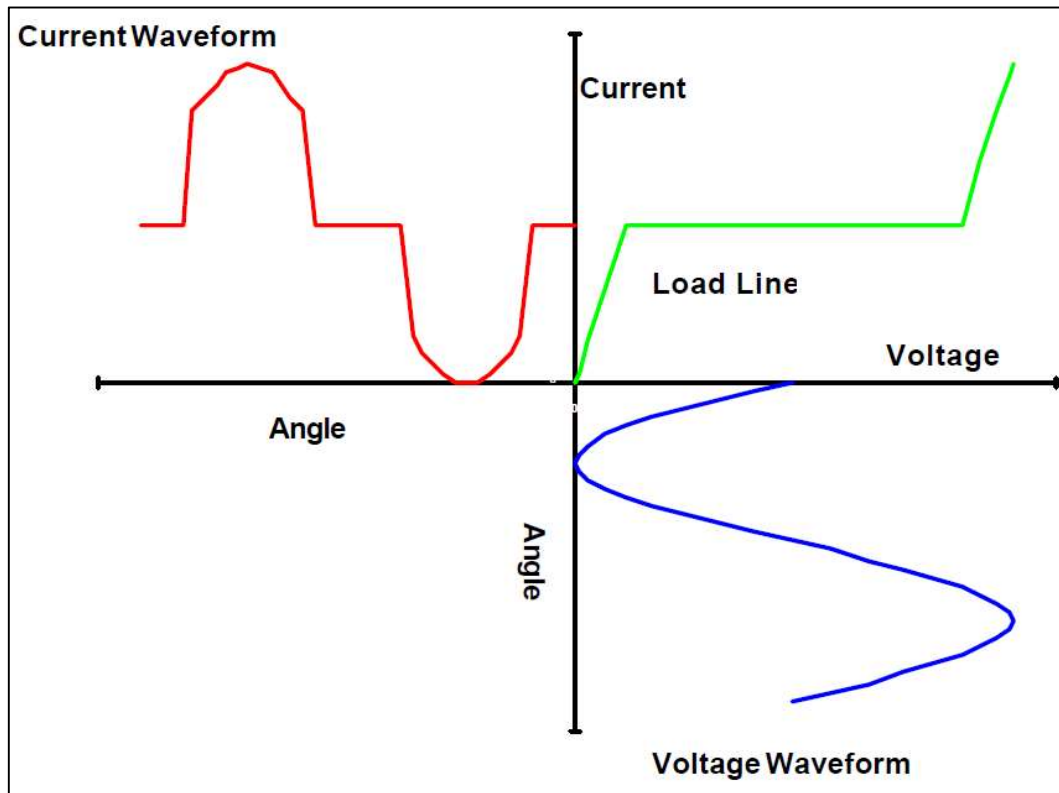


Fonte: (SCHNEIDER/PROCOBRE,2003).

Ainda conforme (LEÃO,2010, p. 99) basicamente se enquadram neste critério cargas resistivas, indutores que não sofrem saturação e capacitores de valor fixos, estas cargas tem comportamento uniforme quando a tensão de alimentação varia em uma frequência única.

Cargas não lineares são aquelas onde a relação entre a tensão e corrente não segue uma relação direta conforme ilustra a Figura 4:

Figura 4: Exemplo de relação tensão x corrente em cargas não lineares



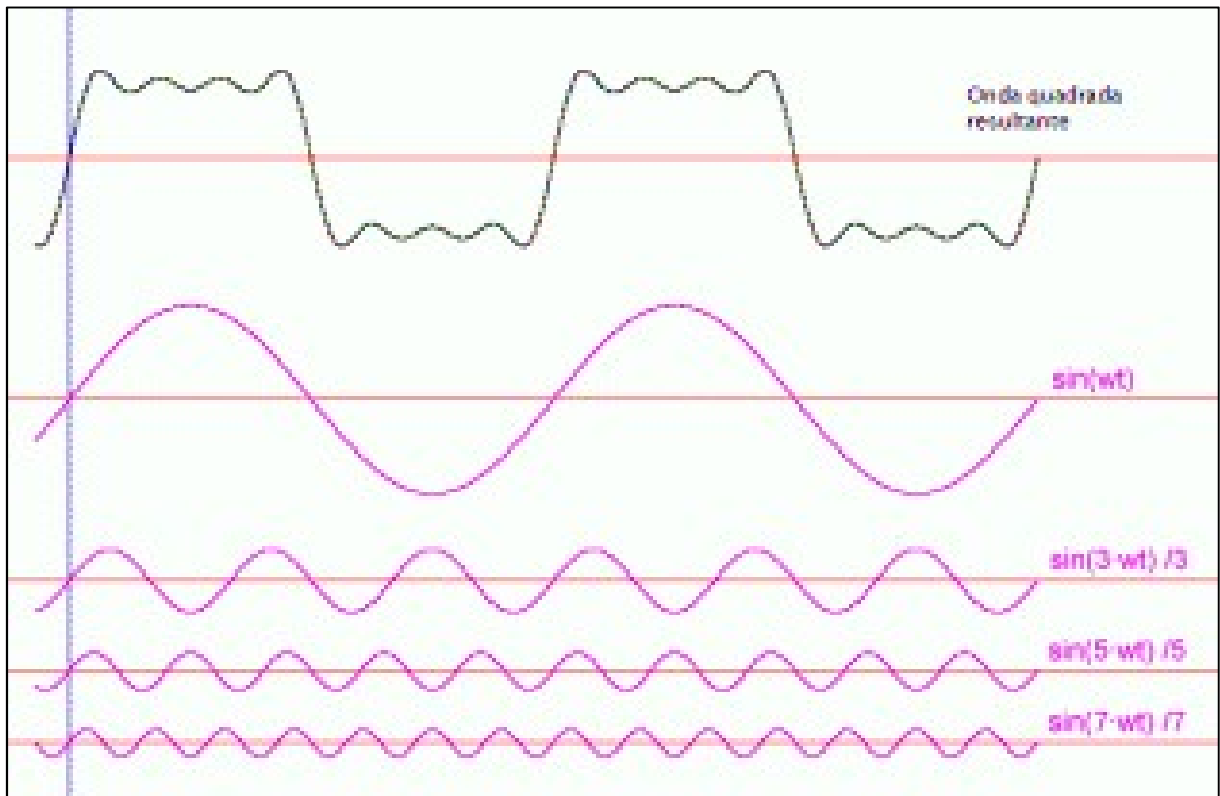
Fonte: (SCHNEIDER/PROCOBRE,2003).

Com isto ainda segundo (LEÃO,2010, p. 102) gerando deformação na tensão devido à interação com as impedâncias do sistema de alimentação, esta classificação ainda se divide em cargas convencionais como indutores com núcleos saturáveis como transformadores, motores elétricos, fornos de arco e cargas chaveadas baseadas em eletrônica de potência onde o chaveamento da carga induz correntes e tensões não senoidais e a presença de harmônicos.

2.4.2 Harmônicas

Segundo (DAVID E JOHNSON,1994, p. 439) o trabalho do matemático francês Jean Baptiste Joseph Fourier no início do século XVIII sobre a condução do calor desenvolveu a série de infinitas senóides, na qual qualquer forma de onda não senoidal pode ser analisada em uma série infinita de senóides, com isto permitindo a análise fasorial de qualquer forma de onda periódica, como ilustrado na Figura 5:

Figura 5: Composição de uma onda quadrada a partir das harmônicas.



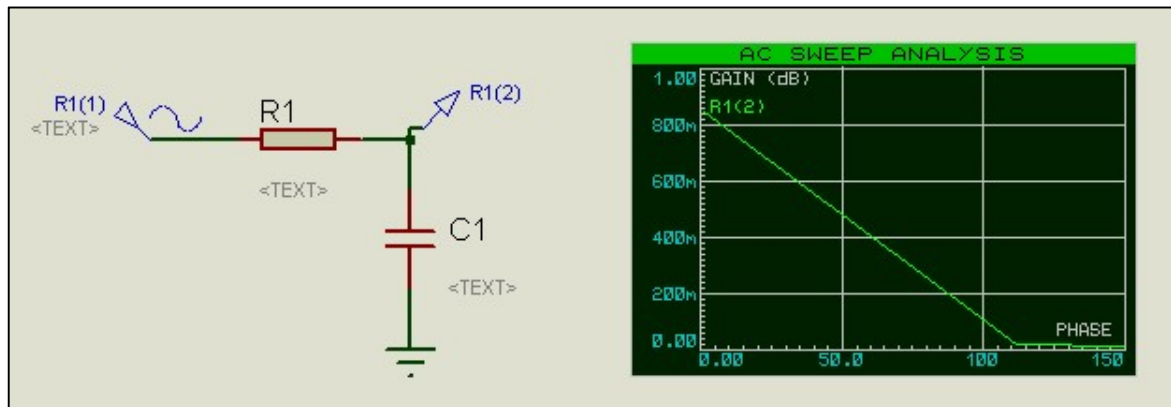
Fonte: (PUHLMANN,2014)

Conforme descrito por (GARCIA,2000, p. 35) com este desenvolvimento é possível a análise das perturbações da rede de energia e onde permitiu o desenvolvimento de filtros de forma a reduzir o efeito destas perturbações na qualidade da energia, diminuindo o efeito da ocorrência de surtos de tensão e corrente que poderiam danificar os equipamentos.

2.4.3 A necessidade de instalação de reator de dessintonia em série com o capacitor.

Segundo (GARCIA,2000, p. 36) a necessidade de instalação do reator de dessintonia se dá pela característica de impedância dos capacitores, a qual tende a diminuir conforme o aumento da frequência presente na rede conforme ilustra a figura 6:

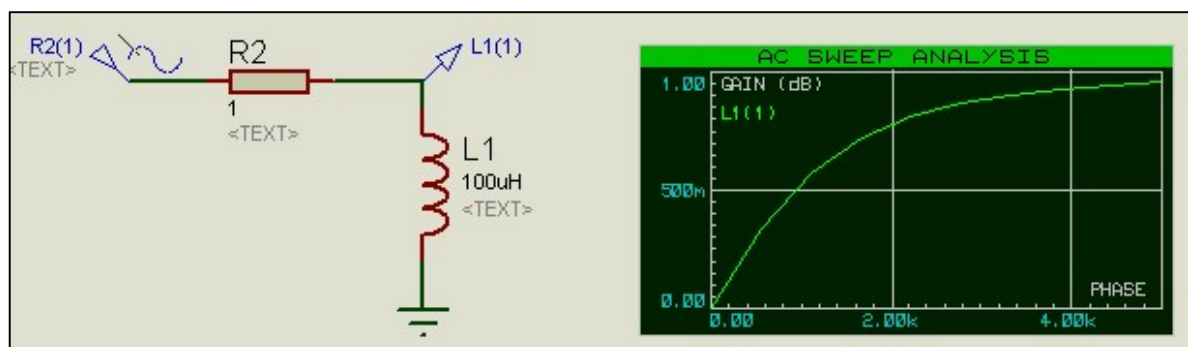
Figura 6: Resposta em frequência capacitor.



Fonte: O autor.

Com isto, ainda segundo (GARCIA,2000, p. 36) a inserção do capacitor em paralelo com a rede e na presença de harmônicos poderá haver um aumento na corrente em harmônicas de ordem maior, por isto é efetuada a ligação em série com uma indutância a qual tem a curva de impedância em relação à frequência oposta à do capacitor, ou seja, a impedância aumenta conforme o aumento da frequência como mostra a figura 7:

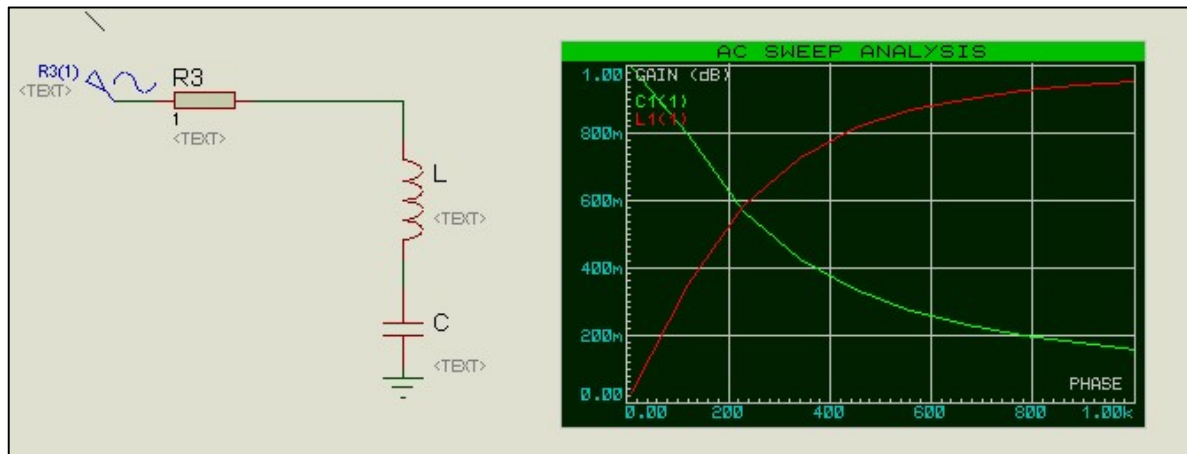
Figura 7: Resposta em frequência indutor.



Fonte: O autor.

Ao se ligar os dois componentes em série, tem-se o cruzamento das impedâncias e assim o circuito não terá uma condição de muito baixa impedância conforme ilustra a Figura 8:

Figura 8: Resposta em frequência induto e capacitor em série.



Fonte: O autor.

2.5 Consequências e Causas de um Baixo Fator de Potência

2.5.1 Perdas Joule na Instalação com aquecimento de condutores.

Conforme (WEG,2019, p. 7) como as perdas de energia elétrica ocorrem em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente total ($I^2 \cdot R$) e esta corrente aumenta conforme baixa o fator de Potência, fica assim estabelecido que o baixo fator de potência provoque o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos, com isto aumentando as perdas.

2.5.2 Quedas de Tensão

Conforme (DAVID E JOHNSON,1994, p. 256) para a análise de circuitos em corrente alternada pode ser aplicado a Equação (2.10) onde Z é a impedância do circuito:

$$V = Z * I \quad (2.10)$$

Conforme (WEG,2019, p. 7) Verificasse que:

O aumento da corrente devido ao excesso de energia reativa leva a quedas de tensão acentuadas, podendo desta forma ocasionar a interrupção do fornecimento de energia elétrica e a sobrecarga em certos elementos da rede. Esse risco é sobretudo acentuado durante os períodos nos quais a rede é fortemente solicitada. As quedas de tensão podem provocar ainda, a diminuição da intensidade luminosa das lâmpadas e aumento da corrente nos motores.

2.5.3 Subutilização da Capacidade Instalada;

Conforme (WEG,2019, p. 8) ao sobrecarregar uma instalação elétrica, a energia reativa, torna inviável a plena utilização desta, sendo a instalação de novas cargas condicionadas a investimentos que podem ser evitados com a correção do Fator de potência, os investimentos

em ampliação das instalações estão relacionados principalmente aos transformadores e condutores necessários.

Ainda segundo (WEG,2019) o transformador a ser instalado deve ser calculado de acordo com a potência total dos equipamentos utilizados, mas com a presença de potência reativa, a sua capacidade deverá ser calculada a partir da potência aparente das instalações. Levando em consideração que a potência aparente é a razão entre a Potência ativa sobre o $\cos\phi$ fica evidente que quanto menor este valor maior será a potência necessária do transformador.

Com o aumento da energia reativa, segundo (WEG,2019) também aumenta o custo dos sistemas de comando, proteção e controle dos equipamentos. Da mesma forma, a seção dos condutores deve aumentar na medida em que o fator de potência diminui em razão $\cos\phi^2$, isto só para transportar a mesma potência ativa sem o aumento de perdas, com isto pode-se verificar que para um $\cos\phi$ de 0,7 é necessário o dobro da seção transversal do condutor do que para um fator de potência unitário.

Verifica-se com isto que “A correção do fator de potência por si só já libera capacidade para instalação de novos equipamentos, sem a necessidade de investimentos em transformador ou substituição de condutores para esse fim específico.” (WEG,2019, p. 8)

2.6 Correção do Fator de Potência

2.6.1 Principais meios para correção do fator de potência.

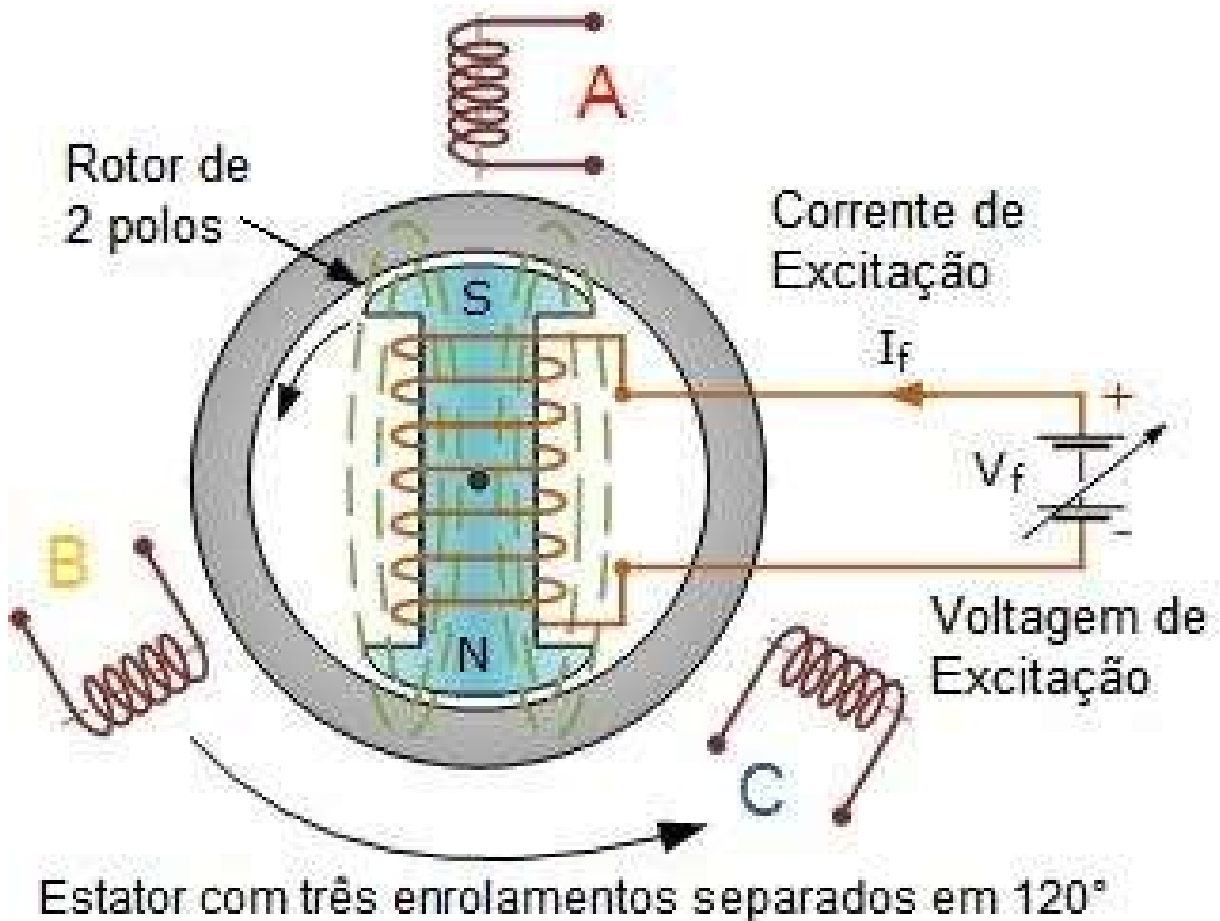
Conforme descrito por (SILVEIRA,2018), a principal forma de corrigir o fator de potência em uma rede elétrica é fornecendo ao equipamento a energia reativa que ele necessita o mais próximo possível de onde ela é necessária, sendo que para isto pode-se dispor de máquinas síncronas, compensadores estáticos de reativos e/ou bancos de capacitores, para fornecer a energia reativa necessária.

2.6.1.1 Máquinas síncronas

Segundo (AMARAL,2019) existem dois tipos de máquinas síncronas e ambas podem ser utilizadas na correção do fator de potência, a primeira é o gerador síncrono que nada mais é que o gerador de corrente alternada onde é possível utilizar conforme descrito por (DAVID E JOHNSON,1994) a variação da corrente de excitação de campo do rotor de forma a controlar o fator de potência de saída deste gerador, a outra máquina síncrona seria o motor síncrono o qual tem a excitação do seu rotor feita por corrente contínua e desta forma o controle desta corrente permite que ele opere de forma a fornecer ou consumir reativos do sistema, este motor pode ser tanto utilizado para acionar uma carga como o também pode ser utilizado

especificamente no controle do fator de potência, sem acionar carga alguma, ambas as máquinas tem desenho semelhante conforme Figura 9 abaixo, podendo inclusive operar uma no lugar da outra somente dependendo de como a carga é aplicada ao eixo.

Figura 9: Gerador/Motor síncrono.



Fonte: o autor adaptado de (excitatriz-para-motor-sincrono,2019).

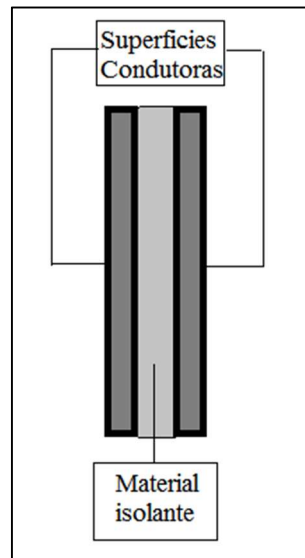
2.6.1.2 Compensadores estáticos de reativos.

