



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**CURSO DE ENGENHARIA ELÉCTRICA**

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA OPTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE PROTECÇÃO  
E ACCIONAMENTO DE UM COMPRESSOR DE AR NO CENTRO FABRIL DA  
MOZAL\_MATOLA**

**AUTOR:**

Afai, Faqui Juma

**SUPERVISORES:**

Prof Doutor, Zacarias Chilengue, Eng<sup>o</sup> (UEM)

Mahomed Adam, Eng<sup>o</sup> (MOZAL)

Maputo, Junho de 2024



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**CURSO DE ENGENHARIA ELÉCTRICA**

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA OPTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE PROTECÇÃO  
E ACCIONAMENTO DE UM COMPRESSOR DE AR NO CENTRO FABRIL DA  
MOZAL\_MATOLA**

**AUTOR:**

Afai, Faqui Juma

**SUPERVISORES:**

Prof Doutor, Zacarias Chilengue, Eng<sup>o</sup>.

Mahomed Adam, Eng<sup>o</sup>

Maputo, Junho de 2024

## DEDICATÓRIA

À minha mãe, Muanalua Buana, e à minha habibat, Mariamo Cassimo,  
Este trabalho é dedicado a vocês, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando  
e me inspirando

Com amor, [FAQUI AFAI]

## AGRADECIMENTOS

Todos os louvores e as belas formas de agradecimentos são para Allah o Senhor dos mundos, o Todo-Poderoso, pela saúde, força e a sabedoria para concluir este trabalho.

*“(Allah), Ensinou ao homem o que este não sabia, Alcorão (96/05)”*

Agradeço à minha mãe, Muanalua, à minha habibat, Mariamo e aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado, apoiando-me e me inspirando.

Agradeço também aos meus supervisores, engs, Zacarias Chilengue e Mahomed Adam pela orientação e ajuda ao desenvolver este trabalho, o corpo docente de engenharia eléctrica e a Mozal por confiar-me e conceder-me oportunidade de formação académica e profissional.

Aos PTA maintainers, e meus colegas de curso, que me apoiaram e dividiram comigo essa jornada de aprendizado com muito companheirismo.

E aos meus amigos,

Agradeço a todos de coração!

## RESUMO

A Mozal é uma unidade industrial com uma instalação de potência elevada, aproximadamente 950MW onde a maior percentagem da energia consumida é usada no processo electrolítico para alimentação das painelas (POTs), nesta fase, o óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) é reduzido em Alumínio (Al). O processo que envolve máquinas automáticas, Pot Tending Assembly (PTAs) cujo funcionamento depende de máquinas eléctricas para o accionamento do compressor de ar. No entanto, como todo sistema de engenharia, o compressor apresenta pontos de vulnerabilidade que comprometem sua performance e geram impactos negativos na empresa. O problema a ser estudado neste trabalho refere ao sistema actual de protecção e accionamento do compressor, o facto de este apresentar constantes disparos e interrupções de supressão de energia de formas não programadas.

Este trabalho, foi desenvolvido na Mozal, fabrica de alumínio cita na Beluluana, como um relatório de estágio para ser apresentado na Faculdade de Engenharia da UEM, o objectivo deste trabalho é propor através deste as soluções para ultrapassar os actuais desafios na área de manutenção dos PTAs e otimizar o desempenho do compressor de ar. O trabalho compõe uma revisão bibliográfica que sustenta o assunto em estudo, o conteúdo fruto de diversas literaturas consultadas. E para responder as hipóteses formuladas, buscou-se colher dados de sete meses do desempenho do compressor seguido de uma análise critica e estatística dos mesmos. Através dos resultados das análises, foram traçadas as soluções e apresentados os detalhes. As propostas das soluções apresentadas neste trabalho estão voltadas para a optimização do compressor, por ser necessário, o estudo foi delimitado em eliminar as vulnerabilidades do disjuntor principal do compressor e garantir condições que mantenham a sustentabilidade do mesmo. Portanto, espera-se com estas soluções ultrapassar os actuais desafios e que o desempenho do compressor seja realmente optimizado. As soluções apresentadas são de baixo custo comparativamente as perdas ocasionadas pelas paradas desprogramadas do compressor, pelo que, o projecto mostrou-se viável.

**Palavras-chaves:** Mozal, Compressor de ar, Disjuntor-motor, Optimizar, PTA

## ABSTRACT

Mozal is an industrial unit with a high-power installation, approximately 950 MW, where the majority of the consumed energy is used in the electrolytic process to feed the pots. In this phase, aluminum oxide ( $AlO_3$ ) is reduced to aluminum (Al). The process involves automatic machines called Pot Tending Assembly (PTAs), which rely on electric machines to operate the air compressor. However, like any engineering system, the compressor has vulnerable points that compromise its performance and have negative impacts on the company. The issue studied in this work pertains to the current protection and activation system of the compressor, specifically the frequent discharges and unscheduled energy interruptions.

This work was developed at Mozal, an aluminum factory located in Beluluana, as an internship report to be presented at the Faculty of Engineering of UEM. The objective is to propose solutions to overcome current challenges in the maintenance of PTAs and optimize the air compressor's performance. The work includes a literature review that supports the subject under study, based on various consulted sources. To address the formulated hypotheses, data from seven months of compressor performance were collected, followed by critical and statistical analysis. Based on the analysis results, solutions were devised and detailed. The proposed solutions focus on optimizing the compressor, with a specific focus on eliminating vulnerabilities in the main compressor circuit breaker and ensuring conditions that sustain its functionality. Therefore, these solutions aim to surpass current challenges and genuinely optimize the compressor's performance. Additionally, the proposed solutions are cost-effective compared to the losses caused by unscheduled compressor shutdowns, making the project viable.

Keywords: Mozal, Air compressor, Motor- Circuit Breaker, Optimize, PTA.

## Índice de conteúdos

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Formulação do problema .....	2
1.2. Justificativa.....	3
1.3. Objectivos .....	3
1.3.1. Objectivo geral.....	3
1.3.2. Objectivos específicos .....	3
1.4. Metodologia.....	4
1.4.1. Pesquisa Bibliográfica .....	4
1.4.2. Pesquisa de Campo .....	4
1.4.3. Delimitação do Tema.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Compressor de Ar .....	6
2.1.1. Accionamento e regulação intermitente do compressor de Ar .....	7
2.1.2. Tipos construtivos de compressores .....	8
2.2. Motores Eléctricos .....	9
2.2.1. Classificação de Motores Eléctricos .....	9
2.2.1.1. Motores Assíncronos (de indução).....	10
2.2.1.2. Motor de Indução de Rotor Bobinado.....	11
2.2.1.3. Motor de Indução de Rotor Curto Circuitado (Gaiola).....	11
2.2.1.4. Categorias dos motores.....	12
2.3. Sensores .....	12
2.3.1. Sensores Digitais.....	12
2.3.2. Sensores Analógicos .....	13
2.4. Dispositivos de Protecção e Comando.....	15
2.4.1. Dispositivos de Protecção Para Motores Eléctricos .....	15
2.4.1.1. Fusíveis .....	15
2.4.1.2. Relé de Sobrecarga.....	16
2.4.1.3. Disjuntor Motor .....	16
2.4.1.4. Contactador .....	17
2.4.1.5. Relé de falta de fase.....	18
CAPÍTULO III.....	20

3.LEVANTAMENTO DE CARGA E A DESCRIÇÃO DO ESTADO ACTUAL DO SISTEMA.....	20
3.1. Descrição do sistema de acionamento do compressor de ar em estudo.....	20
3.1.1.O sistema Eléctrico.....	20
3.1.2. Sistema mecânico .....	22
3.1.3. Sistema pneumático .....	22
3.2. Descrição do motor Eléctrico do compressor e do seu sistema de protecção.....	23
3.2.1. Motor Eléctrico do Compressor .....	23
3.2.2. Disjuntor motor .....	23
3.2.3. Contactores .....	24
3.2.4. Protecção térmica do motor.....	25
3.2.5. Descrição do sistema de controlo do compressor .....	25
CAPÍTULO IV. ....	27
4. DESCRIMINAÇÃO DAS HIPÓTESES E ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA.....	27
4.1. Descrição de hipóteses.....	27
4.1.1. Primeira hipótese.....	27
4.1.2. Segunda hipótese.....	27
4.1.3. Terceira hipótese .....	28
4.1.4. Quarta hipótese .....	30
4.1.5. Quinta hipótese .....	32
4.1.6. Sexta hipótese.....	33
4.2. Soluções Propostas.....	34
4.3. Estimativa de custo e estudo de viabilidade do projecto.....	1
4.4. Análise de viabilidade .....	1
CAPÍTULO V. ....	34
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	34
5.1. Conclusão.....	34
5.2. Sugestões e recomendações para trabalhos futuros .....	35
CAPÍTULO VI. ....	36
6. Rereferencias bibliograficas .....	36

## Índice de figuras

Figura 1-A evolução dos disparos no sistema do compressor	2
Figura 2-Compressor de Ar	7
Figura 3-Esquema de um compressor com regulagem intermitente	8
Figura 4-Classificação de compressores	8
Figura 5-O motor elétrico de indução	9
Figura 6-Classificação de Motores elétricos	10
Figura 7-Motor de Indução de Rotor Curto Circuitado	11
Figura 8-Representação do sinal de Saída do Sensor digital em comparação ao sinal de entrada	13
Figura 9-Chaves mecânicas	13
Figura 10-Chaves de fim de Curso	14
Figura 11-Pressostato	14
Figura 12-Fusível	15
Figura 13-Relé de Sobrecarga	16
Figura 14-Disjuntor Motor	17
Figura 15-Contactor	18
Figura 16-Rele de falta de fase	19
Figura 17-Sistemas do compressor de ar	20
Figura 18-Subsistema de comando e controlo	21
Figura 19-Subsistema de protecção	21
Figura 20-Motor eléctrico acoplado com o compressor	22
Figura 21-Subsistema de controlo da pressão do ar	22
Figura 22-Chapa característica do motor do compressor	23
Figura 23-Disjuntor motor do compressor	24
Figura 24-Contactores do motor do compressor	24
Figura 25-Convertor de sinal LT3SA-FR	25
Figura 26-Painel de comando e controlo do compressor	26
Figura 27-Principais causas de paradas do compressor	34
Figura 28-uma unidade de disparos micrologic C2535E250	35

## Lista de siglas

<b>AC</b>	Alternative Current
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Oxido de Aluminio
<b>CC</b>	Corrente Continua
<b>MOTRACO</b>	Mozambique Transmission Company
<b>MOZAL</b>	Mozambique Aluminum
<b>MT</b>	Media Tensão
<b>MZN</b>	Meticais
<b>PLC</b>	Programable Logic Controler
<b>PTA</b>	Pot Tending Assembly
<b>PVC</b>	Policloreto de Vinilo
<b>RTIEBT</b>	Regulamento tecnico de Instalacoes Electricas em Baixa Tensao
<b>USD</b>	United States Dolar

# CAPÍTULO I.

## 1. INTRODUÇÃO

A Mozal é uma unidade industrial do tipo complexo por se tratar de uma instalação de potência elevada, com cerca de 950MW. Mozal possui uma rede eléctrica interna de MT, que alimenta 23 instalações transformadoras. A subestação ou a estação de seccionamento que fornece a energia a rede eléctrica interna é alimentada pela MOTRACO (Mozambique Transmission Company) através de 3 linhas aéreas de transporte de energia eléctrica que conectam ao barramento principal de 132 kV. O barramento principal é usado para alimentar todas as cargas eléctricas e está interligado a um barramento de reserva (transferência) através de seccionadores. O barramento de reserva é usado para situações de emergência, para efeitos de manutenção preventiva, correctiva e predictiva ou transferência de cargas eléctricas. O barramento principal alimenta os três transformadores de potência trifásicos de 31,5 MW, 132/22KV, 50 Hz, que alimentam a rede eléctrica de distribuição em anel de 22kV, no qual estão interligadas todas as Substations (termo designado internamente para indicar um posto de transformação ou uma subestação) existentes na rede eléctrica interna.

