



FACULDADE DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL

**Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo
Factor de Potência e das Interrupções Momentâneas na
Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso
Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de
Moçambique (CFM-SUL)**

Autor:

Gomes, Juvenald Boaventura

Supervisores

Supervisor da UEM: Mestre. Dinis A. Chissano, eng

Supervisor da instituição: Eng, Ernesto Cumbana.

Maputo, Junho de 2025



**FACULDADE DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo
Factor de Potência e das Interrupções Momentâneas na
Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso
Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de
Moçambique (CFM-SUL)**

Autor:

Gomes, Juvenald Boaventura

Supervisores

Supervisor da UEM: Mestre. Dinis A. Chissano, eng

Supervisor da instituição: Eng, Ernesto Cumbana

Maputo, Junho de 2025

Gomes, Juvenald Boaventura

Relatório de Estágio Profissional

**Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo
Factor de Potência e das Interrupções Momentâneas na
Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso
Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de
Moçambique (CFM-SUL)**

Relatório apresentado ao Departamento de Engenharia Electrotécnica, Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane como parte dos requisitos para conclusão do relatório de Estágio Profissional, no curso de Licenciatura em Engenharia Eléctrica.

Supervisores

Supervisor da UEM: Mestre. Dinis A. Chissano, eng

Supervisor da instituição: Eng, Ernesto Cumbana

Maputo, Junho de 2025

TERMO DE ENTREGA DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante Juvenald Boaventura Gomes entregou no dia ____ / ____ / ____ as ____ cópias Estágio profissional com referência _____ intitulado, **Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo Factor de Potência e das Interrupções Momentâneas na Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM-SUL)**.

Maputo, ____ de _____ de 2025

A Chefe da Secretaria

(Arlete Chiconela)

DECLARAÇÃO SOB A PALAVRA DE HONRA

Eu, Juvenald Boaventura Gomes declaro por minha honra, que o trabalho intitulado **Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo Factor de Potência e das Interrupções Momentâneas na Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM-SUL)** que apresento para cumprimento dos requisitos necessários para aprovação na cadeira de Estágio Profissional, é resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente citadas no texto e nas referências bibliográficas.

Maputo, Junho de 2025

(Juvenald Boaventura Gomes)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, com profunda gratidão, à minha avó Maria Dezal Saene e à minha tia Rosa Nherezerane Micajo. O seu apoio incansável, a orientação serena e o exemplo de integridade foram alicerces indispensáveis em cada etapa da minha formação académica e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, rendo graças a Deus, cuja protecção constante e força inesgotável me sustentaram em todos os momentos desta jornada.

À minha avó, Maria Dezal Saene, pela orientação precoce, pelos valores transmitidos e pelo incentivo inabalável ao longo de todo o meu percurso estudantil.

Aos meus tios, que considero verdadeiros pais – Arlindo Gomes, José Mendes, Rosa Nherezerane Micajo, Adélia Nherezerane, Victorina Gomes e Maria do Céu Gomes –, pelo apoio material, pelos conselhos sábios e pelo exemplo diário de dedicação.

Aos meus primos Bingala, Cláudia, Maria Bela, Ivan, Telma, Leonel e Maria Nilza, bem como a Leonel Gomes, pela amizade cúmplice e pelo estímulo constante.

Às minhas irmãs, Maria do Céu Gomes e Mevice Gomes, pelo carinho e pela confiança incondicional.

Aos amigos Ana Carlitos Ferramenta, Esmera Benjamim Emílio, José Muchanela, Jorge Armando Jorge, Bruno Domingos, Luís Grine, Dalton Fernando, Gerônimo Machocoro, Leonel Tambo, Michael Antônio, Hélio Camunati e Rogério Eduardo, pelo companheirismo, pela partilha de desafios e pelas incontáveis palavras de motivação.

A todos os docentes da Faculdade de Engenharia da UEM – e, em especial, aos professores do Departamento de Engenharia Electrotécnica – pelo rigor científico, pela disponibilidade e pelo estímulo a pensar criticamente.

Aos meus supervisores, Mestre Dinis A. Chissano e Eng. Ernesto Cumbana, pela dedicação, pelas recomendações valiosas e pelo acompanhamento atento em todas as fases deste trabalho.

A todos, o meu sincero e profundo agradecimento.

Se Tiveres ideias, Tens Vida

Avo Maria Dezal Saene

RESUMO

A qualidade da energia eléctrica é fundamental para o funcionamento eficiente e seguro dos sistemas industriais, como os do porto dos CFM-SUL. O departamento SMREA dos CFM é responsável pelo fornecimento de energia aos portos de Maputo e Matola, recebendo energia da central térmica de Maputo à 33 e 11 kV. Esta energia é distribuída para subestações e postos de transformação de 11/0,4 kV, que alimentam as cargas do porto, tornando o estudo do factor de potência crucial para garantir o funcionamento contínuo das cargas ligadas à rede.

Problemas como baixo factor de potência e interrupções momentâneas afectam o desempenho dos equipamentos críticos, provocando falhas, aumento dos custos operacionais e redução da vida útil dos activos (como motores, transformadores, PLCs, etc). A correcção do factor de potência é feita através da inserção de bancos de condensadores, que compensam a carga reactiva indutiva em excesso, operando de forma automática e precisa por meio de controladores.

Este estudo avalia a qualidade da energia no porto dos CFM-SUL, e propõe soluções técnicas, como o dimensionamento do banco de condensadores automáticos, para melhorar a eficiência energética e a fiabilidade operacional. A metodologia inclui revisão bibliográfica, análise de dados de campo, e desenvolvimento de um projecto técnico e económico, para otimizar a qualidade da energia e reduzir custos.

Palavras chaves: Qualidade da energia eléctrica; Factor de potência, Bancos de condensadores

ABSTRACTS

Electric power quality is essential for the efficient and safe operation of industrial and port systems, such as those at the CFM-SUL port. The SMREA department of CFM is responsible for supplying energy to the ports of Maputo and Matola, receiving power from the Maputo thermal power plant at 33 and 11 kV. This energy is distributed to substations and transformer stations at 11/0.4 kV, which feed the port loads, making the study of power factor crucial to ensure the continuous operation of loads connected to the grid.

Problems such as low power factor and momentary interruptions affect the performance of critical equipment, causing failures, increased operational costs, and reduced asset lifespan. Power factor correction is performed through the insertion of capacitor banks, which compensate for excess inductive reactive load, operating automatically and precisely via controllers.

This study evaluates the power quality at the CFM-SUL port and proposes technical solutions, such as the sizing of automatic capacitor banks, to improve energy efficiency and operational reliability. The methodology includes a literature review, field data analysis, and the development of a technical and economic project aimed at optimizing power quality and reducing costs.

Keywords: Electric Power Quality, Power Factor, Capacitor Banks

Índice

1. CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1 Formulação de problema	1
1.2 Justificação	2
1.3 Objectivos	2
1.3.1 Objectivos geral	2
1.3.2 Objectivos Específicos	2
1.4 Metodologia.....	2
1.5 Estrutura do trabalho.....	3
2. CAPÍTULO II – VISÃO GERAL DO ESTÁGIO PROFISSIONAL	4
2.1 Considerações iniciais.....	4
2.2 Apresentação do SMREA CFM– MAPUTO	4
2.2.1 Direcção	5
2.2.2 Departamento de Sistemas de energia e Comunicação;	5
2.2.3 Departamento de Águas	6
2.2.4 Departamento de Equipamentos.....	6
2.2.5 Departamento Contabilidade, finanças e secretariado.....	6
3. CAPÍTULO III – REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTÊNCIA.....	7
3.1.1 Constituição do Sistema Eléctrico de Potência	7
3.2 POTÊNCIAS ELÉCTRICAS	8
3.2.1 Potência Aparente.....	9
3.2.2 Potência Activa	9
3.2.3 Potência reactiva.....	10
3.3 FACTOR DE POTÊNCIA	10
3.3.1 Factores que influenciam a redução do factor de potência	12
3.3.2 Consequência do baixo factor de potência	12
3.4 Métodos de correcção do factor de Potência	14

3.4.1	Importância da compensação do factor de potência.....	15
3.5	Capacitores	16
3.5.1	Tipos de capacitores	18
3.6	BANCO DE CAPACITORES	19
3.6.1	Características construtivas	20
3.6.2	Tipos de banco de condensador	21
3.6.3	Regulador do Factor de Potência.....	22
3.7	LOCALIZAÇÃO DO BANCO DE CAPACITORES	23
3.7.1	No lado de alta tensão dos transformadores (correção centralizada em alta tensão).....	25
3.7.2	Nos barramentos secundários dos transformadores (correção centralizada em baixa tensão).....	25
3.7.3	Nos barramentos secundários com agrupamento de cargas indutivas (correção distribuída por sector).....	25
3.7.4	4. Junto às grandes cargas indutivas (correção individual).....	25
3.8	Montagem de Capacitores em Sistemas de Compensação.....	26
3.8.1	Configuração em Estrela Aterrada	26
3.8.2	Configuração em Estrela Isolada	27
3.8.3	Conexão delta (Triângulo).....	28
3.8.4	Configuração em dupla estrela isolada	28
4.	CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO.....	29
4.1	Descrição do projecto.....	29
4.1.1	Caracterização do local de estudo	30
4.2	LEVANTAMENTO DE CARGA E PROJECTO.....	32
4.3	Tratamento de dados e resultados.....	33
4.3.1	Dimensionamento do banco automático de capacitor.....	34
4.3.2	Determinação do número de estágios do banco do capacitor automático	

4.3.3	Dimensionamento da protecção do banco de capacitor	37
4.3.4	Determinação da secção do cabo alimentador	41
4.4	Controlador do banco de capacitor automático	41
4.4.1	Funcionamento do Controlador de Factor de Potência	41
4.5	Instalação do banco de capacitor automático	42
4.5.1	Ventilação em bancos de capacitores	42
5.	CAPÍTULO V: ESTIMATIVA DE CUSTO	44
6.	CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6.1	Conclusão	45
6.2	Recomendações	46
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS.....		49
2.	CONTROLO DAS ACTIVIDADES.....	67
APÊNDICE		68

LISTA DE SÍMBOLOS

CFM	Caminhos de Ferro de Moçambique
SMREA	Serviço de Manutenção da Rede Eléctrica e Água
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
S1.1	Subestação 1.1
S1.2	Subestação 1.2
I_z	Corrente máxima admissível na canalização;
MPDC	Sociedade de Desenvolvimento do Porto de Maputo
RTIBT	Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão
FP	Factor de potência
QGBT	Quadro geral de baixa tensão
F_s	Factor de Simultaneidade
I_n	Corrente nominal;

Cosφ	–Factor de potência
-------------	---------------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista a satélite do SMREA-CFM.....	4
Figura 2: Representação do sistema eléctrico de potência	7
Figura 3: Percurso da potência activa em um condutor	10
Figura 4: Triângulo de potência	11
Figura 5: Fluxo de potência com banco de capacitores na distribuição.	15
Figura 6: Capacitor	16
Figura 7: Símbolos de capacitores: (a) fixo e (b) variável.....	18
Figura 8: Capacitor trifásico de média tensão.	20
Figura 9: a) Elementos de um banco de capacitor, b) Representação interna de arranjo de uma unidade capacitiva	21
Figura 10: Banco de capacitor instalado.	22
Figura 11: ST8200C – Controlador de factor de potência	23
Figura 12: Locais onde podem ser inseridos BC's.	24
Figura 13: Localização do BC no accionamento de um motor.	26
Figura 14: configuração em: (a) Estrela aterrada- série; (b) Estrela aterrada-paralelo..	27
Figura 15: (a) Estrela isolada- série.; (b) Estrela isolada- paralelo	27
Figura 16: a) Banco delta- série; b) banco delta- paralelo.....	28
Figura 17: Esquema eléctrico da rede CFM Sul	29
Figura 18: Painel da conexão da rede do CFM- Sul na S 1.1.....	30
Figura 19: Imagem frontal da S.1.2	31
Figura 20: Imagem interna da S1.2	32
Figura 21: Diagrama Ligação do transformador na S1.2	33
Figura 22: Triangulo de Potência.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre potência aparente (no Trafo) e o factor de potência.....	13
Tabela 2: Permissibilidade relativa ϵ_r	18
Tabela 3: Cargas na saída dos transformadores.....	32
Tabela 4: Escalonamento binário do número de estágio.....	37
Tabela 5: Cálculo da corrente de serviço das células	38

Tabela 6: Escolha do modelo do contactor.....	39
Tabela 7: Corrente Aproximada de cada estágio	40
Tabela 8: Escolha dos disjuntor de caixa moldada.....	40
Tabela 9: Estimativa do custo do projecto	44

1. CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

A qualidade de energia eléctrica desempenha um papel fundamental na operação eficiente de sistemas industriais e portuários. Em ambientes críticos, como o porto, a qualidade da energia eléctrica afecta directamente o desempenho, a vida útil e os custos operacionais dos equipamentos, como guindaste, transportadora de correia, empilhadeiras, descarregadores e sistema de iluminação. Neste contexto, este estudo busca avaliar a influência do Baixo Factor de Potência e Interrupções Momentâneas na Operação de Equipamentos Portuários críticos do porto dos CFM-SUL, analisando os principais distúrbios eléctricos e suas consequências no desempenho dos sistemas. Além disso, propõe-se a identificação de estratégias de correcção e mitigação, como a utilização de bancos de capacitores automáticos e reguladores de tensão, visando a melhoria da eficiência energética e a redução de falhas operacionais.

1.1 Formulação de problema

O porto dos CFM-SUL possui equipamentos críticos cuja operação depende de um fornecimento eléctrico estável e de qualidade. No entanto, problemas como variações de tensão, baixo factor de potência e interrupções momentâneas podem comprometer a eficiência dos sistemas incluindo motores eléctricos de bombas de água e transformadores, importantes para o funcionamento do porto, reduzindo sua vida útil e aumentando os custos de manutenção e consumo energético. Essas avarias constantes resultam em gastos elevados com manutenção e substituição de máquinas, além de interrupções nas actividades, que geram prejuízos tanto para a empresa quanto para os clientes do porto.

Diante desse cenário, surge a necessidade urgente de investigar os factores que contribuem para essas oscilações de tensão e avarias, buscando soluções práticas e económicas para melhorar a qualidade do fornecimento de energia. Assim, o problema central a ser abordado é: **Como o baixo factor de potência e as interrupções momentâneas impactam a operação dos equipamentos portuários no âmbito dos CFM-SUL, e quais estratégias de mitigação podem ser implementadas para otimizar a eficiência, reduzir custos e aumentar a confiabilidade operacional?**

1.2 Justificação

Os CFM-SUL desempenha um papel estratégico no fornecimento de energia eléctrica para empresas portuárias, sendo responsável por operar e manter uma subestação que distribui energia adquirida da empresa Electricidade de Moçambique (EDM). A qualidade dessa energia tem impacto directo no desempenho das operações das empresas-clientes. Problemas como o baixo factor de potência, oscilações de tensão, e desequilíbrios podem causar avarias em equipamentos críticos, resultando em interrupções operacionais e prejuízos económicos. A busca por soluções para melhorar a qualidade de energia é, portanto, essencial para garantir a eficiência e a competitividade das operações portuárias.

1.3 Objectivos

1.3.1 Objectivos geral

- Desenvolver estratégias para mitigar os impactos do baixo factor de potência e das interrupções momentâneas na operação de equipamentos portuários, buscando melhorar a eficiência energética e a continuidade operacional nos CFM-Sul.

1.3.2 Objectivos Específicos

- Analisar a qualidade de energia no sistema dos CFM-SUL, considerando parâmetros como tensão e factor de potência;
- Avaliar o impacto da qualidade de energia em equipamentos críticos portuários;
- Propor soluções práticas para a melhoria da qualidade de energia;
- Estimar o custo para a implementação do projecto.

1.4 Metodologia

Para a realização deste projecto, será seguida a seguinte metodologia:

- **Revisão Bibliográfica:** Nesta fase, serão realizadas pesquisas bibliográficas relacionadas ao tema em manuais, livros, artigos científicos publicados e em sites oficiais.
- **Pesquisa de campo:** Nesta fase será feita colecta de dados directamente no local em estudo, utilizando observações, entrevistas e questionário para obter uma compreensão detalhada do problema analisado.

1.5 Estrutura do trabalho

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Neste capítulo faz-se a introdução geral do tema, formulação do problema, e a justificativa que conduzam a sua realização, focando-se nos objectivos e a metodologia usada.

CAPÍTULO II – VISÃO GERAL DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Este capítulo caracteriza a instituição CFM-SUL SMREA, onde decorreu o estágio profissional. Apresenta a sua estrutura organizacional, princípios de funcionamento, missão e visão, destacando os seus objectivos estratégicos e contribuição para o sector.

CAPÍTULO III – REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é feita a apresentação de todo referencial teórico, que consistiu na colecta de informações de diversas normas técnicas, livros, artigos científicos e teses com vista a reunir informações suficientes para a concepção do presente trabalho.

CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO

Este capítulo consistirá na projecção do projecto proposto, isto incluirá o desenho do circuito, dimensionamento e apresentação esquemática do sistema por meio de diagrama e circuitos eléctricos, por fim faz-se a avaliação económica.

Capítulo V- Estimativa de Custo

Neste capítulo, será apresentado a estimativa total dos custos envolvidos para a concepção e implementação do projecto.

CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo se apresentará o resumo dos principais pontos e as recomendações para a melhoria do projecto.

2. CAPÍTULO II – VISÃO GERAL DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresenta uma descrição geral da instituição onde ocorreu o estágio profissional, o CFM-SUL SMREA. Primeiramente, são explicados a sua estrutura organizacional e os princípios que guiam o seu funcionamento.

2.2 Apresentação do SMREA CFM– MAPUTO

Os Serviços de Manutenção de Rede Eléctrica e Água (SMREA) estão localizados na cidade de Maputo e fazem parte dos Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM). A sua principal função é gerir a rede eléctrica e de abastecimento de água, garantindo a distribuição eficiente e a comunicação dentro dos limites do CFM-EP, até à entrada das instalações de utilização. Dessa forma, desempenham um papel essencial na manutenção e operação da infraestrutura, assegurando o funcionamento adequado dos sistemas eléctrico e hídrico.



Figura 1: Vista a satélite do SMREA-CFM

(Fonte: Google earth,2025)

A estrutura organizacional dos **UTEGRE** (Unidade Técnica de Gestão de Redes e Equipamentos), Actual **SMREA** compreende a áreas de:

- a) Direcção;
- b) Sistemas de energia e Comunicação;

- c) Águas;
- d) Equipamentos;
- e) Contabilidade, finanças e secretariado.

2.2.1 Direcção

A direcção é responsável por prestar contas ao Conselho de Administração do CFM-EP, através do Administrador da área sobre a actividade da SMREA, assim como submeter ao Conselho de Administração propostas, pareceres, relatórios e outros serviços no âmbito da padronização de normas de utilização, manutenção, abate do fundo do concurso e da contratação de serviços técnicos ou para realização de investimentos. É também responsabilidade da direcção controlar o orçamento anual das despesas correntes do SMREA.

2.2.2 Departamento de Sistemas de energia e Comunicação;

Essa área trata da gestão do sistema de energia eléctrica, sinalização e telecomunicação. Tendo a competências da gestão técnica da rede de distribuição assim como a facturação da energia dos consumidores (Porto de Maputo e Matola), assim como o controle de sistema de telemetria e informática.

Ela abrange:

- Redes de distribuição de energia eléctrica de 33 e 11 kV;
- Subestações e postos de transformação de 11/0,4 kV;
- Redes de baixa tensão, desde subestações e postos de transformação até os dispositivos de protecção das instalações;
- Redes de corrente contínua, até os dispositivos de protecção do armário de distribuição das instalações;
- Armários de distribuição de baixa tensão;
- Rede de iluminação pública em áreas comuns de circulação;
- Rede interna de comunicação ligada ao sistema de energia;
- Centrais geradoras.

2.2.3 Departamento de Águas

Esta área compreende as redes de distribuição de água potável e tem como competências:

- Elaborar, propor, monitorar, controlar e analisar a aplicação das especificações e normas de utilização.
- Identificar, avaliar e supervisionar ou controlar a realização de investimento em redes de água.

2.2.4 Departamento de Equipamentos

A gestão de equipamentos electromecânicos envolve a elaboração, monitoramento e controle das normas de uso e manutenção desses sistemas. Seu objectivo é garantir eficiência, segurança e conformidade com padrões técnicos, abrangendo processos de manutenção, modernização e análise do ciclo de vida dos equipamentos.

2.2.5 Departamento Contabilidade, finanças e secretariado.

Ao departamento de Contabilidade, finanças e secretariado compete a gestão dos orçamentos, dos recursos humanos, do expediente, da higiene e da segurança das instalações, através das actividades específicas como contabilizar as despesas diárias e estabelecer os necessários registos para controlo dos gastos do orçamento anual atribuído.

3. CAPÍTULO III – REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTÊNCIA

O **Sistema Eléctrico de Potência (SEP)** é a infraestrutura responsável pela geração, transmissão, distribuição e consumo de energia eléctrica. Ele é essencial para garantir o fornecimento contínuo e seguro de electricidade para indústrias, residências e estabelecimentos comerciais.

3.1.1 Constituição do Sistema Eléctrico de Potência

O Sistema Eléctrico de Potência (SEP) é composto por três principais etapas: **geração**, **transmissão** e **distribuição**, que garantem o fornecimento eficiente de electricidade até aos consumidores finais

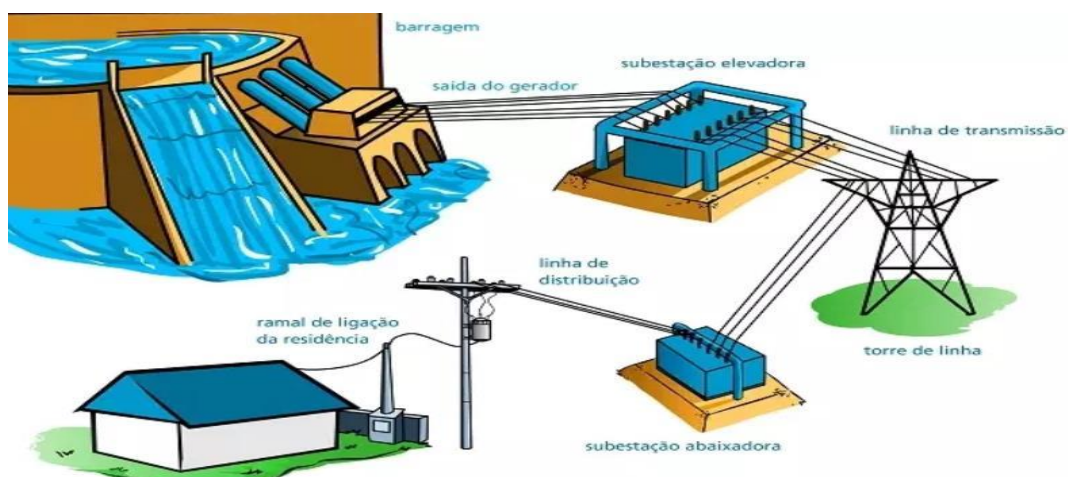


Figura 2: Representação do sistema eléctrico de potência
(Fonte: Silva, 2020)

3.1.1.1 Geração de Energia

- Conversão de diferentes fontes de energia em electricidade.
- Principais tipos de geração: hidreléctrica, termeléctrica, eólica, solar e nuclear.
- Usinas geradoras que alimentam o sistema eléctrico.

3.1.1.2 Transmissão de Energia

- Transporte da energia eléctrica das usinas para os centros de consumo.
- Uso de **linhas de transmissão de alta tensão** para minimizar perdas.
- Subestações e transformadores para ajuste de tensão.

3.1.1.3 Distribuição de Energia

- Entrega da energia eléctrica aos consumidores finais.
- Redes de distribuição em média e baixa tensão.
- Sistemas de protecção e controle para garantir estabilidade.

A operação do Sistema Eléctrico de Potência (SEP) pode ser impactada por diversos factores técnicos, sendo a **potência eléctrica**, o **factor de potência** e a **qualidade da tensão** elementos determinantes para o desempenho do sistema. O factor de potência influencia directamente a eficiência do consumo de energia eléctrica, enquanto a qualidade da tensão garante a estabilidade e a confiabilidade do fornecimento de energia para os consumidores finais. Dessa forma, a adequada gestão desses parâmetros é essencial para assegurar a operação eficaz do SEP e evitar perdas no sistema eléctrico.

3.2 POTÊNCIAS ELÉCTRICAS

A potência eléctrica é uma grandeza física fundamental na análise de sistemas eléctricos e electrónicos, ela é também definida como a taxa com que a energia eléctrica é convertida em outra forma de energia, como térmica, luminosa ou mecânica. Segundo **Sadiku (2012)**, “potência eléctrica é a quantidade de energia transferida ou convertida por unidade de tempo em um circuito eléctrico” (p. 65)

Matematicamente, pode ser expressa como o produto da tensão eléctrica (V) pela corrente eléctrica (I), ou seja, $P = V \times I$. (1)

Em sistemas de corrente alternada (CA), a potência eléctrica se divide em três componentes: **potência activa (P)**, que realiza trabalho útil; **potência reactiva (Q)**, que circula entre a fonte e a carga sem realizar trabalho efectivo; e **potência aparente (S)**, que representa a combinação vectorial das duas anteriores. A compreensão desses tipos de potência é fundamental para o correcto dimensionamento de sistemas eléctricos e para a eficiência energética, especialmente em ambientes industriais. (CHAPMAN, 2006).

3.2.1 Potência Aparente

A **potência aparente** é a potência total fornecida por uma fonte eléctrica a um sistema, sendo composta pela soma da **potência activa(P)** e da **potência reactiva(Q)**. Sua unidade de medida é o **Volt-ampere (VA)**.

Matematicamente, ela pode ser definida como:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

Onde:

- **S** = potência aparente (VA)
- **P** = potência activa (W)
- **Q** = potência reactiva (VAr)

A fórmula anterior expressa a **potência aparente (S)** como a raiz quadrada da soma dos quadrados da potência activa e reactiva. No entanto, essa é uma forma geométrica da potência aparente, baseada no triângulo de potências. Em uma abordagem mais geral especialmente em análise de sistemas CA senoidais — a potência aparente também pode ser representada a partir da tensão e corrente fassoriais, considerando o conjugado da corrente eléctrica:

$$\bar{S} = \bar{V} \cdot \bar{I}^* \quad (3)$$

No que I^* representa o conjugado do número complexo I

É com base nesse valor de potência em que se faz o dimensionamento dos cabos e sistemas de protecção das instalações eléctricas.

3.2.2 Potência Activa

A potência activa é a energia efectivamente convertida em trabalho útil, como calor, movimento ou luz. É medida em watts (W) e pode ser calculada pela fórmula:

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi \quad (4)$$

Onde: ϕ é o ângulo de fase ou defasagem entre a tensão e a corrente.\

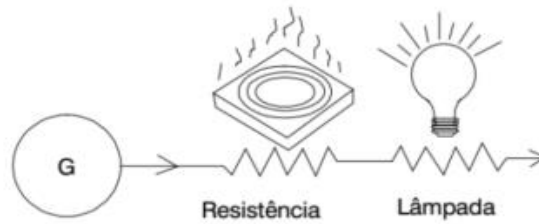


Figura 3: Percurso da potência activa em um condutor

(Fonte: WEG, 2009)

3.2.3 Potência reactiva

A **potência reactiva** é a componente da potência eléctrica que não realiza trabalho útil directamente, mas é essencial para o funcionamento de dispositivos indutivos e capacitivos, como motores eléctricos e transformadores. Sua unidade de medida é o **Volt-ampere Reactivo (VAr)**.

Matematicamente, a potência reactiva (**Q**) pode ser calculada pela seguinte equação:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\phi \quad (5)$$

Onde: **sin ϕ** = seno do ângulo de fase entre tensão e corrente.

Embora a potência reactiva seja necessária para a criação de campos electromagnéticos em equipamentos eléctricos, o seu excesso pode sobrecarregar a rede eléctrica, exigindo métodos de compensação, como bancos de capacitores.

3.3 FACTOR DE POTÊNCIA

De acordo com Alysson e Leonardo (2023), o factor de potência (FP) é definido como o quociente entre a potência activa (P), responsável pelo trabalho útil no sistema, e a potência aparente (S), que representa a combinação geométrica da potência activa com a potência reactiva (Q). Matematicamente:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \cos\phi \quad (6)$$

onde ϕ é o ângulo de defasagem entre tensão e corrente.

Essa relação pode ser expressa matematicamente por meio do triângulo das potências, sendo obtida tanto pelo cosseno do ângulo φ (ϕ), quanto pela razão entre a potência activa e o módulo da potência aparente, conforme mostrado anteriormente na equação (6), teremos:

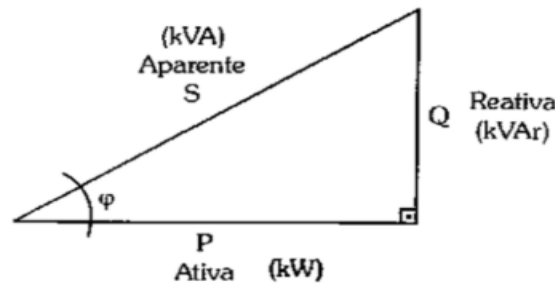


Figura 4: Triângulo de potência

Fonte: (Franchi, 2008)

Da figura acima, pode se deduzir facilmente que:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (7) \quad \text{e} \quad \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{Q}{P} \right) \quad (8)$$

Sob a perspectiva das concessionárias de energia eléctrica, o factor de potência é definido como a razão entre a potência activa (P) que representa a energia efectivamente convertida em trabalho útil e a potência aparente (S), que resulta da combinação fossorial ortogonal das potências activa e reactiva. Embora a potência reactiva (Q) não realize trabalho útil, ela é essencial para a magnetização de dispositivos electromagnéticos, como motores, transformadores e geradores.

No entanto, o consumo excessivo de potência reactiva é tecnicamente indesejável, pois acarreta diversos problemas operacionais: exige condutores com maiores seções transversais, aumenta as perdas por efeito Joule (I^2R) e provoca quedas de tensão mais acentuadas ao longo da rede eléctrica. Além disso, eleva a demanda sobre os transformadores, exigindo unidades com maior capacidade nominal, o que implica aumento nos custos de infraestrutura e operação do sistema eléctrico.

3.3.1 Factores que influenciam a redução do factor de potência

A redução do factor de potência em sistemas eléctricos é frequentemente ocasionada por diversos factores operacionais e estruturais presentes nas instalações consumidoras. Em geral, os principais responsáveis estão associados ao uso de cargas com características indutivas, à ausência de compensação reactiva adequada e ao uso de dispositivos electrónicos com comportamento não linear.

O factor de potência (FP) diminui principalmente devido a cargas indutivas, que provocam defasagem entre corrente e tensão. Os principais factores que influenciam isso são:

- ❖ **Nível de tensão acima do nominal:** A potência reactiva (kVAr) absorvida por máquinas e equipamentos é aproximadamente proporcional ao quadrado da tensão aplicada. Assim, tensões elevadas provocam maior consumo de reactivo e, conseqüentemente, reduzem o factor de potência
- ❖ **Motores operando a vazio ou superdimensionados:** Motores de indução consomem quase a mesma quantidade de energia reactiva tanto em vazio quanto em plena carga. Porém, quando operam com carga inferior a 50% da nominal, há queda acentuada do factor de potência
- ❖ **Transformadores a vazio ou com carga muito reduzida:** Transformadores alimentando poucas cargas ou superdimensionados apresentam alto consumo de potência reactiva, o que também contribui para o baixo factor de potência da instalação

Além disso, a crescente utilização de cargas não lineares, como computadores, inversores de frequência, rectificadores e fontes chaveadas, provoca distorções na forma de onda da corrente eléctrica, gerando harmónicos. Esses harmónicos deterioram o factor de potência total da instalação, mesmo quando o factor de potência de deslocamento (associado ao co-seno do ângulo φ) permanece elevado (CANHA et al., 2002).

3.3.2 Consequência do baixo factor de potência

Quando o factor de potência é baixo, há um desperdício de energia, aumentando as perdas eléctricas e sobrecarregando os componentes da rede. Além disso, um factor de potência inadequado pode gerar interrupções momentâneas no fornecimento de energia,

pois oscilações na rede eléctrica, causadas pelo excesso de potência reactiva, afectam a estabilidade dos sistemas. Essas interrupções podem comprometer a operação de equipamentos portuários e industriais, resultando em falhas operacionais e prejuízos financeiros.

Assim dentre as consequências do baixo factor de potência, se pode numerar:

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

Tabela 1: Relação entre potência aparente (no Trafo) e o factor de potência.

Potência útil absorvida-kW	Factor de potência	Potência do trafo-kVA
500	0,50	1.000
	0,80	625
	1,00	500

(Fonte: O Autor)

Na Tabela 1, nota-se que, quando o factor de potência é unitário, a potência útil requisitada pela rede pode ser plenamente suprida por um transformador com a mesma potência aparente. No entanto, se o factor de potência for de apenas 50%, será necessário um transformador com o dobro da potência aparente para atender à mesma carga.

Demonstração matemática

$$FP = \cos\varphi = \frac{P}{S}$$

Onde:

- P = potência activa (W)
- S = potência aparente (VA)
- φ = ângulo de defasagem entre tensão e corrente

Se a carga for puramente resistiva $\rightarrow \varphi = 0^\circ \Rightarrow \cos\varphi = 1$

Se a carga for fortemente indutiva $\rightarrow \varphi$ aumenta $\rightarrow \cos\varphi$ diminui

Graficamente teremos:

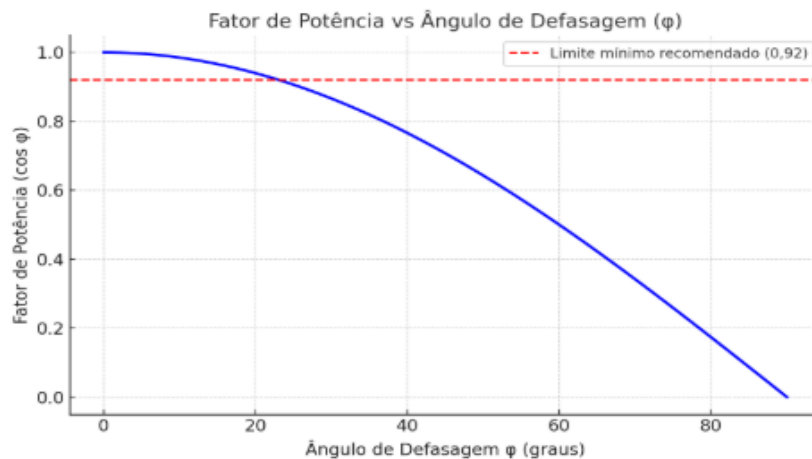


Gráfico 1: Variação da potência em função do ângulo de defasagem
(Fonte: O autor)

3.4 Métodos de correcção do factor de Potência

De acordo com Claiton Moro Franchi (2008), a compensação do factor de potência é fundamental para otimizar o desempenho dos sistemas eléctricos, reduzindo perdas e evitando penalidades impostas pelas concessionárias. A compensação do factor de potência, consiste em, localmente, na própria instalação consumidora, “produzir” a potência reactiva necessária ao funcionamento da mesma com um factor de potência “aceitável”. Dentre os diferentes métodos usados para fazer a compensação do factor de potência os mais empregues são:

- ❖ Compensação Passiva com Bancos de Capacitores;
- ❖ Filtros de Harmónicos e Bancos de Capacitores Sintonizados;
- ❖ Compensação Activa com Filtros Dinâmicos;
- ❖ Uso de Reguladores Automáticos de Tensão (AVR) em Geradores.