Conforme descreve (NATURESA,2001) o compensador estático de reativos é basicamente um equipamento eletrônico, geralmente acionado por tiristores, o qual chaveia reatores e/ou capacitores de forma rápida, o qual é capaz de controlar e reduzir variações de tensão como quedas, picos e oscilações, e ainda lidar com instabilidades causadas por variações rápidas de demanda de energia reativa.

2.6.1.3 Bancos de capacitores estáticos

Segundo (DAVID E JOHNSON,1994) um capacitor é constituído basicamente por duas superfícies condutoras separadas por material isolante, sendo este material isolante comumente chamado de dielétrico conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Estrutura do capacitor



Fonte: o autor adaptado de (Entenda o funcionamento dos capacitores,2018).

Este componente ainda segundo o mesmo autor funciona armazenando cargas através da interação do campo elétrico existente entre as duas superfícies,

Segundo (AMARAL,2019) devido à capacidade de fornecer energia, os mesmos são utilizados para fornecer a energia reativa necessária para a correção do fator de potência, contudo conforme (DAVID E JOHNSON,1994), em um circuito em corrente contínua o capacitor funciona como circuito aberto, mas conforme mais rápida a tensão em seus terminais altera, maior será a corrente fluindo devido às cargas e descargas deste componente.

2.6.2 Tipos de Correção do Fator de Potência

Conforme (CREDER,2016) (MAMEDE,2007) (WEG,2019) a correção do fator de potência através de capacitores pode ser feita de quatro maneiras diferentes, tendo como objetivos a conservação de energia e a relação custo/benefício:

Primeiro pode haver a correção na entrada da energia de alta tensão onde se dá a correção do fator de potência visto pela concessionária segundo (WEG,2019),tendo ainda a correção por este método um custo elevado e permanecendo a desvantagem de todos os inconvenientes citados pelo baixo fator de potência internamente.

O segundo método é a correção na entrada da energia de baixa tensão, onde conforme descrito por (WEG,2019) permite uma correção significativa, normalmente neste ponto são utilizados bancos automáticos de capacitores. Sendo muito utilizados em instalações elétricas com elevado número de cargas com potências diferentes e regimes de utilização poucos

uniformes. A principal desvantagem consiste em não haver alívio sensível dos alimentadores de cada equipamento.

Ainda há segundo (WEG,2019) a correção por grupos de cargas, onde o capacitor é instalado de forma a corrigir um setor ou um conjunto de pequenas máquinas com potência inferior a 10CV. Sendo instalado junto ao quadro de distribuição que alimenta esses equipamentos, tendo a desvantagem não diminuir a corrente nos circuitos de alimentação de cada equipamento.

Por último, conforme (WEG,2019), (CREDER,2016) e (MAMEDE,2007), tem-se a correção localizada que é obtida instalando-se os capacitores junto ao equipamento que se pretende corrigir o fator de potência, representa, do ponto de vista técnico a melhor solução, apresentando as vantagens de reduzir as perdas energéticas em toda a instalação, diminuir a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos, também pode-se utilizar em sistema único de acionamento para a carga e o capacitor, economizando-se um equipamento de manobra e finalmente gera a potência reativa somente onde é necessário, sendo necessário o cuidado de quando esta carga se tratar de motores conforme descreve (MAMEDE,2007), a potência do capacitor deverá ser de 90% a potência reativa necessária para o motor operando em vazio, com isto evitando que o sistema entre em ressonância nesta condição o que reduziria a impedância total do sistema e onde haveria a alta circulação de corrente.

Segundo (WEG,2019) existe ainda a possibilidade de correção mista, a qual do ponto de vista da Conservação de Energia e considerando aspectos técnicos, práticos e financeiros, torna-se a melhor solução. Onde se utiliza a correção localizada de transformador, e motores maiores de 10 CV, motores menores se corrigem por grupos, na parte de iluminação onde se utiliza reatores com baixo fator de potência a correção se dá na entrada da rede de alimentação, e finalmente instala-se na entrada um Banco de capacitores automático de pequena potência.

2.6.2.1 Correção na Média Tensão

Segundo (WEG,2019) a correção de Fator de Potência em média tensão tem diversas desvantagens em relação à correção em baixa, sendo feita geralmente através de capacitores fixos devido ao alto custo da instalação de um sistema automático, sempre corre o risco de se tornar capacitiva devido à diminuição da carga, com isto aumentando a tensão no lado da concessionária e também aumentando a capacidade de corrente de curto circuito, este tipo de instalação não oferece a vantagem da diminuição de corrente no sistema de Baixa tensão e com isto aumenta os custos com instalação para suprir as necessidades de corrente reativa tanto nos

cabos quanto nos transformadores, sendo assim todas as vantagens de aumento da capacidade instalada alcançadas na correção distribuída em baixa tensão são perdidas ao corrigir na alta.

2.7 Vantagens da Correção do Fator de Potência

2.7.1 Melhoria da Tensão;

Segundo (MAMEDE,2007) a instalação de capacitores por si só já é responsável pela elevação de tensão na rede elétrica, mas geralmente esta não é uma opção economicamente viável, com isto considera-se a elevação da tensão uma vantagem adicional à utilização dos mesmos na correção do fator de potência.

Pela lei de ohm e analisando o circuito tem-se que a tensão em qualquer ponto de um circuito elétrico é igual à da fonte geradora menos a queda de tensão até aquele ponto. Com isso, se a tensão da fonte geradora e as diversas quedas de tensão forem conhecidas, a tensão em qualquer ponto pode ser facilmente determinada.

Como a tensão na fonte é conhecida, o problema consiste apenas na determinação das quedas de tensão. A fim de simplificar o cálculo das quedas de tensão, a equação (2.11) é geralmente usada :

$$\Delta V = R * I * \cos(\varphi) \pm X * I * \sin(\varphi) \quad (2.11)$$

onde:

ΔV - Queda de tensão [V];

R - Resistência [Ω];

I - Corrente total [A];

(φ) - Ângulo do fator de potência;

X - Reatância [Ω] (+) - Para cargas com fator de potência atrasado (-) - Para cargas com fator de potência adiantado;

Os valores de ΔV , R e X são valores por fase. A queda de tensão entre fases para um sistema trifásico seria $\Delta V * \sqrt{3}$.

Conhecido o fator de potência e a corrente total, as componentes da corrente são facilmente obtidas em (2.12) e (2.13)

$$I_{kW} = I * \cos(\varphi) \quad (2.12)$$

$$Ikvar = I * \text{sen}(\varphi) \quad (2.13)$$

onde:

IkW - Corrente ativa;

$Ikvar$ - Corrente reativa;

Assim, a equação acima pode ser escrita conforme (2.14) :

$$V = R * IkW \pm X * Ikvar \quad (2.14)$$

Assim conforme analisa (WEG,2019, p. 9)

Por esta expressão, torna-se evidente que a corrente relativa à potência reativa opera somente na reatância. Como esta corrente é reduzida pelos capacitores, a queda de tensão total é então reduzida de um valor igual a corrente do capacitor multiplicada pela reatância. Portanto, é apenas necessário conhecer a potência nominal do capacitor e a reatância do sistema para se conhecer a elevação de tensão ocasionada pelos capacitores. Nos estabelecimentos industriais com sistemas de distribuição modernos e a uma só transformação, a elevação de tensão proveniente da instalação de capacitores é da ordem de 4 a 5%.

2.7.2 Redução das Perdas

Segundo (WEG,2019) em grande parte dos sistemas de distribuição de energia elétrica na indústria, as perdas joule por resistência dos condutores variam de 2,5 a 7,5% da potência ativa da carga, dependendo das horas de trabalho a plena carga, bitola dos condutores e comprimento dos alimentadores e circuitos de distribuição.

Ainda como descreve (WEG,2019) estas perdas são proporcionais ao quadrado da corrente e como a corrente é reduzida na razão direta da melhora do fator de potência, as perdas são inversamente proporcionais ao quadrado do fator de potência.

Redução percentual das perdas pode ser calculada através da equação (2.15) ;

$$\frac{\% \Delta P}{P1} = 100 - \frac{100 * \cos^2(\varphi)1}{\cos^2(\varphi)2} \quad (2.15)$$

2.7.3 Vantagens da Empresa

Conforme (CREDER,2016), (MAMEDE,2007) e (WEG,2019) podem-se numerar diversas vantagens para a empresa quando é efetuado o controle do fator de potência, como a redução do custo de energia elétrica devido ao não pagamento do consumo de energia reativa, obtém-se também uma melhora da tensão na linha, aumento da eficiência energética, aumento

da capacidade dos equipamentos de manobra, redução do efeito Joule e aumento da vida útil dos equipamentos e instalações devido à diminuição da corrente circulante.

2.7.4 Vantagens para Concessionária

Como descrito por (CREDER,2016), (MAMEDE,2007) e (WEG,2019) a parcela de potência reativa deixa de circular no sistema de transmissão e distribuição, diminuem-se as perdas pelo efeito Joule, também há o aumento da capacidade do sistema de transmissão e distribuição de conduzir potência ativa, com isto obtém-se o aumento da capacidade de geração podendo atender mais consumidores, o que diminui os custos de geração.

3 ESTUDO DE CASO CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA DISTRIBUIDO

3.1 Controle do fator de potência antes da instalação dos bancos de capacitores automáticos.

3.1.1 Correção por banco de capacitor em média tensão.

Na empresa do ramo de papel e celulose estudada, parte da correção do fator de potência se dava através de dois bancos de capacitores de média tensão (13,8kV) sendo uma unidade de 7MVar(Mega Volt Ampere Reativo) e outra de 8 MVar Montados próximos ao quadro de distribuição em média tensão conforme visto na Figura 11, sendo a unidade de 8 MVar dividida em duas unidades uma de 3,5MVar e outra em série com um filtro de harmônicas de 4,5 MVar.

Figura 11: Bancos de capacitores em média tensão.



Fonte: O autor,

A forma de trabalho com esta abordagem como sugere (CREDER,2016) é deixar um dos bancos de capacitores ligado permanentemente fazendo a troca somente quando demanda manutenção, ou o desligamento quando da parada total da planta Fabril, esta abordagem oferece riscos devido às altas tensões transitórias que surgem quando ocorre o chaveamento destes capacitores, e não oferece controle variável com a demanda, podendo o sistema se tornar capacitivo e oferecendo riscos de sobretensão nas linhas, assim como não é possível a redução da corrente nas linhas de distribuição internas em média tensão, e o aproveitamento total dos transformadores nas áreas onde há maior incidência de baixo fator de potência.

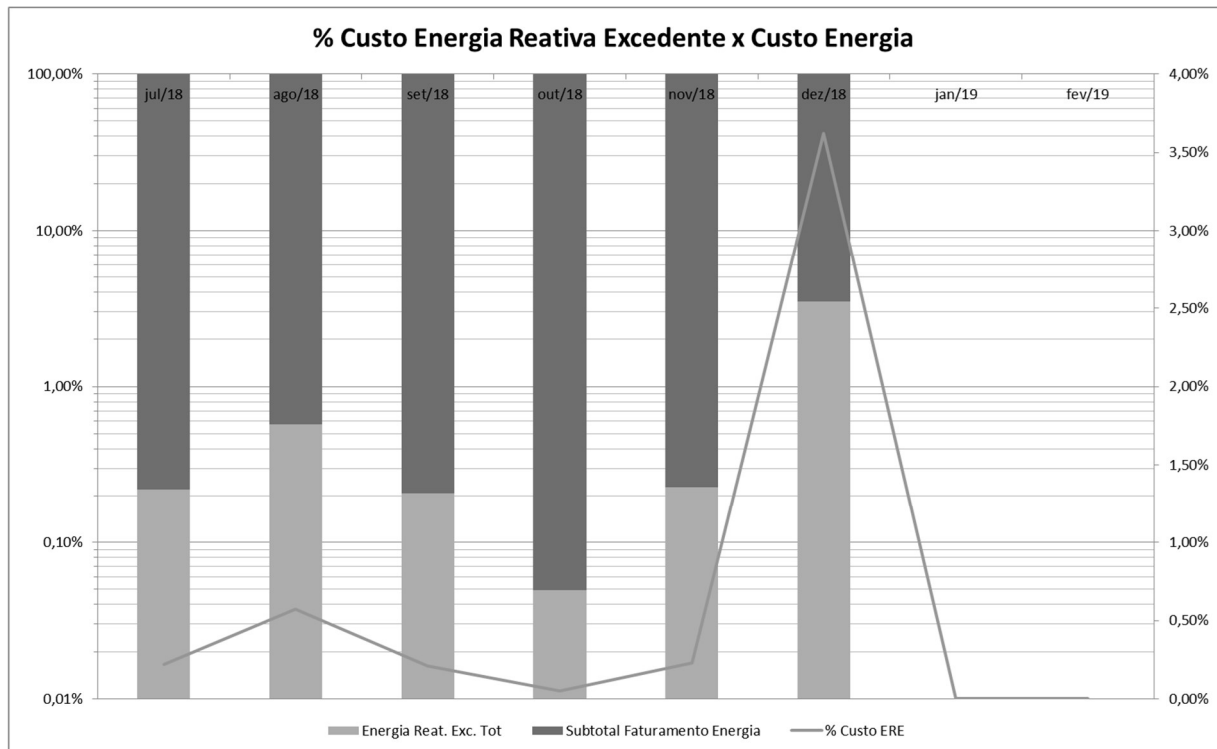
3.1.2 Correção por controle do fator de potência dos turbo geradores

O controle fino do fator de potência ficava a cargo dos turbo geradores próprios, operando de forma a fornecer os reativos restantes necessários ao sistema através do controle da corrente de campo dos geradores, conforme descrito por (FITZGERALD, KINGSLEY e UMANS,2014, p. 297), sendo o controle do Fator de Potência é feito de forma automática em ambos os geradores com o controle da corrente de campo dos geradores, de forma a operarem sub-excitados e com fator de potência capacitivo, com um dos geradores operando através de valor pré-definido e o outro operando de forma a manter o valor de FP visto pela concessionária de energia se mantenha dentro de valores acima de 0,92 indutivo de forma a evitar custos por consumo de reativos a partir da concessionária, com isto utilizando parte da capacidade geradora de forma a gerar os reativos necessários ao funcionamento da unidade, mas havendo a circulação de corrente de Reativo alta nas linhas de alimentação assim como a redução da tensão disponível na carga devido ao baixo fator de potência.

3.1.3 Custos com excedente de reativos

Conforme levantamento feito através das contas de energia da empresa verificou-se um baixo custo referente ao consumo excedente de reativos, isto se dá pelo motivo exposto anteriormente, controle do fator de potência através do turbo gerador número 3, pode ser verificado no gráfico um aumento nos custos com excedente de reativos chegando a 2,5% na fatura do mês de dezembro, isto se deu devido à retirada de operação do referido turbo gerador para uma revisão geral do mesmo entre os meses de novembro e dezembro, ficando o valor menor do que 0,3% em média no período anterior conforme exibido na Figura 12.

Figura 12: Custo de Energia Reativa Excedente x Custo total Consumo de Energia.

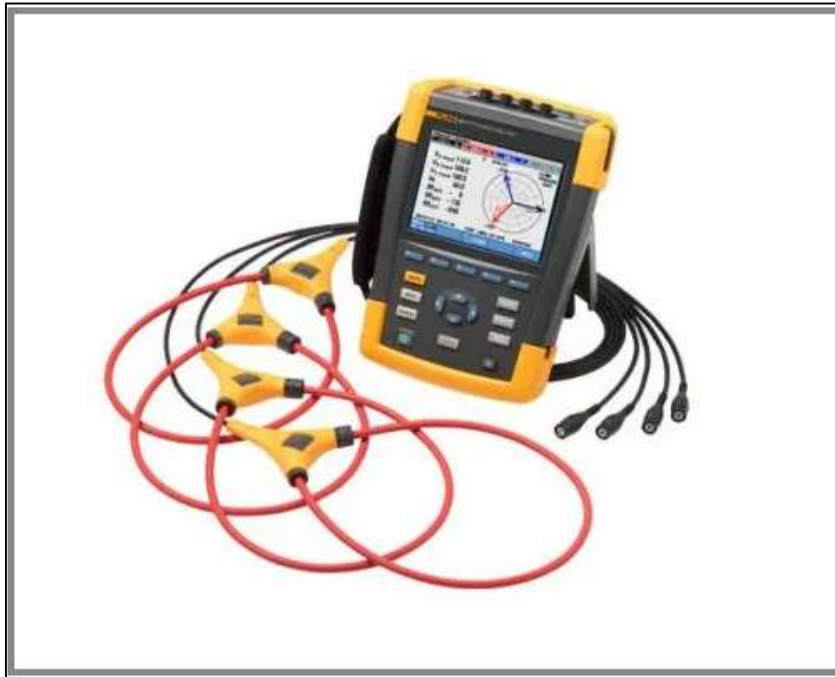


Fonte: O autor.

3.2 Levantamento de cargas dos transformadores

O levantamento de cargas se deu método das potências medidas conforme descrito por (MAMEDE,2007) a medição foi feita por transformador e compilada por setor onde se utilizou o equipamento analisador de qualidade de energia trifásica FLUKE 435 série II apresentado na Figura 13, este equipamento, conforme o fabricante (FLUKE,2007), é capaz de analisar as três fases em conjunto com o neutro caso seja necessário, pois dispõe de quatro sondas de corrente o que permite verificar tanto a corrente quanto a tensão dos quatro principais pontos de uma rede trifásica, também é disponibilizado uma calculadora de perda energética que é capaz de medições clássicas de potência ativa e reativa, desequilíbrio e potência harmônica, as quais são quantificadas para identificar os custos fiscais de perdas de energia, função esta que não foi utilizada nesta análise em particular.

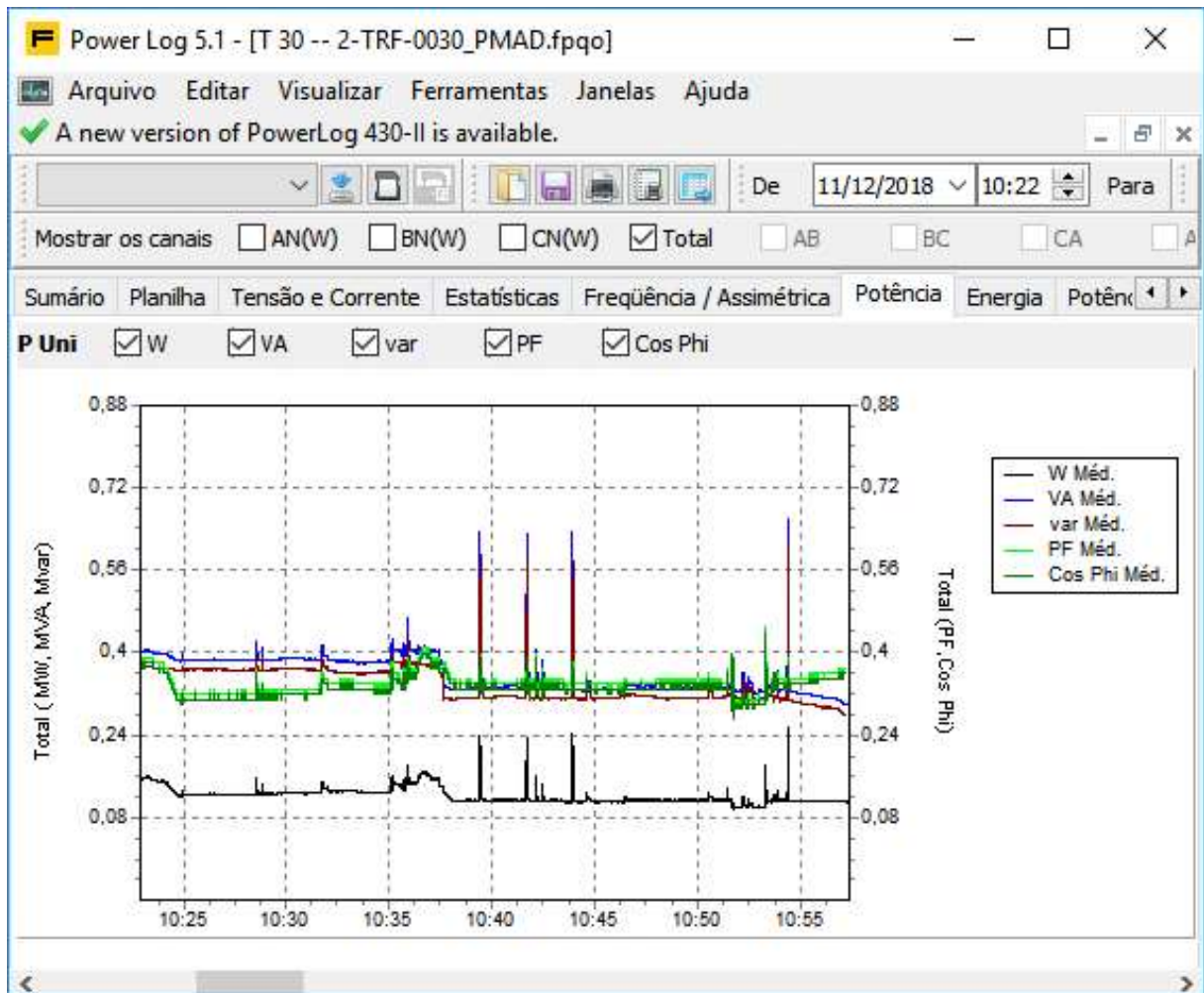
Figura 13: Analisador de Qualidade de Energia Trifásica FLUKE 435 série II



Fonte: site FLUKE (2019)

A análise dos dados coletados é possível através do próprio equipamento ou mais usual é o download das informações para a aplicação para PC Power Log, a qual gera gráficos e relatórios onde podem escolhidos quais dados a serem visualizados conforme exemplo na Figura 14.

Figura 14: Gráfico gerado pela aplicação Power Log para análise da qualidade de energia



Fonte: o Autor.