A maior percentagem da energia consumida pela Mozal é usada no processo electrolítico para alimentação das painéis (POTs), nesta fase, o óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) é reduzido em Alumínio (Al). O processo envolve máquinas automáticas (PTAs) cujo funcionamento depende de máquinas eléctricas para o accionamento dos compressores de ar.

As falhas no sistema de protecção e accionamento do compressor, configuram-se como um dos principais desafios. O risco de sobrecarga do compressor é real, podendo ocasionar danos ao equipamento e levar a paradas não programadas. Em termos técnicos, tal situação traduz-se em perdas de produtividade, custos adicionais de manutenção e potencial risco à segurança dos trabalhadores. A optimização do sistema de protecção e accionamento do compressor emerge como uma necessidade premente para a Mozal.

Nesta pesquisa, através de um diagnóstico preciso, nos propomos a realizar um estudo aprofundado das falhas e deficiências do sistema actual, com o objetivo de

identificar soluções inovadoras e eficazes para otimizar o desempenho do compressor.

### 1.1. Formulação do problema

Compressor de ar é uma máquina industrial usada para aumentar a pressão do ar. O compressor em estudo assume um papel fundamental na operação da Mozal, sua função primordial é fornecer ar comprimido para os diversos processos industriais, para o caso, é crucial para a operação de uma máquina multifunção designada PTA (Pot Tending Assembly), assegurando o fluxo vital que energiza a produção. No entanto, como todo sistema de engenharia, o compressor apresenta pontos de vulnerabilidade que comprometem sua performance e geram impactos negativos na empresa. Com forme o gráfico 1, ao lado, o sistema actual de protecção e accionamento do compressor, apresenta constantes disparos e interrupções de supressão de energia de formas não programadas.

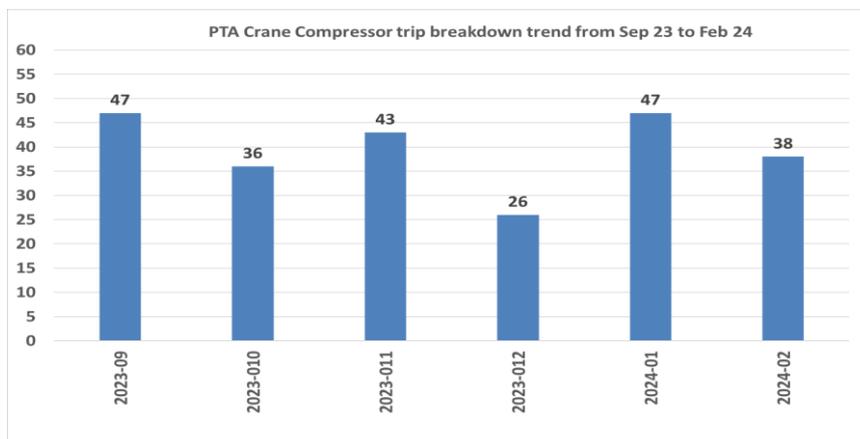


Figura 1-A evolução dos disparos no sistema do compressor

Fonte: Adaptado pelo autor

Este facto, preocupa a equipa de manutenção e de forma recorrente vem a procura de uma proposta para a mitigação do problema.

Portanto, mediante este desafio, partimos com a seguinte pergunta:

Qual é a solução óptima para garantir a fiabilidade da operação do sistema em estudo?

## 1.2. Justificativa

Na Mozal, o processo de produção requer o funcionamento ininterrupto das máquinas, havendo cortes constantes na alimentação do compressor, ocasionam-se paradas que afectam o processo produtivo, pelo que, busca-se com este tema, conduzir uma análise do funcionamento do sistema com intuito de levantar os principais actuais defeitos ou aspectos negativos do sistema com vista a propor uma solução óptima. Por outra, o sistema de partida, componente crucial para o bom funcionamento do compressor, também apresenta falhas. Aumento do tempo de parada, ineficiência no processo de energização e desgaste prematuro do equipamento são algumas das consequências indesejáveis. A optimização do sistema de partida é fundamental para garantir a confiabilidade e a eficiência do compressor, minimizando os impactos negativos na produção. O trabalho será conduzido na base das hipóteses apresentadas ou soluções enquadradas durante o estágio.

H1: O problema se deve a sobrecarga do compressor devido alguma fuga de ar.

H2: O motor do compressor opera sobrecarregado.

H3: O problema deriva do subdimensionamento do cabo a jusante do disjuntor (QF1C).

H4: Há falta de coordenação da protecção

H5: Disjuntor está mal dimensionado, ou com algum defeito ou mal calibrado.

H6: O problema deve-se a factores externos como: a vibração do local e temperatura do ambiente.

## 1.3. Objectivos

### 1.3.1. Objectivo geral

O presente trabalho tem como objectivo geral, propor a solução para optimização do sistema de protecção e accionamento de um compressor de ar no centro fabril da Mozal\_Matola

### 1.3.2. Objectivos específicos

- Caracterizar o sistema de accionamento do compressor;
- Efectuar o levantamento da carga do compressor;
- Analisar a carga e o sistema de protecção do compressor;

- Especificar a solução óptima para o problema;
- Determinar o orçamento e a viabilidade do projecto;

#### **1.4. Metodologia**

A metodologia usada para a realização da presente pesquisa foi dividida em três partes a destacar: Pesquisa bibliográfica, levantamento de dados no campo e concepções computacionais.

##### **1.4.1. Pesquisa Bibliográfica**

Segundo MARTINS E PINTO (2001, p.410) a pesquisa bibliográfica procura explicar um problema e propor soluções a partir de referências teóricas publicadas em documentos e contribuições científicas. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contacto directo com tudo aquilo que foi escrito sobre determinado assunto, com o objectivo de permitir aos pesquisadores, reforço paralelo na análise de suas pesquisas ou manipulação de suas informações,

##### **1.4.2. Pesquisa de Campo**

A pesquisa do campo consistira em um estudo concreto na fabrica Mozal, observando-se a configuração do sistema em estudo, recolha de dados como sua configuração e as devidas especificações técnicas.

##### **1.4.3. Observação directa**

A observação também é considerada uma coleta de dados para conseguir informações sob determinados aspectos da realidade. Ela ajuda o pesquisador a “[...] identificar e obter provas a respeito de objetivos sobre os quais os indivíduos não têm consciência, mas que orientam seu comportamento” (MARCONI & LAKATOS, 1996, p. 79).

##### **1.4.4. Entrevista**

A entrevista é composta por perguntas fechadas e abertas, é importante por ser eficiente, permitindo obter dados de uma forma profunda, não exigindo que o entrevistado saiba ler nem escrever e é muito flexível possibilitando o entrevistador esclarecer perguntas e sondar (MARCONI E LAKATOS, 2006).

### 1.4.3. Delimitação do Tema

O relatório é constituído por seis capítulos principais, sendo que cada um destes se divide em vários subcapítulos para melhor organização da informação.

No capítulo 1, é apresentado de forma clara a introdução do trabalho contendo a contextualização, os objetivos e procedimentos metodológicos.

No capítulo 2, são apresentados os fundamentos teóricos extraídos da literatura base.

No capítulo 3, é descrita carga eléctrica, através do levantamento da carga, avaliação da carga e descrição do estado actual do sistema.

No capítulo 4, é feita a análise das hipóteses apresentadas, a descrição da solução e as especificações técnicas dos materiais e a respectiva estimativa de custos.

No capítulo 5, são apresentadas de forma sucinta as conclusões deste trabalho e as recomendações de trabalhos futuros.

No capítulo 6, são apresentadas todos documentos e livros os necessários para a construção deste trabalho.

## CAPÍTULO II.

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Compressor de Ar

A pesar da pneumática ser bastante antiga, somente na segunda metade do século XIX é que o ar comprimido adquiriu importância industrial. Antes, porém, já existiam alguns campos de aplicação e aproveitamento da pneumática, como, por exemplo, a indústria de mineração, a construção civil e a indústria ferroviária. Hoje, o ar comprimido tornou-se indispensável, e nos mais diferentes seguimentos industriais instalam-se equipamentos pneumáticos.

O compressor de Ar segundo GUIA BÁSICO / ELETROBRÁS [et al.] (2009. 138 p)

*“é um dispositivo que transforma energia mecânica em energia pneumática”*

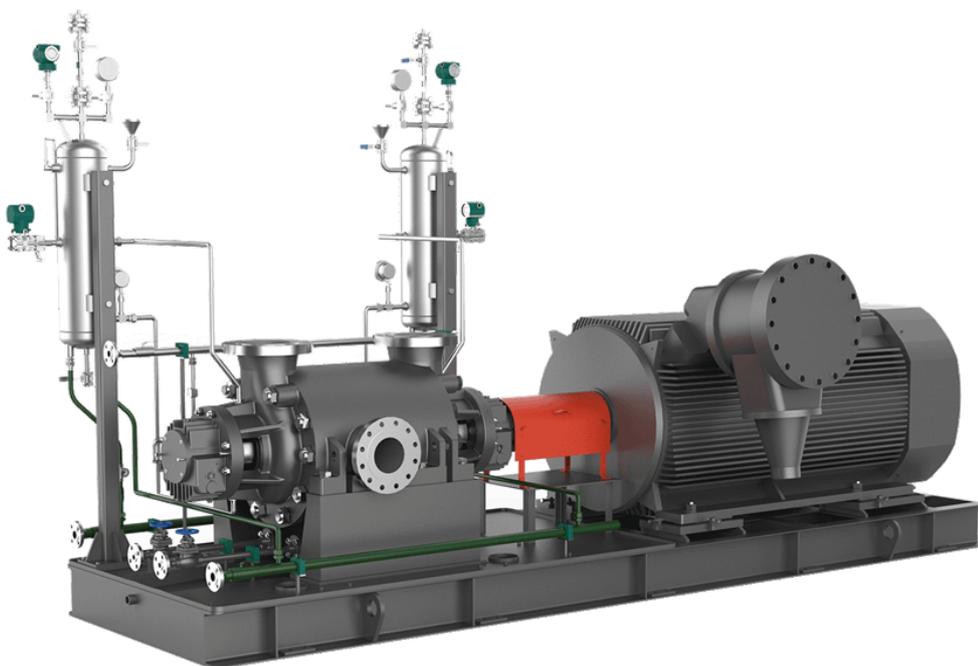


Figura 2-Compressor de Ar

Fonte: [HT-series-hydraulic-power-recovery-turbine.png \(860×573\)](https://www.leopump.com)  
([leopump.com](https://www.leopump.com))

### 2.1.1. Accionamento e regulagem intermitente do compressor de Ar

O accionamento dos compressores, conforme as necessidades fabris, será por motor elétrico ou motor a explosão. Em instalações industriais, aciona-se na maioria dos casos, com motor elétrico.