Cada um desses métodos de compensação do factor de potência deve ser escolhido com base nas características da instalação, perfil de carga, presença de harmónicos e exigências das concessionárias de energia.

Na figura 5 abaixo, é ilustrado o princípio da compensação. Assim, parte da potência reactiva necessária ao funcionamento da carga, deixa de ser fornecida pelo distribuidor, para ser fornecida por baterias de condensadores instaladas junto à referida carga, e que são propriedade do consumidor

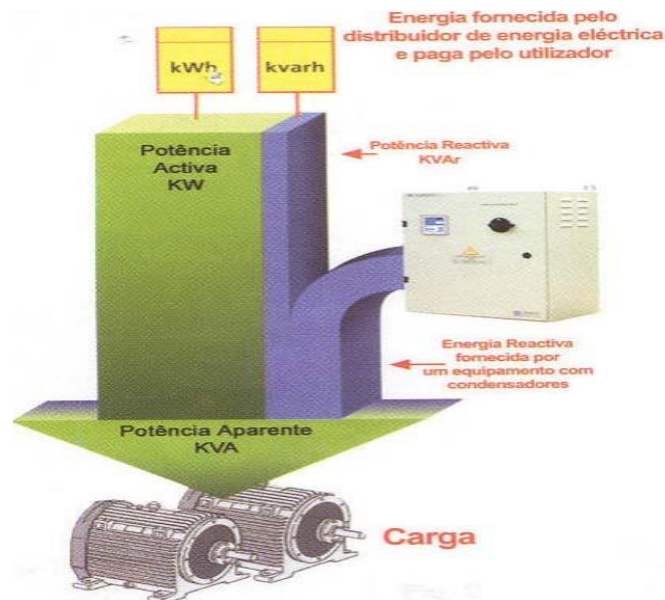


Figura 5: Fluxo de potência com banco de capacitores na distribuição.

(Fonte: SANTOS, J. Neves dos. *Compensação do factor de potência*. Porto: FEUP 2006.)

O investimento efectuado pelo consumidor na instalação de sistemas de compensação de energia reactiva tem como principal objectivo a redução dos encargos associados à factura mensal de electricidade, através da melhoria do factor de potência da instalação. Assim, a escolha do tipo de equipamento compensador e das respectivas características técnicas deve basear-se numa análise de viabilidade económica, que avalie o retorno do investimento tendo em conta a potência contratada, o perfil de consumo da carga e as penalizações aplicadas pela entidade distribuidora de energia.

3.4.1 Importância da compensação do factor de potência

De acordo com Franchi (2008), a compensação do factor de potência é uma prática indispensável nas instalações eléctricas que operam com cargas predominantemente indutivas, como motores de indução, transformadores e reactores. Dentre as vantagens, se destacam:

- ✓ **A conta de luz será menor**, pois baixo factor de potência requer um aumento na geração de energia eléctrica de transmissão para lidar com a potência reactiva causada por cargas indutivas;
- ✓ **A capacidade do sistema eléctrico irá aumentar**: Factor de potência não corrigido causa perdas de energia do seu sistema de distribuição. Podem ser geradas quedas de tensão, que em excesso causam sobreaquecimento e falha prematura de motores e outros equipamentos indutivos;
- ✓ Diminuição nas variações de tensão;
- ✓ Melhor aproveitamento da capacidade de transformadores;
- ✓ Aumento da vida útil dos equipamentos;
- ✓ Utilização racional da energia consumida.

3.5 Capacitores

Os capacitores são dispositivos fundamentais na correcção do factor de potência, uma vez que fornecem potência reactiva capacitiva, compensando o efeito das cargas indutivas no sistema eléctrico. Em termos construtivos, o capacitor é um componente passivo formado por duas superfícies condutoras separadas por um material isolante (dieléctrico), cuja função é armazenar energia eléctrica na forma de campo electrostático.

Segundo Hayt e Kemmerly (2007):

“Fisicamente, um capacitor é composto por duas superfícies condutoras com uma região isolante entre elas. A espessura e a constante dieléctrica do material isolante determinam a capacitância. A configuração mais simples é o capacitor de placas paralelas.”

(HAYT; KEMMERLY, 2007, p. 198)

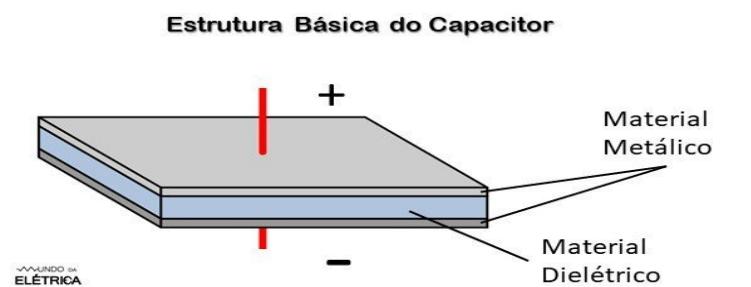


Figura 6: Capacitor

(Fonte: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-capacitor-eletrolitico-quais-suas-caracteristicas/>. Acesso em: 27 maio 2025)

A capacitância define a capacidade máxima de um capacitor armazenar carga eléctrica entre suas placas, sendo medida em Farads (F) – unidade que presta homenagem ao cientista inglês Michael Faraday. A relação fundamental que descreve esse fenómeno é expressa pela seguinte equação:

$$C = \frac{Q}{U} \quad (9)$$

A **capacitância** de um capacitor depende de diversos factores físicos e dieléctricos, sendo determinada, principalmente, pelos seguintes aspectos:

- **Área das armaduras condutoras(A)**: Placas de maior dimensão proporcionam uma superfície mais ampla para o armazenamento de carga eléctrica, resultando num aumento da capacitância;
- **Distância entre as placas(d)**: A redução do espaçamento entre as armaduras aumenta a intensidade do campo eléctrico, favorecendo uma maior capacitância;
- **Permissividade do dieléctrico (ϵ)**: Materiais com maior permissividade eléctrica (ϵ) permitem o armazenamento de uma maior quantidade de carga sob o mesmo campo eléctrico, elevando assim a capacitância do dispositivo.

Pode-se observar a influência destes factores na capacitância através das equações abaixo:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (10)$$

Relacionando a fórmula de acordo com a permissividade do material tem-se:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (11)$$

Onde: ϵ_0 é a permissividade do ar, ϵ_r é a permissividade do material, A (m²) é a área da placa e d (m) é a distância entre as placas. Como o valor de ϵ_0 é conhecido, qual seja, $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m. Assim, a equação acima pode ser escrita da seguinte forma:

$$C = 8,85 \cdot 10^{-12} \epsilon_r \frac{A}{d}$$

A tabela abaixo apresenta alguns valores de permissividade de algumas substâncias.

Tabela 2: Permissibilidade relativa ϵ_r

Dielétrico	ϵ_r (valores médios)
Vácuo	1,0
Ar	1,0006
Teflon®	2,0
Papel parafinado	2,5
Borracha	3,0
Polistireno	3,0
Óleo	4,0
Mica	5,0
Porcelana	6,0
Baquelite®	7,0
Óxido de alumínio	7
Vidro	7,5
Óxido de tântalo	30
Cerâmica	20 – 7.500
Titanato de bário e estrôncio (cerâmica)	7.500,0

Fonte: (Boylestad 2012).

3.5.1 Tipos de capacitores

Os capacitores são classificados em duas categorias: fixos e variáveis. Os primeiros possuem capacitância constante, os segundos possuem capacitância variável. Seus símbolos estão ilustrados na Figura abaixo:



Figura 7: Símbolos de capacitores: (a) fixo e (b) variável

Fonte: (Boylestad 2012).

3.5.1.1 Capacitor fixo:

Os capacitores fixos são componentes passivos com capacitância predeterminada e não ajustável, integrados permanentemente nos circuitos. Eles se diferenciam principalmente pelo material dielétrico utilizado, o que define suas propriedades eléctricas, limites de tensão, estabilidade e resposta em altas frequências. Entre os tipos mais comuns, destacam-se:

- **Electrolíticos:** Têm alta capacitância graças a uma camada muito fina de óxido e um electrólito.
- **De Disco:** Normalmente fabricados com materiais cerâmicos, oferecem resposta rápida e boa performance em alta frequência, ideais para desacoplamento e filtragem.
- **Polipropileno:** Possuem excelente estabilidade térmica e baixa perda dieléctrica, sendo usados em circuitos que exigem precisão e desempenho em altas frequências.
- **De Mica:** Destacam-se pela excepcional estabilidade, baixa variação salarial e alta rigidez dieléctrica, recomendados para aplicações de osciladores e circuitos de alta precisão.
- **Imersos:** São encapsulados em líquidos dieléctricos, o que melhora a dissipação de calor e protege contra surtos, sendo indicados para ambientes severos e sistemas de alta tensão.

3.5.1.2 Capacitores Variáveis

Ao contrário dos fixos, os capacitores variáveis permitem o ajuste da capacitância, possibilitando a sintonia fina e a compensação de desvios em circuitos dinâmicos. São especialmente importantes em aplicações de rádio, osciladores e circuitos sintonizados. Entre as principais categorias, destacam-se:

- **De Ajuste (Trimmer) de Ar:** Utilizam o ar como dieléctrico, proporcionando alta estabilidade e baixa perda, sendo especialmente empregados em circuitos RF e de alta frequência, apesar de apresentarem dimensões maiores.
- **De Ajuste (Trimmer) Cerâmico:** Empregam materiais cerâmicos que possibilitam ajustes precisos num formato compacto, adequados para aplicações em instrumentação e comunicação onde a miniaturização é fundamental.

3.6 BANCO DE CAPACITORES

Bancos de capacitores são equipamento destinado à correcção do factor de potência de um sistema. Seu principal componente é o capacitor, ou o conjunto deles. Esse

equipamento é instalado no quadro de distribuição do estabelecimento consumidor de energia eléctrica.

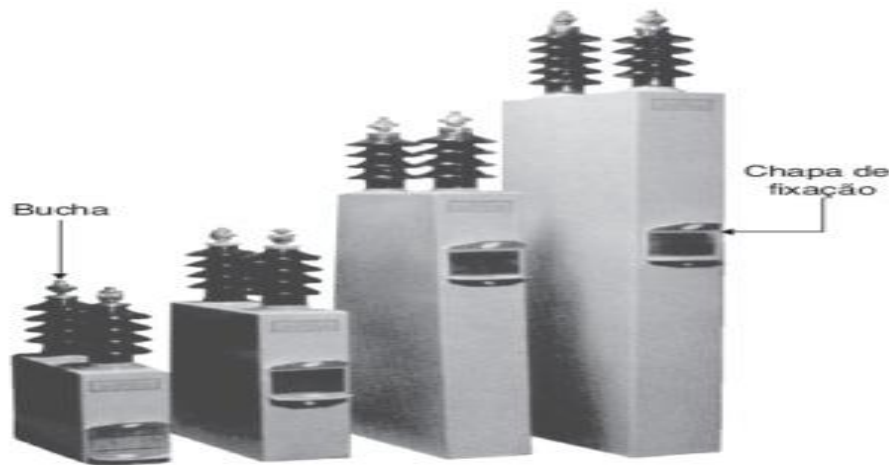


Figura 8: Capacitor trifásico de média tensão.

Fonte: MAMEDE (2010).

3.6.1 Características construtivas

Segundo Franchi (2008) Um banco de capacitores é constituído pela associação de vários capacitores, podendo ser ligado em série, paralelo ou combinação de ambos, de acordo com a tensão e a potência reactiva requerida. Inclui, ainda, dispositivos de manobra (contactores ou disjuntores), fusíveis ou relés de protecção, e, em sistemas automáticos, controladores de factor de potência.”

A estrutura física de um capacitor de potência é composta por diversos elementos fundamentais ao seu funcionamento e segurança:

- ❖ **Invólucro (caixa ou carcaça):** Envolve a parte activa do capacitor, geralmente fabricado em chapa de aço com espessura dimensionada de acordo com o volume e pressão interna da unidade.
- ❖ **Armadura:** Composta por folhas de alumínio de elevada pureza, enroladas com o material dieléctrico. As espessuras típicas variam entre 3 e 6 mm, assegurando baixa perda dieléctrica e conformidade com as especificações nominais de capacitância.
- ❖ **Dieléctrico:** Utiliza-se um filme de polipropileno especial, frequentemente combinado com papel dieléctrico (como o papel kraft), com espessura média de 18 um, para optimizar o isolamento eléctrico.

- ❖ **Fluido impregnador:** Substituindo os líquidos tóxicos utilizados no passado, a impregnação actualmente é realizada com substâncias biodegradáveis à base de carbono e hidrogénio, contribuindo para a sustentabilidade ambiental do equipamento.
- ❖ **Resistor de descarga:** Essencial para a segurança, é responsável por descarregar a energia armazenada nos terminais após a interrupção da alimentação eléctrica. Geralmente é instalado internamente, evitando riscos de choque eléctrico.

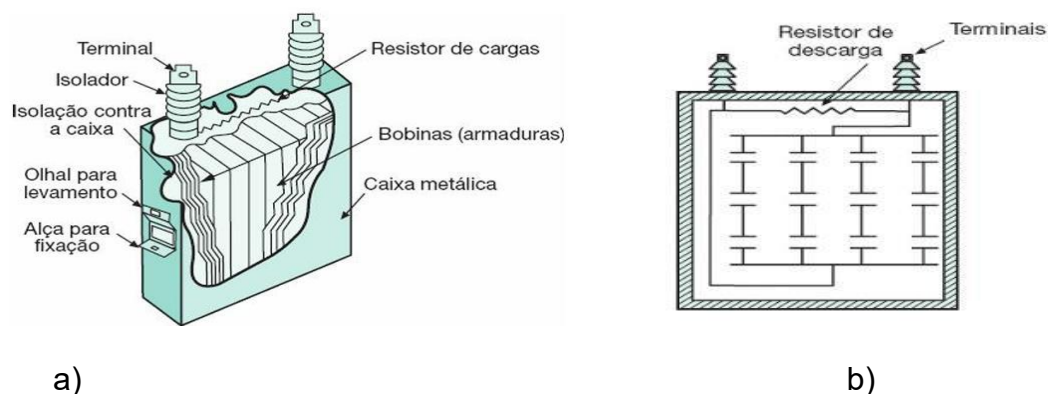


Figura 9: a) Elementos de um banco de capacitor, b) Representação interna de arranjo de uma unidade capacitiva

Fonte: (Mamede 2017).

3.6.2 Tipos de banco de condensador

Os bancos de condensadores podem ser classificados segundo a sua finalidade, isto é, conforme o método de controlo que empregam. Dessa forma, distinguem-se, basicamente, as seguintes categorias:

- ❖ **Banco de capacitores fixos:** são utilizados em instalações com carga praticamente constante ao longo do tempo. Devem ser dimensionados com cautela para evitar factor de potência excessivamente capacitivo e, obrigatoriamente, devem incluir sistema de protecção. O retorno do investimento pode ocorrer já a partir do segundo mês, conforme as condições de aplicação.
- ❖ **Banco de capacitores programável:** este tipo de banco de condensadores opera com base em horários ou eventos previamente definidos, activando-se durante períodos de carga indutiva e desactivando-se quando há excesso de

potência capacitiva. É indicado para pequenas e médias instalações com consumo estável e longos períodos de inactividade, como empresas que encerram as actividades ao final do dia.

- ❖ **Banco de capacitores automáticos:** Realizam correcção dinâmica do factor de potência com base em medições contínuas de tensão e corrente. Recomendados para ambientes com variações frequentes de carga, como indústrias e edifícios comerciais.



Figura 10: Banco de capacitor instalado.

(Fonte: Alysson, A. & Leonardo, B. (2023), p 29)

3.6.3 Regulador do Factor de Potência

O regulador de factor de potência é o componente central do sistema de correcção de potência reactiva. Ele monitora em tempo real o factor de potência da instalação eléctrica e acciona automaticamente os bancos de capacitores conforme a demanda, mantendo-o dentro dos limites exigidos (geralmente entre 0,92 e 1,0). O sistema realiza medições contínuas de tensão, corrente e ângulo de defasagem (φ), identificando desvios causados por cargas indutivas. Ao detectar desequilíbrios, o regulador comanda a conexão ou desconexão de capacitores, optimizando o uso da energia e evitando penalizações tarifárias.