Após a análise os dados foram compilados e apresentados de forma a avaliar a potência dos bancos necessária para corrigir cada transformador conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Levantamento carga

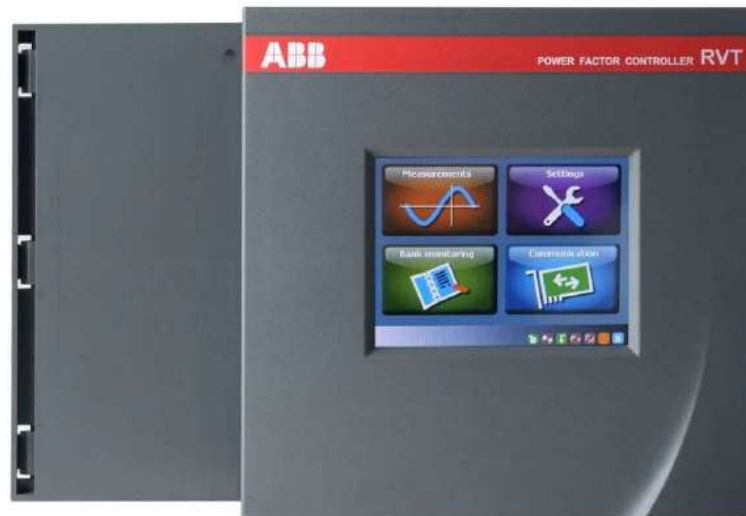
Trafo / Quadro	POT (KVA) Instalada	Demanda		Atual	Objetivo	Correção Capacitor (KVAR)
		(KVA)	(KW)	Cos ϕ	Cos ϕ	
2-TRF-0036	1000	384,8	321,3	0,84	0,92	74,86
2-TRF-0037	1000	672,2	529	0,79	0,92	189,35
2-QDS-0040	1500	453,6	403,7	0,89	0,92	34,85
2-QDS-0041	1500	640,4	504,6	0,79	0,92	179,29
2-TRF-0112	2500	2131,4	1541	0,72	0,92	816,01
CAPA	2000	434,1	329,9	0,76	0,92	141,57
Captção 1	1300	311,4	252,2	0,81	0,92	75,15
C F- 9	2250	543,1	434,5	0,80	0,92	140,76
CR-4	4000	1220,5	1061,8	0,87	0,92	149,42

ETE	2500	1117,5	938,71	0,84	0,92	206,46
Forno	1500	867,2	650,37	0,75	0,92	296,52
Lav. 3	4500	2358,4	1933,9	0,82	0,92	526,03
Lav. 4	6500	4142,5	3355,45	0,81	0,92	999,89
MP-11	4500	2039,1	1631,27	0,80	0,92	528,53
Drives MP-12	9000	2506,9	1905,21	0,76	0,92	817,65
MP-12, Úmida	6000	1965,3	1591,9	0,81	0,92	474,37
MP-13 seca	5500	1328,8	757,44	0,57	0,92	769,17
MP-13 Úmida	14225	9403,2	7334,5	0,78	0,92	2759,85
Sec. Biomassa	3750	1539,8	985,5	0,64	0,92	763,36
Pátio de Mad.	10000	2614,3	1882,3	0,72	0,92	1012,40
Utilidades	2000	1598,6	1390,76	0,87	0,92	195,72
Total	85525,0	38272,9	29735,3			11151,2

Fonte: O autor.

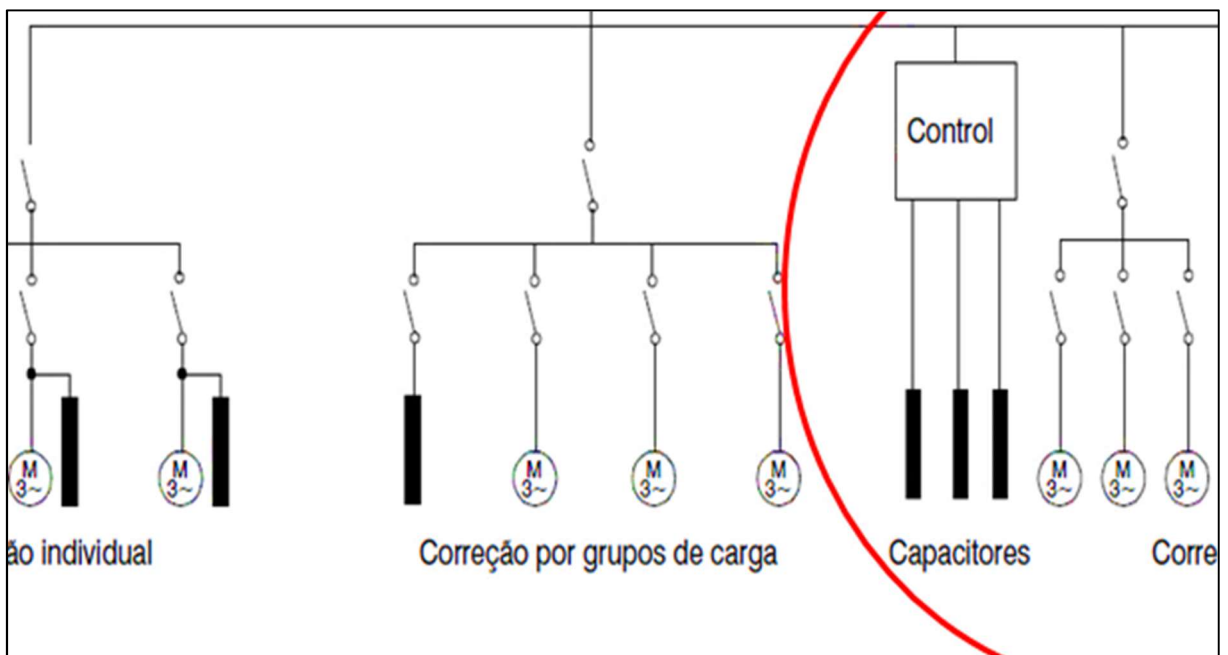
Com base nestas medições verificou-se a necessidade de 11.151,2 kVAr para correção total do sistema de energia de 60Hz, o escopo apresentado para o projeto foi de utilizar 19 Bancos de Capacitores automáticos utilizando o controlador RVT modelo trifásico RVT12-3P, da ABB (Figura 15) sendo cada unidade do controlador capaz de acionar até 12 capacitores de forma automática, com a abordagem de correção geral conforme ilustrado na Figura 16 com cada unidade ligada em derivação no ponto mais próximo possível da saída do transformador a ela destinado assim como foram escolhidos o número de capacitores em cada unidade e os valores dos mesmos de forma a maximizar o controle do fator de potência de forma suave e dinâmica.

Figura 15: Controlador RVT modelo trifásico RVT12-3P



Fonte: (ABB,2018)

Figura 16: Forma escolhida para instalação e controle do fator de potência.



Fonte: (WEG,2019).

Com base nas análises individuais foram identificadas oportunidades em alguns transformadores de 380/440V conforme Tabela 2.

Tabela 2: Demanda e fator de potência antes

MÁQUINA DE PAPEL 13						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos ϕ	V (%)	(%)
2-TRF-0004	1500	1373,8	1099,50	0,80	1,11%	1,07%
2-TRF-0006	1000	815,5	625,50	0,77	1,17%	1,80%
2-TRF-0035	2000	1375,8	1176,0	0,85	1,37%	1,33%

2-TRF-0077	1500	984,1	775,85	0,79	4,38%	14,28%
2-TRF-0085	1500	1828,8	1335,00	0,73	3,08%	4,90%
Total	7500,0	6377,9	5011,9			
MÁQUINA DE PAPEL 12						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-TRF-0108	2000	1401,1	1177,50	0,84	2,06%	2,59%
2-TRF-0078	2500	1283,6	1071,00	0,83	1,78%	2,05%
2-TRF-0065	2000	721,2	583,50	0,81	2,01%	4,12%
Total	6500,0	3405,9	2832,0			
MÁQUINA DE PAPEL 11						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-TRF-0028	1500	1396,3	1137,00	0,81	1,60%	1,77%
2-TRF-0080	1500	734,4	603,00	0,82	1,74%	4,42%
Total	3000,0	2130,7	1740,0			
LAVAGEM 4						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-TRF-0112	2500	2258,9	1701,00	0,75	1,61%	2,37%
LAVAGEM 2						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-TRF-0036	1000	695,8	553,50	0,80	1,82%	2,62%
2-TRF-0113	1500	1116,9	945,00	0,85	2,07%	2,86%
Total	2500,0	1812,7	1498,5			
PÁTIO DE MADEIRAS						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-TRF-0030	1500	1230,8	800,00	0,65	2,06%	2,59%
SECADOR DE BIOMASSA						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-TRF-0141	3000	640,0	480,00	0,75	2,80%	28,00%
PRÉ-EVAPORAÇÃO 2 - BLOW HEAT						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-TRF-0129	2500	1521,4	1278,00	0,84	2,77%	5,07%
TRATAMENTO DE EFLUENTES - TEFL						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-TRF-0123	2500	1369,0	1150,00	0,84	2,04%	6,12%
CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO CR4						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-QDG-0034	2500	381,9	297,00	0,78	2,15%	11,60%
UTILIDADES						
Trafo / Quadro	POT (kVA)	Demanda		Atual	THD	THD I
	Instalada	(kVA)	(kW)	Cos φ	V (%)	(%)
2-TRF-0069	2000	721,1	606,9	0,84	1,46%	4,16%

Fonte: O autor.

O diagrama básico com a identificação dos transformadores assim como a qual Quadro de distribuição em média tensão ao qual estão ligados está ilustrado no Apêndice A – Diagrama simplificado 60Hz empresa, disponível ao final deste trabalho.

3.3 Cálculo de capacitores e critério de instalação de bancos dessintonizados.

A partir das medições foram verificados os pontos críticos e a quantidade de kVAr necessários para a correção até o valor pretendido para o fator de potência de 0,92 utilizando o método do triângulo das potências com a equação (3.1) conforme descrito por (MAMEDE,2007, p. 214) e (CREDER,2016, p. 286).

$$kVAr\ necess\u00e1rio = kW * (tg\phi_1 - tg\phi_2) \quad (3.1)$$

onde:

kVAr necessário - o valor em kVAr dos capacitores a serem utilizados;

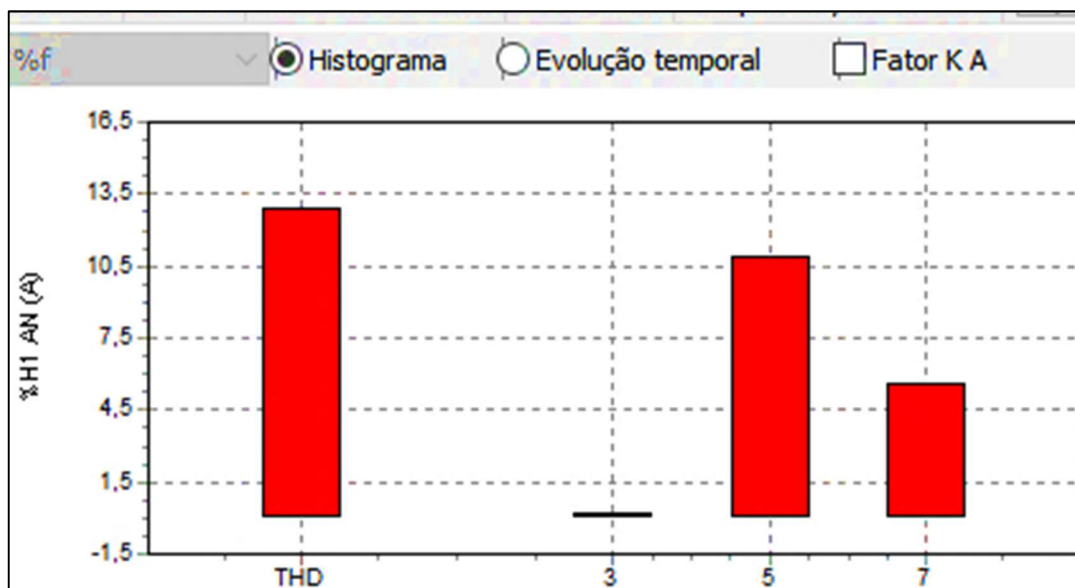
kW - a Potência ativa utilizada pelo equipamento;

ϕ_1 - ângulo do fator de potência original;

ϕ_2 - ângulo do fator de potência desejado;

Nesta mesma avaliação da qualidade de energia verificou-se a necessidade de instalar Bancos de capacitores com reatores de dessintonia conforme sugere (CREDER,2016, p. 299) onde a presença de distorção harmônica era significativa, principalmente na 5ª harmônica, como ilustra a Figura 17 obtido através da análise da qualidade de energia.

Figura 17: Análise da distorção harmônica total Trafo 77.



Fonte: o autor

De forma a proteger o sistema da ocorrência de ressonância com as harmônicas presentes na rede de energia e com isto o aumento da tensão nesta frequência devido à formação de um circuito RLC em paralelo com a fonte devido à adição dos capacitores o que pode causar danos tanto aos capacitores quanto aos equipamentos instalados, conforme o mesmo autor as unidades dos bancos dessintonizados foram calculados conforme a equação (3.2) , para que a frequência natural do sistema ficasse entre a 6ª e 7ª harmônicas de forma a reduzir os efeitos da ressonância no sistema.

$$f_r = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{1}{L*C}} \quad (3.2)$$

onde:

f_r - Frequência de ressonância;

L - Impedância reator em Henry;

C - Capacitância em Farads;

Com base nas informações obtidas foram instalados os bancos conforme Tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Necessidade de correção x capacidade instalada por Transformador em kVAr

MÁQUINA DE PAPEL 13								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kVAr	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-TRF-0004	0,92	355,29	1195,1	178,7	Não	6	330	440
2-TRF-0006	0,92	256,78	679,9	135,6	Não	5	270	440
2-TRF-0035	0,92	212,99	1278,3	97,5	Não	4	210	440
2-TRF-0077	0,92	274,81	843,3	140,7	Sim	6	330	440
2-TRF-0085	0,92	681,16	1451,1	377,7	Sim	12	690	440

MÁQUINA DE PAPEL 12								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kVAr	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-TRF-0108	0,92	257,72	1279,9	121,2	Não	5	270	440
2-TRF-0078	0,92	251,25	1164,1	119,5	Não	5	270	<u>380</u>
2-TRF-0065	0,92	175,37	634,2	87,0	Não	4	210	440

MÁQUINA DE PAPEL 11								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kVAr	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			

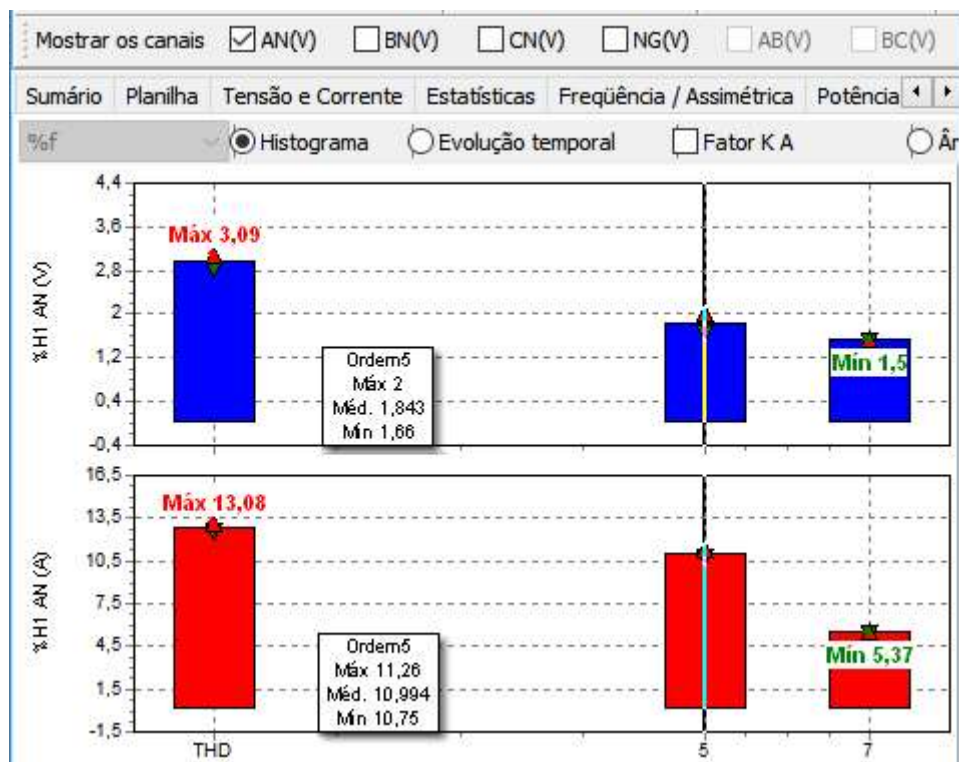
2-TRF-0028	0,92	326,20	1235,9	160,5	Não	6	330	380
2-TRF-0080	0,92	162,33	655,4	79,0	Não	4	210	380
LAVAGEM 4								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kV Ar	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-TRF-0112	0,92	761,68	1848,9	410,0	Não	12	690	440
LAVAGEM 2								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kV Ar	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-TRF-0036	0,92	185,85	601,6	94,2	Não	4	210	440
2-TRF-0113	0,92	192,75	1027,2	89,7	Não	4	210	440
PÁTIO DE MADEIRAS								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kV Ar	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-TRF-0030	0,92	594,51	869,6	361,2	Não	12	690	440
SECADOR DE BIOMASSA								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kV Ar	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-TRF-0141	0,92	218,84	521,7	118,3	Sim	5	270	440
PRÉ-EVAPORAÇÃO 2 - BLOW HEAT								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kV Ar	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-TRF-0129	0,92	281,08	1389,1	132,3	Sim	6	330	440
TRATAMENTO DE EFLUENTES - TEFL								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kV Ar	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-TRF-0123	0,92	252,93	1250,0	119,0	Não	5	270	440
CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO CR4								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kV Ar	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-QDG-0034	0,92	113,55	322,8	59,1	Sim	4	210	440
UTILIDADES								
Trafo / Quadro	Objetivo	Correção Capacitor	Após Correção		Banco	Estágios	kV Ar	Tensão
	Cos ϕ	(kVAr)	(kVA)	Redução (kVA)	Dessintonizado			
2-TRF-0069	0,92	131,02	659,6	61,5	Não	4	210	440

Fonte: O autor.

Devido a forma de liberação de verba para projetos seguir certos critérios, sendo projetos maiores de 1,5 milhões de reais deveriam ser aprovados e executados através do escritório corporativo, por se tratar de empresa com diversas unidades espalhadas no Brasil e uma fora do país, optou-se em reduzir a capacidade dos bancos de forma a manter o valor do projeto abaixo deste valor, no total foram instalados 6.210kVAr distribuídos em 19 Bancos com um total de 113 estágios dotados de capacitores trifásicos sendo 33 destes estágios dotados de reator de dessintonia e destinados a 5 Bancos distribuídos onde a análise de energia verificou a necessidade, para esta aplicação apenas 3 bancos foram dotados de 12 estágios assim utilizando a capacidade total do controlador, nos demais devido a necessidade menor de correção foram utilizados menor número de estágios, variando entre 4 a 6 estágios e com isto também reduzindo o custo total do sistema e atendendo a um maior número de transformadores na planta fabril.

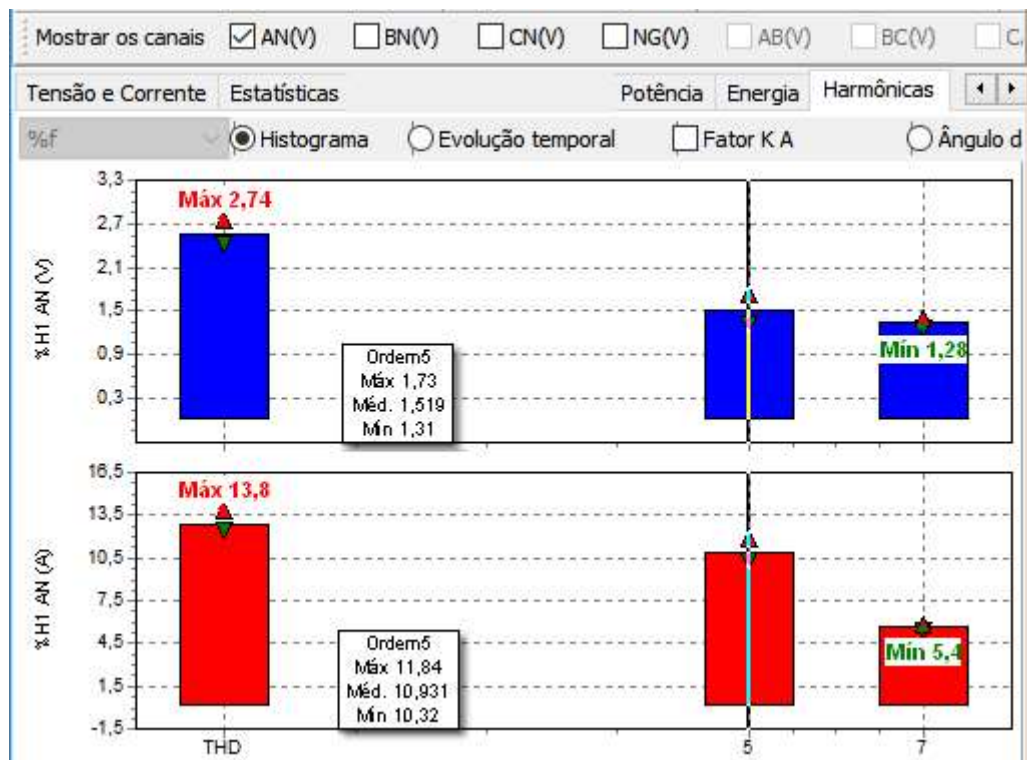
Durante a análise feita na ativação dos bancos pode-se perceber uma pequena melhora da distorção harmônica esta melhora foi mais significativa na distorção da tensão como mostrado nas Figuras 18 (antes da ativação) e 19 (após ativação) , retirada da análise feita no Transformador 77.