Com esta regulagem intermitente o compressor funciona em dois campos (carga máxima e parada total). Ao alcançar a pressão máxima, o motor accionador do compressor é desligado, e quando a pressão chega ao mínimo, o motor liga novamente e o compressor trabalha outra vez. A freqüência de comutações (liga/desliga) pode ser regulada em um pressostato e para que os períodos de comando possam ser limitados a uma medida aceitável, é necessário um grande reservatório de ar comprimido.

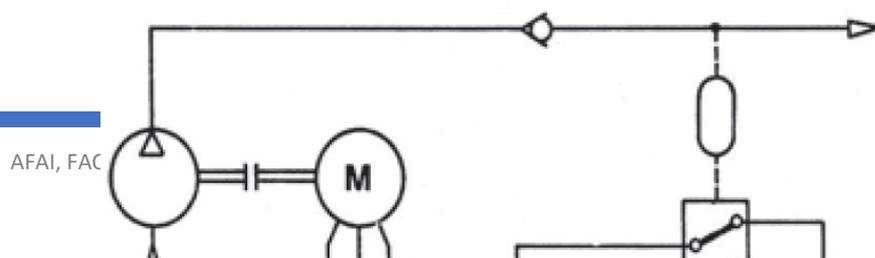


Figura 3-Esquema de um compressor com regulagem intermitente

Fonte: GUIA BÁSICO / ELETROBRÁS (2009)

## 2.1.2. Tipos construtivos de compressores

Existem vários tipos de compressores.

Atualmente, o compressor de êmbolo com movimento linear é o mais usado. Ele é apropriado não só para compressão a pressões baixas e médias, mas também para altas pressões. O campo de pressão varia de um bar até milhares de bar.

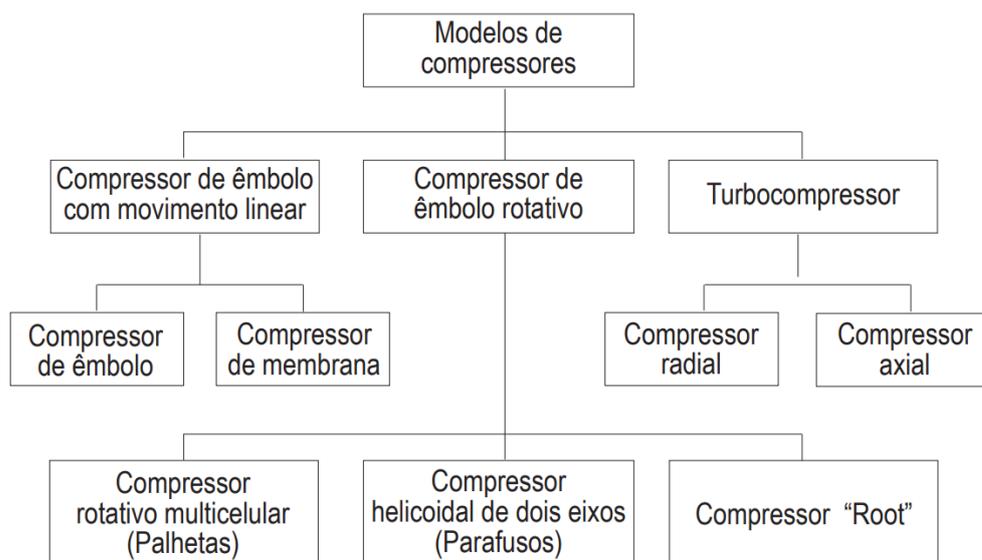


Figura 4-Classificação de compressores

Fonte: GUIA BÁSICO / ELETROBRÁS (2009)

## 2.2. Motores Elétricos

O compressor de Ar ele precisa de uma fonte de energia mecânica para a converter em ar comprimido, a energia mecânica pode ser fornecida por um motor de combustão assim como a partir de motores elétricos. O foco deste trabalho ee o sistema de protecção e do accionamento do motor elétrico que alimenta o compressor de ar.

O motor elétrico segundo FRANCHI (2008, p. 17)

*“é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica, em geral, energia cinética, ou seja, num motor, com a simples presença de corrente elétrica, independentemente da sua natureza, seja ela alternada ou contínua, garante o movimento no seu eixo (energia mecânica).”*



Figura 5-O motor elétrico de indução

Fonte: Catalogo da WEG (2018)

### 2.2.1. Classificação de Motores Elétricos

Os motores elétricos são classificados primeiramente pela sua forma de alimentação, que pode ser de corrente contínua (CC) e a de corrente alternada (AC). A Figura 5 mostra a classificação dos motores numa visão geral. Tendo em conta a fácil disponibilidade e custos reduzidos dos motores, os motores AC trifásicos assíncronos serão o foco para este projeto.

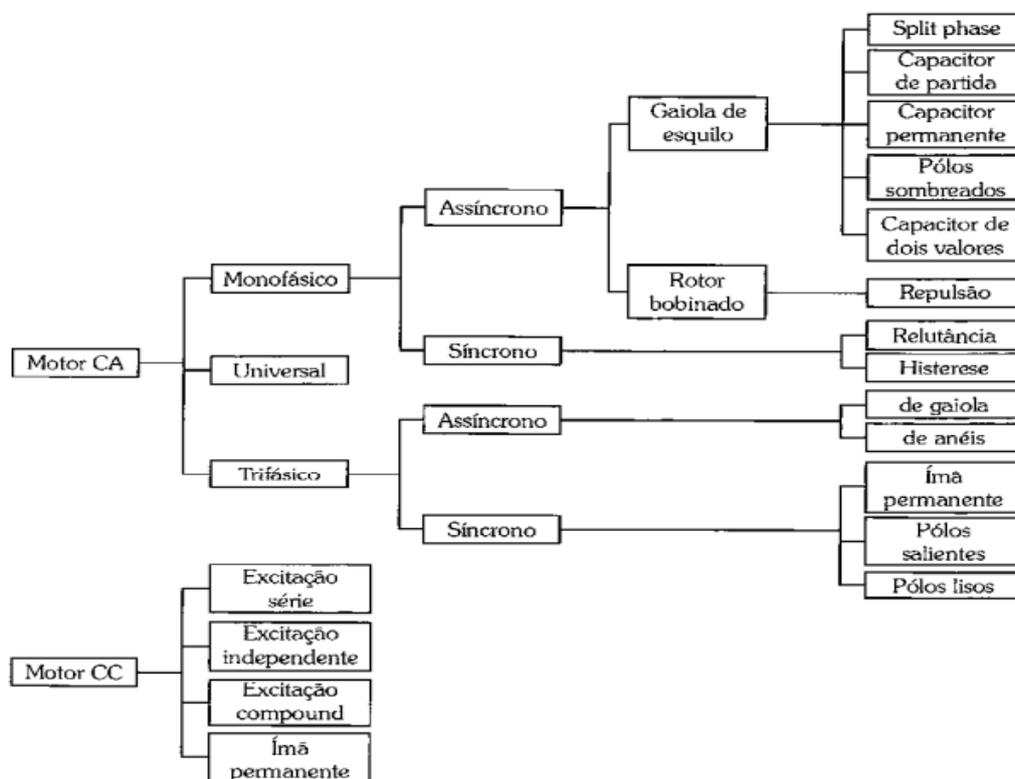


Figura 6-Classificação de Motores elétricos

Fonte: FRANCHI (2008)

### 2.2.1.1. Motores Assíncronos (de indução)

O motor de indução funciona normalmente com uma velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas, encontradas na prática. Atualmente, é possível o controle da velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência.

Os motores assíncronos que também podem ser ditos de motores de indução, segundo CHAPMAN (2013, p. 309) há dois tipos diferentes de rotores de motor de indução, que podem ser colocados no interior do estator. Um deles é denominado rotor gaiola de esquilo e o outro é denominado rotor bobinado.

### 2.2.1.2. Motor de Indução de Rotor Bobinado

O motor de gaiola apresenta um conjugado menor na partida, os motores de rotor bobinado foram projetados para atender um elevado binário na partida e eles apresentam uma elevada potência.

Este motor é normalmente, de potência elevada e destina-se a arranque de cargas com elevado binário resistente e de grande inércia. Permite arranques suaves e progressivos recorrendo a resistência, chamadas resistências rotóricas, ligadas, através de escovas e anéis coletores, em série com o enrolamento trifásico do rotor. (FRANCISCO, 2006)

### 2.2.1.3. Motor de Indução de Rotor Curto Circuitado (Gaiola)

Segundo FRANCHI (2008) o rotor de gaiola é o mais robusto de todos. Não exige o uso de escovas nem comutadores, o que reduz muito os problemas relacionados a desgaste e manutenção. Em sua configuração mais simples, apresenta um conjugado de partida relativamente baixo e o pico de corrente na partida pode alcançar até dez vezes sua corrente nominal.

- Eixo (7) - transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor.
- Núcleo de chapas (3) - as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator.
- Barras e anéis de curto-circuito (12) - são de alumínio injetado sob pressão numa única peça.
- Tampa (4)
- Ventilador (5)
- Tampa defletora (6)
- Caixa de ligação (9)
- Terminais (10)
- Rolamentos (11)



Figura 7-Motor de Indução de Rotor Curto Circuitado

Fonte: FRANCHI (2008)

#### 2.2.1.4. Categorias dos motores

Tendo em conta o tipo de carga, os motores são seleccionados em função da categoria, segundo a (WEG) podem ser encontradas as seguintes categorias:

**Categoria N** - Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao accionamento de cargas normais, como bombas, máquinas operatrizes, ventiladores.

**Categoria H** - Usados para cargas que exigem maior conjugado na partida, como peneiras, transportadores carregadores, cargas de alta inércia, britadores, etc.

**Categoria D** - Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos. Usados também em elevadores e cargas que necessitam de conjugados de partida muito altos e corrente de partida limitada.