De forma técnica, os sinais fundamentais que ele utiliza são:

- ❖ **Tensão:** Avalia amplitude e estabilidade, identificando variações que afectam o sistema.
- ❖ **Corrente:** Mede intensidade e perfil, permitindo calcular o ângulo de defasagem.
- ❖ **Ângulo de Defasagem (φ):** Determina o factor de potência ao comparar tensão e corrente.
- ❖ **Comando e Status:** Acciona ou desactiva módulos capacitivos conforme a demanda da carga.

Essa integração permite ajustes dinâmicos na compensação de energia reactiva, optimizando a eficiência, reduzindo perdas e garantindo maior estabilidade à rede eléctrica.



Figura 11: ST8200C – Controlador de factor de potência

Fonte: (Alfacomp 2025)

A figura (12) acima mostra o **ST8200C**, que é um controlador automático de factor de potência, desenvolvido pela **Alfacomp**, que realiza a compensação da potência reactiva em instalações eléctricas. Este equipamento monitora continuamente o factor de potência da rede e comanda a conexão ou desconexão dos bancos de capacitores, de forma a manter o factor de potência dentro dos limites desejados.

3.7 LOCALIZAÇÃO DO BANCO DE CAPACITORES

Segundo CREDER (2016), a instalação de um banco de capacitores deve ser feita em pontos estratégicos do sistema eléctrico, de forma a maximizar o desempenho da compensação do factor de potência. Em geral, ele pode ser posicionado:

- ❖ **No lado de alta tensão dos transformadores (tipo centralizado)**
A correcção é percebida pela concessionária, mas **não alivia a carga no transformador** e possui **alto custo**. Exige análise técnico-económica devido

à complexidade dos equipamentos de manobra e aos riscos de sobretensões e sobre correntes transitórias;

❖ **Nos barramentos secundários dos transformadores (tipo centralizado)**

Permite boa correcção do factor de potência com uso de bancos automáticos, ideal para sistemas com cargas variadas e uso não uniforme. Contudo, não reduz a corrente nos alimentadores individuais.

❖ **Em barramentos com agrupamento de cargas indutivas (tipo distribuído)**

Corrige por sectores ou grupos de pequenas cargas (<10 cv). Instala-se junto ao quadro que alimenta essas cargas. A desvantagem é não aliviar a corrente nos circuitos de cada equipamento.

❖ **Junto às grandes cargas indutivas (tipo individual)**

É a **melhor solução técnica**, instalando capacitores directamente nos equipamentos. Oferece:

- ✓ Redução das perdas na instalação;
- ✓ Alívio dos circuitos de alimentação;
- ✓ Accionamento conjunto com o capacitor, reduzindo custos de manobra;
- ✓ Geração localizada de potência reactiva

A figura a seguir apresenta os possíveis pontos de instalação de bancos de capacitores destinados à correcção do factor de potência numa planta com diversas cargas.

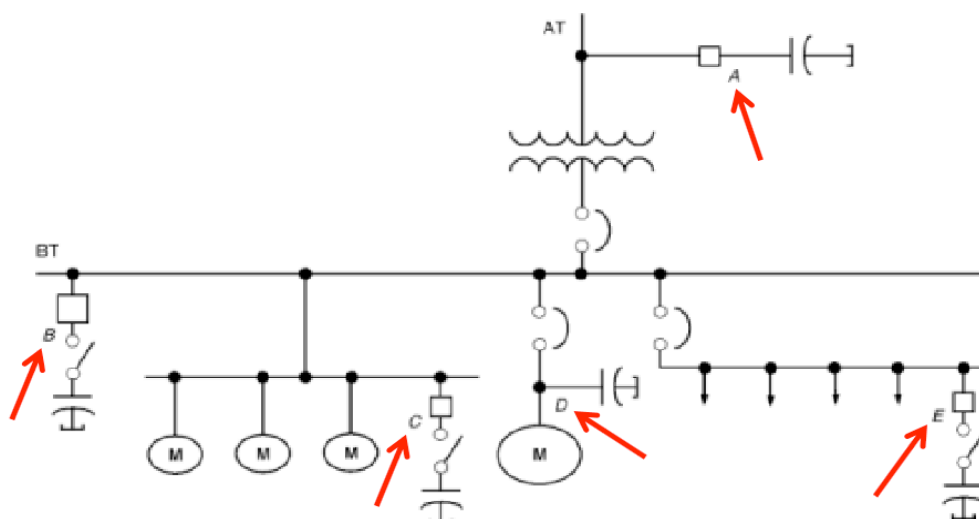


Figura 12: Locais onde podem ser inseridos BC's.

Fonte: CREDER (2016).

Os pontos indicados para a localização dos capacitores em uma instalação industrial variam conforme os objectivos técnicos e económicos do projecto, isto é, os capacitores

podem ser posicionados em diferentes locais da instalação para maximizar a eficiência energética e melhorar o factor de potência. Os principais pontos são:

3.7.1 No lado de alta tensão dos transformadores (correção centralizada em alta tensão)

- ❖ Vantagem: Corrige o factor de potência do ponto de vista da concessionária.
- ❖ Desvantagem: Não alivia a carga do transformador, pois a corrente dos capacitores também passa por ele.
- ❖ Indicação: Necessita análise técnico-económica, devido ao alto custo dos equipamentos de manobra e protecção em alta tensão.

3.7.2 Nos barramentos secundários dos transformadores (correção centralizada em baixa tensão)

- ❖ Vantagem: Permite uso de bancos automáticos e atende bem instalações com carga variável.
- ❖ Desvantagem: Não reduz significativamente a corrente nos alimentadores individuais de equipamentos.
- ❖ Indicação: Ideal para locais com muitas cargas de diferentes potências e regimes.

3.7.3 Nos barramentos secundários com agrupamento de cargas indutivas (correção distribuída por sector)

- ❖ Vantagem: Corrige grupos de cargas específicas, como sectores industriais com pequenas máquinas.
- ❖ Desvantagem: Não reduz a corrente em cada circuito de alimentação individual.
- ❖ Indicação: Usado em quadros de distribuição de sectores específicos.

3.7.4 4. Junto às grandes cargas indutivas (correção individual)

- ❖ Vantagem:
 - ✓ Reduz perdas em toda a instalação.

- ✓ Diminui a carga nos circuitos dos equipamentos.
 - ✓ Gera potência reactiva apenas onde é necessária.
 - ✓ Pode partilhar o mesmo sistema de manobra com a carga.
- ❖ **Indicação:** Melhor solução técnica para motores ou máquinas de grande porte.

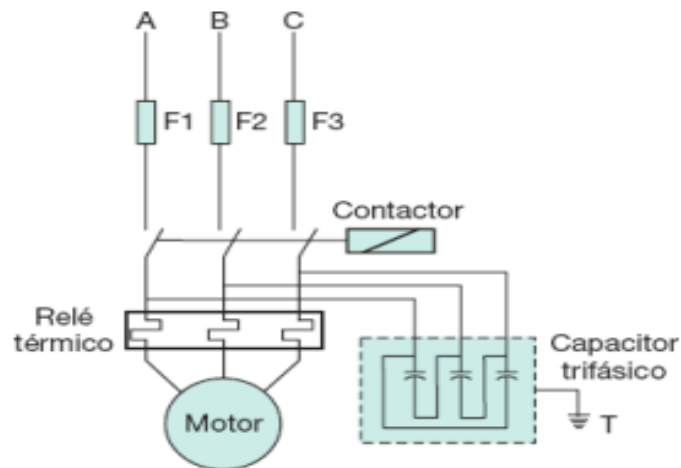


Figura 13: Localização do BC no accionamento de um motor.

Fonte: CREDER (2016).

3.8 Montagem de Capacitores em Sistemas de Compensação

Os capacitores podem ser conectados de diferentes maneiras, compondo conjuntos conhecidos como bancos de capacitores. O número de unidades (ou células) utilizadas nesses bancos deve ser restringido com base em critérios técnicos específicos. A formação mais comum dos bancos de capacitores é:

3.8.1 Configuração em Estrela Aterrada

Nesse tipo de arranjo, as células capacitivas podem ser ligadas tanto em série como em paralelo, conforme as Figuras abaixo.

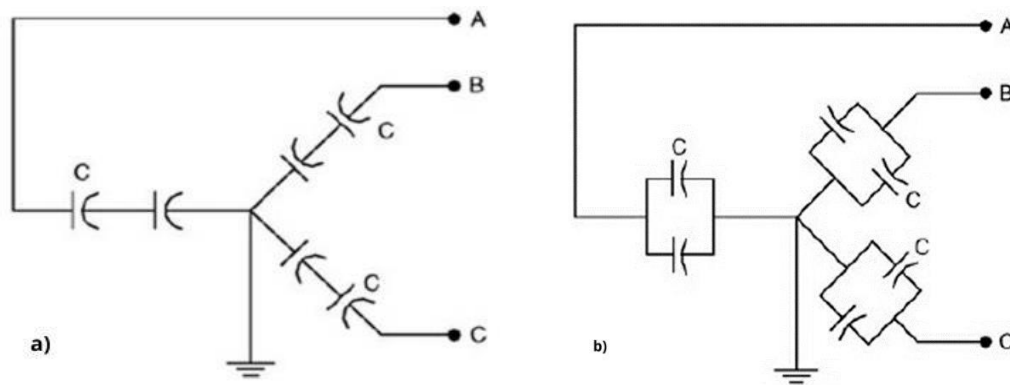


Figura 14: configuração em: (a) Estrela aterrada- série; (b) Estrela aterrada-paralelo

Fonte: Mamede (2013)

Esse tipo de arranjo é indicado apenas para sistemas com neutro aterrado, como em subestações e instalações industriais, pois oferece baixa impedância às harmônicas e reduz sobretensões. Não se recomenda usar apenas um grupo série por fase, pois isso gera baixa reactância, altas correntes de curto-circuito e exige fusíveis de alta capacidade.

3.8.2 Configuração em Estrela Isolada

Este tipo de arranjo pode ser utilizado tanto em sistemas com neutro aterrado como em sistemas com neutro isolado. Na configuração em estrela isolada, por não haver ligação à terra, não há circulação de correntes de sequência zero em situações de falha fase-terra.

Devido a manobras ou falhas nas células, o neutro dos bancos de capacitores nesta configuração pode atingir o potencial de fase, exigindo isolamento para essa tensão. A principal vantagem é a insensibilidade à circulação de correntes de terceira harmônica.

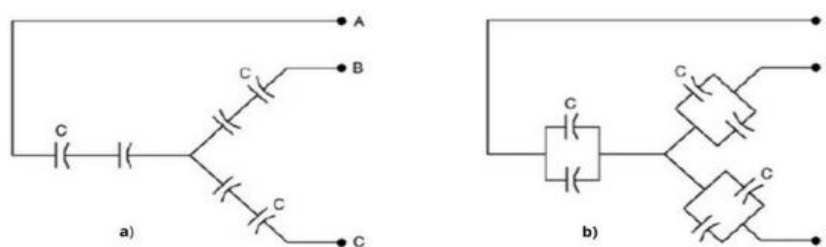


Figura 15: (a) Estrela isolada- série.; (b) Estrela isolada- paralelo

Fonte: Mamede (2013)

3.8.3 Conexão delta (Triângulo)

A **ligação em delta** é a mais comum em redes de **baixa tensão**, especialmente em instalações industriais trifásicas com tensão entre **220 V e 440 V**. Nesse arranjo, os capacitores são conectados **entre fases**, formando um triângulo eléctrico fechado.

Vantagens da ligação delta:

I. **Isolamento das correntes harmónicas de terceira ordem:**

As correntes de terceira harmónica (e seus múltiplos ímpares triplenos) têm a característica de serem cofásicas nas três fases. Na ligação delta, esse tipo de corrente circula dentro do triângulo formado pelos capacitores e não se propaga para a rede, reduzindo distúrbios e ressonâncias harmónicas no sistema.

II. **Eliminação de neutro:**

Como os capacitores estão entre fases, não há necessidade de conexão com o neutro, simplificando a instalação e evitando desequilíbrios no sistema.

III. **Maior protecção contra desequilíbrios:**

A corrente total em cada fase tende a se equilibrar, mesmo em presença de pequenas assimetrias na tensão ou na carga.

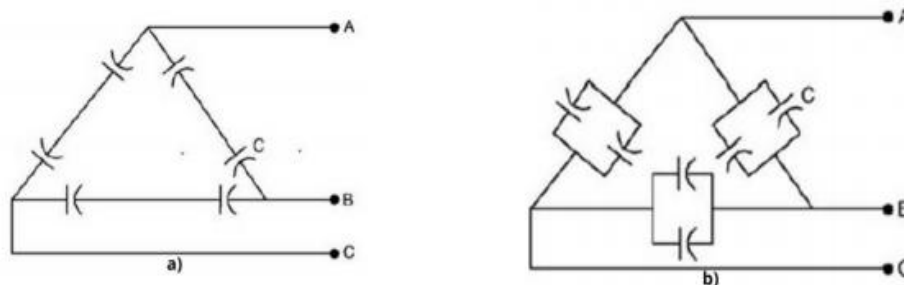


Figura 16: a) Banco delta- série; b) banco delta- paralelo

Fonte: Mamede (2013).

3.8.4 Configuração em dupla estrela isolada

Este arranjo é usado apenas em bancos de grande capacidade. Assim como na estrela isolada, é insensível às correntes de sequência zero, e o neutro pode atingir a tensão de fase em caso de falhas nas células ou manobras.

4.1.1 Caracterização do local de estudo

O estudo permitiu identificar que as Subestações S1.2, S1.3 e S3.5 apresentam os seus bancos de condensadores danificados, sendo importante a sua reposição imediata, de forma a evitar penalizações e garantir a continuidade do fornecimento energético. A título de exemplo, foi seleccionada a Subestação S1.2 como caso de referência, onde se fará o dimensionamento completo do banco de condensadores, bem como à definição dos dispositivos de protecção adequados, com vista a restabelecer a qualidade da energia fornecida e reforçar a fiabilidade da rede. Esta subestação é alimentada a partir da Subestação Principal S1.1, a qual desempenha um papel fundamental na distribuição de energia eléctrica para as instalações da companhia.

A Subestação S1.1 recebe energia eléctrica em média tensão, com nível de 33 kV e potência de 10 MVA, proveniente directamente da Central Termoeléctrica de Maputo. A partir da S1.1, a energia é distribuída por meio de ramificações em média tensão, que alimentam diversos pontos de transformação ao longo da rede.

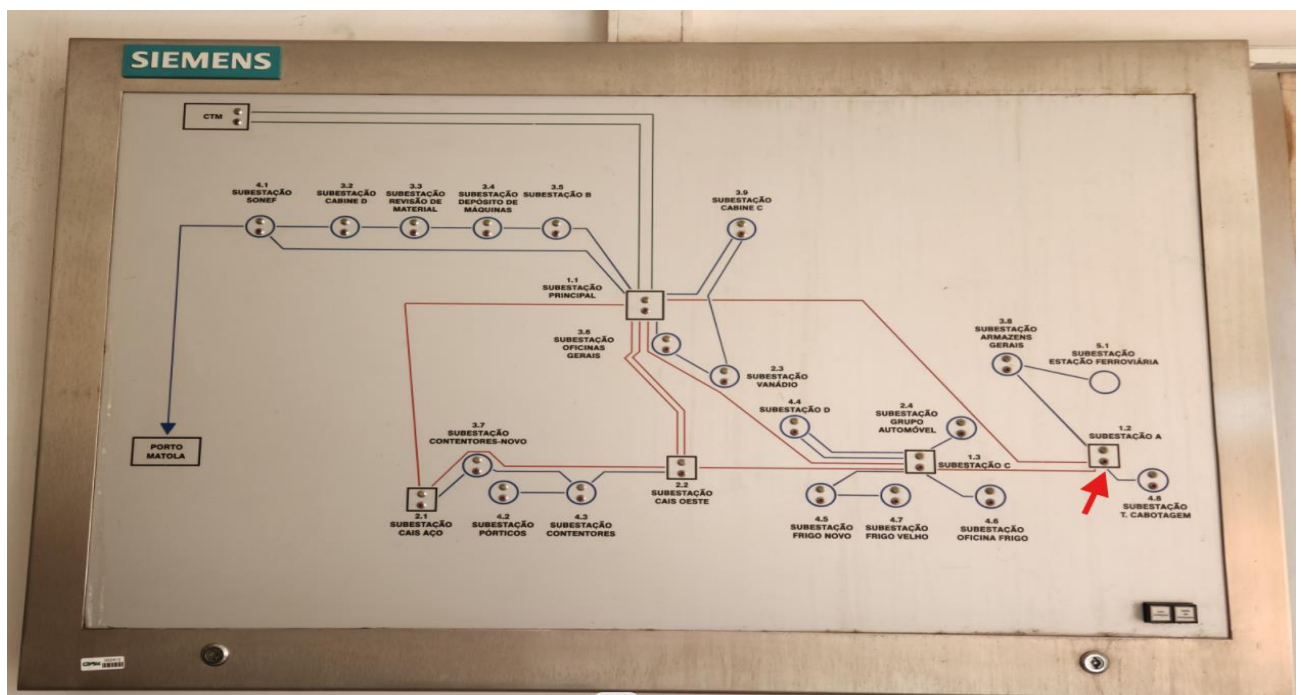


Figura 18: Painel da conexão da rede do CFM- Sul na S 1.1

(Fonte: Siemens, CFM Harbour of Maputo)

Esses pontos de transformação são responsáveis por baixar a tensão eléctrica para níveis adequados ao suprimento das cargas finais, assegurando o fornecimento de energia às diferentes áreas operacionais da CFM. A Subestação 1.2, objecto principal

deste estudo, é uma dessas unidades consumidoras alimentadas a partir da Subestação principal, e será analisada quanto ao seu desempenho eléctrico, com ênfase no factor de potência e na qualidade da energia fornecida.