Figura 18: Análise da distorção harmônica total Trafo 77 antes da ativação



Fonte: o autor

Figura 19: Análise da distorção harmônica total Trafo 77 após ativação



Fonte: o autor

3.4 Características dos bancos instalados

3.4.1 Controlador automático

Todos os bancos foram fornecidos e montados pelo fabricante ABB, e conforme já apresentado eles contam como controlador modelo trifásico RVT12-3P, que segundo o manual do fabricante (ABB,2018) com capacidade de controle de até 12(doze) capacitores de forma automática, além de capacidade de medição de tensão e corrente individual de cada fase o que confere a capacidade de corrigir o Fator de Potência em redes trifásicas desbalanceadas, esta característica não foi utilizada nesta aplicação, este equipamento segundo o fabricante oferece interface gráfica sensível ao toque com qualidade QVGA de 320 x 240 pixel, com menus fáceis e intuitivos o que permite fácil configuração e operação, permite obter leituras e gráficos em tempo real das medições obtidas, também permite configurar a forma de acionamento dos bancos, configurando capacitores com valores menores como ajuste fino, acionamento em sequência ou cíclico, etc.

3.4.2 Contatores de acionamento

Estes controladores acionam os capacitores através de contatores específicos ABB da série UA os quais são indicados para chavear bancos de capacitores de 12,5kVAr até 75kVAr

e onde a corrente de acionamento não exceda a 100 vezes a corrente nominal do contator escolhido foram especificados para os bancos os seguintes contatores com respectivos dados técnicos conforme Tabela 4 abaixo:

Tabela 4: Modelo contator x Corrente de pico x potência.

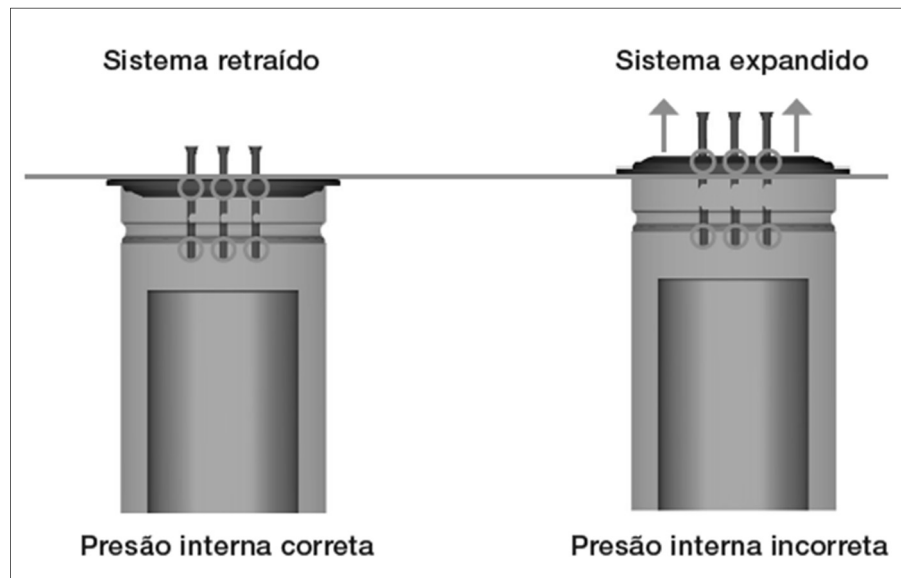
Modelo contator	Máx corrente de pico kA	Potência operacional kVAr		Tensão de acionamento
		IEC 400v	UL/CSA 480v	
UA30	3,5	27,5	32	220v
UA50	5	33	40	220v
UA63	6,5	45	*	220v
UA75	7,5	50	55	220v
UA95	10,5	75	80	220v

Fonte: (ABB,2019)

3.4.3 Módulos de capacitores

Estes contatores acionam capacitores trifásicos da linha QCAP também da fabricante ABB, os quais segundo o fabricante possui a vantagem de ser totalmente a seco, sendo formados por filme de polipropileno metalizado com Zinco e não suscetíveis a vazamentos com isto podem ser instalados na horizontal ou na vertical e apresentam tolerância da capacitância entre 0% à +10%, também possuem resistor de descarga incorporado, o que é necessário para operar em conjunto com os contatores escolhidos já que os mesmos demandam que a tensão nos terminais dos capacitores esteja abaixo de 50V antes da reconexão, estes capacitores contam também com desconexão por sobre pressão eficiente, de forma a desligar simultaneamente os contatos internamente no caso de falha do capacitor como ilustrado na Figura 20, mantendo assim a integridade do restante do equipamento.

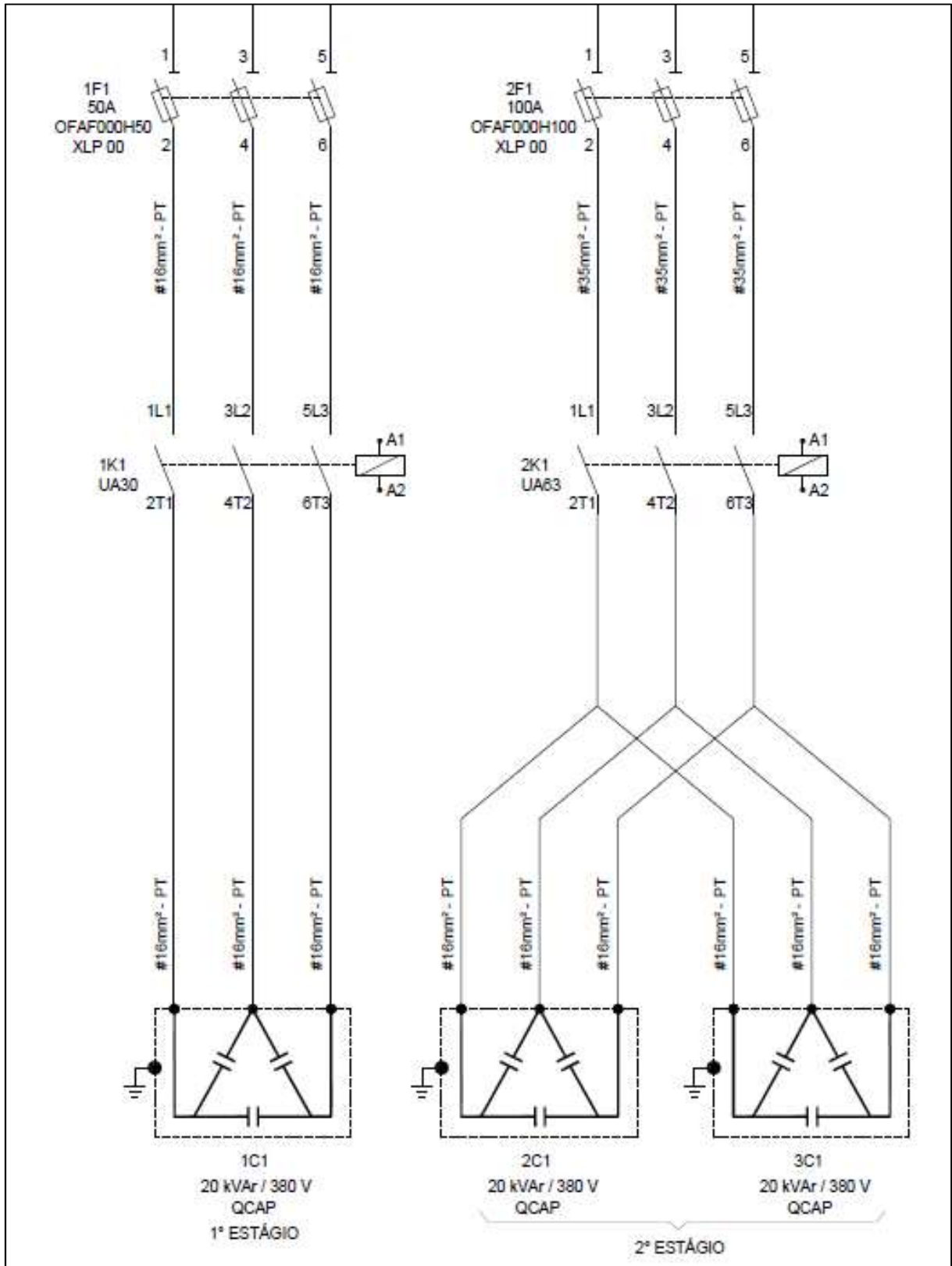
Figura 20: Desligamento por sobre pressão capacitor



Fonte: (ABB,2015).

Os capacitores possuem ainda grau de proteção IP20e são auto regenerativos, sendo que para esta aplicação foram utilizados os seguintes valores de capacitores, em 380 V foram utilizados capacitores de 15, 20 e 25kVAr, sendo ligados em paralelo dois capacitores de mesma potência na maioria dos casos a fim de se obter maiores valores de potência, conforme ilustrado na Figura 21:

Figura 21: Ligação de capacitores sem filtro.

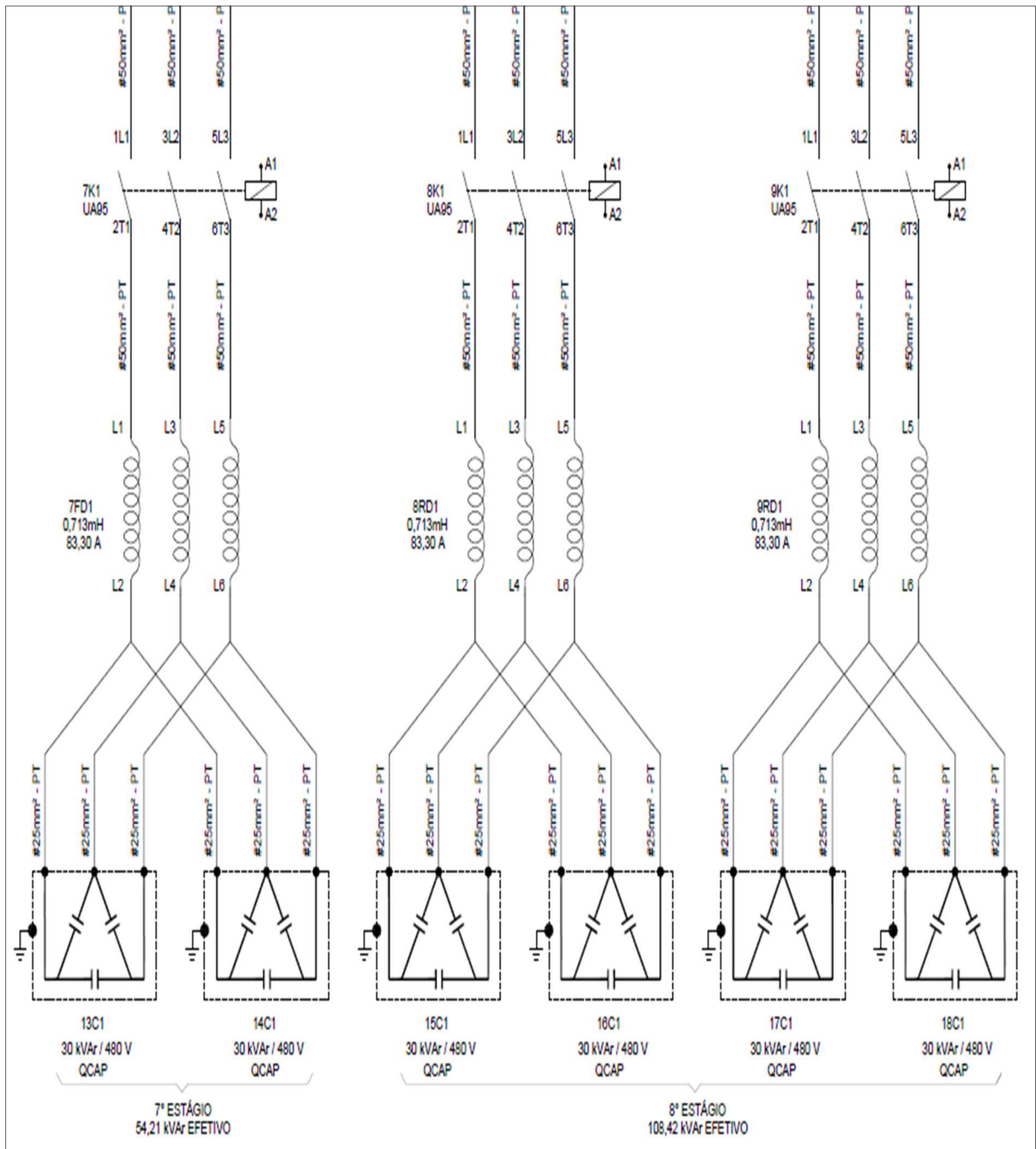


Fonte: Desenho montagem banco de capacitor ABB.

Em bancos ligados em 440V ou que necessitavam de filtros para dessintonia foram escolhidos os capacitores de 30kVAr de 440V para os bancos sem filtro e de 30kVAr e 480V

para os bancos com filtros reatores devido ao aumento da tensão que as indutâncias em série causam, também utilizando-se da ligação em paralelo de forma a se obter maiores potências, ou ainda com ligações em duplo paralelo onde necessitava de valores ainda maiores de potência, como ilustrado na Figura 22.

Figura 22: Ligação de capacitores com filtro e duplo paralelo.

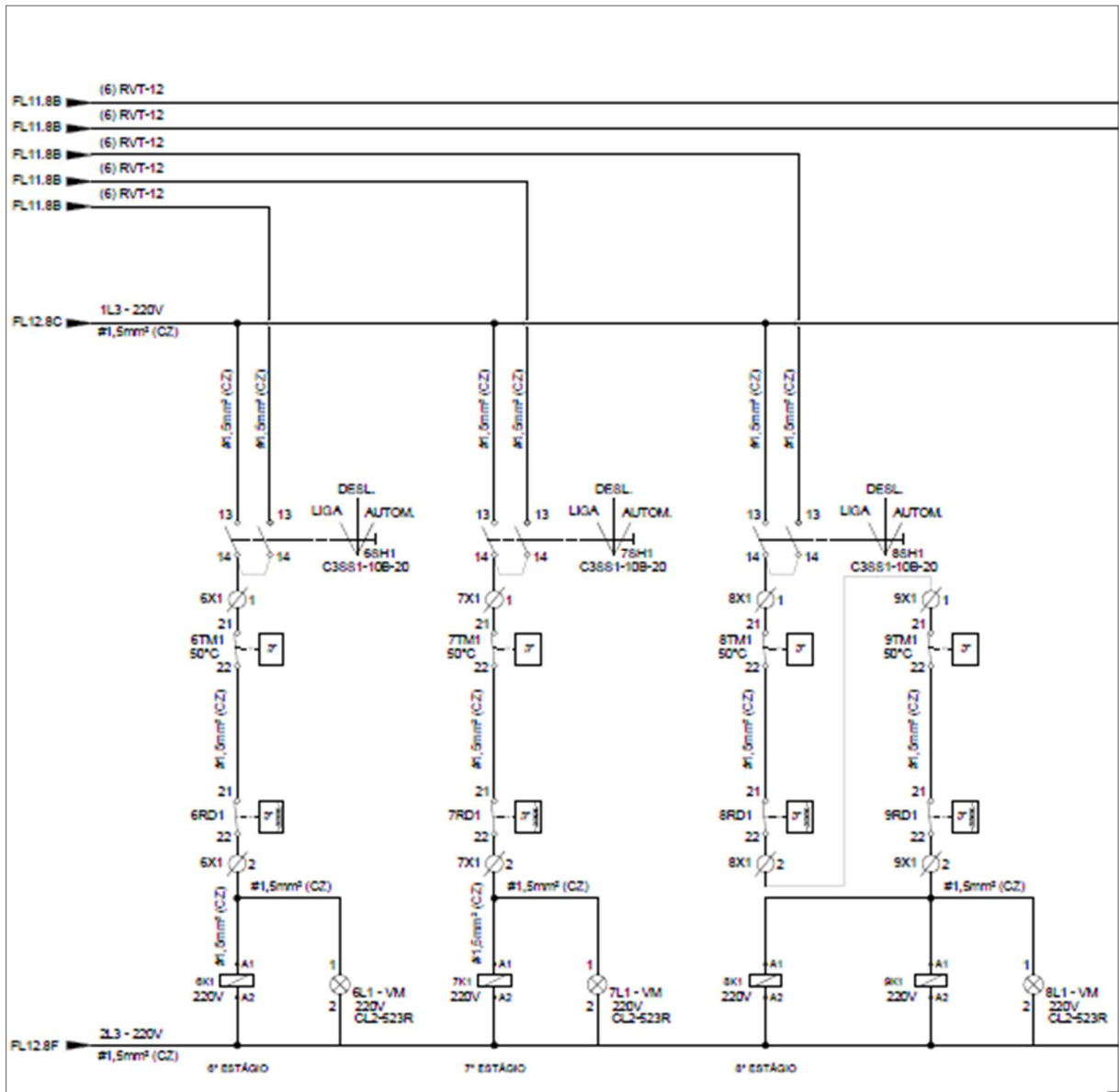


Fonte: Desenho montagem banco de capacitor ABB.

No caso onde se utilizaram os capacitores na configuração de duplo paralelo foram utilizados dois contadores, um para cada dupla de capacitores, e acionamento único conforme

ilustra a Figura 23 Ligação de capacitores sem filtro de forma a manter a utilização do contator de maior capacidade, e não haver necessidade de se utilizar resistores de pré-carga, que reduzem a corrente de acionamento dos capacitores mas se tornam um ponto extra de falhas, mantendo assim maior versatilidade no caso de necessidade de troca dos capacitores e/ou contadores, tendo o número de peças de estoque reduzido com o uso de equipamentos intercambiáveis.

Figura 23: Ligação do comando para capacitores com filtro e duplo paralelo.



Fonte: Desenho montagem banco de capacitor ABB.

3.4.4 Filtros de harmônicas

Para os bancos dessintonizados, foram ligados em série com cada módulo de capacitores um reator de dessintonia de 0,713mH com capacidade de corrente de 83,3 A, sendo que para os

bancos que contam com este reator os mesmos foram dotados com termostato ajustáveis que desativam o conjunto de forma a evitar danos aos reatores por temperatura elevada.

3.4.5 Sistema de proteção.

Uma análise nas características de potência e impedância dos transformadores a serem ligados aos bancos de capacitores onde foi aplicado o cálculo simplificado de corrente de curto circuito (I_{cc}) em baixa tensão (DOLGOFF,2016) apresentado na equação (3.3) .

$$I_{cc} = \frac{S_{trafo}}{\sqrt{3} * V_l * Z\%} \quad (3.3)$$

Onde S_{trafo} é a potência do Transformador em kVA, V_l é a tensão de linha no secundário e $Z\%$ a impedância do transformador em porcentagem, aplicando esta equação ao pior cenário possível que seria um curto no transformador 78 de 2.500kVA e impedância 5,5%, o que daria uma corrente de curto circuito de 69kA, levando em consideração este dado os bancos de capacitores contam com barramento interno de ligação capaz de lidar corrente de curto circuito de até 65kA, sendo este transformador específico o único a apresentar valor de I_{cc} superior ao do barramento, o sistema de proteção também conta com a proteção dada por fusíveis ABB da série HCR, do tipo OFAF-H, montados em chaves seccionadoras porta fusível logo na entrada dos contatores conforme ilustrado na Figura 24.abaixo:

Figura 24: Fusíveis de proteção e contator utilizados.



Fonte: o autor.

Os quais segundo o fabricante, são capazes de lidar com corrente de curto circuito de até 120kA, sendo que a corrente de ruptura destes fusíveis foi calculada conforme sugere

(MAMEDE,2007) e (WEG,2019) em 1,6 vezes a corrente nominal do capacitor que é dada pela equação (3.4) .

$$Inc = \frac{Potencia\ Reativa\ Cap(kVAr) .1000}{\sqrt{3} * VI} \quad (3.4)$$

Todos os equipamentos vieram montados em cubículos sendo apenas necessária a revisão geral e ligações ao barramento, alimentação e transformadores de corrente, conforme ilustra a Figura 25.

Figura 25: Cubículo banco de capacitores.

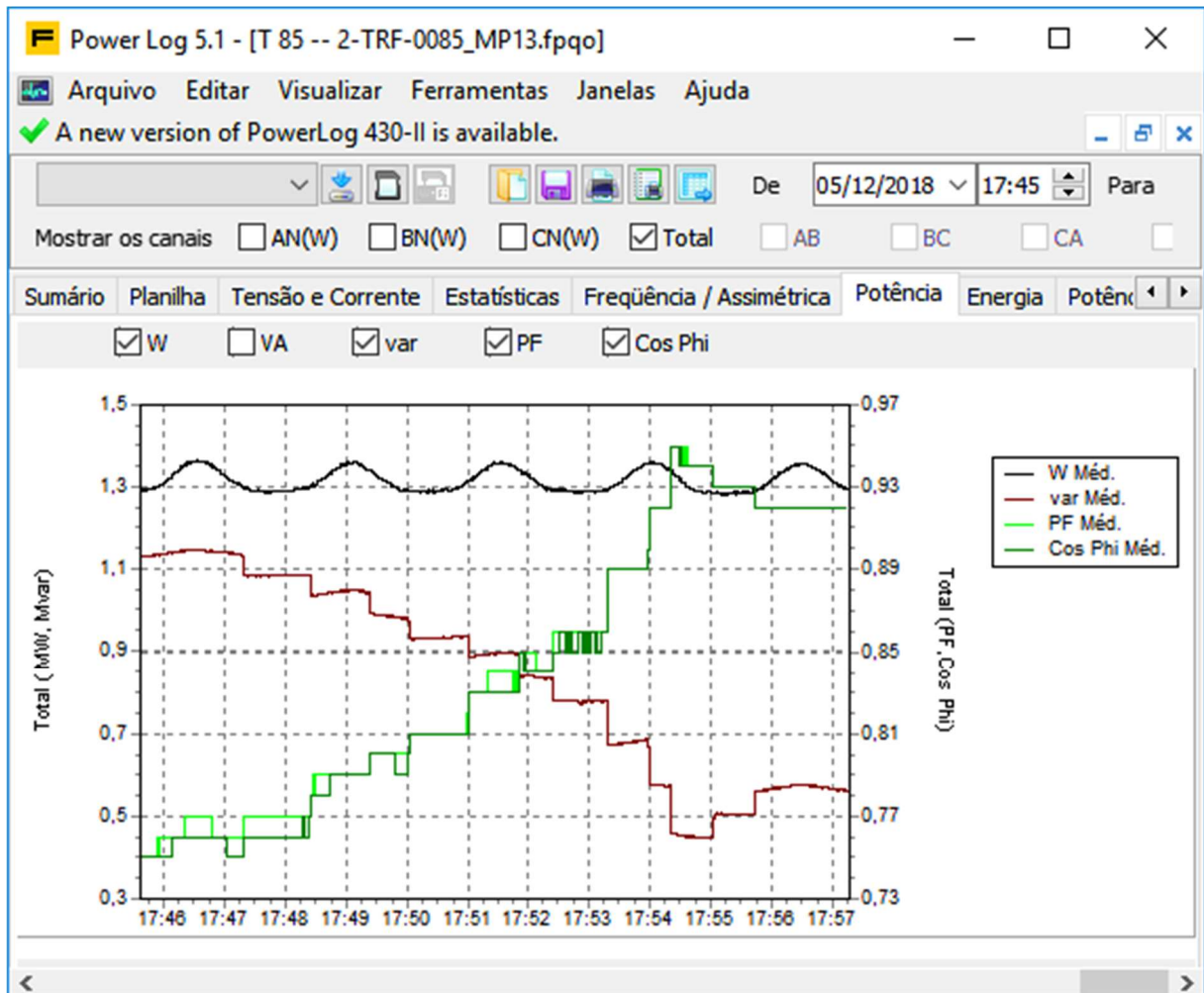


Fonte: o autor.