### 2.3. Sensores

Sensores são dispositivos utilizados em sistemas automáticos, como dispositivos que auxiliam o sistema de controle, são utilizados como sinais de entrada para o sistema, eles detetam os efeitos físicos e convertem em sinais elétricos, onde, este sinal (sinal de saída) posteriormente é utilizado como sinal de entrada para o sistema de controle. Por definição segundo CURZEL (2010) um sensor é um dispositivo para deteção e sinalização de uma condição de mudança:

- Presença ou ausência de um objeto ou material (**deteção discreta**);
- Uma quantidade mensurável como uma mudança na distância, tamanho ou cor (**deteção analógica**)

Estes também podem ser com contato ou sem contato:

- **Sensores com contato** são dispositivos eletromecânicos que detetam mudança através de contato físico direto com o objeto alvo.
- **Sensores sem contacto** são sensores eletrónicos que detetam através de emissão de ondas eletromagnéticas.

#### 2.3.1. Sensores Digitais

Estes sensores apresentam dois estados Ligado ou Desligado. Estes sensores são utilizados para detetar objetos, os mais utilizados são: sensores de pressão, de humidade, de presença, etc

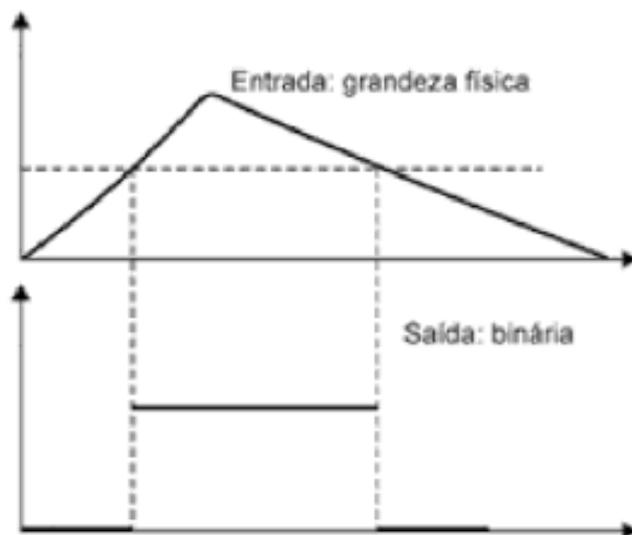


Figura 8-Representação do sinal de Saída do Sensor digital em comparação ao sinal de entrada

fonte: THOMAZINI & DE ALBUQUERQUE (2020)

### 2.3.2. Sensores Analógicos

Estes sensores apresentam na sua saída um sinal de forma contínua, e pode assumir qualquer valor ao longo do tempo, onde este depende da intensidade do sinal ou efeito físico medido.

#### Contato Mecânico

Estes sensores usam a força do objeto que entra em contacto com o mesmo para a sua deteção, onde dentro do sensor existe um mecanismo que fará essa leitura dos sinais. Podem ser encontrados



Figura 9-Chaves mecânicas

Fonte: [www.Sala de eléctrica.com](http://www.Sala de eléctrica.com)

## Chaves Eletromecânicas

1. Botões de Comando
2. Chaves de Fim de curso
3. Chaves de Nível: detecção do nível de um líquido.
4. Chaves de Vazão: detetar vazão de um fluido.
5. Chaves de Temperatura: medir temperatura de um fluido
6. Chaves de Pressão: medir a pressão de um fluido

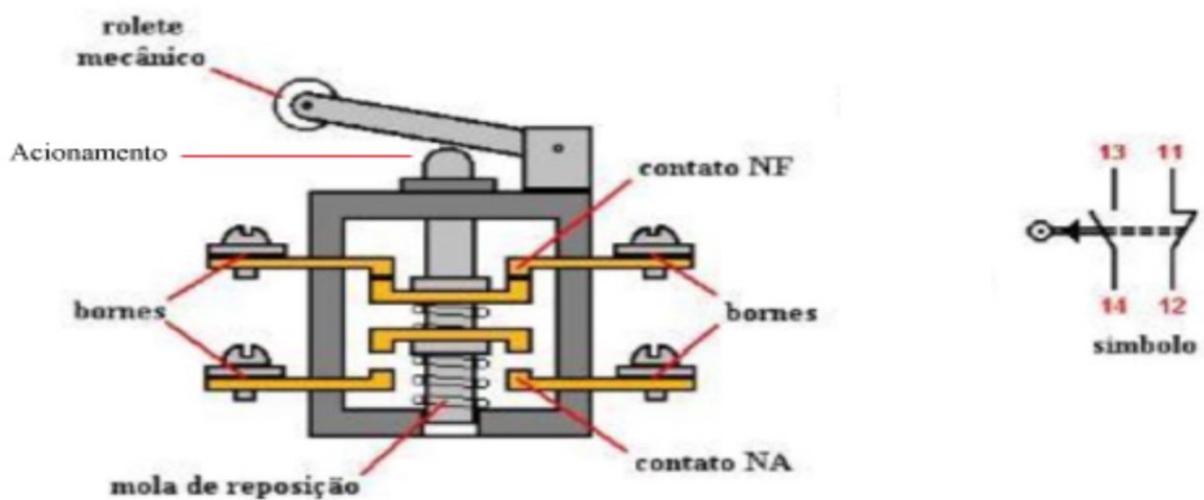


Figura 10-Chaves de fim de Curso

Fonte: FERNANDES, (2016)

## Pressostato

O pressostato pode ser definido como um instrumento de medição ou um dispositivo de proteção, ele é instalado em equipamentos, máquinas e dispositivos que trabalham pressurizados ou relacionados de alguma forma com a pressão.



Figura 11-Pressostato

Fonte: [www.Sala de eléctrica.com](http://www.Sala de eléctrica.com)

## 2.4. Dispositivos de Proteção e Comando

Para um bom funcionamento e longa vida dos equipamentos (máquinas) deve ter-se em conta os dispositivos de proteção e de comando. Segundo os artigos 32 e 33 do (Decreto-Lei n.º 740/74, 1974) definem aparelho de comando, como aparelho destinado a modificar o regime de funcionamento de uma instalação ou de um aparelho de utilização e aparelho de proteção aquele destinado a impedir ou limitar os efeitos perigosos ou prejudiciais da energia elétrica a que possam estar sujeitas pessoas, equipamentos ou instalações.

### 2.4.1. Dispositivos de Proteção Para Motores Elétricos

Podem ser encontrados dispositivos para proteções contra sobrecarga, curto-circuito, para falta de fase e por falta de campo quando aplicável, que podem ser: fusíveis para proteção contra curto-circuito, os relés de sobrecarga servem para proteção de sobrecarga e os disjuntores motores para proteção contra os três inconvenientes (sobrecarga, curto-circuito e falta de fase).

#### 2.4.1.1. Fusíveis

São dispositivos de proteção bastante simples na sua estrutura e economia. Com isso, eles encontram-se em grande escala nas indústrias, residências, eletrodomésticos para proteção dos equipamentos, máquinas e mais. Segundo (WEG) os fusíveis são elementos tradicionais para proteção contra curto-circuito de sistemas elétricos. Sua operação é baseada na fusão do “elemento fusível” contido no seu interior.

Os fusíveis podem ser classificados tendo em conta os seguintes critérios mais utilizados:

1. Tensão de alimentação: Alta e baixa
2. Características de interrupção: ultrarrápidos ou retardado.
3. Forma construtiva dos fusíveis.



Fonte: Catalogo da WEG (2018)

Figura 12-Fusível

### 2.4.1.2. Relé de Sobrecarga

Um motor que funcionando com uma corrente acima da nominal produzem elevadas perdas elétricas o que ocasionam a redução do tempo de vida do motor (perda de isolamento devido o aquecimento), com isso é importante dimensionar um dispositivo capaz de protege-lo contra o funcionamento a elevadas correntes da corrente nominal para o aumento da sua vida útil. Esse dispositivo denominado Relé de sobrecarga segundo FRANCHI (2008) é um dispositivo de proteção cuja operação é baseada em um método indireto de detecção de sobrecarga em motores, em que é criado um modelo térmico do motor a ser protegido por um elemento térmico.

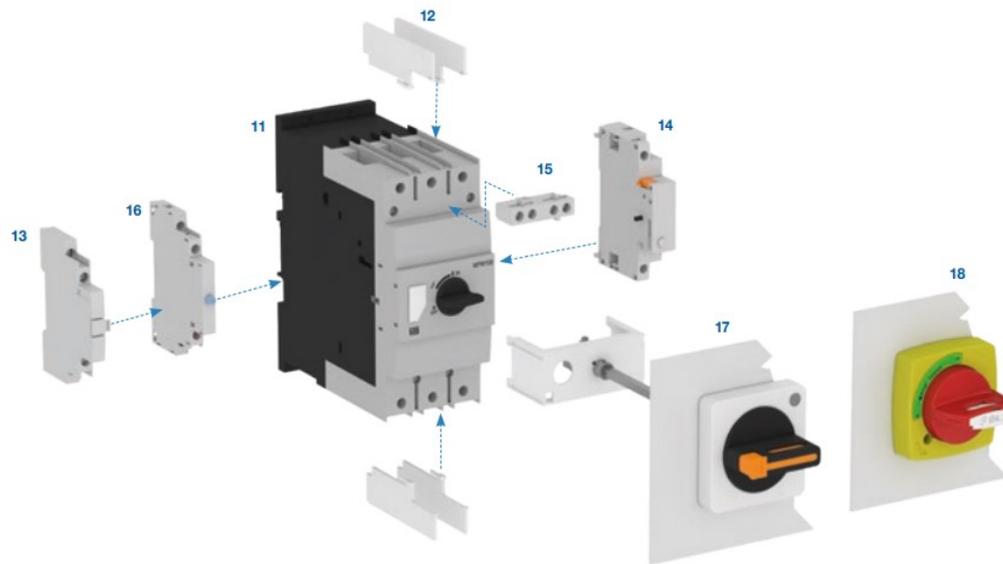


Figura 13-Relé de Sobrecarga

Fonte: Catálogo da WEG (2018)

### 2.4.1.3. Disjuntor Motor

Estes dispositivos protegem simultaneamente contra sobrecarga e curto-circuito, também protegem contra falta de fase, são empregues em caso que há pouco espaço para abrigar os diversos dispositivos, comando e proteção. Além disso estes dispositivos possuem dentro de si um contacto, para comando. É mais aconselhável que seja associado contactor para comando.



- |  |   |
|--|---|
| 11 - Disjuntor-motor MPW100  | 15 - Bloco de contatos auxiliares frontal ACBF MPW100 |
| 12 - Isoladores IB MPW100  | 16 - Bloco de sinalização de disparo TSB_ MPW100      |
| 13 - Bloco de contatos auxiliares laterais ACBS_ MPW100                              | 17 - Manopla rotativa para porta de painel MR MPW100  |
| 14 - Bobinas de subtensão URMP_ MPW100 ou bobina de disparo à distância SRMP_ MPW100 | 18 - Manopla rotativa para porta de painel MRX100     |

Figura 14-Disjuntor Motor

Fonte: Catalogo da WEG (2018)

#### 2.4.1.4. Contactor

Contactor é um dispositivo usado para acionamento de máquinas.

Segundo FRANCHI (2008, p.134) “O contactor [é caracterizado com uma chave de operação não-manual, eletromagnética, com uma única posição de repouso, capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito.” O contactor é constituído por contactos, bobina e molas, faz com que a bobina, depois de percorrido a corrente, os contactos do contactor voltem à sua posição de repouso.