Vinde, a seguir, as imagens da vista frontal e do interior da Subestação S1.2, objecto do presente estudo.



Figura 19: Imagem frontal da S.1.2
(Fonte: O Autor)

A figura 22 a seguir mostra a parte interna da S.1.2 onde foi analisada a planta, a carga e a potência consumida.



Figura 20: Imagem interna da S1.2

(Fonte: O Autor)

4.2 LEVANTAMENTO DE CARGA E PROJECTO

Na Subestação S1.2 instalam-se quatro (4) transformadores, todos ligados em paralelo, operando de forma alternada (dois em serviço). A saída de cada transformador é encaminhada para os dispositivos de protecção, que salvaguardam o sistema contra sobretensões, curto-circuitos e outras anomalias. Posteriormente, a energia distribui-se pelos barramentos para alimentar diversas cargas.

De acordo com a conexão dos transformadores e a distribuição de carga na rede, teremos na S.1.2:

Tabela 3: Cargas na saída dos transformadores

ITEM	VALOR
Transformadores	4 x 630 kVA
Simultâneo operando	2
Factor de simultaneidade	0,5
Demanda máxima (kVA)	1260
Demanda máxima (80%) x Evolução (1,2) kVA	1209,6

(Fonte: O Autor)

Explicação da tabela:

Actualmente, as cargas conectadas ao sistema demandam **aproximadamente 80%** da potência total disponível, equivalente a **1260 kVA**. Além disso, foi considerado um **factor de evolução de carga de 20%**, garantindo que futuras expansões e variações na demanda sejam adequadamente contempladas no dimensionamento do sistema.

A chapa característica de cada transformador e as células de distribuição das cargas encontram-se no anexo 1.

4.3 Tratamento de dados e resultados

O banco de condensadores a ser instalado será do tipo automático, permitindo a correcção do factor de potência conforme a exigência das cargas no sistema. Esta solução otimiza a qualidade da energia e minimiza as penalizações associadas a factor de potência inferior ao mínimo exigido. A figura abaixo mostra o diagrama unifilar das conexões dos transformadores na subestação S1.2 que alimentam a direcção portuária, oficina do MPDC, Torres de iluminação do porto, estação central da CFM e A oficina do SMREA.

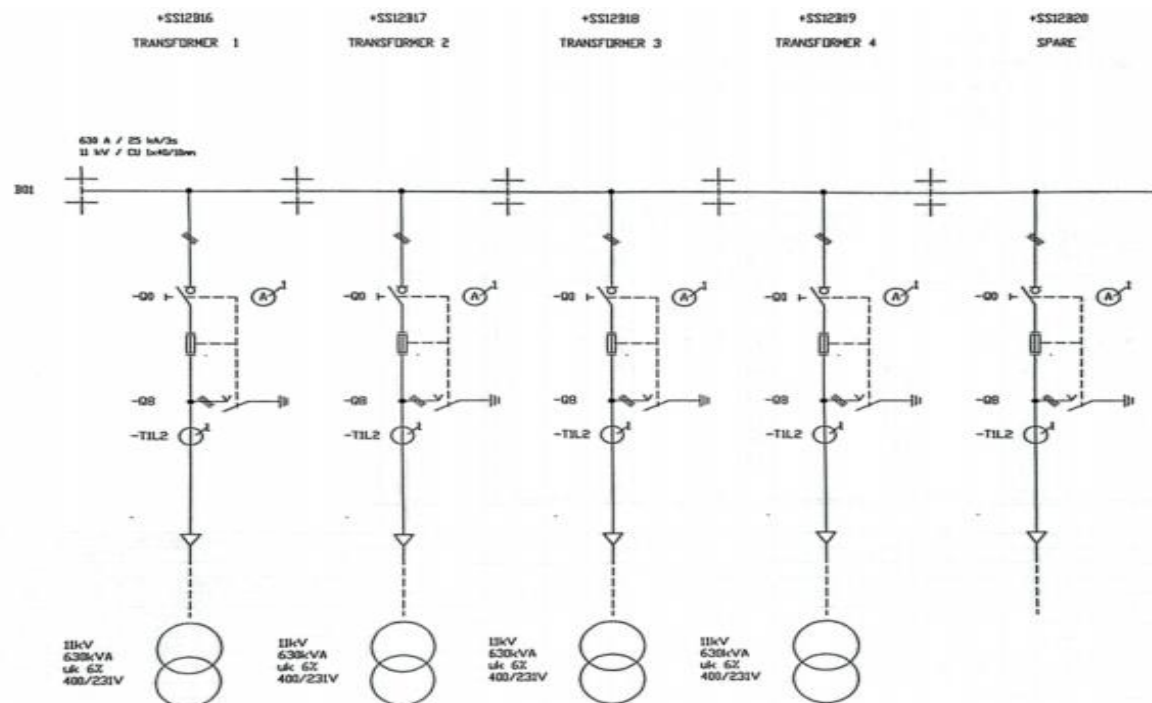


Figura 21: Diagrama Ligação do transformador na S1.2

(Fonte: Siemens, CFM Harbour of Maputo)

O banco do condensador será instalado no barramento à saída do secundário do transformador. Este banco, devidamente dimensionado, aliviará o transformador, reduz as perdas de energia e diminui o custo da factura de energia, contribuindo assim para a melhoria da eficiência energética da rede e da S1.2.

4.3.1 Dimensionamento do banco automático de capacitor

O dimensionamento do banco automático de condensadores determina a capacitância necessária para compensar a energia reactiva e melhorar o factor de potência, evitando assim as penalizações da concessionária. Na subestação S1.2, o banco operará de forma autónoma, activando ou desactivando os módulos capacitivos conforme a necessidade, optimizando o desempenho da rede. Actualmente, o factor de potência situa-se em 0,78 abaixo do mínimo de 0,8 o que pode resultar numa penalização de 30% do preço da energia activa, sendo o valor pretendido 0,95.

O cálculo do novo factor de potência da instalação será realizado com base no triângulo das potências, conforme ilustrado na figura abaixo:

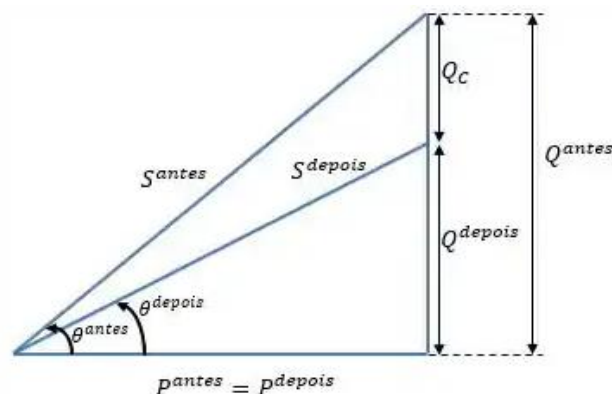


Figura 22: Triângulo de Potência
(Fonte: O autor)

Com base na figura 26 acima é possível obter a potência reactiva mínima que o banco de capacitor deverá possuir para poder suprir a demanda reactiva da rede.

I. Determinação da potência do banco

Do triângulo da potência constata-se que a potência do banco de capacitores a ser instalado corresponde à diferença entre a potência reactiva antes da correcção e a potência reactiva após a instalação do banco.

Assim:

$$Q_C = Q_{Actual} - Q_{Pretendido}$$

Pelo que:

$$Q_{Actual} = P \times \tan \varphi_{Actual} \quad \text{e} \quad Q_{Antes} = P \times \tan \varphi_{Pretendido}$$

Onde: φ É o angulo do factor de potência

Logo:

$$Q_C = Q_{Actual} - Q_{Antes} \rightarrow Q_C = P \times (\tan \varphi_{Actual} - \tan \varphi_{Pretendido})$$

$$Q_C = P \times [\tan(\cos^{-1} 0,78) - \tan(\cos^{-1}(0,95))]$$

Do levantamento de dados temos que a potência incluída a demanda máxima e o factor de evolução das cargas é dada por 1209,6

$$Q_C = 446,83 \text{KVAR}$$

É prática corrente arredondar o valor calculado para cima, a fim de garantir uma correcção efectiva do factor de potência mesmo quando as cargas variam e este tende a degradar-se com o tempo. Assim, partindo de $Q_C = 446,83 \text{ kVAR}$, adopta-se o valor nominal normalizado de **450 kVAR**, que corresponde ao patamar imediatamente superior (situado entre 400 kVAR e 450 kVAR).

II. Determinação da capacitância total do banco de capacitor

Serão instalados dois bancos automáticos de condensadores de 225 kVAR, alojados em cancelas distintas e ligados em paralelo ao barramento. Esta solução proporciona redundância, isto é, caso um banco seja retirado para manutenção ou apresente avaria, o outro mantém a correcção do factor de potência dentro dos limites contratuais, evitando penalizações.

$$C = \frac{Q_C}{3 \times V_{fase}^2 \times 2\pi \times f}$$

Onde:

- $Q_C = 225\,000 \text{ VAr}$
- $V_{fase} = 400/\sqrt{3} \approx 230,94 \text{V}$
- $f = 50 \text{ Hz}$

Substituindo:

$$C = \frac{225000}{3 \times (230,94)^2 \times 2\pi \times 50}$$
$$C \approx \frac{225000}{50212271} \approx 4,48 \times 10^{-3} F = \boxed{4,48 \text{ mF}}$$

Cada célula de 225 kVAr exigirá, portanto, cerca de 5 mF por fase, dimensionamento que assegura a compensação reactiva pretendida e a continuidade operacional da instalação.

4.3.2 Determinação do número de estágios do banco do capacitor automático

Para o projecto será usado o modelo compensador da WEG, assim para cada cancela que possui 250 kVar cada fez-se a divisão em 7 escalas, considerando:

a) Proporcional (igualitária):

- Cada estágio = $\frac{225}{7} = 32,14 \text{ kVAr}$

Mas essa divisão não permite uma boa regulação fina.

b) Escalonamento Binário (Recomendado pela Siemens e mais eficiente):

Esse modelo é mais recomendado pela Siemens para bancos automáticos porque:

- Fornece a resolução mais fina possível (qualquer valor entre 0 kVAr e a potência total pode ser obtido somando-se os estágios adequados);
- Reduz o número de manobras do primeiro degrau, prolongando a vida dos contactores

O padrão binário para sete estágios é 1 : 2 : 4 : 8 : 16 : 32 : 64

Somando-se estes factores temos 127 unidades binárias. Para obter 225 kVAr totais:

$$Escala = \frac{225}{127} \approx \frac{1,77 \text{ kVAr}}{\text{unidade}}$$

Multiplicando cada factor:

Tabela 4: Escalonamento binário do número de estágio

Estágio	Factor binário	Potência (kVAr)	Valor de catálogo WEG (50 Hz / 400 V)	Referência
1	1	1,77	2,5 kVAr	UCWT HD
2	2	3,54	5 kVAr	UCWT HD
3	4	7,09	10 kVAr	UCWT HD
4	8	14,17	20 kVAr	UCWT HD
5	16	28,34	40 kVAr	UCWT HD
6	32	56,66	50 kVAr	UCWT HD
7	64	113,31	100 kVAr	MCW series
Total	—	225,08	227,5 kVAr	—

(Fonte: O Autor)

Valores em negrito correspondem a módulos **UCWT/MCW da WEG** cujo a chapa característica encontra-se no anexo 4. Ao arredondar-se sempre para o módulo imediatamente inferior evita-se sobrecompensação; a ligeira folga (-1,6 %) é compensada pelo próprio regulador automático.

4.3.3 Dimensionamento da protecção do banco de capacitor

A protecção de bancos de capacitores é importante para garantir a segurança eléctrica, longevidade dos equipamentos e a continuidade operacional do sistema. Por se tratar de dispositivos que operam em ambientes com variações de carga e tensões, os bancos estão sujeitos a diversos riscos que exigem medidas de protecção específicas.

A corrente de serviço será dada por:
$$I_s = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \times U_n} \quad (V_n = 400 \text{ V})$$

Substituindo teremos a tabela abaixo:

Tabela 5: Cálculo da corrente de serviço das células

Estágio	Potência(kVAr)	Cálculo da corrente	I (A)
1	2,5 kVAr	2500/ (1,732×400)	3,61 A
2	5 kVAr	5000/ (1,732×400)	7,22 A
3	10 kVAr	10000 / (1,732 × 400)	14,44 A
4	20 kVAr	20000 / (1,732 × 400)	28,87 A
5	40 kVAr	40000 / (1,732 × 400)	57,74 A
6	50 kVAr	50 000 / (1,732 × 400)	72,18 A
7	100 kVAr	100 000 / (1,732 × 400)	144,35 A
Total	227,5 kVAr	—	≈ 328,41 A

(Fonte: O autor)

- A soma das correntes confirma-se pelo valor global

$$I_{Total} = \frac{227500}{\sqrt{3} \times 400} \approx 328,41 A$$

I. Dimensionamento dos contactores:

O banco WEG de **227,5 kVAr** será dividido em estágios binário de 2,5 kVAr; 5 kVAr; 10 kVAr; 20 kVAr; 40 kVAr ,50 kVAr e 100 kVAr perfazendo no total **7 estágio**. Cada estágio requer um **contactor específico**, capaz de suportar a corrente nominal e os picos de inserção.

Os contactores utilizados devem pertencer à **categoria AC-6b**, que é específica para cargas capacitivas. A WEG recomenda a **linha CWMC**, que possui **contactos de pré-inserção**, permitindo a limitação dos picos de corrente durante a energização do banco de capacitores.

Com base no catálogo da WEG (Anexo 5), a escolha do contactor adequado para cada potência do estágio será definida conforme a seguinte relação:

Tabela 6: Escolha do modelo do contactor

Estágio	Corrente (A)	Contactador WEG
2,5 kVAr	3,61 A	CWMC9
5 kVAr	7,22 A	CWMC9
10 kVAr	14,44 A	CWMC9
20 kVAr	28,87 A	CWMC25
40 kVAr	57,74 A	CWMC50
50 kVAr	72,18 A	CWMC65
100 kVAr	144,35 A	CWMC95

(Fonte: O Autor)

Durante a manobra dos bancos de capacitores, especialmente em redes com baixa impedância, podem surgir **correntes de energização muito elevadas (correntes de In-Rush)**. Essas correntes podem atingir até **100 vezes a corrente nominal do capacitor**, representando um dos principais factores de **redução da vida útil** desses componentes. Para mitigar esse efeito, utiliza-se uma pré-carga resistiva, como mostrado no anexo 5, onde resistores são instalados em série com os contactos auxiliares antecipados do contactor. Esses resistores entram em operação antes do fechamento dos contactos principais, limitando a corrente de partida e protegendo o capacitor.

II. Dimensionamento dos disjuntores:

Segundo critérios da WEG, o disjuntor utilizado para protecção de bancos de capacitores deve ser dimensionado para conduzir uma corrente de até 1,3 vezes a corrente nominal do capacitor. Esse factor considera a presença de harmónicas e sobrecargas temporárias no sistema.

Além disso, como os capacitores podem operar com uma tensão até 10% acima da nominal ($1,1 \times V_n$), o valor máximo de corrente possível atinge 1,43 vezes a corrente nominal ($1,3 \times 1,1$).

Dessa forma, o dimensionamento do disjuntor geral deve seguir a seguinte relação:

$$I_n = 1,43I_s$$

$$I_n = 1,43 \times 328,41 \text{ A}$$

$$I_n = 469,63 \text{ A}$$

"O disjuntor seleccionado é do modelo AGW650N-DX500-3, de caixa moldada, com corrente nominal de 500 A. As suas características técnicas encontram-se detalhadas no Anexo 7."

Para a determinação de disjuntor de cada estágio, temos que a corrente calculada são aproximadamente:

Tabela 7: Corrente Aproximada de cada estágio

Estágio	2,5 kVAr	5 kVAr	10 kVAr	20 kVAr	40 kVAr	50 kVAr	100 kVAr
Corrente	3,61 A	7,22 A	14,44 A	28,87 A	57,74 A	72,18 A	144,35 A
Corrente x1,43	5,16 A	10,32 A	21,12 A	41,28 A	82,57 A	103,22 A	206,42 A

(Fonte: O Autor)

Assim, consultado o anexo 7 referente ao disjuntor da caixa moldada, teremos os seguintes disjuntor sugerido:

Tabela 8: Escolha dos disjuntor de caixa moldada

Estágio	Corrente Disjuntor AGW sugerido	In placa
2,5 kVAr	AGW50N-DX15-3	15 A
5 kVAr	AGW50N-DX15-3	15 A
10 kVAr	AGW50N-DX30-3	30 A
20 kVAr	AGW50N-DX50-3	50 A
40 kVAr	AGW100N-DX100-3	100 A
50 kVAr	AGW250N-DX125-3	125 A
100 kVAr	AGW250N-DX225-3	225 A

(Fonte: O Autor)

- **Protecção contra sobrecarga**

De acordo com RTIEBT, 2006 a protecção das canalizações eléctricas contra sobrecargas é assegurada se as características dos aparelhos de protecção.