3.5 Resultados alcançados

A ativação dos bancos se deram durante os meses de dezembro de 2018 a janeiro de 2019, cada ativação foi acompanhada por nova análise da qualidade de energia a qual mostrava a eficácia da implementação como mostrado na Figura 26.

Figura 26: Acompanhamento durante ativação do Banco de capacitores



Fonte: O autor.

Após a ativação de todos os bancos foram compilados os dados aferidos através do analisador de qualidade de energia os quais chegaram aos seguintes valores conforme a Tabela 5 abaixo:

Tabela 5: Leitura de Cos ϕ x Corrente antes e após.

Trafo / Quadro	POT (KVA) Instalada	Antes Cos ϕ	Atual Cos ϕ	Antes (A)	Atual (A)	Antes (kVA)	Atual (kVA)
2-TRF-0004	1500	0,80	0,92	1823,0	1565,0	1354,0	1186,0
2-TRF-0006	1000	0,77	0,92	812,0	671,0	613,0	509,0
2-TRF-0035	2000	0,82	0,89	1640,0	1447,0	1281,0	1133,0
2-TRF-0077	1500	0,79	0,93	1170,0	990,0	890,0	758,0
2-TRF-0085	1500	0,76	0,92	2302,0	1834,0	1750,0	1415,0
2-TRF-0108	2000	0,85	0,92	1148,0	1080,0	867,0	798,0
2-TRF-0078	2500	0,83	0,92	1817,0	1584,0	1162,0	1030,0
2-TRF-0065	2000	0,82	0,93	826,0	729,0	620,0	553,0
2-TRF-0028	1500	0,79	0,87	1760,0	1567,0	1182,0	1056,0
2-TRF-0080	1500	0,82	0,92	1017,0	882,0	660,0	577,0

2-TRF-0112	2500	0,75	0,90	2908,0	2370,0	2189,0	1850,0
2-TRF-0036	1000	0,80	0,95	930,0	730,0	705,0	564,0
2-TRF-0113	1500	0,81	0,90	1454,0	1296,0	1084,0	970,0
2-TRF-0030	1500	0,65	0,92	827,4	580,5	650,0	464,0
2-TRF-0141	3000	0,81	0,93	531,0	419,0	381,0	313,0
2-TRF-0129	2500	0,84	0,92	1988,0	1600,0	1521,0	1229,0
2-TRF-0123	2500	0,85	0,92	1380,0	1220,0	997,0	899,0
2-QDG-0034	2500	0,78	0,94	460,0	357,0	390,0	326,0
2-TRF-0069	2000	0,84	0,92	982,0	812,0	736,0	630,0
			Total	25775	21734	19032	16260
	Média cos φ	0,7989	0,9179	Diferença	4042		2772

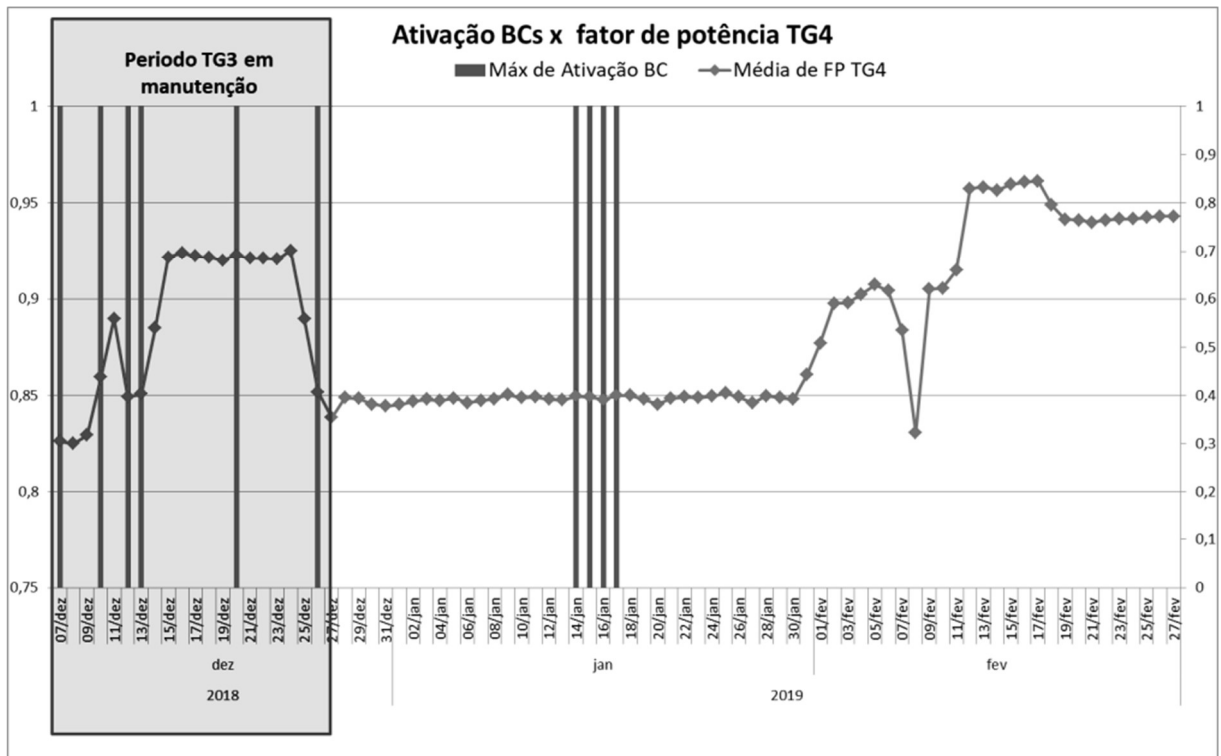
Fonte: O autor.

Com base nestes dados pode-se verificar que houve um aumento no fator de potência conjunto de 0,7989 para 0,9179 o que representou uma redução total na corrente combinada dos transformadores de 4.042A corrente esta que deixou de circular através dos transformadores e passou a ser fornecida pelos bancos de capacitores, isto representou uma queda na potência aparente consumida pelo sistema de 2.772kVA, a qual quando multiplicada pelo atual fator de potência de 0,9179 obtém-se uma potência ativa de 2.544,4 kW potência esta que pode ser reduzida tanto da geração própria, quanto do consumo da concessionária dependendo da estratégia a ser utilizada.

3.5.1 *Ganhos em geração e redução do consumo da concessionária.*

A estratégia sugerida foi de elevar o ajuste do fator de potência do Turbo Gerador 4 de forma que o mesmo passe a fornecer energia ativa ao sistema mantendo o mesmo consumo de vapor e diminuindo este consumo através da concessionária, conforme demonstrado na Figura 27 com base nas informações do sistema de monitoramento interno da empresa:

Figura 27: Ativação Bancos de Capacitores x Fator de potência TG4.



Fonte: O autor.

Conforme foram ativados os bancos foi colocada em prática a alteração do set point do Fator de potência do Turbo Gerador número 4 de forma a reduzir a geração de reativos por este equipamento liberando assim a capacidade do mesmo para geração de Potência ativa, foi alterado de $0,85 \cos\phi$ para $0,95 \cos\phi$, como segundo o manual do fabricante este turbo gerador tem capacidade de geração de potência aparente de 17.625kVA e aplicando a equação (3.5), então as potências ativas resultantes ficam:

$$\cos\phi = \frac{kW}{kVA} \rightarrow kW = \cos\phi * kVA \quad (3.5)$$

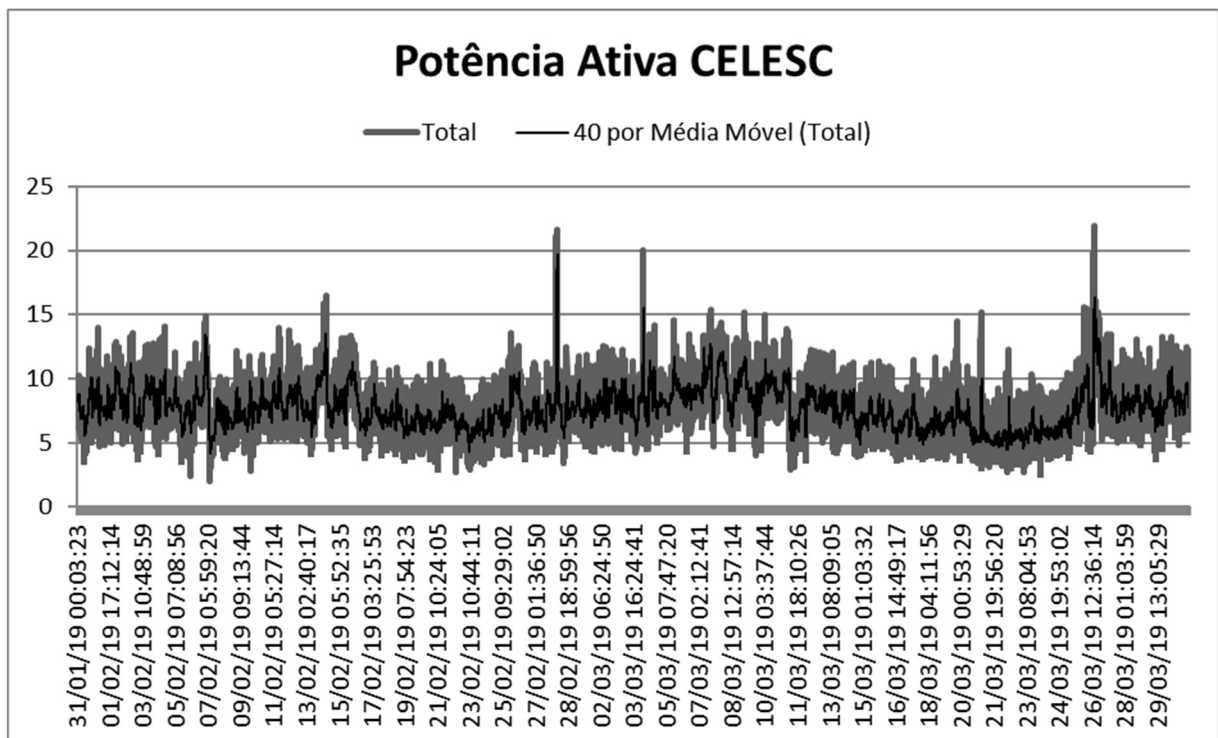
Em $\cos\phi 0,85 = 14.981kW$;

Em $\cos\phi 0,95 = 16.744kW$;

Com um ganho de 1.7MW em geração, com estas alterações feitas foi acompanhada a geração e consumo de energia durante o dia de 18 de fevereiro de 2019 com este parâmetro ajustado, mantendo-se os demais e com todos os Bancos de capacitores operacionais, chegou-se a um consumo médio da concessionária de 6,0MWh sendo o consumo médio anterior para as mesmas condições operacionais de 7,3MWh, o que representa uma economia de 1,3MWh, levando em consideração o preço de R\$281,00 por MWh dará uma economia mensal de

aproximadamente R\$ 263.000,00, este ganho poderá ser alcançado em condições otimizadas, por isto, conforme apresentação dos resultados do projeto, foi estimado um aumento de 0,6MW na capacidade de geração o qual geraria um ganho anual de R\$ 1.113.000,00 e sendo os custos de equipamento e instalação dos bancos de capacitores por volta de R\$ 1,46 milhões, o tempo de retorno do investimento será inferior a dois anos. Na Figura 28 abaixo pode verificar o acompanhamento do consumo da concessionária nos meses de fevereiro e março de 2019.

Figura 28: Consumo de energia a partir da concessionária.



Fonte: O autor.

Este ganho ainda não foi possível manter devido a problemas ocorridos após o retorno do turbo gerador número 3, o sistema automático de otimização da produção de vapor, não tem funcionado de forma consistente, e com isto estes ganhos não puderam ser aferidos, estimado o retorno em funcionamento deste sistema para o mês de julho de 2019.

3.5.2 *Ganhos com redução de corrente circulante pelos transformadores e de potência disponível para novas cargas.*

Conforme as medições apresentadas na Tabela 5: Leitura de $\cos \phi$ x Corrente antes e após. Houve a diminuição de 4.042A de corrente circulante total nos secundário dos 19 transformadores o que representa a redução de aproximadamente 129 A na corrente circulante nas 14 linhas de média tensão que alimentam estes transformadores, feito análise dos

parâmetros do disjuntor de Média Tensão que alimenta a parte úmida da MP13 o qual alimenta 5 dos transformadores, com uma potência conjunta de 7.000kVA, que receberam os bancos em seus secundários, num total de 1.830kVAr, a análise consistiu em desligar os cinco Bancos da área e verificar as leituras através do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) do disjuntor de média tensão que alimenta esta linha como evidenciado nas Figuras 29 e 30 abaixo:

Figura 29: Leitura com bancos ativados

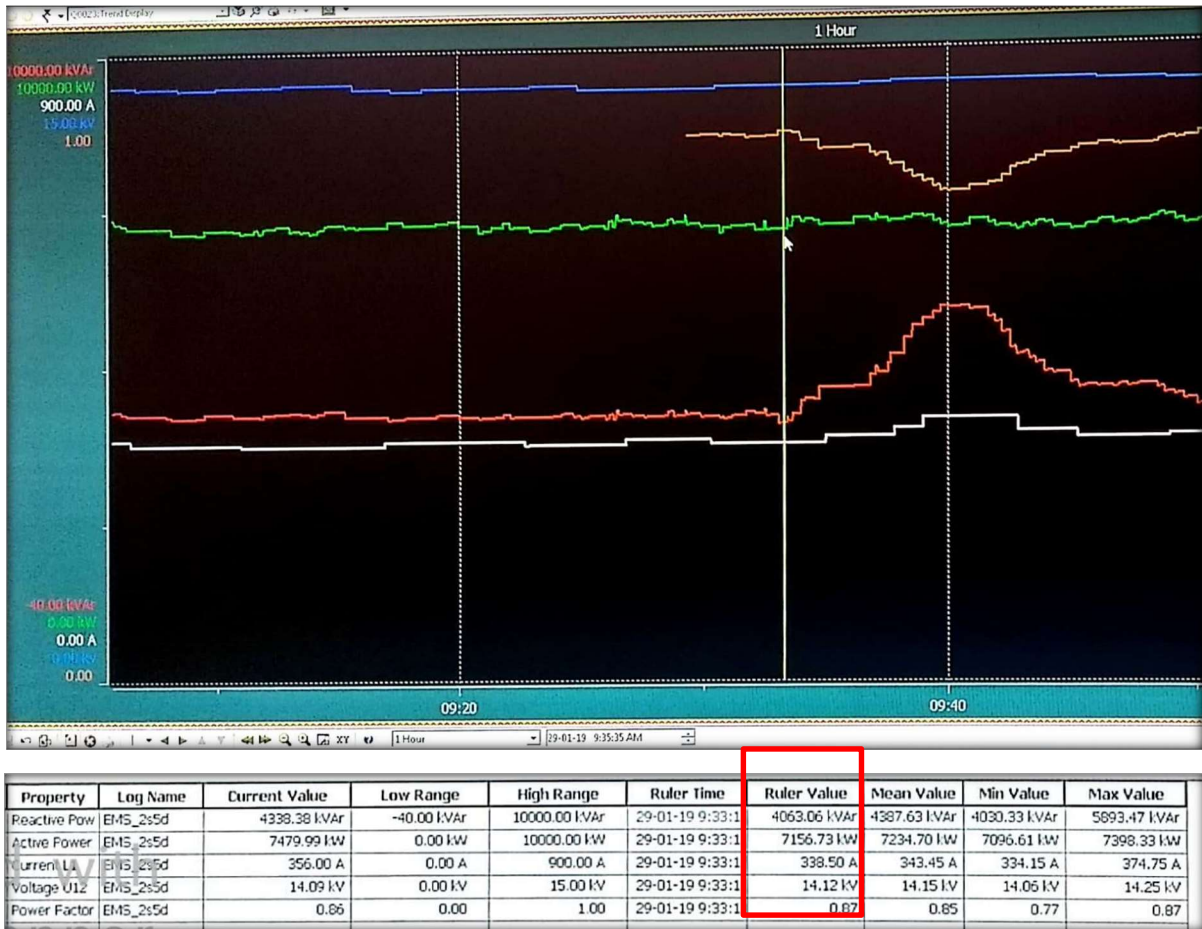


Figura 30: Leitura com bancos desativados

Property	Log Name	Current Value	Low Range	High Range	Ruler Time	Ruler Value	Mean Value	Min Value	Max Value
Reactive Pow	EMS_2s5d	4338.38 kVar	-40.00 kVar	10000.00 kVar	29-01-19 9:40:2	5883.95 kVar	4387.63 kVar	4030.33 kVar	5893.47 kVar
Active Power	EMS_2s5d	7479.99 kW	0.00 kW	10000.00 kW	29-01-19 9:40:2	7173.15 kW	7234.70 kW	7096.61 kW	7398.33 kW
Current I1	EMS_2s5d	356.00 A	0.00 A	900.00 A	29-01-19 9:40:2	374.75 A	343.45 A	334.15 A	374.75 A
Voltage U12	EMS_2s5d	14.09 kV	0.00 kV	15.00 kV	29-01-19 9:40:2	14.21 kV	14.15 kV	14.06 kV	14.25 kV
Power Factor	EMS_2s5d	0.86	0.00	1.00	29-01-19 9:40:2	0.77	0.85	0.77	0.87

Fonte: O autor.

Com base nesta medição efetuada houve um aumento de $\cos\phi$ 0,77 para 0,87, lembrando que este disjuntor alimenta ainda outros 6 transformadores que em conjunto tem uma potência de 6.725kVA, ainda pode ser verificado um aumento na Potência Reativa fornecida para o conjunto de transformadores que passou de 4.603kVA para 5.884kVA, um aumento de 1.821kVA, o que corresponde praticamente à totalidade dos Bancos disponíveis, em relação a

corrente houve uma aumento de 338,5 A para 375,75 A o que representa 36,25 A menos de corrente circulando pela rede de alta tensão só para estes Transformadores, a potência ativa manteve-se estável em 7,1 MW durante a análise, e aplicando-se a equação (3.6) chegasse a uma redução de 1,05MW de potência aparente, potência esta que poderá ser utilizada na possível instalação de novos equipamentos, sem que haja necessidade de aumentar a capacidade das linhas de transmissão e transformadores.

$$kVA = \sqrt{kWh^2 + kvarh^2} \quad (3.6)$$

Também foi possível verificar uma melhora significativa do fator de potência por área através da medição do reles inteligentes de média tensão que monitoram e controlam o consumo de energia para cada área da empresa, as leituras obtidas através do sistema de monitoramento dos disjuntores de média tensão da empresa, representam os comparativos por mês desde o início de 2018 passando pela ativação dos bancos em dezembro deste ano e seguindo até maio de 2019, conforme ilustrado nas Figuras 31 e 32, que representam a área da MP13, já descrita anteriormente, apresentou uma melhora de 0,78 para 0,85 no fator de potência, esta melhora se refletiu em todas as áreas atendidas pelos Bancos de capacitores, sendo que nas áreas onde a maior parte da carga foi atendida, como a área da Lavagem 3 e Blow Heat, ilustrado nas figuras 33 e 34, o aumento foi maior e atingiu a meta de 0,92, os com isto fica evidente o ganho pela diminuição da corrente circulante nos transformadores atendidos pelos bancos de capacitores instalados.