O contactor é composto por dois circuitos:

- **Circuito principal:** este circuito é o circuito usado para alimentar a carga do sistema, é destinado a suportar elevadas correntes.
- **Circuito Auxiliar:** é o circuito usado para controle do circuito de principal.

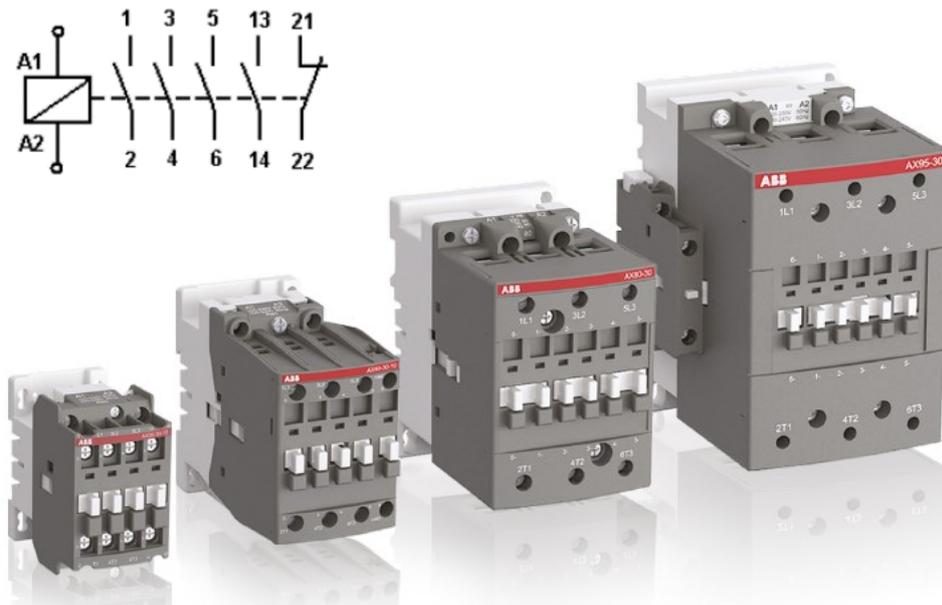


Figura 15-Contactor

Fonte: Catálogo da WEG (2018)

Dependendo do tipo de carga a acionar, os contatos são divididos em categorias:

- **AC 1** - São utilizados para acionamento de cargas leves, cargas resistivas ou semi-indutivas.
- **AC 2** – São utilizadas em motores de manobra leves.
- **AC 3** – São utilizadas em motores de indução de gaiola.
- **AC 4** – São utilizadas em cargas de manobras pesadas, partir o motor a plena carga, em comandos intermitentes.

#### 2.4.1.5. Relé de falta de fase

O Relé de Falta de Fase CA se trata de um relé eletrônico para proteção de sistema trifásicos contra falta de fase (ou neutro) e assimetria de tensão. O grau de sensibilidade da assimetria é ajustável no knob frontal do relé.

É aplicado em instalações visando a proteção de motores, equipamentos ou



Figura 16-Relé de falta de fase

processos.

Fonte: Catálogo da WEG (2018)

Alimentando-se o aparelho com as três fases R, S e T, em sequência e após o procedimento de ajuste, o relé de saída comuta seus contatos para a posição de trabalho (led vermelho aceso).

Comutará para a posição de repouso (led vermelho apagado) após um tempo de retardo de aproximadamente três segundos, se ocorrer falta de fase por assimetria angular ou modular.

Assimetria modular: É um desequilíbrio acentuado dos valores de tensão entre fases, cada fase apresenta um valor de tensão. Ocorre quando não há balanceamento das cargas entre as fases.

Assimetria angular: É uma defasagem diferente de  $120^\circ$  entre si em um sistema trifásico. Ocorre com a queda de uma das fases, originando um retorno de tensão (fase fantasma).

## CAPÍTULO III.

### 3.LEVANTAMENTO DE CARGA E A DESCRIÇÃO DO ESTADO ACTUAL DO SISTEMA

#### 3.1. Descrição do sistema de acionamento do compressor de ar em estudo

O compressor em estudo, é usado no sistema pneumático do PTA, máquina multifunção usada no departamento de redução da Mozal, para realizar o tratamento das painéis de electrólise do alumínio. O ar comprimido, é usado para diversas finalidades, como a limpeza da linha férrea para o tráfego do PTA, no processo de sucção de alumínio e muito mais.

O compressor em causa, comporta três sistemas principais, que são: Sistema eléctrico, mecânico e pneumático.

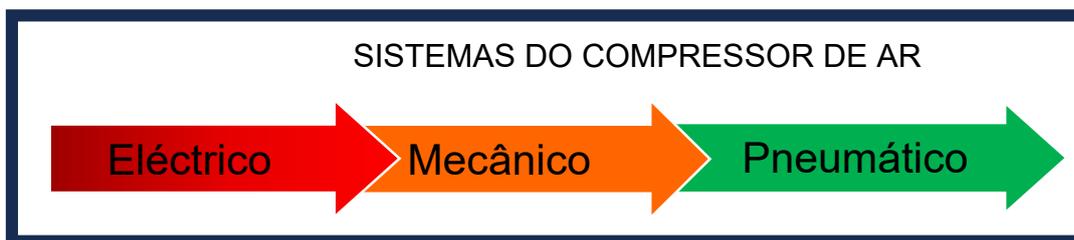


Figura 17-Sistemas do compressor de ar

Fonte: Adaptado pelo autor

#### 3.1.1.O sistema Eléctrico

É responsável em fornecer a energia eléctrica aos motores do compressor, trata-se de uma fonte trifásica alternada de 400V, a jusante desta fonte encontra-se o subsistema de protecção, composto por disjuntor motor principal (QF) e Contactores.

Além do circuito de força, o sistema elétrico, alimenta também o subsistema de controle, onde tem os contactores, os reles dos sensores, os conversores, multiplexadores e os PLCs e mais.



Figura 19-Subsistema de proteção

Fonte: Adaptado pelo autor



Figura 18 Subsistema de comando e controle

Com forme indicam os objetivos, o sistema elétrico é o foco do estudo, porém de forma complementar para otimizar a solução envolve-se algumas observações mecânicas.

### 3.1.2. Sistema mecânico

Este sistema é responsável pela conversão de energia eléctrica em energia mecânica, que por sua vez é usada para o acionamento do compressor. Este sistema, abrange a parte de lubrificação e resfriamento do motor, feito por um sistema de dois motores que arrefecem o óleo do compressor e o ar do compressor, o motor do compressor, além do apoio dos equipamentos.



Figura 20-Motor eléctrico acoplado com o compressor

Fonte: Adaptado pelo autor

### 3.1.3. Sistema pneumático

É responsável pela transformação de energia mecânica rotacional em energia pneumática (Ar comprimido), é composto pelo subsistema responsável pela absorção e a compressão do ar, a mangueira de distribuição do ar, os sensores pneumáticos, válvulas de retenção do ar comprimido, sistema de lubrificação e mais partes.

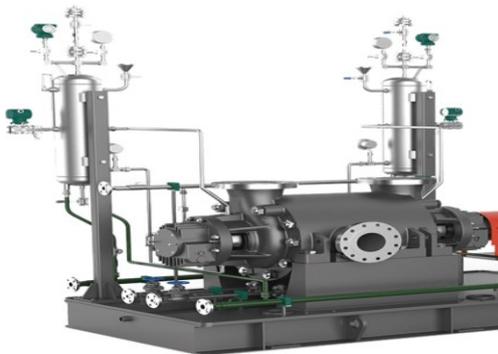


Figura 21-Sistema pneumático

Fonte: Adaptado pelo autor

Figura 22-Subsistema de controlo da pressão do ar

## 3.2. Descrição do motor Eléctrico do compressor e do seu sistema de protecção

### 3.2.1. Motor Eléctrico do Compressor

O acionamento do compressor é feito por um motor de indução trifásico de 6 terminais e 4 polos, cujo seus dados nominais encontram-se no catalogo do anexo G, o motor é de 90kW e alimentado por uma tensão AC de 400V, o seu índice de protecção é apropriado para o ambiente de funcionamento, IP55, o seu arranque é feito em estrela-triângulo, apresenta a protecção termomagnética por meio de um disjuntor motor porem a sua protecção térmica é controlada por meio de um PLC accionado por um sensor de temperatura acoplado directamente ao motor.

A alimentação do motor é feita por meio de um cabo 4G35\_HO7RN\_F da Selec, com isolamento de borracha de comprimento de 19m.



Figura 23-Chapa característica do motor do compressor

Fonte: Adaptado pelo autor

### 3.2.2. Disjuntor motor

A protecção do motor é feita na base de um disjuntor motor da Schneider (QF1C), este protege o circuito de força contra a sobrecarga e curto-circuito com uma corrente máxima de funcionamento normal de 250A e máxima corrente de curto-circuito de 2500A, com *setting* de funcionamento actual no fundo de escala, o disjuntor é de curva D, o que corresponde melhor opção para a sua aplicação e a temperatura do meio deve ser de 40°C para o seu bom funcionamento.

O disjuntor QF1C tem uma unidade de disparo compacta da Schneider, porém ele não permite a visualização da corrente de funcionamento no tempo real.

O disjuntor geral do motor do compressor serve de igual forma de protecção secundaria dos três motores de arrefecimentos e remoção de poeira, como aponta o circuito de potência do sistema, apresentado no anexo B.



### 3.2.4. Protecção térmica do motor

A protecção contra superaquecimento do motor é feita através de uma unidade de protecção LT3SA-FR que recebe o sinal proveniente do termistor PTC (Positive Temperature Coefficient), acoplado no interior do motor. A protecção térmica através deste método, abrange as temperaturas excessivas provocadas por eventos mecânicos como: falha do ventilador do motor, vibrações excessivas, temperatura do meio etc, mas não garante eficiente protecção contra superaquecimentos provocados por sobrecarga do motor.

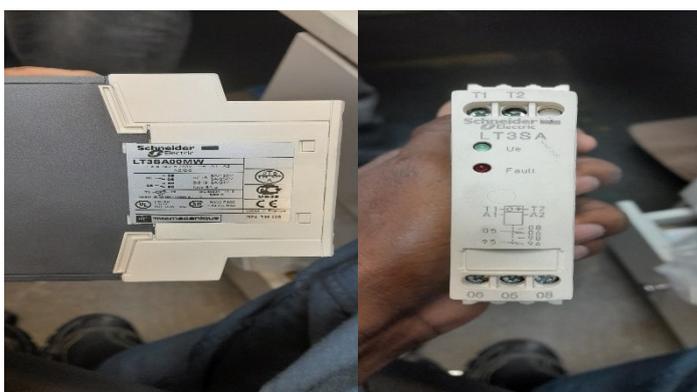


Figura 26-Convertor de sinal LT3SA-FR

Fonte: Adaptado pelo autor

### 3.2.5. Descrição do sistema de controlo do compressor

O controlo de compressor é feito com PLC Allen Bradley, RSLogix que abriga o programa de comando feito usando-se a linguagem de programação ladder, de forma geral o sistema de controlo é alimentado com 24V/110V DC/AC. O Motor arranca em estrela triangulo verificadas as condições de alimentação, a temperatura do óleo do compressor, a temperatura do motor, a pressão mínima para o arranque, o bom funcionamento de válvula de retenção, e mais variáveis.