1ª Condição: A corrente estipulada do dispositivo de protecção (I_n) seja maior ou igual à corrente de serviço da canalização respectiva (I_s) e menor ou igual que a corrente máxima admissível na canalização (I_z),

$$I_s \leq I_n \leq I_z$$

$328,41 \leq 500 \leq 507$

A condição $I_s \leq I_n \leq I_z$ é satisfeita

2ª Condição: A corrente de actuação convencional do dispositivo de protecção (I_2) seja menor ou igual que 1,45 a corrente máxima admissível na canalização (I_z), do anexo 7

$$I_2 \leq 1.45I_z$$

$650 \leq 735,15$

(Satisfaz)

4.3.4 Determinação da secção do cabo alimentador

Consultando a tabela em anexo 9 da RTIBT, fazendo intersecção com a corrente temos que a secção do condutor é 240 mm². A escolha do tamanho de condutor para os módulos capacitivo se encontra no anexo 1.

Para o cabo alimentador o modelo de cabo será PVC/750V/250 mm²

4.4 Controlador do banco de capacitor automático

Para um banco de 225 kVAr com **7 estágios**, (7 estágio) escolhendo o modelo da WEG, pode-se usar PFW03-M08 ou alternativa PFW01-T12. Para evitar o custo elevado escolhe-se o modelo PFW01-T12 que possui o painel LCD e o preço menor.

4.4.1 Funcionamento do Controlador de Factor de Potência

A demanda de energia reactiva na S.1.2 varia o tempo todo, então um controlador de factor de potência liga ou desliga estágios do banco de capacitores conforme necessário.

Ele mede o FP, compara com a meta de 0,95 e acciona os contactores para adicionar ou retirar reactivos, ajustando automaticamente a quantidade e o tamanho dos estágios até manter o factor de potência próximo do valor programado.

4.5 Instalação do banco de capacitor automático

O banco de capacitores será constituído por dois subsistemas distintos:

1. Circuito de força – engloba o disjuntor geral, barramentos, fusíveis NH, contactores de potência e os sete módulos capacitivos (2,5 kVAr, 5, 10, 20, 40, 50, 100 kVAr), todos ligados às barras trifásicas de 400 V.
2. Circuito de comando – composto pelo controlador automático PFW01-T12, transformador de serviços auxiliares (400 → 230 V), relés de intertravamento, termóstato de ventilação e interface RS-485 para supervisão.

As características construtivas completas (dimensões, disposição interna, referências de catálogo) e o esquema detalhado de ligação encontram-se no anexo 11).

4.5.1 Ventilação em bancos de capacitores

Quando os capacitores operam por longos períodos em ambientes com pouca ventilação natural, é comum o acúmulo de calor nos painéis, o que pode elevar significativamente a temperatura interna dos componentes.

Segundo as Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão (RTIEBT) e as recomendações de fabricantes como a WEG e Siemens, a elevação de temperatura acima dos limites especificados reduz directamente a vida útil dos capacitores, afectando também os contactores e demais componentes de manobra.

Além disso, o uso de **ventilação forçada**:

- ✓ Mantém a temperatura interna do painel dentro dos limites operacionais (tipicamente < 45 °C);
- ✓ Reduz o risco de falhas térmicas e degradação dieléctrica do capacitor;
- ✓ Permite operação contínua com maior confiabilidade e segurança;
- ✓ Atende aos requisitos de fabricantes, que especificam operação ideal em ambientes ventilados e com circulação de ar adequada

Com base na tabela em anexo 10 e de acordo com a potência do banco a ventilação necessária deve ter 300 m³/h

5. CAPÍTULO V: ESTIMATIVA DE CUSTO

A implementação do banco automático de capacitores para a subestação S.1.2 representa um investimento estratégico na eficiência energética do CFM, visando reduzir penalizações por baixo factor de potência e mitigar sobrecargas nos condutores.

A estimativa de custos para as duas células do banco está detalhada abaixo:

Tabela 9: Estimativa do custo do projecto

Mapa de apresentação de preços em Meticais			
Descrição	QTD	Custos MZN	
		P/ unidade	Valor Total
Módulos capacitivos WEG CPW (2.5 a 100 kVAr)	14	18.000 -110.000	608.000,00
Painéis metálicos autoportantes IP42 (2 armários 2 200 × 900 × 600 mm)	2	51.000,00	102.000,00
Sistema de ventilação e filtragem de ar	2	26.000,00	52.000,00
Controlador de factor de potência 12 estágio	2	44.800,00	89.600,00
Dispositivo de protecção e manobra dos bancos de capacitores	Lote	1.100-50.000	286.000,00
Condutores (duas células)	Lote	1750-15500	50.400,20
Ferragens, bornes, etiquetas e sinalização	Lote	1.600,00	18.500,00
Mão-de-obra especializada (montagem, cablagem, testes)	2	105.000,00	210.000,00
Transporte, frete e desalfandegamento			275.000,00
Barramentos de cobre trifásicos + barra PE	2	28.300,00	56.600,00
celula capacitiva 4,48 mF/230/50 Hz	6	11.500,00	69.000,00
Treinamento técnico para operação e manutenção		21.000,00	42.000,00
Reserva / contingência técnica (≈ 10 %))			185.910,02
Sub-total			2.045.010,22
IVA (16%)			327.201,64
Valor Total (MZN)			2.372.211,86
Marca		WEG	
Observacoes			

(Fonte: O Autor)

6. CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusão

O presente trabalho teve como objectivo estudar a proposta de mitigação do impacto do baixo factor de potência e das interrupções momentâneas na operação de equipamentos portuários nos Caminhos de Ferro de Moçambique. A análise realizada mostrou que essas ocorrências comprometem tanto a eficiência energética quanto a confiabilidade do fornecimento de energia, reflectindo-se em custos adicionais e possíveis paragens nas actividades operacionais.

As medições realizadas no terreno indicaram que o factor de potência médio actual da Subestação 1.2 era de aproximadamente 0,78, valor abaixo do recomendado pelas normas vigentes e que justifica as penalizações aplicadas pela concessionária. Com a proposta de instalação de dois bancos de capacitores automáticos idênticos, compostos por estágios de 2,5; 5; 10; 20; 40; 50 e 100 kVAr, estima-se que o factor de potência atinja em média 0,95, o que representa um ganho significativo em termos de eficiência e estabilidade do sistema.

A escolha por bancos automáticos mostrou-se adequada, pois permite que a compensação reactiva acompanhe dinamicamente as variações de carga, evitando sobrecompensações em tempo real. O orçamento previsto para a execução desta proposta é de 2.372.211,86 MZN, valor que se justifica pelos benefícios esperados, sobretudo pela redução de penalizações tarifárias, diminuição das perdas eléctricas e aumento da confiabilidade no atendimento às cargas críticas.

Dessa forma, conclui-se que a solução estudada contribui de maneira efectiva para a melhoria do desempenho eléctrico nos CFM, trazendo ganhos técnicos e económicos relevantes, além de alinhar-se às boas práticas de eficiência energética e sustentabilidade.

6.2 Recomendações

Para as futuras ampliações e manutenções da S.1.2, recomenda-se a adopção das seguintes medidas

- 1) **Instalação de filtros harmónicos:** A implementação de filtros passivos ou activos reduzirá significativamente os níveis de distorção harmónica gerados por cargas não lineares, protegendo capacitores, transformadores e demais equipamentos sensíveis,
- 2) **Implementação de sistema SCADA e sensores distribuídos:** Um sistema supervisory control and data acquisition (SCADA), integrado a sensores de corrente, tensão e temperatura em pontos estratégicos da rede, permitirá a visualização em tempo real dos parâmetros eléctricos. Assim, será possível identificar anomalias imediatamente, isolando apenas o trecho afectado sem interromper toda a operação.

Executar estas recomendações garante que o investimento actual permaneça eficiente, que as harmónicas sejam mantidas sob controlo e que as futuras intervenções ocorram de forma cirúrgica, sem comprometer a produtividade do porto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SADIKU, Matthew N. O. Elementos de eletromagnetismo. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2012.
- [2] BONJORNO, José L. Instalações Elétricas. São Paulo: Érica, 2006.
- [3] Alysson, A. & Leonardo, B. (2023). Análise e Mitigação do Fator de Potência em Sistemas de Distribuição. São Paulo: Editora Técnica.
- [4] MENEZES, Allan. Saiba quais são as causas do baixo fator de potência! Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/saiba-quais-s%C3%A3o-causas-do-baixo-fator-de-pot%C3%Aancia-allan-menezes>. Acesso em: 26 maio 2025
- [5] FRANCHI, Claiton Moro. *Acionamentos elétricos*. São Paulo: Saraiva, 2008.
- [6] João Mamede Filho. 2013 – Manual de equipamentos elétricos, 4ª edição, LTC, Rio de Janeiro
- [7] FERNADO, D. D. 2024 - Dimensionamento de um banco de capacitor automático para melhoramento da eficiência energética na faculdade de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane
- [8] SANTOS, J. Neves dos. *Compensação do fator de potência*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, 2006. Trabalho acadêmico.
- [9] SERILO, Felner Adelino. *Estudo de técnicas de compensação de energia reactiva para correcção do factor de potência em zonas industriais por meio de banco de capacitores e elaboração de plano de reposição de banco capacitor da SE1.2 de 250 kVAr/440 V/50 Hz da empresa CFM – Sul*. 2022.
- [10] CHAPMAN, Stephen J. *Máquinas elétricas*. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- [11] HAYT, William H.; KEMMERLY, Jack E. *Análise de circuitos em engenharia*. 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2007.
- [12] BOYLESTAD, R. L. 2012– Introdução à análise de circuitos. 12ª ed. São Paulo. PERSON,
- [13] Silva, Andre Costa. Sistemas elétricos de potência e proteção de linhas de transmissão. UFOP. 2020

[14] WEG, 2009, manual para Correção do Fator de Potência.

[15] SIEMENS, 2018, Correção do factor de Potência

[16] Capacitor, O que são? - Eletro Parts - Capacitor Eletrostatica E Tipos... / Acesso 27 Maio 2025)

ANEXOS

ANEXO 1: SELECÇÃO DA ÁREA DO CABO PARA AS CÉLULAS

Tabela A1-1: Escolha da secção dos condutores das células

Estágio	Q (kVAr)	I_n (A)	$I_p = 1,43 \times I_n$ (A)	Escolha recomendada
1	2,5 kVAr	3,61 A	5,16	2,5 mm ²
2	5 kVAr	7,22 A	10,32	2,5 mm ²
3	10 kVAr	14,44 A	20,64	2,5 mm ²
4	20 kVAr	28,87 A	41,28	6 mm ²
5	40 kVAr	57,74 A	82,57	25 mm ²
6	50 kVAr	72,18 A	103,22	35 mm ²
7	100 kVAr	144,35 A	206,42	70 mm ²

ANEXO 2: CARACTERÍSTICA DOS TRANSFORMADOR DA S1.2

Figura A2.1-2: Chapa Característica da S1.2 / (Fonte: Autor,2025)

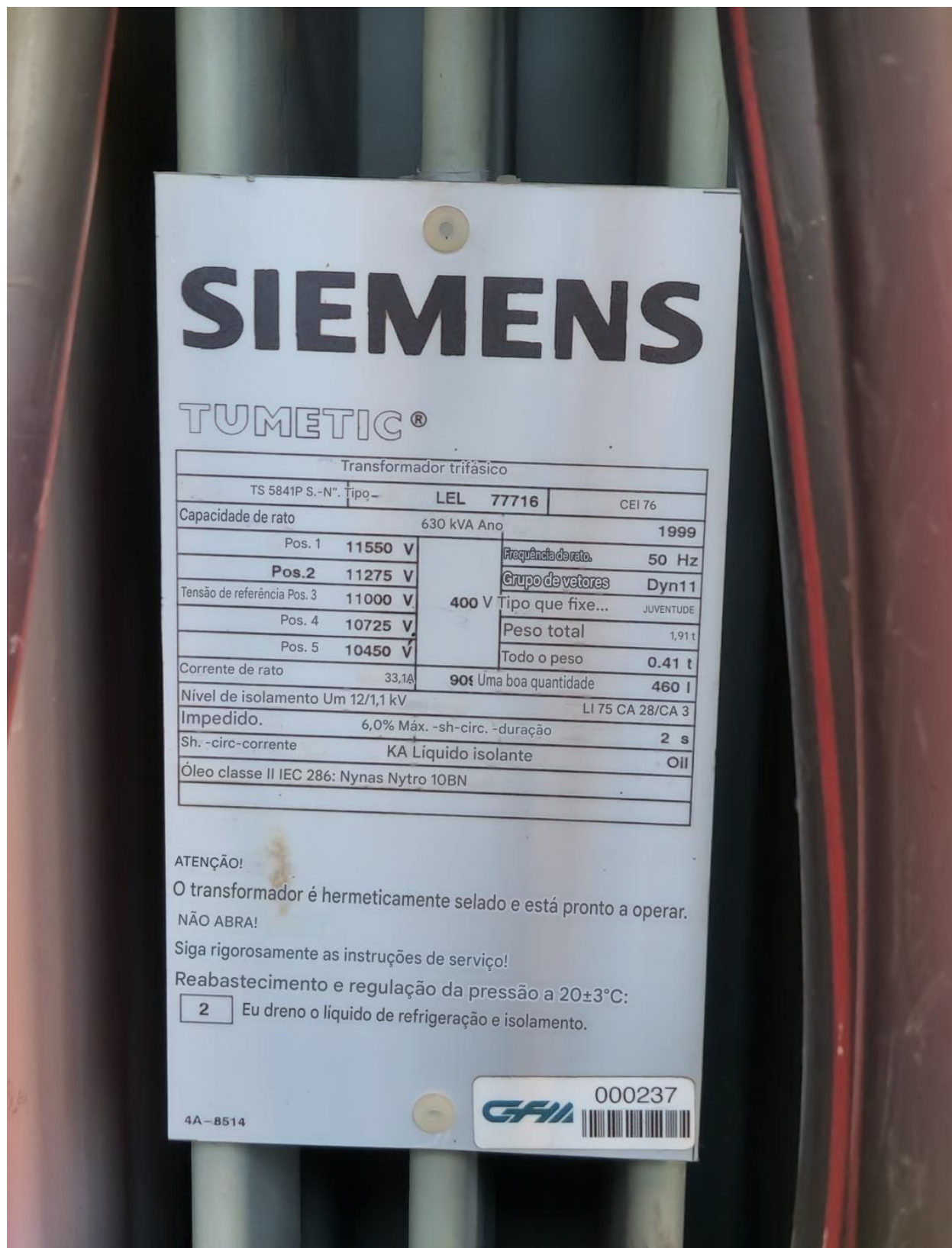


Figura A2.2-2: Localização dos Transformadores na S1.2 /(Fonte: Autor,2025)



Anexo 3: Banco condensador danificado na S1.2

Figura A3-4: Banco de condensador na S1.2/ (Fonte: O autor,2025)



ANEXO 4: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS CÉLULAS CAPACITIVA

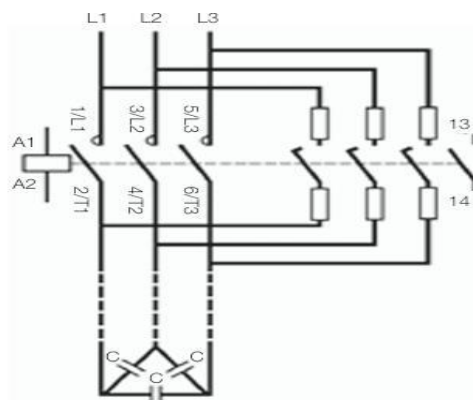
Tabela A4-5: Selecção das células capacitivas./ Fonte: WEG



	UCWT UHD series	UCWT HD series	UCWT ND series	UCW series	MCW series
Products	Ultra heavy duty three-phase capacitive unit	Heavy duty three-phase capacitive unit	Normal duty three-phase capacitive unit	Single-phase capacitive unit	Three-phase capacitive module
Power	3.0...25 kvar	0.5...50 kvar	4.5...30 kvar	0.6...10 kvar	1.8...60 kvar
Rated voltage	220...535 V	208...690 V	220...480 V	208...535 V	208...535 V
Average life expectancy	300,000h	150,000h	100,000h	100,000h	100,000h
Inrush current	400 x I _n	300 x I _n	100 x I _n	100 x I _n	100 x I _n
Maximum current	2.5 x I _n	1.5 x I _n	1.3 x I _n	1.3 x I _n	1.3 x I _n
Connection type	Δ (Delta)	Δ (Delta)	Δ (Delta)	-	Δ (Delta)
Safety	Self-healing polypropylene film Three-phase over pressure switch	Self-healing polypropylene film Three-phase over pressure switch	Self-healing polypropylene film Three-phase overpressure switch	Self-healing polypropylene film Three-phase overpressure switch	Self-healing polypropylene film Three-phase overpressure switch
Impregnation	Polyurethane resin	Polyurethane resin	Polyurethane resin	Polyurethane resin	Polyurethane resin
Temperature class	-25 / D Minimum temperature: -25 °C Maximum temperature: 70 °C Maximum average temperature in 24h: 60 °C Maximum average temperature in 1 year: 50 °C	-25 / D Minimum temperature: -25 °C Maximum temperature: 55 °C Maximum average temperature in 24h: 45 °C Maximum average temperature in 1 year: 35 °C	-25 / D Minimum temperature: -25 °C Maximum temperature: 55 °C Maximum average temperature in 24h: 45 °C Maximum average temperature in 1 year: 35 °C	-25 / D Minimum temperature: -25 °C Maximum temperature: 55 °C Maximum average temperature in 24h: 45 °C Maximum average temperature in 1 year: 35 °C	-25 / D Minimum temperature: -25 °C Maximum temperature: 55 °C Maximum average temperature in 24h: 45 °C Maximum average temperature in 1 year: 35 °C
Maximum humidity	95%	95%	95%	95%	95%
Maximum altitude	2,000 m	2,000 m	2,000 m	2,000 m	2,000 m
Reference standards	IEC 60831-1/2 UL 810	IEC 60831-1/2 UL 810	IEC 60831-1/2 UL 810	IEC 60831-1/2 UL 810	IEC 60831-1/2 UL 810