Figura 31: Fator de Potência mensal MP-13 2018

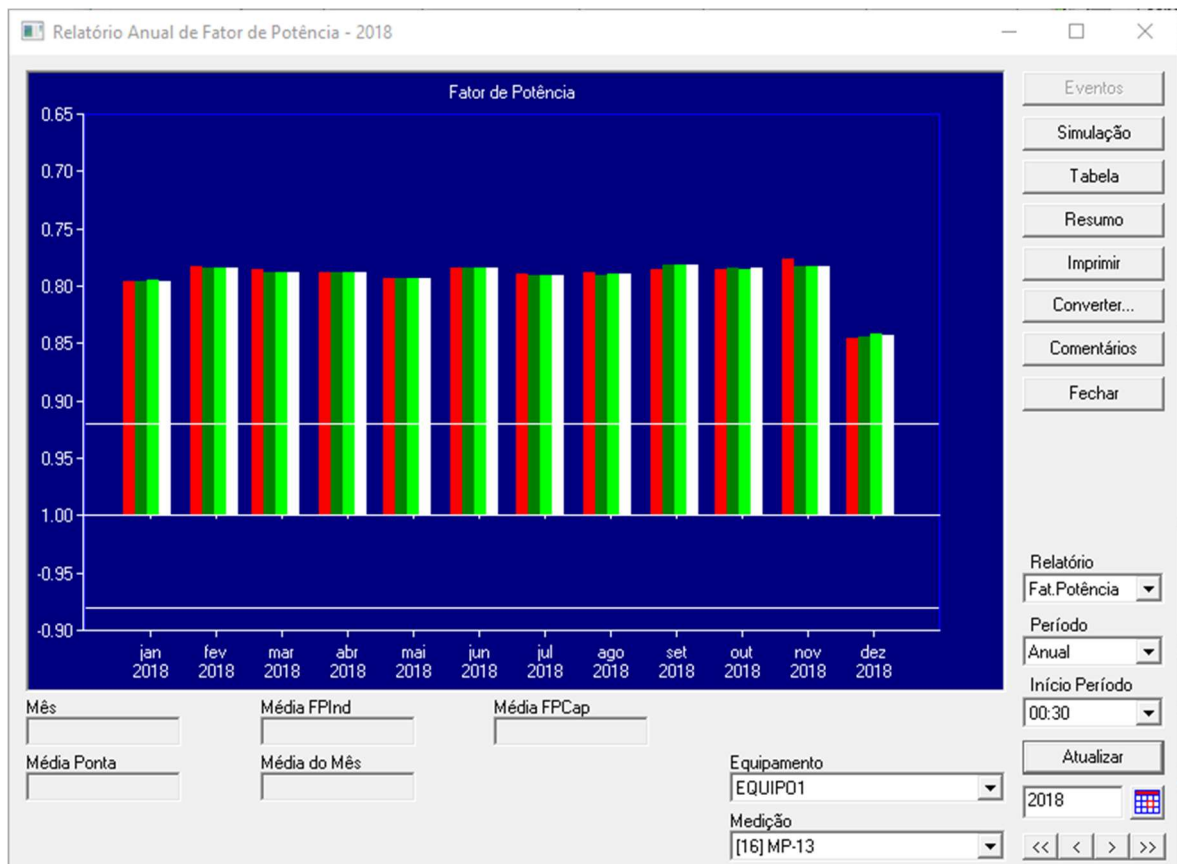


Figura 32: Fator de Potência mensal MP-13 2019

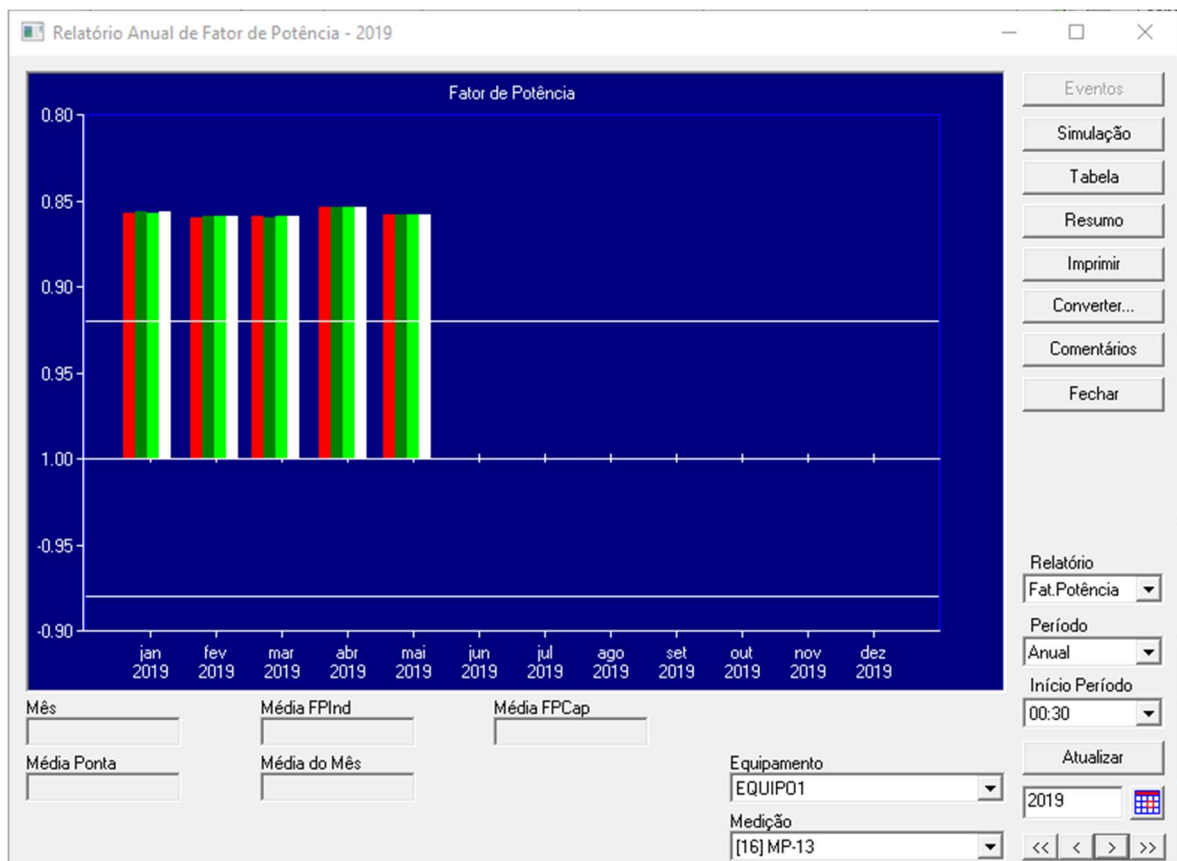


Figura 33: Fator de Potência mensal Lavagem 3 e Blow Heat 2018

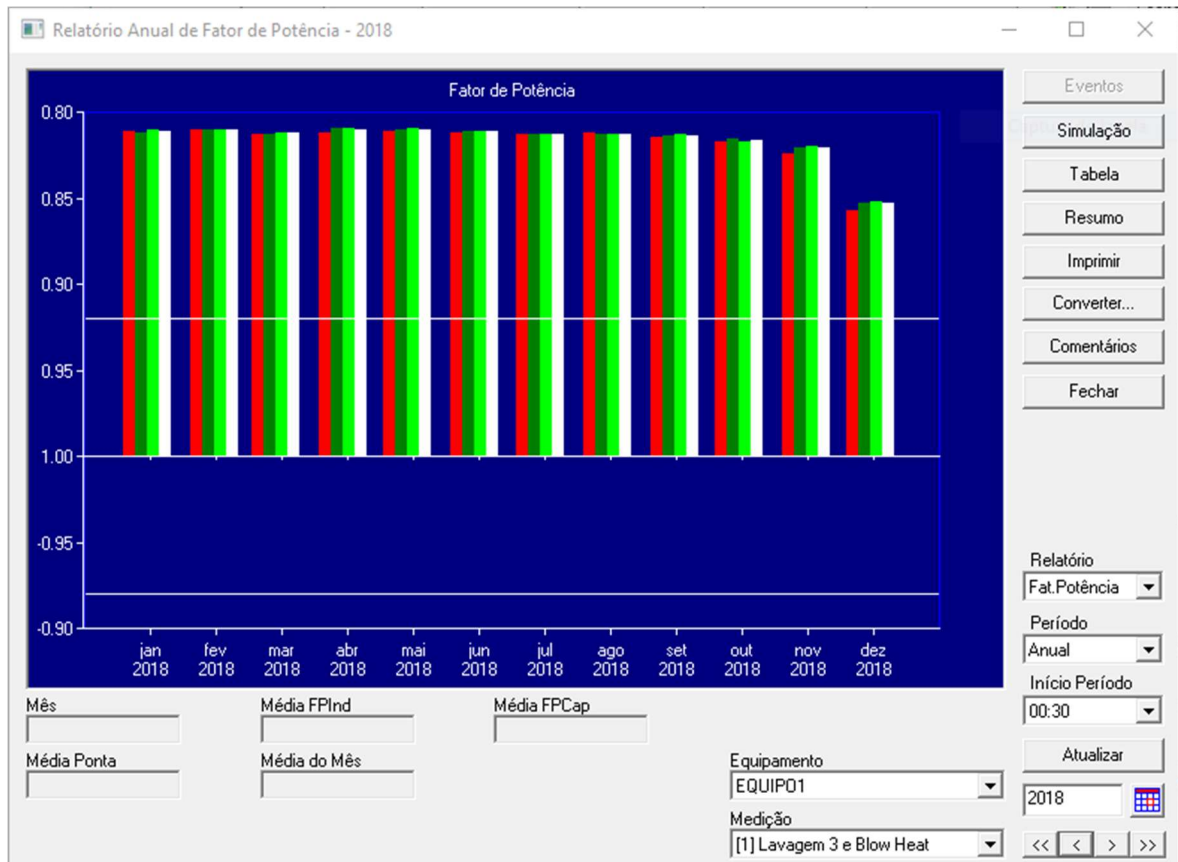
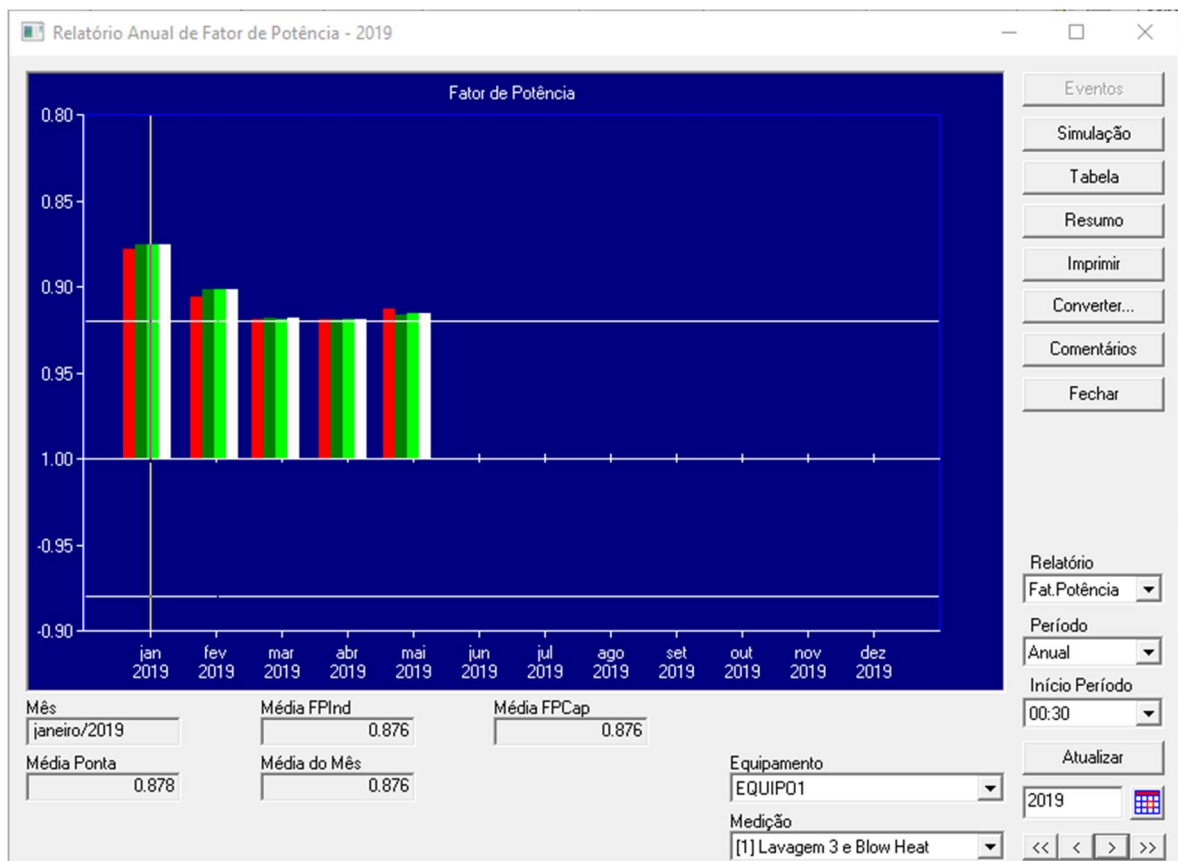


Figura 34: Fator de Potência mensal Lavagem 3 e Blow Heat 2019



4 CONCLUSÕES

A correção do fator de potência no secundário do Trafo com a utilização de bancos de capacitores automáticos se mostrou bem eficiente ao atingir os objetivos de redução de carga nos transformadores assim como na redução da corrente circulante através das linhas de distribuição internas da empresa, houve ganhos também pela liberação da geração de energia reativa pelos Turbo geradores, com isto aliado a normalização do sistema de controle do vapor, poderá otimizar a geração e consumo de energia dando ênfase a geração própria, a partir disto os custos da instalação do sistema terão um rápido retorno financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. Catálogo Capacitores e Controladores. **ABB**, 2015. Disponível em: <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK10103A3564&LanguageCode=pt&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Acesso em: 14 jun. 2019.
- ABB. **Power Factor Controller RVT; Instruções de instalação e operação**. [S.l.]. 2018.
- ABB. Motor protection and control. **ABB**, 2019. Disponível em: <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SBC100214C0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Acesso em: 14 jun. 2019.
- ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O Método nas Ciências Naturais e Sociais: Pesquisa quantitativa e qualitativa**. 2ª. ed. São Paulo: Pioneira, 1999.
- AMARAL, T. [library.e.abb.com](https://library.e.abb.com/public/3d3c203bebb641bf9118e25555eed056/Artigo_Talles.pdf), 2019. Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/3d3c203bebb641bf9118e25555eed056/Artigo_Talles.pdf>. Acesso em: 26 fevereiro 2019.
- ANEEL. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 2010.
- ANEEL. **Modifica a abrangencia na aplicação do fator de potência para faturamento do excedente de reativos de unidades consumidoras e altera a Resolução nº 414**. Agencia Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 2013.
- CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 16ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- DAVID E JOHNSON, J. L. H. J. R. J. **Fundamento de Analise de circuitos elétricos**. 4ª. ed. New Jersey: [s.n.], 1994.
- DIAS, G. A. D. **Harmônicas em Sistemas Industriais**. 2ª. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.
- DOLGOFF, F. P. Subestações MT/BT Teoria e exemplos de cálculo das correntes de curto circuito trifásicas. [dockplayer.com.br](https://docplayer.com.br/12772771-Substacoes-mt-bt-teoria-e-exemplos-de-calculo-das-correntes-de-curto-circuito-trifasicas.html), 2016. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/12772771-Substacoes-mt-bt-teoria-e-exemplos-de-calculo-das-correntes-de-curto-circuito-trifasicas.html>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

DOWNLOAD.SCHNEIDER-ELECTRIC.COM. **Eliminação de harmônicas em instalações**, 2012. Disponível em: <https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Specification+guide&p_File_Name=LARD-8K6K8S_R2_PT.pdf&p_Doc_Ref=APC_LARD-8K6K8S_R2_PT>. Acesso em: 2 abril 2019.

ENTENDA o funcionamento dos capacitores. **www.sabereletrica.com.br**, 2018. Disponível em: <<https://www.sabereletrica.com.br/entenda-o-funcionamento-dos-capacitores/>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

EXCITATRIZ-PARA-MOTOR-SINCRONO. **Soluções Industriais**, 2019. Disponível em: <https://www.solucoesindustriais.com.br/images/produtos/imagens_10225/p_excitatriz-para-motor-sincrono-5.jpg>. Acesso em: 03 jun. 2019.

FITZGERALD,A. E.; KINGSLEY,C.; UMANS,S. D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. 7^a. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Ed., 2014.

FLUKE. Manual de uso PowerLog, Espanha, Maio 2007.

FONSECA,J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FRAGOAS,A. G. **Estudo de caso do uso de banco de capacitores em uma rede de distribuição primária - Indicativo de viabilidade econômica**. Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos - SP, p. 72. 2008.

GARCIA,F. R. Flávio Resende da Silva. **Site IESA Projetos, Equipamentos e Montagens S.A.**, 2000. Disponível em: <http://www.iesa.com.br/institucional/pdf/pdf_reativa/ap_harmonicosePCap.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.

GIL,A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4^a. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002.

LEÃO,R. P. S. **Harmônicos em sistemas elétricos de potência**. [S.l.]: Universidade Federal do Ceará, 2010.

MAMEDE,J. **Instalações Elétrica Industriais**. 7^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

NATURESA, J. S. repositorio.unicamp.br, 2001. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/260083/1/Naturesa_JimSilva_M.pdf>.

Acesso em: 22 jun. 2019.

NORA, P. M. **ESTUDO PARA POSSÍVEL ADEQUAÇÃO DO BANCO DE CAPACITORES E DO FATOR DE POTÊNCIA DA INDÚSTRIA MENDAES E CIA LTDA.** Universidade do Planalto Catarinense. Lages - SC, p. 27. 2016.

PETRUZELLA, F. D. **Motores elétricos e acionamentos.** Tradução de José Lucimar do Nascimento. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2013.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização.** Tradução de Ana Thorell. Porto Alegre: Artmed, 2004.

PUHLMANN, H. F. W. Composicao-de-uma-onda-quadrada-a-partir-das-harmonicas. **Researchgate.net**, 2014. Disponível em: <em https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Composicao-de-uma-onda-quadrada-a-partir-das-harmonicas_fig1_277954177>. Acesso em: 24 junho 2019.

RODRIGUES, R.; GONÇALVES, J. C. **Procedimentos de Metodologia Científica.** 8^a. ed. Lages: Papervest, 2017.

SCHNEIDER/PROCOBRE. Qualidade de Energia Harmônicas. **www.slideshare.net**, 2003. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/LucasAmaral95/schbeide-banco-de-capacitor>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

SILVA, D. L. D. **Controle de Fator de Potência no Secundário(Lado da Carga) de um Transformador Trifásico.** Universidade Federal de Ouro Preto Escola de Minas. Ouro Preto, p. 58. 2009.

SILVA, M. C. I. **CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA DE CARGAS INDUSTRIAIS COM DINÂMICA RÁPIDA.** UFMG - ESCOLA DE ENGENHARIA. Belo Horizonte - MG, p. 241. 2009.

SILVEIRA, C. B. Fator de Potência. **Citisystems**, 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/fator-de-potencia-legislacao-distribuicao-correcoes/>>.

Acesso em: 18 mar. 2019.

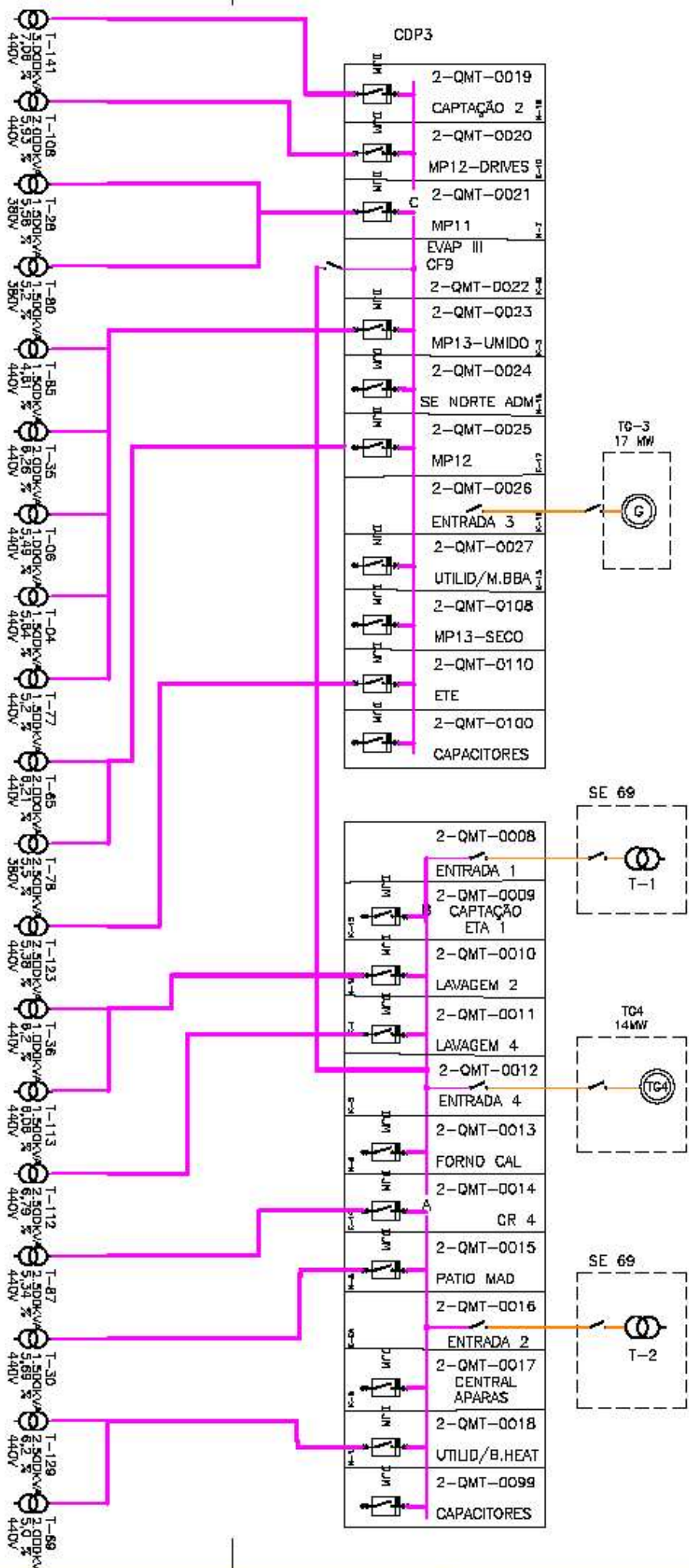
TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais:** a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

WEG. **www.weg.net**, 2019. Disponível em:
<<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hea/h8b/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 07 abril 2019 21:08:15.