O acionamento do motor de compressor é feito em simultâneo com mais três motores accionados pelos contactores KM4, KM5 KM6. A alimentação do circuito de controlo é protegida por meio de disjuntores QF2C e QF4C.



*Figura 27-Painel de comando e controlo do compressor*

Fonte: Adaptado pelo autor

## CAPÍTULO IV.

### 4. DESCRIMINAÇÃO DAS HIPÓTESES E ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA

#### 4.1. Descriminação de hipóteses

##### 4.1.1. Primeira hipótese

**O problema se deve a sobrecarga do compressor devido a fuga de ar**

Por algumas vezes o problema de desligamento repentino pode advir do sobre aquecimento provocado pelas fugas de ar, porém a sua maioria não tem sido acentuada e durante a manutenção preditiva e preventiva dos PTAs, estas fugas ou vazamentos de ar são eliminados, por esta razão, esta hipótese é eliminada e não será considerada a base fundamental da pesquisa.

##### 4.1.2. Segunda hipótese

**O motor do compressor opera sobrecarregado**

Para provar esta hipótese, a média das correntes do regime de funcionamento normal do compressor, medidas em 5 momentos diferentes e de máquinas diferentes apresentados na tabela abaixo, serão comparados com a corrente nominal do motor, determinada usando a chapa característica do motor.

*Tabela 1-A média das correntes do motor do compressor em regime normal*

Número de medição	1	2	3	4	5	Valor médio
Corrente(A)	118,5	120	119.1	120,1	142,2	123.98

$$I_{Nmotor} = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi \times \eta_{motor}} \quad (1)$$

$$I_{Nmotor} = \frac{90000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.87 \times 0.94}$$

$$I_{Nmotor} = 167A$$

A corrente média do funcionamento do motor, embora não seja constante, equivale aproximadamente a 75% da corrente nominal do motor, pelo que, descartamos esta hipótese.

#### 4.1.3. Terceira hipótese

##### O problema deriva do subdimensionamento do cabo a jusante do disjuntor (QF1C)

O cabo utilizado é de isolamento a borracha instalado na estrutura, que de acordo com o regulamento (RTIEBT, pag407) a sua temperatura máxima em operação normal é de 90°C relativamente superior em relação a PVC.

Quanto a sobrecarga do cabo será verificada na base dos critérios de dimensionamento de cabos eléctricos:

$$I_z \geq I_N \geq I_B \quad (2)$$

$$I_2 \leq 1.45I_z \quad (3)$$

Onde:  $I_z$ : Corrente máxima do cabo;

$I_N$ : Corrente nominal do disjuntor;

$I_B$ : Corrente de serviço (A corrente que flui no cabo no funcionamento pleno);

$I_2$ : Corrente máxima convencional de operação do dispositivo de protecção;

Uma vez que o cabo em estudo alimenta quatro motores, a corrente de serviço será o somatório das correntes de cada motor, conforme apresentado no circuito de potência em anexo B, resultando na seguinte situação:

$$I_S = I_{Scabo} = I_{M1} + I_{M2} + I_{M3} + I_{M4} \quad (4)$$

$$I_S = I_{Scabo} = 167 + 4.1 + 10 + 1.35 = 182.45A$$

Onde:  $I_{M1}$ : Corrente do motor de compressor em A;

$I_{M2}$ : Corrente do motor de arrefecimento do ar em A;

$I_{M3}$ : Corrente do motor de arrefecimento do óleo em A;

$I_{M4}$ : Corrente do motor de remoção de poeira em A.

$$I_S = I_{Scabo} = (167 + 4.1 + 10 + 1.35) * 1.15 = 209.8 A$$

Como a secção do cabo usado para alimentar o motor é de 35mm<sup>2</sup> com referência C, e a corrente nominal do disjuntor em uso actual pode ser calibrada de 175 até 250, assumimos uma corrente nominal do disjuntor de 225A, nestas condições temos:

$$I_2 = 1.45 \times I_N = 326.25A$$

$$I_B = 209.8A$$

$$I_N = 225A$$

$$I_z = 147A - -\text{Extraído da tabela 52 - C4 do RTIEBT}$$

$$147 > 225 > 209.8 \text{----- Condição não satisfeita}$$

$$326.25 < 213.15 \text{-----Condição não satisfeita}$$

Na base da demonstração feita na perspectiva acima, o cabo não está bem dimensionado pós as condições de dimensionamento exigidas pelo regulamento não são verificadas. A não verificação das condições do dimensionamento do cabo constitui um problema o que pode provocar aquecimentos excessivo do cabo na sua operação normal e consequentemente resultar no desligamento do motor, ou seja, é uma das razões dos frequentes disparos do disjuntor. Para ultrapassar este problema proe-se a utilização de cabo com mesmas propriedades, porém de secção 70mm<sup>2</sup>, consoante demonstrado abaixo.

Para secção de 70mm<sup>2</sup> com método de referência C a corrente máxima admissível do cabo é de 229A, neste caso teríamos:

$$I_{Cable} \geq I_{C.Breaker} \geq I_{Load}$$

$$I_2 \leq 1.45I_Z$$

(229 > 225 > 209.8)----- Condição satisfeita

(326.25 < 332.05) -----Condição satisfeita

#### Verificação de queda de tensão:

$$\Delta U < 5\% \quad (5)$$

$$R = \frac{\rho \times L}{s} \quad (6)$$

$$R = \frac{\rho \times L}{s} = \frac{0.0213 \times 30}{70} = 0,00912\Omega$$

Onde:  $\rho$ : Resistividade do condutor em ohm-mm<sup>2</sup> por metro a 90 °C

L: Comprimento do cabo em metros

S: secção do cabo em mm<sup>2</sup>

$$\Delta U = R \times IN = 2,05V$$

$$\Delta U\% = 0,54$$

$\Delta U\% < 5$ -----Condição verificada

#### 4.1.4. Quarta hipótese

##### Há falta de coordenação da protecção

A coordenação dos dispositivos de protecção é o acto ou efeito de dispor dois ou mais dispositivos de protecção em série, de forma a actuarem em uma sequência de operação pré-estabelecida garantindo a seletividade da protecção. Consoante o circuito

de potência do compressor exibido no anexo K, verificou-se a existência de um problema sério em relação a coordenação e selectividade, ou seja, notou-se que o disjuntor principal do motor (QF1C) é simultaneamente protecção de retaguarda para os motores auxiliares de arrefecimento, e remoção de poeira. Embora a influência dos motores auxiliares na actuação do QF1C seja de menor impacto devido a sua baixa potência, havendo, pode ocasionar a paragem do compressor aumentando a probabilidade de *trips* desprogramados. O maior problema da falta de selectividade levou a hipótese a ser considerada verdadeira.

Portanto, como proposta para mitigar este problema, com vista a otimizar o sistema de protecção e accionamento do compressor, sugere-se o dimensionamento de dois disjuntores para as duas derivações embaixo do QF1C, os dois disjuntores propostos são de calibres diferentes e obviamente menores que do QF1C para garantir a coordenação amperimetrica e selectividade na protecção, consoante proposto no esquema de potência em anexo C.

O QF11C para servir da protecção primaria do motor principal e QF12C para a protecção secundaria dos três motores auxiliares, desta forma diminui a probabilidade de disparo do QF1C pós ele operaria no caso de falha do QF11C ou QF12C.

A seguir é apresentado o dimensionamento dos dois disjuntores propostos conforme as condições de operação descritas anteriormente:

Dimensionamento do QF1C:

$$I_{Nmotor} = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi \times \eta_{motor}} = \frac{90000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.87 \times 0.94} = 167 A$$

$$I_{Nmotor} = 167A$$

$$I_{th QF11C} \geq I_{Nmotor} \times 1.15$$

$$I_{th QF11C} \geq 167 \times 1.15 \rightarrow I_{th QF11C} \geq 192.05A$$

$$I_{th QF11C} = 200A$$

Condições de arranque:

$$I_{arr;motor} = 167 \times 7.2 = 1202.4 A$$

$$I_{sc,QF11C} = 2500A$$

Dimensionamento do QF12C:

$$I_{M234} = I_{M2} + I_{M3} + I_{M4}$$

$$I_{M234} = 4.1 + 10 + 1.35 = 15.45A$$

$$I_{M234} \geq 15.45 \times 1.15 \rightarrow I_{M234} \geq 17.77A$$

$$I_{M234} = 20A$$

Condições de arranque:

$$I_{arr;M234} = 15.45 \times 7.2 = 111.24 A$$

$$I_{sc,QF12C} = 150A$$

Para o aumento de segurança, atendendo que o comprimento do cabo de alimentação é relativamente curto, consoante demonstrado acima, recomenda-se que a secção do cabo a montante do QF1C, seja a mesma sugerida e dimensionada neste projecto, 70mm<sup>2</sup>. E os disjuntores devem ser termomagnéticos visto que serão empregues para a protecção conjunta de sobrecargas e curto-circuito.

#### 4.1.5. Quinta hipótese

##### **Disjuntor está mal dimensionado, ou com algum defeito ou mal calibrado**

Consoante demonstrado na terceira hipótese, o disjuntor está bem dimensionado pois o calibre máximo do mesmo é maior que a corrente da carga considerando o fator de sobrecarga, portanto o problema não deriva do mau dimensionamento do disjuntor, por outro lado, consoante as informações colectadas no terreno, durante o estágio, o disjuntor actual é relativamente novo e que o mesmo vem sendo substituído como forma de colmatar o problema, porém este persiste, o que nos leva a descartar o mau funcionamento do disjuntor derivado de algum defeito mecânico do mesmo.

Quanto ao calibre do disjuntor, importa referir que embora ele esteja devidamente dimensionado, a sua má calibragem constitui um problema, o que nos leva a considerar parcialmente a hipótese em questão.

Ora vejamos, o disjuntor QF1C opera no calibre máximo, no valor de 250 A, e que consoante a corrente do motor do compressor de 167A, verifica-se que neste ajuste o disjuntor permite que o motor opere com índice de carregamento de até 150%. A

condição de operação aqui descrita não representa uma causa dos actuais frequentes disparos, porém sendo um aspecto que tange e coloca em causa a segurança do motor, sugere-se uma solução para otimizar o sistema de protecção e accionamento do compressor.

Neste caso, como forma de coordenar a protecção e garantir a confiabilidade do circuito de protecção do compressor, consoante indicam os cálculos na terceira e quarta hipótese, o disjuntor QF1C deve ser calibrado para a corrente de operação de 225A, seguido de um disjuntor de calibre 200A a sua jusante na derivação para o motor principal do compressor e de um disjuntor de calibre de 20 para a protecção retaguarda dos três motores auxiliares.