ANEXO 5: CONTACTORES DE MANOBRA

Tabela A5-6: Selecção dos contactores para manobra das células/ (Fonte: WEG)



Contatores para Manobra de Capacitores CWMC



Tripolares de 16 A a 93 A ($\theta = 55^\circ\text{C}$)

I_p AC-6b ($T_{amb.} = 55^\circ\text{C}$)	Potência reativa para bancos de capacitores AC-6b ($T_{amb.} = 55^\circ\text{C}$)					Contatos auxiliares integrados por contactor		Referência para completar com a tensão de comando	Peso ²⁾ kg
	220 V 230 V kvar	380 V 415 V kvar	440 V kvar	480 V kvar	660 V kvar	*3 NA	*1 NF		
16	6	10	13	14	14	1	-	CWMC9-10-30 ♦	0,395
						-	1	CWMC9-01-30 ♦	
22	8	15	16	17	20	1	-	CWMC18-10-30 ♦	0,395
						-	1	CWMC18-01-30 ♦	
30	11	20	23	25	30	1	-	CWMC25-10-30 ♦	0,440
						-	1	CWMC25-01-30 ♦	
40	15	26	30	33	40	1	-	CWMC32-10-30 ♦	0,670
						-	1	CWMC32-01-30 ♦	
60	25	40	45	50	65	1	-	CWMC50-10-30 ♦	1,370
						-	1	CWMC50-01-30 ♦	
77	30	50	60	65	70	1	-	CWMC65-10-30 ♦	1,370
						-	1	CWMC65-01-30 ♦	
93	35	61	71	77	87	1	-	CWMC80-10-30 ♦	1,595
						-	1	CWMC80-01-30 ♦	

Substitua "♦" pelo código da tensão de comando¹⁾.

ANEXO 6: FACTOR DE MULTIPLICAÇÃO DA POTÊNCIA REACTIVA DE COMPENSAÇÃO

Tabela A6-7: factor multiplicador para potência de compensação. / (Fonte: Siemens 2018)

Cálculo prático que determina a potência dos capacitores para um fator de potência desejado (corrigido)					Dados básicos:					• Potência da instalação (kVA) • Fator de potência atual • Fator de potência desejado				
Na tabela busque o fator de potência atual e cruze com o fator de potência desejado obtendo o fator que multiplicado pela potência da instalação (kVA) determina a potência dos capacitores (kvar) (escolha os capacitores a seguir)					Cálculo prático:					• Potência da instalação 500 kVA • Fator de potência atual 0,86 • Fator de potência desejado 0,94 • Cálculo – 500 x 0,230 • Potência dos capacitores 115 kvar				
Fator de potência atual		Fator de potência desejado												
		0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97
0,50		1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481
0,52		1,023	1,049	1,076	1,103	1,130	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392
0,54		0,939	0,965	0,992	1,019	1,046	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308
0,56		0,860	0,886	0,913	0,940	0,967	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229
0,58		0,785	0,811	0,838	0,865	0,892	0,920	0,949	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154
0,60		0,714	0,740	0,767	0,794	0,821	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083
0,62		0,646	0,672	0,699	0,726	0,753	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015
0,64		0,581	0,607	0,634	0,661	0,688	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950
0,66		0,519	0,545	0,572	0,599	0,626	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888
0,68		0,459	0,485	0,512	0,539	0,566	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828
0,70		0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770
0,72		0,344	0,370	0,397	0,424	0,452	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713
0,74		0,289	0,316	0,342	0,369	0,397	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658
0,76		0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605
0,78		0,183	0,209	0,236	0,263	0,290	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552
0,80		0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499
0,82		0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447
0,84		0,026	0,053	0,079	0,106	0,134	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395
0,86				0,027	0,054	0,081	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343
0,88						0,027	0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289
0,90								0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234
0,92										0,031	0,063	0,097	0,134	0,175

ANEXO 7: Catálogo WEG Disjuntor Caixa Moldada

Tabela 7-8: Selecção de disjuntor. / (Fonte: WEG)

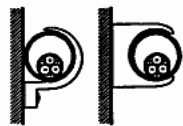
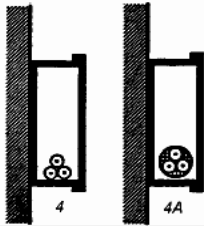
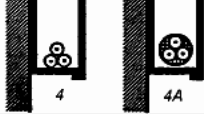
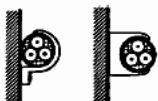
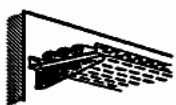
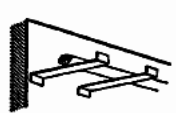


Tabela de Selecção

Referência	Corrente Ie	Capacidade de interrupção - 380 V ca		Código
		Icu	Ics	
AGW50N-DX15-3	15 A	18 kA	18 kA	12775085
AGW50N-DX20-3	20 A	18 kA	18 kA	12775086
AGW50N-DX30-3	30 A	18 kA	18 kA	12775087
AGW50N-DX40-3	40 A	18 kA	18 kA	12775098
AGW50N-DX50-3	50 A	18 kA	18 kA	12775099
AGW100N-DX60-3	60 A	22 kA	22 kA	12775100
AGW100N-DX75-3	75 A	22 kA	22 kA	12775101
AGW100N-DX100-3	100 A	22 kA	22 kA	12775102
AGW250N-DX125-3	125 A	30 kA	30 kA	12775103
AGW250N-DX150-3	150 A	30 kA	30 kA	12775104
AGW250N-DX175-3	175 A	30 kA	30 kA	12775106
AGW250N-DX200-3	200 A	30 kA	30 kA	12775107
AGW250N-DX225-3	225 A	30 kA	30 kA	12872064
AGW250N-DX250-3	250 A	30 kA	30 kA	12775148
AGW400N-DX250-3	250 A	42 kA	42 kA	12775149
AGW400N-DX300-3	300 A	42 kA	42 kA	12872065
AGW400N-DX350-3	350 A	42 kA	42 kA	12775150
AGW400N-DX400-3	400 A	42 kA	42 kA	12775151
AGW650N-DX350-3	350 A	42 kA	30 kA	14616122
AGW650N-DX400-3	400 A	42 kA	30 kA	14616085
AGW650N-DX500-3	500 A	42 kA	30 kA	14616084
AGW650N-DX650-3	650 A	42 kA	30 kA	14616034
AGW800N-DX500-3	500 A	45 kA	45 kA	12775153
AGW800N-DX630-3	630 A	45 kA	45 kA	12775154

ANEXO 8: Método de referência para a escolha do condutor

Tabela 8-9: Escolha do método de referência. / (Fonte: RTIBT)

Exemplo	Designação	Ref	Método de ref ⁽¹⁾
1	2	3	4
	Cabos mono ou multicondutores em condutas circulares (tubos) montadas à vista	3A	(em estudo)
	Condutores isolados em condutas não circulares montadas à vista	4	B2
	Cabos mono ou multicondutores em condutas não circulares montadas à vista	4A	(em estudo)
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) embecidas nos elementos da construção, em alvenaria	5	B
	Cabos mono ou multicondutores em condutas circulares (tubos) embecidas nos elementos da construção, em alvenaria	5A	(em estudo)
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados às paredes	11	C
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados aos tectos	11A	C [3]
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em caminhos de cabos não perfurados	12	C [2] ⁽³⁾
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em caminhos de cabos perfurados	13	E ou F [4] ⁽³⁾
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em consolas	14	E ou F [4] ou [5] ⁽²⁾⁽³⁾ G
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados por braçadeiras e afastados dos elementos da construção	15	E ou F [4] ou [5] ⁽²⁾⁽³⁾ G

ANEXO 9: ESCOLHA DA SECÇÃO DO CONDUTOR

Tabela 9-10: selecção da secção do condutor com base na referência. / (Fonte: RTIBT)

[E] QUADRO 52-C9

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência E, F e G
(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a policloreto de vinilo (PVC), para:

- cobre
- temperatura da alma condutora: 70°C
- temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Cabos multicondutores		Cabos monocondutores				
	Dois condutores carregados ⁽¹⁾	Três condutores carregados ⁽¹⁾	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento ⁽²⁾	Com afastamento ⁽²⁾	
						Horizontal	Vertical
Mét. ref.⇒	E	E	F	F	F	G	G
Coluna.⇒	1	2	3	4	5	6	7
1,5	22	18,5	-	-	-	-	-
2,5	30	25	-	-	-	-	-
4	40	34	-	-	-	-	-
6	51	43	-	-	-	-	-
10	70	60	-	-	-	-	-
16	94	80	-	-	-	-	-
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	-	-	754	656	689	852	795
500	-	-	868	749	789	982	920
630	-	-	1 005	855	905	1 138	1 070

(1) - Para $S \leq 16 \text{ mm}^2$, admitiu-se que os condutores eram de secção circular e para $S > 16 \text{ mm}^2$, de secção sectorial (aplicável também a condutores de secção circular).

(2) - Afastamento não inferior ao diâmetro exterior do cabo monocondutor (D_e).

Anexo 10: Escolha da ventilação necessária do banco

Tabela 10-11: Escolha da ventilação com base na potência do banco. / (Fonte: Voltimum)

Potência do Banco (kVar)	Perdas em Watts	Ventilação Necessária
100	250	100 m ³ /h
200	500	200 m ³ /h
300	750	300 m ³ /h
400	1000	400 m ³ /h
500	1250	500 m ³ /h
600	1500	600 m ³ /h

ANEXO 11: ACTA DE ENCONTROS REGULARES

Tabela A11.1: Acta do encontro do dia 20.03.2025



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD11	Data:	17/02/2025
----------------------------	-------------	--------------	------------

1. AGENDA:

Proposta do tema e Apresentação do termo de atribuição de tema
--

2. PRESENCAS

Supervisor	Mestre. Dinis Chissano, eng
Estudante	Gomes, Juvenald Boaventura

3. RESUMO DO ENCONTRO

Neste encontro, o estudante primeiramente ao supervisor apresentou o tema e posteriormente o Termo de Atribuição do Tema e o Plano de Actividades previsto para a elaboração do relatório. O supervisor deu o seu parecer sugerindo ao estudante que fizesse algumas alterações no TAT e PA.

5. RECOMENDAÇÕES

Usar uma linguagem clara e objectiva nas abordagens por forma a evitar erros de percepção, pois o estudante havia usado termo tensões medias para referir a media de tensões, e que este erro pode alterar todo o contexto do problema detectado.

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	31-03-2025
------------------------------------	------------

ANEXO 11: ACTA DE ENCONTROS REGULARES

Tabela A11.2: Acta do encontro do dia 31.03.2025



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD11	Data:	17/02/2025
----------------------------	-------------	--------------	------------

1. AGENDA:

Apresentação dos Capítulos 1 e 2

2. PRESENÇAS

Supervisor	Mestre. Dinis Chissano, eng
Estudante	Gomes, Juvenald Boaventura

3. RESUMO DO ENCONTRO

Neste encontro o estudante apresentou o capítulo 1 que são as considerações iniciais, ou seja, a introdução, os objectivos, a metodologia a ser usada.

No mesmo encontro o estudante apresentou o capítulo 2 ou seja, a revisão da literatura

5. RECOMENDAÇÕES

O supervisor recomendou ao estudante para colocar os objectivos mais directos e a revisão da literatura deve estar alinhada especificamente com o propósito do trabalho.

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	1-06-2024
------------------------------------	-----------

ANEXO 11: ACTA DE ENCONTROS REGULARES

Tabela A11.3: Acta do encontro do dia 01.06.2025



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD11	Data:	17/02/2025
----------------------------	-------------	--------------	------------

1. AGENDA:

Apresentação do Capítulo 3

2. PRESENCAS

Supervisor	Mestre. Dinis Chissano, eng
Estudante	Gomes, Juvenald Boaventura

3. RESUMO DO ENCONTRO

Neste encontro o estudante apresentou o capítulo 3, a parte central do trabalho, o desenvolvimento do projecto.

5. RECOMENDAÇÕES

O supervisor recomendou ao estudante a organizar e a ser claro nas discussões dos resultados

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	14.06-2025
------------------------------------	------------

ANEXO 11: ACTA DE ENCONTROS REGULARES

Tabela A11.4: Acta do encontro do dia 01.06.2025



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD11	Data:	17/02/2025
----------------------------	-------------	--------------	------------

1. AGENDA:

Apresentação do Capítulo 3

2. PRESENCAS

Supervisor	Mestre. Dinis Chissano, eng
Estudante	Gomes, Juvenald Boaventura

3. RESUMO DO ENCONTRO

Neste encontro o estudante apresentou o capítulo 3, a parte central do trabalho, o desenvolvimento do projecto.

5. RECOMENDAÇÕES

O supervisor recomendou ao estudante a organizar e a ser claro nas discussões dos re

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	14.06-2025
------------------------------------	------------

ANEXO 11: ACTA DE ENCONTROS REGULARES

Tabela A11.5: Acta do encontro do dia 01.06.2025



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD11	Data:	17/02/2025
----------------------------	-------------	--------------	------------

1. AGENDA:

Apresentação do relatório final

2. PRESENÇAS

Supervisor	Mestre. Dinis Chissano, eng
Estudante	Gomes, Juvenald Boaventura

3. RESUMO DO ENCONTRO

Remotamente foi entregue ao supervisor, a proposta final do relatório escrito para possível aprovação.

5. RECOMENDAÇÕES

O supervisor recomendou realizar que algumas revisões fossem feitas no trabalho tendo em conta o regulamento académico.

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	16.06.2024
------------------------------------	------------

Tabela A11.6: Acta do encontro do dia 16.06.2025

UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD11	Data:	17/02/2025
----------------------------	-------------	--------------	------------

1. AGENDA:

Apresentação e entrega do relatório final

2. PRESENCAS

Supervisor	Mestre. Dinis Chissano, eng
Estudante	Gomes, Juvenald Boaventura

3. RESUMO DO ENCONTRO

Todas as cópias do relatório de estágio a serem entregues foram verificadas e assinadas para posterior submissão do trabalho.