APÊNDICES

APÊNDICE A – DIAGRAMA SIMPLIFICADO 60HZ EMPRESA.

DIAGRAMA ESQUEMATICO SIMPLIFICADO SISTEMA 60 HZ COM DISTRIBUICAO DOS BANCOS



SCALE		NA	
Diagrama 60hz			
Bancos de capacitores			
DATE		18.07.19	
NAME		Saulo	
EDIT		18.07.19	
CHECK			
FILENAME		450-xx	
SHEETS		001	

ANEXOS

ANEXO A - CATÁLOGO CONTADORES ABB

UA16 ... UA30 3-pole contactors for capacitor switching

12.5 to 27.5 kvar - Peak current $\hat{I} \leq 100$ times the rms current

AC operated



UA16-30-10




UA30-30-10

UA contactors can be used for the switching of capacitor banks whose inrush current peaks are less than or equal to 100 times nominal rms current.

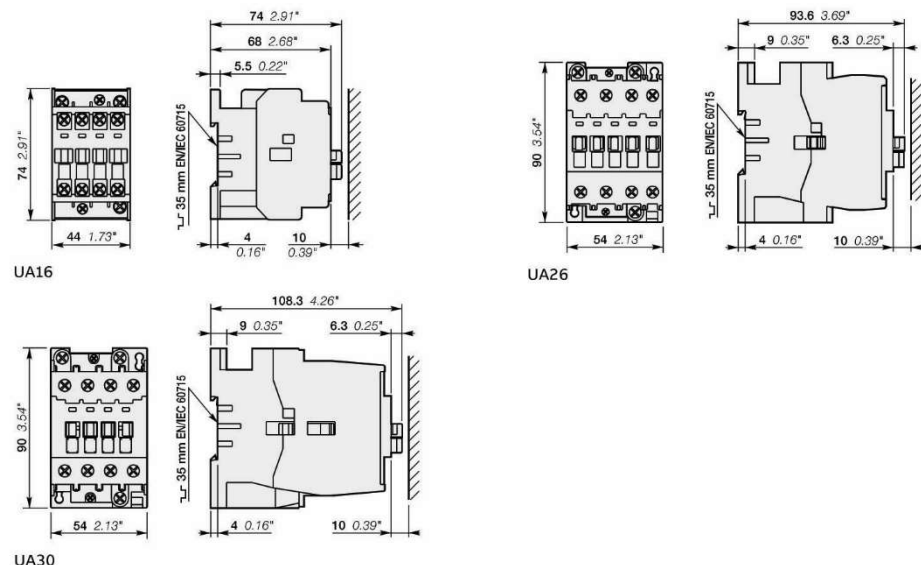
The capacitors must be discharged (maximum residual voltage at terminals ≤ 50 V) before being re-energized when the contactors are making.

These contactors are of the block type design with:

- 3 main poles and 1 built-in auxiliary contact
- control circuit: AC operated
- add-on auxiliary contact blocks for front or side mounting and a wide range of accessories.

IEC Rated operational power $\theta \leq 40^\circ\text{C}$ 400 V AC-6b	Max peak current \hat{I} kA	UL/CSA Rated operational power $\theta \leq 40^\circ\text{C}$ 480 V kvar	Rated control circuit voltage U_c (1)		Auxiliary contacts fitted 	Type	Order code	Weight Pkg (1 pce) kg
			V 50 Hz	V 60 Hz				
12.5	1.8	-	24	24	1 0	UA16-30-10	1SBL181022R8110	0.340
			48	48	1 0	UA16-30-10	1SBL181022R8310	0.340
			110	110...120	1 0	UA16-30-10	1SBL181022R8410	0.340
			220...230	230...240	1 0	UA16-30-10	1SBL181022R8010	0.340
			230...240	240...260	1 0	UA16-30-10	1SBL181022R8810	0.340
			380...400	400...415	1 0	UA16-30-10	1SBL181022R8510	0.340
			400...415	415...440	1 0	UA16-30-10	1SBL181022R8610	0.340
20	3	25	24	24	1 0	UA26-30-10	1SBL241022R8110	0.600
			48	48	1 0	UA26-30-10	1SBL241022R8310	0.600
			110	110...120	1 0	UA26-30-10	1SBL241022R8410	0.600
			220...230	230...240	1 0	UA26-30-10	1SBL241022R8010	0.600
			230...240	240...260	1 0	UA26-30-10	1SBL241022R8810	0.600
			380...400	400...415	1 0	UA26-30-10	1SBL241022R8510	0.600
			400...415	415...440	1 0	UA26-30-10	1SBL241022R8610	0.600
27.5	3.5	32	24	24	1 0	UA30-30-10	1SBL281022R8110	0.710
			48	48	1 0	UA30-30-10	1SBL281022R8310	0.710
			110	110...120	1 0	UA30-30-10	1SBL281022R8410	0.710
			220...230	230...240	1 0	UA30-30-10	1SBL281022R8010	0.710
			230...240	240...260	1 0	UA30-30-10	1SBL281022R8810	0.710
			380...400	400...415	1 0	UA30-30-10	1SBL281022R8510	0.710
			400...415	415...440	1 0	UA30-30-10	1SBL281022R8610	0.710

(1) Other control voltages see voltage code table.



Main dimensions mm, inches

UA50 ... UA75 3-pole contactors for capacitor switching

33 to 50 kvar - Peak current $\hat{I} \leq 100$ times the rms current

AC operated




UA50-30-00

UA contactors can be used for the switching of capacitor banks whose inrush current peaks are less than or equal to 100 times nominal rms current.

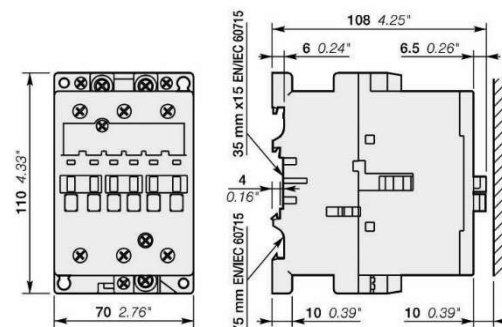
The capacitors must be discharged (maximum residual voltage at terminals ≤ 50 V) before being re-energized when the contactors are making.

These contactors are of the block type design with:

- 3 main poles
- control circuit: AC operated
- add-on auxiliary contact blocks for front or side mounting and a wide range of accessories.

IEC		UL/CSA	Rated control circuit voltage U _c (1)		Auxiliary contacts fitted	Type	Order code	Weight
Rated operational power $\theta \leq 40^\circ\text{C}$	Max peak current \hat{I}	Rated operational power $\theta \leq 40^\circ\text{C}$						Pkg (1 pce) kg
			kvar	kA				
33	5	40	24	24	0 0	UA50-30-00	1SBL351022R8100	1.160
			48	48	0 0	UA50-30-00	1SBL351022R8300	1.160
			110	110...120	0 0	UA50-30-00	1SBL351022R8400	1.160
			220...230	230...240	0 0	UA50-30-00	1SBL351022R8000	1.160
			230...240	240...260	0 0	UA50-30-00	1SBL351022R8800	1.160
			380...400	400...415	0 0	UA50-30-00	1SBL351022R8500	1.160
			400...415	415...440	0 0	UA50-30-00	1SBL351022R8600	1.160
45	6.5	-	24	24	0 0	UA63-30-00	1SBL371022R8100	1.160
			48	48	0 0	UA63-30-00	1SBL371022R8300	1.160
			110	110...120	0 0	UA63-30-00	1SBL371022R8400	1.160
			220...230	230...240	0 0	UA63-30-00	1SBL371022R8000	1.160
			230...240	240...260	0 0	UA63-30-00	1SBL371022R8800	1.160
			380...400	400...415	0 0	UA63-30-00	1SBL371022R8500	1.160
			400...415	415...440	0 0	UA63-30-00	1SBL371022R8600	1.160
50	7.5	55	24	24	0 0	UA75-30-00	1SBL411022R8100	1.160
			48	48	0 0	UA75-30-00	1SBL411022R8300	1.160
			110	110...120	0 0	UA75-30-00	1SBL411022R8400	1.160
			220...230	230...240	0 0	UA75-30-00	1SBL411022R8000	1.160
			230...240	240...260	0 0	UA75-30-00	1SBL411022R8800	1.160
			380...400	400...415	0 0	UA75-30-00	1SBL411022R8500	1.160
			400...415	415...440	0 0	UA75-30-00	1SBL411022R8600	1.160

(1) Other control voltages see voltage code table.



UA50, UA63, UA75

Main dimensions mm, inches

UA95 ... UA110 3-pole contactors for capacitor switching

65 to 75 kvar - Peak current $\hat{I} \leq 100$ times the rms current
 AC operated



UA110-30-00

1SFLC580105FD303

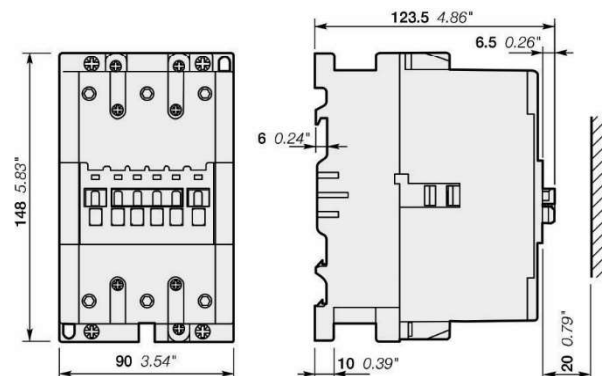
UA contactors can be used for the switching of capacitor banks whose inrush current peaks are less or equal to 100 times nominal rms current. The capacitors must be discharged (maximum residual voltage at terminals ≤ 50 V) before being re-energized when the contactors are making.

These contactors are of the block type design with:

- 3 main poles
- control circuit: AC operated
- add-on auxiliary contact blocks for front or side mounting and a wide range of accessories.

IEC		UL/CSA	Rated control circuit voltage U_c (1)		Auxiliary contacts fitted	Type	Order code	Weight
Rated operational power $\theta \leq 40^\circ\text{C}$	Max peak current \hat{I}	Rated operational power $\theta \leq 40^\circ\text{C}$	V 50 Hz	V 60 Hz				Pkg (1 pce)
400 V AC-6b	kA	kvar						kg
65	9.3	70	24	24	0 0	UA95-30-00	1SFL431022R8100	2.000
			48	48	0 0	UA95-30-00	1SFL431022R8300	2.000
			110	110...120	0 0	UA95-30-00	1SFL431022R8400	2.000
			220...230	230...240	0 0	UA95-30-00	1SFL431022R8000	2.000
			230...240	240...260	0 0	UA95-30-00	1SFL431022R8800	2.000
			380...400	400...415	0 0	UA95-30-00	1SFL431022R8500	2.000
			400...415	415...440	0 0	UA95-30-00	1SFL431022R8600	2.000
75	10.5	80	24	24	0 0	UA110-30-00	1SFL451022R8100	2.000
			48	48	0 0	UA110-30-00	1SFL451022R8300	2.000
			110	110...120	0 0	UA110-30-00	1SFL451022R8400	2.000
			220...230	230...240	0 0	UA110-30-00	1SFL451022R8000	2.000
			230...240	240...260	0 0	UA110-30-00	1SFL451022R8800	2.000
			380...400	400...415	0 0	UA110-30-00	1SFL451022R8500	2.000
			400...415	415...440	0 0	UA110-30-00	1SFL451022R8600	2.000

(1) Other control voltages see voltage code table.



UA95, UA110



Main dimensions mm, inches

UA... 3-pole contactors for capacitor switching

Peak current $\hat{I} \leq 100$ times the rms current

Main accessory fitting details

Many configurations of accessories are possible depending on whether these are front-mounted or side-mounted.

Contactor types	Main poles	Available auxiliary contacts	Front-mounted accessories			Side-mounted accessories
			Auxiliary contact blocks		Pneumatic timer	Auxiliary contact blocks
			1-pole CA5-..	4-pole CA5-..	TP.. A	2-pole CAL...
UA16-30-10	3 0	1 0	1 to 4 x CA5-..	or 1 x CA5-.. (4-pole)	or 1 x TP.. A	+ 1 to 2 x CAL5-11
UA26-30-10	3 0	1 0	1 to 4 x CA5-..	or 1 x CA5-.. (4-pole)	or 1 x TP.. A	+ 1 to 2 x CAL5-11
UA30-30-10	3 0	1 0	1 to 5 x CA5-..	or 1 x CA5-.. (4-pole) + 1 x 1-pole CA5-..	or 1 x TP.. A + 1 x CA5-.. (1-pole)	+ 1 to 2 x CAL5-11
UA50-30-00	3 0	0 0	1 to 6 x CA5-..	or 1 x CA5-.. (4-pole)	or 1 x TP.. A	+ 1 to 2 x CAL5-11
UA63-30-00	3 0	0 0		+ 2 x 1-pole CA5-..	+ 2 x CA5-.. (1-pole)	
UA75-30-00	3 0	0 0				
UA95-30-00	3 0	0 0	1 to 6 x CA5-..	or 1 x CA5-.. (4-pole)	-	+ 1 to 2 x CAL18-11
UA110-30-00	3 0	0 0		+ 2 x 1-pole CA5-..		

UA16 ... UA110 3-pole contactors for capacitor switching

Peak current $\hat{I} \leq 100$ times the rms current

Technical data

03

Main pole - Utilization characteristics according to IEC

Contactor types	AC operated	UA16	UA26	UA30	UA50	UA63	UA75	UA95	UA110	
Standards		IEC 60947-1 / 60947-4-1 and EN 60947-1 / 60947-4-1								
Rated operational voltage U_e max.		690 V								
Rated frequency (without derating)		50 / 60 Hz								
AC-6b Utilization category										
Rated operational power AC-6b (1)										
For air temperature close to contactor	$\theta \leq 40^\circ\text{C}$	230-240 V	7.5 kvar	12 kvar	16 kvar	20 kvar	25 kvar	30 kvar	35 kvar	40 kvar
		400-415 V	12.5 kvar	20 kvar	27.5 kvar	33 kvar	45 kvar	50 kvar	65 kvar	75 kvar
		440 V	13.7 kvar	22 kvar	30 kvar	36 kvar	50 kvar	55 kvar	65 kvar	75 kvar
		500-550 V	15.5 kvar	22 kvar	34 kvar	40 kvar	50 kvar	62 kvar	70 kvar	80 kvar
		690 V	21.5 kvar	30 kvar	45 kvar	55 kvar	70 kvar	75 kvar	80 kvar	90 kvar
	$\theta \leq 55^\circ\text{C}$	230-240 V	6.7 kvar	11 kvar	16 kvar	20 kvar	25 kvar	30 kvar	35 kvar	40 kvar
		400-415 V	11.7 kvar	18.5 kvar	27.5 kvar	33 kvar	43 kvar	50 kvar	65 kvar	70 kvar
		440 V	13 kvar	20 kvar	30 kvar	36 kvar	48 kvar	53 kvar	65 kvar	75 kvar
		500-550 V	14.7 kvar	22 kvar	34 kvar	40 kvar	50 kvar	62 kvar	70 kvar	80 kvar
	$\theta \leq 70^\circ\text{C}$	690 V	20 kvar	30 kvar	45 kvar	55 kvar	70 kvar	75 kvar	80 kvar	90 kvar
		230-240 V	6 kvar	8.5 kvar	11 kvar	19 kvar	21 kvar	22 kvar	30 kvar	35 kvar
		400-415 V	10 kvar	14.5 kvar	19 kvar	32 kvar	37 kvar	39 kvar	55 kvar	65 kvar
		440 V	11 kvar	16 kvar	20 kvar	35 kvar	41 kvar	43 kvar	55 kvar	70 kvar
		500-550 V	12.5 kvar	19.5 kvar	23.5 kvar	40 kvar	45 kvar	47.5 kvar	60 kvar	75 kvar
		690 V	17 kvar	25 kvar	32 kvar	52 kvar	60 kvar	65 kvar	70 kvar	85 kvar
		Max. permissible peak current \hat{I}	$U_e \leq 500\text{ V}$	1.8 kA	3 kA	3.5 kA	5 kA	6.5 kA	7.5 kA	9.3 kA
		$U_e > 500\text{ V}$	1.6 kA	2.7 kA	3.1 kA	4.5 kA	5.8 kA	6.75 kA	8 kA	9 kA
Short-circuit protection device for contactors										
gG type fuse										
sized 1.5...1.8 I_n of the capacitor										
Max. electrical switching frequency										
240 cycles/h										
Electrical durability AC-6b										
$U_e \leq 690\text{ V}$ 100 000 operating cycles										

(1) For 220 V and 380 V, multiply by 0.9 the rated values at 230 V and 400 V respectively.

Example: 50 kvar / 400 V corresponding to $0.9 \times 50 = 45$ kvar/380 V.

If, in an application, the current peak is greater than the maximum peak current \hat{I} specified in the tables above, select a higher rating, refer to the UA..RA contactors, or add inductances. (see application guide "Contactors for capacitor switching").

Main pole - Utilization characteristics according to UL / CSA

Contactor types	AC operated	UA16	UA26	UA30	UA50	UA63	UA75	UA95	UA110	
Power - 60 Hz										
For air temperature close to contactor	$\theta \leq 40^\circ\text{C}$	240 V	-	12.5 kvar	16 kvar	20 kvar	-	27.5 kvar	35 kvar	40 kvar
		480 V	-	25 kvar	32 kvar	40 kvar	-	55 kvar	70 kvar	80 kvar
		600 V	-	30 kvar	40 kvar	50 kvar	-	70 kvar	75 kvar	85 kvar











If, in an application, the current peak is greater than the maximum peak current \hat{I} specified in the tables above, select a higher rating, refer to the UA..RA contactors, or add inductances. (see application guide "Contactors for capacitor switching").

UA16 ... UA110 3-pole contactors for capacitor switching

Peak current $\hat{I} \leq 100$ times the rms current

Technical data

Connecting characteristics

Contactor types		AC operated	UA16	UA26	UA30	UA50 UA63 UA75	UA95 UA110
Connection capacity (min. ... max.)							
Main conductors (poles)							
	Rigid	Solid ($\leq 4 \text{ mm}^2$)	1 x 1...4 mm ²	1.5...6 mm ²	2.5...16 mm ²	6...50 mm ²	10...95 mm ²
		Stranded ($\geq 6 \text{ mm}^2$)	2 x 1...4 mm ²	1.5...6 mm ²	2.5...16 mm ²	6...25 mm ²	6...35 mm ²
	Flexible with ferrule		1 x 0.75...2.5 mm ²	0.75...4 mm ²	2.5...10 mm ²	6...35 mm ²	10...70 mm ²
			2 x 0.75...2.5 mm ²	0.75...4 mm ²	2.5...10 mm ²	6...16 mm ²	6...35 mm ²
	Bars or lugs		L \leq 7.7 mm	10 mm	-	-	-
			L $>$ 3.7 mm	4.2 mm	-	-	-
Connection capacity acc. to UL/CSA		1 or 2 x	AWG 18...10	AWG 12...8	AWG 8...4	AWG 8...1	AWG 6...2/0
Tightening torque		Recommended	1 Nm / 9 lb.in	1.7 Nm / 15 lb.in	2.3 Nm / 20 lb.in	4 Nm / 35 lb.in	8 Nm / 71 lb.in
		Max.	1.2 Nm	2.2 Nm	2.6 Nm	4.5 Nm	9 Nm
Auxiliary conductors (built-in auxiliary terminals + coil terminals)							
	Rigid solid		1 x 1...4 mm ²				0.75...2.5 mm ²
			2 x 1...4 mm ²				
	Flexible with ferrule		1 x 0.75...2.5 mm ²			1...2.5 mm ²	0.75...2.5 mm ²
			2 x 0.75...2.5 mm ²				
	Lugs	Coil terminals	L \leq 8 mm				
			L $>$ 3.7 mm				
		Built-in auxiliary terminals	L \leq 7.7 mm	10 mm	8 mm	-	-
			L $>$ 3.7 mm	4.2 mm	3.7 mm	-	-
Connection capacity acc. to UL/CSA			AWG 18...14				
Tightening torque							
Coil terminals		Recommended	1 Nm / 9 lb.in				
		Max.	1.2 Nm				
Built-in auxiliary terminals		Recommended	1 Nm / 9 lb.in				
		Max.	1.2 Nm				
Degree of protection acc. to IEC 60947-1 / EN 60947-1 and IEC 60529 / EN 60529							
Main terminals			IP20			IP10	
Coil terminals			IP20				
Built-in auxiliary terminals			IP20			-	
Screw terminals							
Main terminals							
		Screwdriver type	M3.5	M4	M5	M6	M8
			Flat \varnothing 5.5 / Pozidriv 2		Flat \varnothing 6.5 / Pozidriv 2		Hexagon socket (s = 4 mm)
Coil terminals		Screwdriver type	M3.5				
			Flat \varnothing 5.5 / Pozidriv 2				
Built-in auxiliary terminals		Screwdriver type	M3.5	M4	M3.5	-	-
			Flat \varnothing 5.5 / Pozidriv 2				

Other technical characteristics are the same as those of standard A contactors.

ANEXO B – CATÁLOGO CAPACITORES E CONTROLADORES ABB



Produtos de Baixa Tensão

Capacitores e Controladores Confiabilidade para correção de fator de potência

Capacitores de baixa tensão

Apresentação

A ABB foi uma das pioneiras na busca tecnológica por capacitores à seco com alta confiabilidade e qualidade. Esta busca, iniciada na década de 50, resultou em capacitores em filme de polipropileno metalizado a zinco.

Estes capacitores apresentam uma característica técnica única chamada de auto-regeneração, garantindo que as propriedades elétricas sejam rapidamente restabelecidas após uma perfuração do dielétrico.

A perfuração pode acontecer devido a uma sobrecarga térmica, elétrica ou até mesmo devido ao final da vida útil do capacitor.