#### **4.1.6. Sexta hipótese**

**O problema deve-se a factores externos como: a vibração do local e temperatura do ambiente.**

Os dispositivos de protecção e controlo são ventilados e arrefecidos, ou seja, são mantidos a uma temperatura favorável por meio de ar-condicionado e consoante a lógica do funcionamento e protecção do compressor, além das outras condições, o compressor apenas funciona caso sejam verificadas as condições de temperatura do óleo de arrefecimento, temperatura do ar de saída e a temperatura do motor.

Conforme descrito anteriormente, o accionamento do compressor, comporta dois motores destinados ao arrefecimento, um para o arrefecimento do ar de saída e o outro para o arrefecimento do óleo de lubrificação, pelo que, descarta-se a influência da variável temperatura desta origem embora não seja isenta de algum efeito negativo. Nesta hipótese, a atenção foi dirigida ao fator temperatura do motor, visto que ele tem apenas o ventilador acoplado ao seu veio. O termostato ligado a carcaça do motor, lê a temperatura interna e informa a um dispositivo conversor do sinal que converte em sinal eléctrico, caso a temperatura ultrapasse o valor de ajuste (160°C), o motor é desligado ocasionando a paragem do compressor, visto que o motor funciona num ambiente com uma temperatura relativamente maior, acredita-se que seria necessário um ventilador externo com um accionamento dependente do condicionador de sinal proveniente do termostato ligado a carcaça do motor, eliminado assim o desligamento do motor pelo excesso de temperatura de origem externa.

Ressalta-se que, com esta proposta, seria necessário adicionar uma protecção para efeitos mecânicos como a vibração, deslocamento angular do rotor etc.

Esta proposta não foi desenvolvida neste relatório, pós não foi levantado nenhum dado relativo ao aspecto mecânico do motor e deixa-se como uma recomendação.

## 4.2. Soluções Propostas

Durante a discriminação de hipóteses conseguiu-se perceber que o problema que a equipe de análise e manutenção dos PTAs da Mozal enfrenta, no departamento de redução deriva de várias vulnerabilidades que fazem com que as protecções disparem de forma não programada, gerando desperdício de tempo e de fracasso de produtividade, porém consoante apontam os dados do gráfico o principal factor das paradas é o QF1C, as soluções foram propostas tendo como foco o disjuntor QF1C.

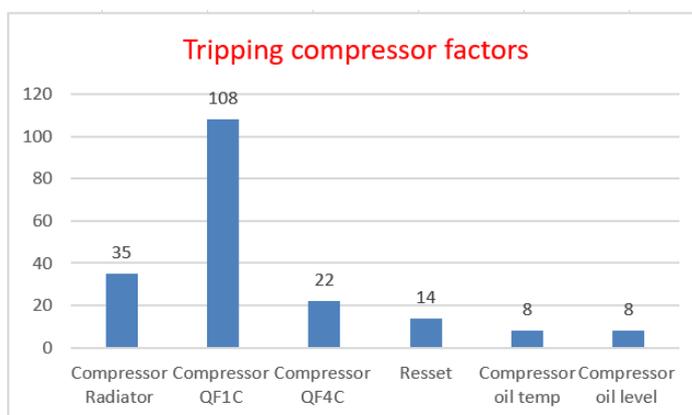


Figura 28-Principais causas de paradas do compressor

Fonte: Adaptado pelo autor

Não se limitando apenas nas hipóteses levantadas, durante o estágio foi verificado que as máquinas (PTAs) não tem um sistema de monitoramento em tempo real da corrente que flui no circuito do motor do compressor, o que dificulta sobretudo aspectos de manutenção correctiva, ou seja, com a intervenção dos técnicos durante uma avaria (breakdown), caso encontrem o disjuntor na posição de disparo, desprovidos das condições de operação anterior, gastam muito tempo com o diagnóstico.



Fonte: Catálogo da SCHNEIDER  
 Figura 29-uma unidade de disparos micrologic C2535E250

Face a esta limitação, com objectivo de otimizar a fiabilidade e a confiabilidade do sistema de protecção e accionamento do compressor, propõe-se a aquisição e a montagem de uma unidade de disparos micrologic C2535E250 da Schneider, consoante as suas descrições apresentadas no catálogo em anexos. Este dispositivo armazena os dados de corrente de funcionamento, ele seria acoplado ao disjuntor QF11C para ler e armazenar as correntes do motor.

A tabela abaixo descreve de forma sumária as irregularidades que motivam as paradas desprogramadas e as soluções propostas.

Tabela 2-Resumo das soluções propostas

#	PROBLEMA DESTACADO	SOLUÇÃO PROPOSTA
1	Subdimensionamento do cabo a jusante do disjuntor (QF1C)	O redimensionamento do cabo e a escolha do cabo adequado, que atende as normas do regulamento.
2	Falta de coordenação e selectividade no sistema de protecção	Foram dimensionados dois disjuntores termomagnéticos respeitando os critérios de selectividade amperimétrica

Tabela 3.1-Resumo das soluções propostas

3	Má calibração do QF1C	Recomendação do valor de ajuste que garanta o bom funcionamento do motor, e aumenta a segurança do mesmo
4	Falta de controlo, monitoramento e armazenamento da corrente de carga em tempo real.	Proposta de seleção aquisição e montagem do Micrologic C2535E250

### 4.3. Estimativa de custo e estudo de viabilidade do projecto

Tabela 4-Estimativa de custo do projecto

Items	ESTIMATIVA DE CUSTO POR PTA									
	Categoria de emprego	Material	Especificações Técnicas	Fabricante	Label	QNT	Preço Unitário [MZN]	Preço Unitário[USD]	Preço Total [MZN]	Preço Total [USD]
1	CONTROLO	Unidade de Disparo Micrológica	Unidade de disparo Micrológica eletrônica 5.2 E para ComPacT NSX 250- disjuntor motor amperagem 250A, 3 polos 3d	SCHNEIDER	QF11C-T/UNIT	1	20285	312.0769231	20285	312.07692
2	FIAÇÃO	Cabo	Preto:4G70 H07RN-F _37054_450/750VAC	HELUKABEL	C1	30	5880	90.46153846	176400	2713.8462
3			Preto:3X70 H07RN-F _37054_450/750VAC	HELUKABEL	C2	30	5880	90.46153846	176400	2713.8462
4	PROTEÇÃO	Disjuntor Motor	Gv2Me Motor Cb Therm/Mag 17-23A Rocker GV2ME20	SCHNEIDER	QF12C	1	5850	150	5850	150
5			Disjuntor motor, ComPacT NSX250R, 200kA/415VAC, 3 polos, TMD compatível com unidade de disparo 250A		QF11C	1	59670	918	59670	918
<b>Mão de Obra</b>						1				\$ 797.54

\$  
7,605.31

Tipo de recurso	Por hora	Quantidade	Total de Horas	Total Custo (MZN)	Total Custo (USD)
Electrecista	693.00	2	16	22176.00	\$ 341.17
Labour	693.00	2	16	22176.00	\$ 341.17
Supervisor	936.00	1	8	7488.00	\$ 115.20
<b>Total Mao de Obra por PTA Crane</b>				<b>MZM 51,840.00</b>	<b>\$ 797.54</b>

### 4.4. Análise de viabilidade

O custo de 7,605.3 USD, é relativamente muito baixo comparando as perdas de produção e o custo de manutenção originada por uma parada desprogramada, contudo para uma análise precisa com vista a apurar a viabilidade deste projecto proposto, sugere-se a implementação experimental em um PTA e seja feito o acompanhamento. Porem de acordo com os dados, mensalmente ocorrem em média 40 breakdowns ocasionados pelo trip do compressor, com a implementação deste projecto, espera-se eliminar as vulnerabilidades e reduzir o número de breakdowns. Com a unidade de disparo especificado na solução, será feito o registo do histórico que vai poder direcionar a causa das falhas podendo deste modo evitar mais disparos otimizando a fiabilidade, custos de manutenção e segurança dos trabalhadores.

## CAPÍTULO V.

### 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 5.1. Conclusão

Na base desta pesquisa, chegou-se à conclusão de que o compressor em estudo apresenta algumas lacunas de segurança que de forma conjunta tornam o sistema de protecção e accionamento vulnerável a breakdowns, pelo que o disjuntor principal está sempre em constantes disparos com vista a proteger o motor dos efeitos das anomalias. Consoante apresentado no levantamento de carga e descrição, o sistema de compressão de ar em estudo, não tem um armazenamento de ar, pelo que o regime de funcionamento do motor é contínuo. Sendo os PTAs as máquinas usadas no processo de produção de alumínio, é inviável técnica e economicamente e de muito desperdício a sua parada. Para minimizar os efeitos negativos, esforços e estratégias vem sendo implementados para garantir e melhorar a fiabilidade dessas máquinas. Contribuído na mesma ideia de localizar as vulnerabilidades e eliminar as falhas do sistema, foram desenvolvidos os objetivos com vista a fazer uma investigação e propor soluções para otimizar a operação e protecção do compressor.

E consoante desenvolvido ao em rolar da pesquisa, estudadas as potenciais vulnerabilidades eléctricas, deixaram-se aqui ficar algumas propostas de solução detalhadas e fundamentadas tecnicamente, usando conceitos claros e fundamentos de engenharia. Espera-se com este projecto ultrapassar ou minimizar o desafio actual que a empresa enfrenta assegurando os aspectos de segurança, minimizar as perdas de tempo, otimizar as actividades de manutenção e identificação de defeitos, assegurar o monitoramento e confiabilidade dos dados colectados na investigação das tendencias para a manutenção preditiva.

Notou-se que a alteração do circuito de potência influencia a lógica de comando e controlo do accionamento e protecção do compressor, pelo que, sugere-se também uma modificação da programação feita em ladder.

## **5.2. Sugestões e recomendações para trabalhos futuros**

Durante a investigação, observou-se a interferência de causas mecânicas para o disparo do compressor, razão suficiente que levou o autor a sugerir que futuramente seja feita uma investigação da parte mecânica para apurar os comentários e observações propostas. A outra sugestão que se deixa ficar é relativa as hipóteses, o que significa, não se limitando em apenas nas propostas deste trabalho, sugere-se que nos trabalhos futuros relativos à investigação para a melhoria da fiabilidade da protecção e acionamento do compressor em causa, sejam levantadas hipóteses quanto ao tempo de operação das máquinas.

A operação de compressor em regime contínuo, sem o sistema de armazenamento do ar comprimido na Mozal requer maior consumo de energia, pelo que se sugere para os trabalhos futuros o estudo ou investigação para trazer melhorias com vista a otimizar o consumo de energia neste processo e minimizar as perdas energéticas.