5. RECOMENDAÇÕES

--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	N/A
------------------------------------	-----

ANEXO 12: RELATÓRIO DE PROGRESSO



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Relatório de Progresso

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD11
---------------------	-------------

1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

Tabela A12.1: Actividades Planificadas

Atividade	Prazo Previsto
1. Escolha e pesquisa do tema	Março de 2025
2. Levantamento bibliográfico	Abril de 2025
3. Escolha de instrumentos de recolha de dados	Abril de 2025
4. Pesquisa de campo	Abril de 2025
5. Redação da revisão bibliográfica	Maió de 2025
6. Desenvolvimento do Sistema Personalizado	Maió de 2025
8. Redação da Análise e dos Resultados	Maió de 2025
9. Redação das conclusões e referências bibliográficas	Maió de 2025
10. Revisão e redação final	Junho de 2025
11. Submissão do relatório final	Junho de 2025

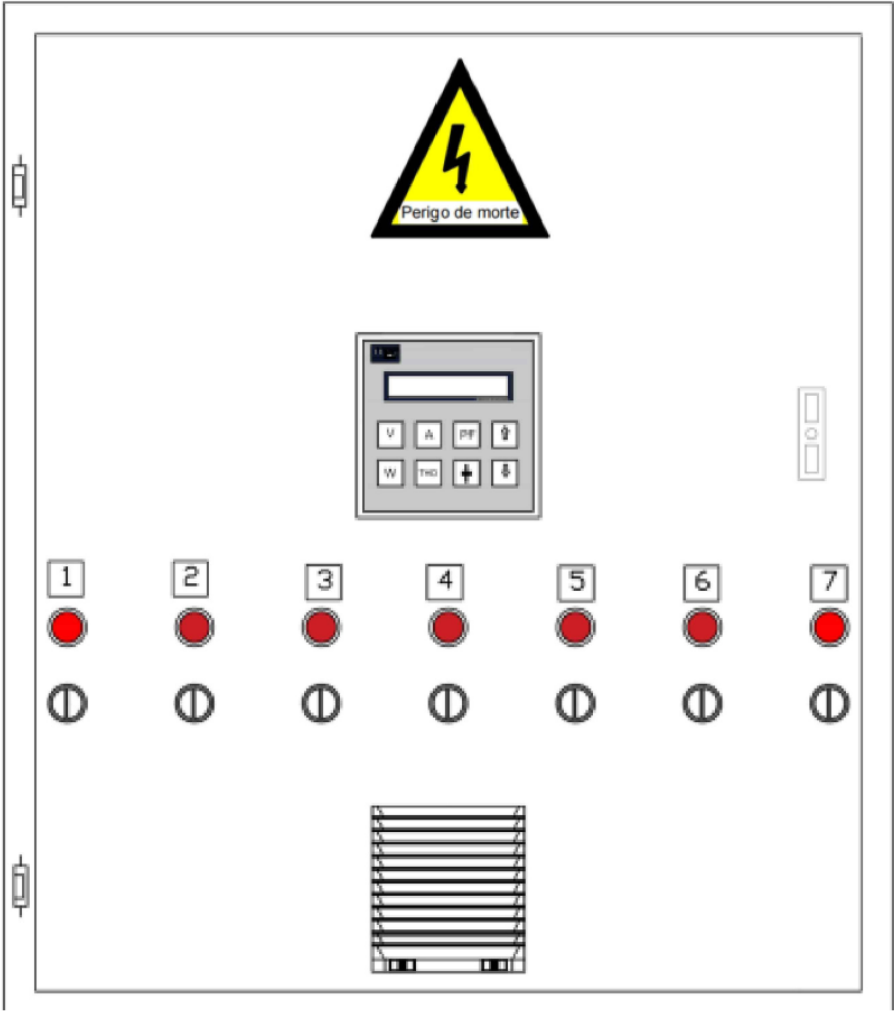
2. CONTROLO DAS ACTIVIDADES

Tabela A12.2: Controle das Actividades

Atv.	Data	Estágio (%)	Observações	Rúbrica
1	30/03/2025	60%	Tema escolhido e pesquisas executadas	
2	14/04/2025	100%	Elaboração e submissão do TAT e plano de atividades	
4	19/04/2025	100%		
5	06/05/2025	100%	Conclusão e envio da pesquisa bibliográfica	
6	01/06/2025	100%	Sistema desenvolvido e testes de simulação executados	
7	16/06/2025	100%	Submissão das copias do relatório	

APÊNDICE

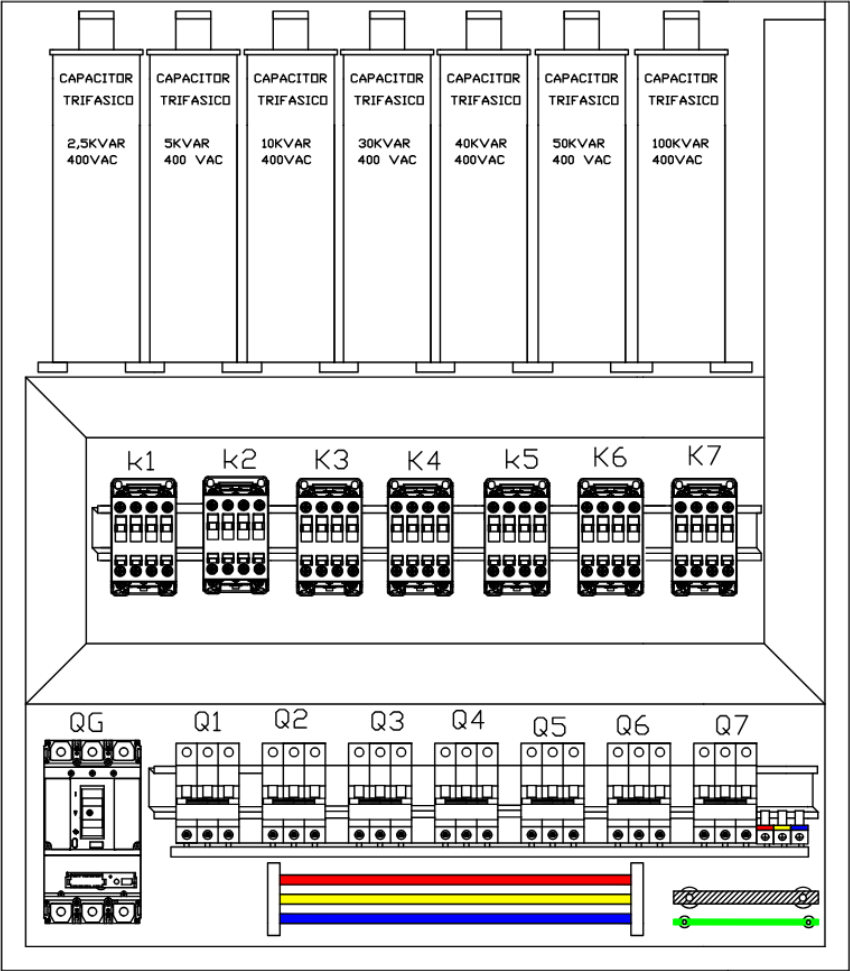
APÊNDICE 1: QUADRO GERAL



Desenhou	Data	Assinatura	Peças Desenhadas	Caixa do quadro geral
Gomes, Juvenal	10/06/2025			
Verificou	Data	Assinatura		
Dinis Chissano	0/06/2025			
1:100	Fig: Ap 1.19			Apêndice 1.19
	Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo Fator de Potência e das Interrupções Momentâneas na Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM-SUL)			

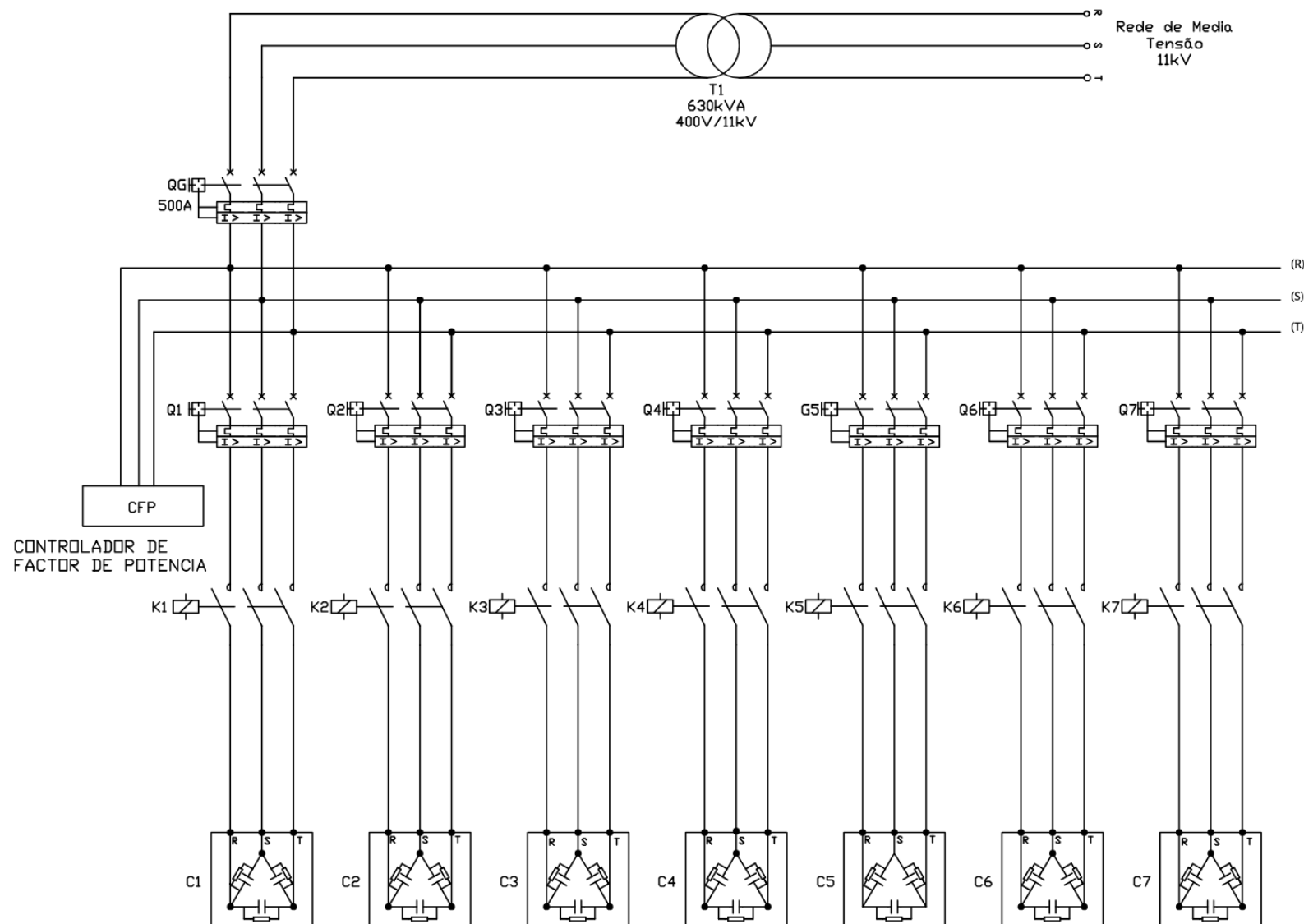
APÊNDICE 1: QUADRO GERAL

227,5 kVAR



Desenhou	Data	Assinatura	Peças Desenhadas	Caixa do quadro geral Internamente
Gomes, Jovaneli	10/06/2025			
Verificou	Data	Assinatura		
Denis Chissano	01/06/2025			
1:100	Fig: Ap 2.20			Apêndice 2.20
	Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo Fator de Potência e das Interrupções Momentâneas na Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM-SUL)			

APÊNDICE 2: CIRCUITO DE FORÇA



LEGENDA

QG- Disjuntor Geral

T1- Transformador

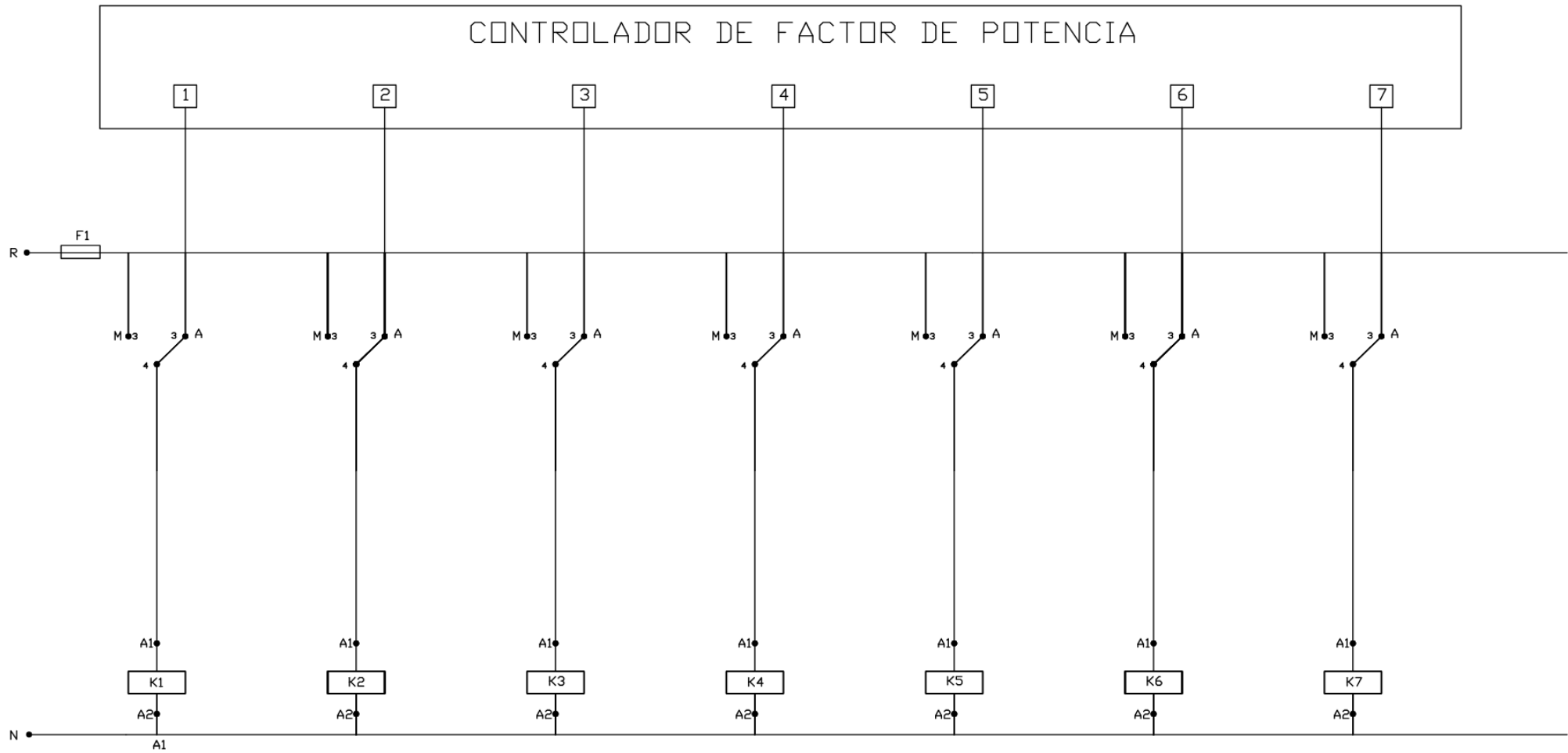
k1_K7- Contactores

QG- Quadro Geral

CFP-Controlador de
factor de Potencia

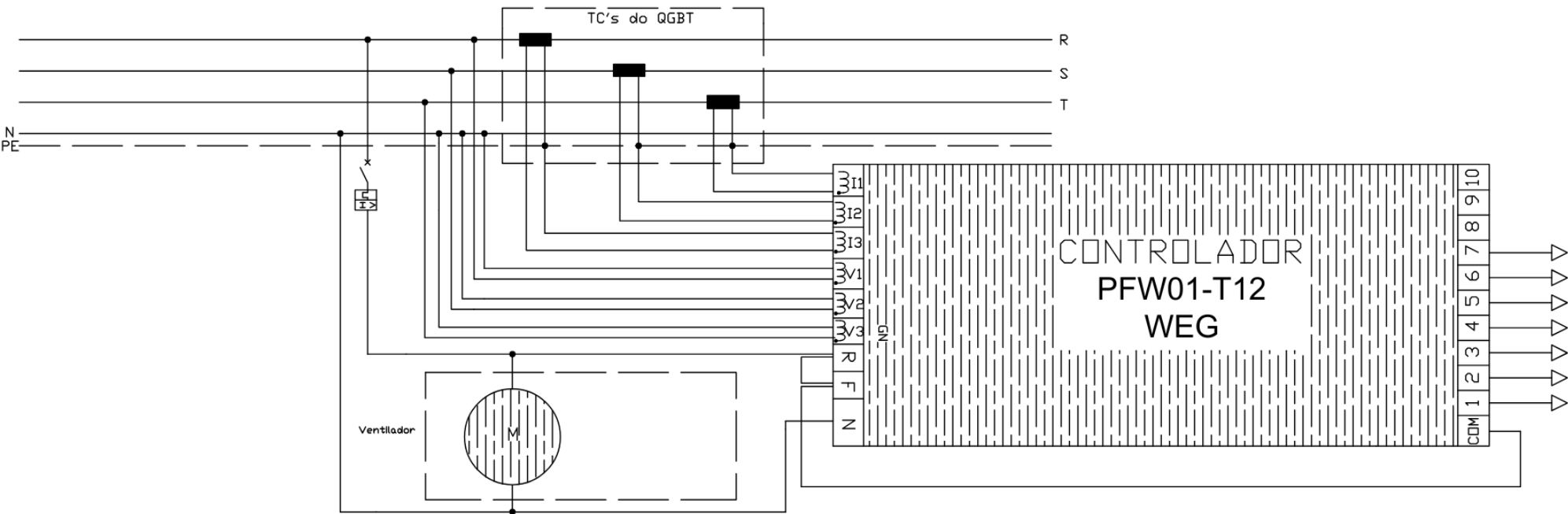
Desenhou	Data	Assinatura	Peças Desenhadas	Circuito de Força do banco de capacitor automatico
Gomes, Juvénal	10/06/2025			
Verificou	Data	Assinatura		
Dinis Chiesano	0/06/2025			
1:100	Fig: Ap 2.21 Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo Fator de Potência e das Interrupções Momentâneas na Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM-SUL)			Apêndice 2.21

APÊNDICE 3: CIRCUITO DE COMANDO



Desenhou	Data	Assinatura	Peças Desenhadas	Circuito de Comando do banco de capacitor automatico
Desenhado por	10/06/2025			
Verificou	Data	Assinatura		
Dinis Chissano	0/06/2025		Fig: Ap 3.22 Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo Fator de Potência e das Interrupções Momentâneas na Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM-SUL)	Apêndice 3.22
1:100				

APÊNDICE 4: CONTROLADOR DE FACTOR DE POTENCIA AUTOMÁTICO



Desenhou	Data	Assinatura	Peças Desenhadas	Controlador de Factor de Potencia PFW01-T12,
Gomes, Juvenal	10/06/2025			
Verificou	Data	Assinatura		
Denis Chissano	0/06/2025			
1:100	Fig: Ap 4.23			Apêndice 4.23
	Proposta de Estratégias de Mitigação dos Impactos do Baixo Fator de Potência e das Interrupções Momentâneas na Operação de Equipamentos Portuários: Um Estudo de Caso Aplicado à Infraestrutura dos Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM-SUL)			