Atualmente a solução de capacitores em filme PP metalizado já está difundida, porém é importante salientar que não é difícil encontrarmos capacitores deste tipo com problemas de perda acelerada da capacitância, sobreaquecimento e até mesmo capacitores que provocaram princípios de incêndio.

Isto ocorre geralmente pelo fato de existir ar entre as placas, que no passado era retirado a partir da utilização de óleo, ou pelo fato de serem utilizadas matérias primas de baixa qualidade.



A ABB segue sete princípios para fazer um capacitor com excelência:

- 1 Conhecimento: pioneirismo e muita experiência adquirida ao longo de 70 anos de pesquisa garantem à ABB uma vantagem tecnológica.
- 2 Desenvolvimento próprio: garante o comprometimento com a qualidade e confiabilidade do produto final.
- 3 Seleção criteriosa dos materiais: por meio de uma rigorosa fiscalização dos fornecedores e seleção da matéria prima, de forma a obter materiais de acordo com as especificações determinadas.
- 4 Fabricação própria: com melhoria contínua no processo produtivo, controle de qualidade desde a inspeção no recebimento de materiais até a entrega do capacitor, a ABB garante ao cliente a qualidade em forma de capacitor.
- 5 Testes em 100% dos capacitores: garante que todos os capacitores estão dentro dos parâmetros de qualidade e confiabilidade.
- 6 Testes rigorosos: todos os capacitores ABB são testados com critérios mais rigorosos que os presentes nas normas internacionais.
- 7 Dedicção e melhoria contínua: direciona a ABB a sempre buscar novas tecnologias e soluções para entregar aos clientes o melhor capacitor.

Capacitor cilíndrico

Linha QCap

A linha QCap, capacitor cilíndrico trifásico, foi desenvolvida com base em mais de 70 anos de conhecimento em tecnologia de capacitores, superando as expectativas em qualidade, confiabilidade, segurança e consistência na operação para uma montagem segura, versátil e prática.

Os capacitores QCap ainda apresentam as seguintes vantagens:

- capacitor 100% a seco
- podem ser instalados na horizontal ou na vertical
- tolerância da capacitância: 0% + 10%
- resistor de descarga incorporado
- desconexão por sobrepressão eficiente
- grau de proteção IP20
- auto regenerativo

O Qcap é constituído de três elementos capacitivos monofásicos fabricados com filme de polipropileno (PP) metalizado com Zinco (PPMZ), dispostos de forma otimizada e preenchido com uma resina especialmente formulada que, além de não apresentar risco de vazamento e ser biodegradável, torna o capacitor bastante robusto e resistente.

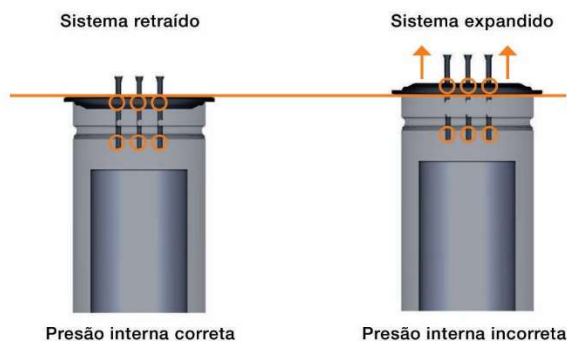
O terminal à prova de toque já contém o resistor de descarga incorporado em uma tampa IP20, proporcionando segurança e praticidade durante a instalação do capacitor.



Dispositivo de segurança por sobrepressão

Segurança é sem dúvida um dos tópicos mais importantes para o capacitor. É necessário ter certeza que em caso de falhas o dano será limitado.

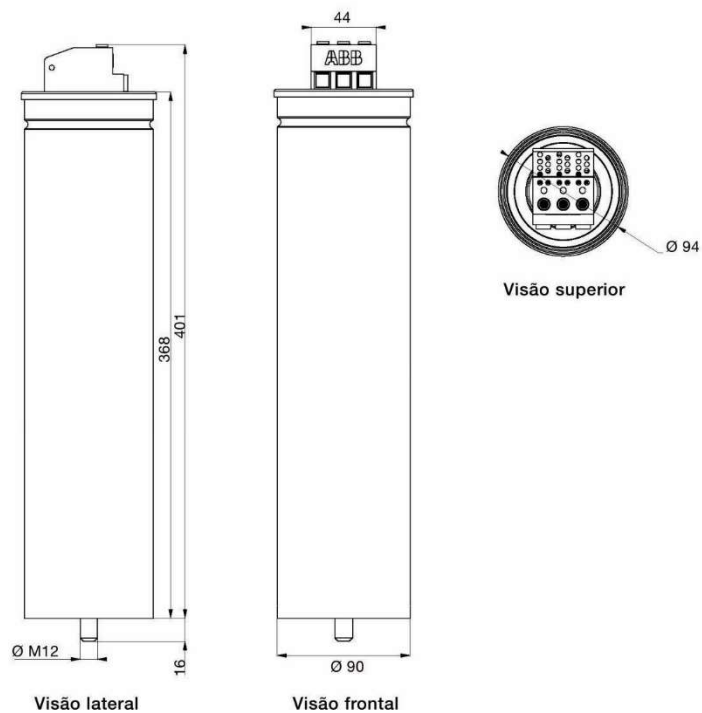
Sendo assim, um inovador sistema de desconexão por sobrepressão desenvolvido pela ABB garante a abertura das três fases de forma imediata e confiável no caso de falhas.



Dados técnicos

Expectativa de vida útil	130.000 horas
Impregnação	Resina seca
Normas aplicáveis	IEC 60831-1/-2
Faixa de tensão	220 a 600 V
Frequência	60 Hz (50 hz sob consulta)
Potências disponíveis	2,5 a 30 kvar
Tolerância da capacitância	0% + 10%
Perdas (dielétrico)	<0,2 W/kvar
Perdas (resistor de descarga)	<0,3 W/kvar
Tempo de descarga	50 V em 1 minuto
Corrente máxima permitida	1,3 x Icn para operação contínua
Tensão máxima permitida	1,1 x Un por 8 horas a cada 24 horas 1,3 x Un por no máximo 1 minuto
Involúcro	Alumínio reciclável
Fixação	Parafuso M12 (torque recomendado: 10 Nm)
Aterramento	Por meio do parafuso de fixação
Peso	3 kg
Terminal	Sistema de compressão
Distância mínima acima da unidade	20 mm
Distância mínima entre unidades	30 mm
Instalação	Abrigada, vertical/horizontal
Temperatura ambiente	-25°C / +55°C (Classe D)
Altitude	2.000 m
Grau de proteção	IP20

Dimensões em mm



Capacitor cilíndrico

Linha QCap

Modelos

Tensão de Operação	Potência (kVA _r)	Capacitância por fase (µF)	I _{cn} (A)	Código de estoque	Proteção ¹⁾		Seccionamento ²⁾
					Fusível	Seccionadora	Contator
220 V / 60 Hz	2,5	45,7	6,6	2GCA294472A0031B	OFAF000H10	XLP000	UA16
	5	91,3	13,1	2GCA294455A0031B	OFAF000H20	XLP000	UA16
	7,5	137	19,7	2GCA294460A0031B	OFAF000H35	XLP000	UA26
	10	182,7	26,2	2GCA294950A0031	OFAF000H50	XLP000	UA30
	15	274	39,4	2GCA294951A0031	OFAF000H63	XLP000	UA50
380 V / 60 Hz	4,8	29,4	7,3	2GCA294477A0031B	OFAF000H10	XLP000	UA16
	7,5	45,9	11,4	2GCA294472A0031B	OFAF000H20	XLP000	UA16
	10	61,2	15,2	2GCA294475A0031B	OFAF000H25	XLP000	UA16
	12,5	76,5	19,0	2GCA294454A0031	OFAF000H32	XLP000	UA26
	15	91,8	22,8	2GCA294455A0031	OFAF000H40	XLP000	UA26
	21,7	132,9	33,0	2GCA294452A0031	OFAF000H63	XLP000	UA30
400 V / 60 Hz	25	153,1	38,0	2GCA294456A0031	OFAF000H63	XLP000	UA50
	12,5	69,1	18,0	2GCA294469A0031	OFAF000H32	XLP000	UA16
	15	82,9	21,7	2GCA294450A0031	OFAF000H40	XLP000	UA26
	20	110,5	28,9	2GCA294470A0031	OFAF000H50	XLP000	UA26
	24,1	133,2	34,8	2GCA294452A0031	OFAF000H63	XLP000	UA30
440 V / 60 Hz	6,25	28,5	8,2	2GCA294477A0031B	OFAF000H16	XLP000	UA16
	10	45,7	13,1	2GCA294472A0031B	OFAF000H25	XLP000	UA16
	12,5	57,1	16,4	2GCA294471A0031	OFAF000H32	XLP000	UA16
	15	68,5	19,7	2GCA294457A0031	OFAF000H35	XLP000	UA26
	20	91,3	26,2	2GCA294471A0031	OFAF000H50	XLP000	UA26
	25	114,2	32,8	2GCA294464A0031	OFAF000H63	XLP000	UA30
	30	137	39,4	2GCA294460A0031	OFAF000H70	XLP000	UA30
480 V / 60 Hz	7,5	28,8	9,0	2GCA294477A0031B	OFAF000H16	XLP000	UA16
	10	38,4	12,0	2GCA294474A0031B	OFAF000H20	XLP000	UA16
	12,5	48	15,0	2GCA294472A0031	OFAF000H25	XLP000	UA16
	15	57,6	18,0	2GCA294462A0031	OFAF000H32	XLP000	UA26
	18	69,1	21,7	2GCA294457A0031	OFAF000H35	XLP000	UA26
	20	76,8	24,1	2GCA294463A0031	OFAF000H40	XLP000	UA30
	25	95,9	30,1	2GCA294473A0031	OFAF000H50	XLP000	UA30
	30	115,1	36,1	2GCA294464A0031	OFAF000H63	XLP000	UA50
525 V / 60 Hz	12	38,5	13,2	2GCA294474A0031	OFAF000H25	XLP000	UA16
	15	48,1	16,5	2GCA294465A0031	OFAF000H32	XLP000	UA16
	18	57,7	19,8	2GCA294466A0031	OFAF000H35	XLP000	UA26
	20	64,2	22,0	2GCA294475A0031	OFAF000H40	XLP000	UA26
	24	77	26,4	2GCA294467A0031	OFAF000H50	XLP000	UA30
	30	96,2	33,0	2GCA294468A0031	OFAF000H63	XLP000	UA30
600 V / 60 Hz	12	29,5	11,5	2GCA294477A0031	OFAF000H20	XLP000	UA16
	15	36,8	14,4	2GCA294478A0031	OFAF000H25	XLP000	UA16
	18	44,2	17,3	2GCA294479A0031	OFAF000H32	XLP000	UA26
	20	49,1	19,2	2GCA294480A0031	OFAF000H32	XLP000	UA26
	25	61,4	24,1	2GCA294481A0031	OFAF000H40	XLP000	UA30
	30	73,7	28,9	2GCA294482A0031	OFAF000H50	XLP000	UA30

¹⁾ Dimensionamento orientativo baseado nas Normas IEC 60831-1/-2 para temperatura interna do banco de capacitores de até 40°C.

²⁾ Este cálculo é válido para bancos com um estágio de capacitor. No caso de mais estágios recomendamos a utilização do software CapCal.

Controlador de fator de potência

A busca pela qualidade de energia

O controlador de fator de potência comanda todas as operações do banco automático de correção de fator de potência uma vez que ele assume a responsabilidade de ligar e desligar os estágios de capacitores com o intuito de alcançar o fator de potência requerido.

Os controladores de fator de potência ABB são projetados e construídos com poderosos microprocessadores que leem a rede em tempo real e calculam a potência reativa (Kvar) necessária.

Além de oferecer poderosos recursos como AutoSet, interface intuitiva, fácil comissionamento, medições elétricas e comunicação via ModBus, Ethernet e USB, os controladores ABB utilizam as estratégias mais eficientes para seccionamento dos estágios de capacitores. As estratégias de seccionamento são:

- **Linear e Circular:** Na estratégia Linear, o primeiro capacitor a entrar na rede será o último a sair, enquanto na estratégia Circular o primeiro capacitor a entrar na rede será o primeiro a sair, aumentando a vida útil dos capacitores e contadores ao balancear o seccionamento dos estágios existentes no banco.
- **Direta e Progressiva:** Na estratégia Progressiva o controlador aciona os estágios sequencialmente até atingir o fator de potência desejado, enquanto na estratégia Direta o controlador aciona os maiores estágios primeiro com um tempo de espera de seccionamento de 12 segundos, garantindo que o fator de potência desejado seja alcançado rapidamente.
- **Integral e Normal:** Durante o tempo de espera no seccionamento de um estágio, podem haver alterações na demanda reativa da instalação. Na estratégia Normal, o controlador aciona um estágio quando a demanda é constantemente necessária durante o tempo de espera para o seccionamento, enquanto na estratégia Integral, o controlador aciona um estágio de acordo com a média da demanda reativa presente no tempo de espera para o seccionamento, garantindo uma melhor eficiência quando a carga varia rapidamente.

Linear e Circular

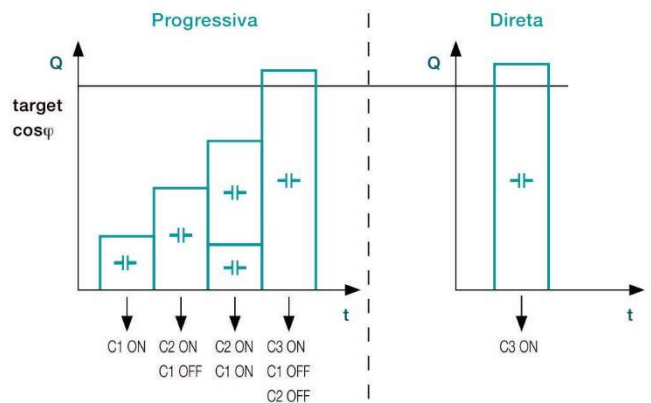
- linear: primeiro a entrar, último a sair
- circular: primeiro a entrar, primeiro a sair

	C1	C2	C3	...
Sequência	1	1	1	...
↗	■	□	□	...
↗	■	■	□	...
↘	■	■	■	...
↘	■	□	□	...

	C1	C2	C3	...
Sequência	1	1	1	...
↗	■	□	□	...
↗	■	■	□	...
↘	□	■	■	...
↘	□	□	■	...

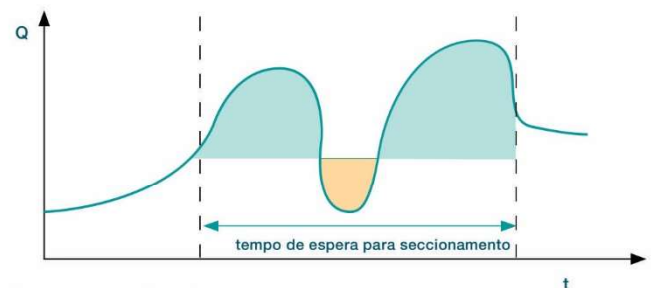
Direta e Progressiva:

- direta: comuta o maior estágio primeiro para alcançar o $\cos\phi$ mais rápido
- progressiva: comuta os estágios sequencialmente



Integral e Normal

- integral: soma a alteração da demanda reativa durante o tempo de espera para seccionamento
- normal: aciona o estágio somente se a demanda permanecer durante todo o tempo de espera para seccionamento



Integral = estágio adicional
Normal = sem estágio adicional

Controlador de fator de potência RVT

O RVT é a junção de um excelente controlador de fator de potência e de um eficiente multimetro somados à crescente demanda de produtos tecnologicamente avançados e integrados nos sistemas de controle.

Atualmente, cargas desbalanceadas podem ocorrer nas instalações, especialmente em empreendimentos comerciais e residenciais.

O RVT Touchscreen controla o fator de potência de cargas monofásicas (F-F, F-N), e também de cargas trifásicas balanceadas/desbalanceadas.

O RVT é capaz de compensar cada fase individualmente ou compensar as três fases de forma global.

Este inovador controlador ainda conta com uma interface Touch-screen em Português além de uma completa lista de medições trifásicas e monofásicas.

- medições (RVT12-3P)
- potência ativa (kW) - 3Ø/1Ø
- potência aparente (kVA) - 3Ø/1Ø
- potência reativa (kvar) - 3Ø/1Ø
- potência reativa para alcançar o $\cos\phi$ - 3Ø/1Ø
- tensão (V) - 3Ø/1Ø
- corrente (A) - 3Ø/1Ø
- $\cos\phi$ - 3Ø/1Ø
- taxa total de distorção harmônica – THD V/I (%)
- tensões/Correntes harmônicas: H2 até H49 (% e espectro)
- tela: 3,5", QVGA colorido
- capaz de controlar bancos de baixa, média e alta tensão
- linha comum para todas as tensões: 100 – 460/690 Vc.a.



- navegação intuitiva e amigável
- interface em Português
- auxílio instantâneo no próprio RVT para cada operação a ser realizada
- bloqueio de hardware e software



- dois relés de alarme
- relé para ventilador
- comunicação ModBus RS-485 mediante utilização de acessório
- conexão com PC via USB e Ethernet (RVT12-3P) com software PQ Link
- medição de temperatura mediante utilização de acessório compatível com trilho DIN
- limites de proteção configuráveis, o que permite a proteção do banco de capacitores contra sobre e sub-tensão, altas temperaturas e excessivas distorções harmônicas



- exibição de gráficos e espectros harmônicos
- software PQ Link: habilita a comunicação de um computador via Ethernet ou USB com todos os RVTs existentes na planta. Pode ser utilizado para parametrização e análise das medições à distância além de permitir o monitoramento das potências (P, Q e S) e harmônicas (THDv e THDi) por um período de tempo estipulado nas configurações
- software OPC Server: comunicação via ModBus através do sistema Scada ou através de um CLP para que todos os computadores de uma rede tenham acesso ao RVT

Dados técnicos

Tensão de operação	100 V a 460 V +/- 10%
Tensão de medição	690 Vc.a. (para tensões superiores utilizar TP)
Frequência	45-65 Hz (ajuste automático com a rede)
Entrada de corrente (TC)	1 A ou 5 A (RMS)
Impedância da entrada de corrente	<0.1 Ohm (recomendado classe de TC 1.0, 10 VA min)
Temperatura de operação	-20°C até 70°C
Temperatura de armazenamento	-30°C até 85°C
Sequência de seccionamento	Totalmente programável pelo usuário
Consumo do controlador	8 VA
Corrente do contato de saída	1,5 A (máx pico de corrente de 5 A)
Tensão do contato de saída	440 Vc.a. (máximo)
Corrente do terminal A	18 A (9 A/terminal)
Contato de alarme	1NA + 1NF (1,5 A/250 Vc.a.)
Contato do ventilador	1NA (1,5 A/250 Vc.a.)
Ajuste do $\cos\phi$	0,7 ind - 0,7 cap
C/k	0.01 - 5 A
tempo para de seccionamento	1s - 18 h
ModBus baud rate	300 - 600 - 1200 - 2400 - 4800 - 9600 - 19200 - 38400 - 57600 bps
Grau de proteção	IP43 (IP54 mediante acessório)
Peso	650 grs
Terminais	Bornes tipo mola para cabos de 2,5 mm ² (máx) Frontal: 144 x 144 x 80 mm (AxL)
Dimensões	Traseira: 205 x 135 mm (AxL) Total: 146 x 211 x 67 (AxLxP)
Dimensões da furação	138 x 138 mm (AxL)

Modelos

Modelo	Quantidade de estágios	Quantidade de TCs	Código
RVT-6	6	1	2GCA291720A0050
RVT-12	12	1	2GCA291721A0050
RVT-12-3P	12	3	2GCA291722A0050

Acessórios

Descrição	Código
Adaptador para comunicação ModBus RS-485	2GCA291880A0050
Sensor de temperatura externo (máx 8 pçs por controlador)	2GCA291864A0050
Software PQ Link	2GCA292820A0050
Software OPC Server (Modbus)	2GCA286141A0050
Vedação IP54	2GCA292040A0050

ANEXO C - OFAF00H125 HRC FUSE LINK DAT

OFAF000H63



OFAF000H63 HRC Fuse Link



General Information

Extended Product Type	OFAF000H63
Product ID	1SCA022627R1390
EAN	6417019205571
Catalog Description	OFAF000H63 HRC Fuse Link
Long Description	OFAF000H63 HRC Fuse Link Size NH000, gG

Ordering

EAN	6417019205571
Minimum Order Quantity	9 piece
Customs Tariff Number	85361050

Dimensions

Product Net Width	21 mm
Product Net Height	79 mm
Product Net Depth / Length	53 mm
Product Net Weight	0.12 kg

Container Information

Package Level 1 Units	9 piece
Package Level 1 Width	21 mm
Package Level 1 Height	53 mm
Package Level 1 Depth / Length	79 mm
Package Level 1 Gross Weight	1.134 kg
Package Level 1 EAN	6417019205571

Additional Information

Fuse Size	NH000
Fuse System	DIN
Fuse Type	gG
Maximum Breaking Capacity	120 kA
Order Multiple	9 piece

Power Loss	5.4 W
Product Main Type	OFAF000
Product Name	HRC Fuse link
Rated Current (I_n)	63 A
Rated Voltage (U_r)	500 V
Suitable For	OS63 OS125 OS160
Suitable for Product Class	Switch Fuses

Certificates and Declarations (Document Number)

Data Sheet, Technical Information	1SCC317001C0201
Declaration of Conformity - CE	1SCC317005D2705
Environmental Information	1SCC317009D0201

Classifications

ETIM 5	EC000055 - Low Voltage HRC fuse
ETIM 6	EC000055 - Low Voltage HRC fuse
ETIM 7	EC000055 - Low Voltage HRC fuse
Object Classification Code	F
WEEE Category	5. Small Equipment (No External Dimension More Than 50 cm)

Categories

Low Voltage Products and Systems → Fusegear → Fuse Links