## CAPÍTULO VI.

### 6. Rerreferencias bibliograficas

1. CHAPMAN, S. FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS. (: d. Amaral, Ed.), 2013
2. CURZEL, J. *Sensores Industriais* , 2010
3. Decreto 513/70. 1970. Promulga o Regulamento de Segurança de Elevadores Eléctricos,
4. FRANCHI, C. M. ACIONAMENTOS ELÉTRICOS - Editora Érica Ltda. 1a Edição, 2008
5. FRANÇISCO, A. M. *MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS*, 2006
6. KHOUSSAINOV, I. *Accionamentos Eléctricos*. Maputo, 1987
7. MACHADO, L. C. *ELEVADOR PARA DESLOCAMENTO DE CARGA* . Niterói, 2016
8. ROGGIA, L., & FUENTES, R. C. *Automação Industrial*, 2016
9. THOMAZINI, D., & DE ALBUQUERQUE. *Sensores Industriais Fundamentos e Aplicação*. (2020)
10. AZEVEDO, Jorge. (org) Estudo de avarias em compressor de ar. Porto, ISEP, 2015
- 11.. MAMEDE FILHO, João. Instalações elétricas industriais. 9.ed. Rio de Janeiro, 2017
12. RTIEBT (Regras Técnicas de Instalações Eléctricas em Baixa Tensão). Portaria n.949-A/2006 de 11 de Outubro;
13. SCHNEIDER. Manual de Operacao do Micrologic, [https://www.liteglo.co.za/wp-content/uploads, C2535E250.jpg](https://www.liteglo.co.za/wp-content/uploads/C2535E250.jpg) - Search (bing.com), acessado aos 19/04/24-15h20
14. BULGARELLI, R., Proteção térmica de motores de indução trifásicos industriais, USP, 2006.

15. WEG, Manual de motores elétricos, características, especificações, instalação e manutenção.
16. MOURA, Walterley. (org). Projecto electrico industrial. MEC-SEMTEC
17. ELECTROBRAS. Compressores-Guia basico. Rio de Janeiro, Procel Industria, 2009
18. ABB, Catalogo-Linha de ontactores. Brasil, acessado 03/07/2024 as 14h53min, disponivel em: <[www.abb.com.br/baixatensao](http://www.abb.com.br/baixatensao)>
19. MORARES. Everton. Chave fim do curso. Sao Paulo, acessado em 09/04/2024-09H45min, disponivel em : <https://www.saladaeletrica.com.br>

# ANEXOS

**ANEXO 1- Acta de encontros****Tabela A1-1: Acta de encontros de dia 22/03/2024****UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE****FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA****ACTA DE ENCONTROS**

<b>REFERÊNCIA DO TEMA:</b>	<b>2024ELEPD19</b>	<b>Data:</b>	<b>22-24/03/24</b>
----------------------------	--------------------	--------------	--------------------

**1. AGENDAS**

<b>Correção e análise do tema do TAT</b>
--

**2.PRESENÇAS**

<b>Supervisor</b>	<b>Prof Doutor Zacarias Chilengue, eng.</b>
<b>Estudante</b>	<b>Faqui Juma Afai</b>
<b>Outros</b>	

**3. RESUMO DO ENCONTRO**

No dia 22/03/24 o estudante contactou o supervisor e enviou o TAT pelo email para analisar e tecer os seus comentários.
---

**ANEXO 1- Acta de encontros****Tabela A1-2: Acta de encontros de dia 22/03/2024****4. RECOMENDAÇÕES**

O superviso Prof Doutor Zacarias Chilengue, comentou e deixou ficar as suas recomendações.

**5. OBSERVAÇÕES**

No dia 24 o estudante retificou o TAT consoante as observações do supervisor.

**6.DATA DO PROXIMO ENCONTRO****09/04/2024**

**ANEXO 1- Acta de encontros****Tabela A1-3: Acta de encontros de dia 22/03/2024**

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

**ACTA DE ENCONTROS**

<b>REFERÊNCIA DO TEMA:</b>	<b>2024ELEPD19</b>	<b>Data:</b>	<b>9/04/22</b>
----------------------------	--------------------	--------------	----------------

**1. AGENDAS**

Análise do resumo bibliográfico do projecto.

**2.PRESENÇAS**

<b>Supervisor</b>	<b>Prof Doutor Zacarias Chilengue,eng</b>
<b>Estudante</b>	<b>Faqui Juma Afai</b>
<b>Outros</b>	

**3. RESUMO DO ENCONTRO**

No dia 09/04/24 o estudante mandou o resumi da revisão bibliográfica para o supervisor via email.

**ANEXO 1- Acta de encontros****Tabela A1-4: Acta de encontros de dia 26/04/2024****UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE****FACULDADE DE ENGENHARIA****DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA****ACTA DE ENCONTROS**

<b>REFERÊNCIA DO TEMA:</b>	<b>2024ELEPD19</b>	<b>Data:</b>	<b>26/04/24</b>
----------------------------	--------------------	--------------	-----------------

**1. AGENDAS**

Discussão das possíveis soluções para os problemas identificados.

**2.PRESENÇAS**

<b>Supervisor</b>	<b>Prof Doutor Zacarias Chilengue,eng</b>
<b>Estudante</b>	<b>Faqui Juma Afai</b>
<b>Outros</b>	

**ANEXO 1- Acta de encontros****Tabela A1-5: Acta de encontros de dia 26/04/2024**

No dia 26/04/24, o estudante teve um encontro virtual usando a plataforma google Meet com o docente supervisor, durante o encontro, discutiram-se as possíveis soluções para os problemas destacados no terreno.

**4. RECOMENDAÇÕES**

O supervisor recomendou que algumas ideias fossem consideradas nas propostas para trabalhos futuros e nas conclusões.

**5. OBSERVAÇÕES**

As recomendações do supervisor foram acatadas e as ideias discutidas na reunião foram levadas em consideração.

**6.DATA DO PROXIMO ENCONTRO****01/06/24**

## ANEXO 2- Relatório de progresso

## Tabela A2-6: Relatório de progresso



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Relatório De Progresso

REFERÊNCIA DO TEMA:	2024ELEPD19
---------------------	-------------

## 1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

ACTIVIDADE	PRAZO PREVISTO
1. Correção e análise do tema de TAT	2 semanas
2. Análise da revisão bibliográfica do projecto	3 semanas
3. Propor e analisar as soluções	5 semanas
4. Composição sa parte final do projecto e anexar as peças 5. desenhadas.	2 semanas

**ANEXO 2- Relatório de progresso****Tabela A2-7: Relatório de progresso****CONTROLO DE EXECUÇÃO**

<b>2</b>	<b>01/05/2024</b>	<b>100</b>		
<b>3</b>	<b>02/05/2024</b>	<b>95</b>		
	<b>24/05/2024</b>	<b>99</b>		
<b>4</b>	<b>01/06/20241</b>	<b>100</b>		

### ANEXO 3- Válvula do compressor



*Figura A3-8: Circuito de Potência actual*

*Fonte: Manual PTA*

**ANEXO 4- Painel elétrico do sistema de compressor**

*Figura A4-9: Painel elétrico do compressor*

**ANEXO 5- contactoresI elétrico do sistema de compressor**

figura A5-10: Contactores eléctricos

**ANEXO 6- Componentes internos do compressor**

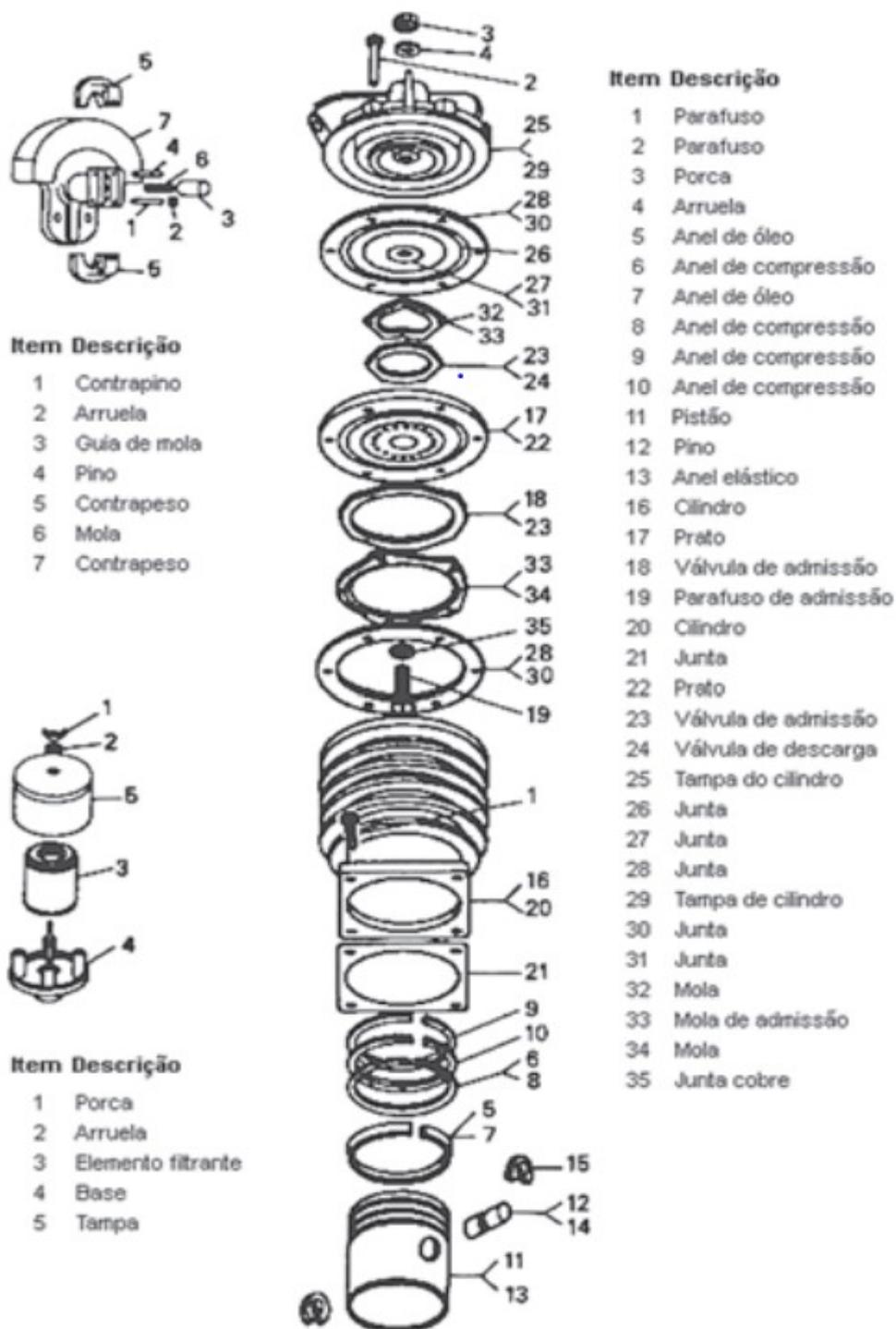


figura A6-11: Detalhes interno do compressor

Fonte: Manual do PTA

## ANEXO 7- Componentes dimensionados no projecto



figura A7.1-12: Disjuntor Motor QFI2C

Fonte: Catalogo da Schneider,2024



figura A7.2-12: Carcaça do Disjuntor Motor QFIIC

Fonte: Catalogo da Schneider,2024



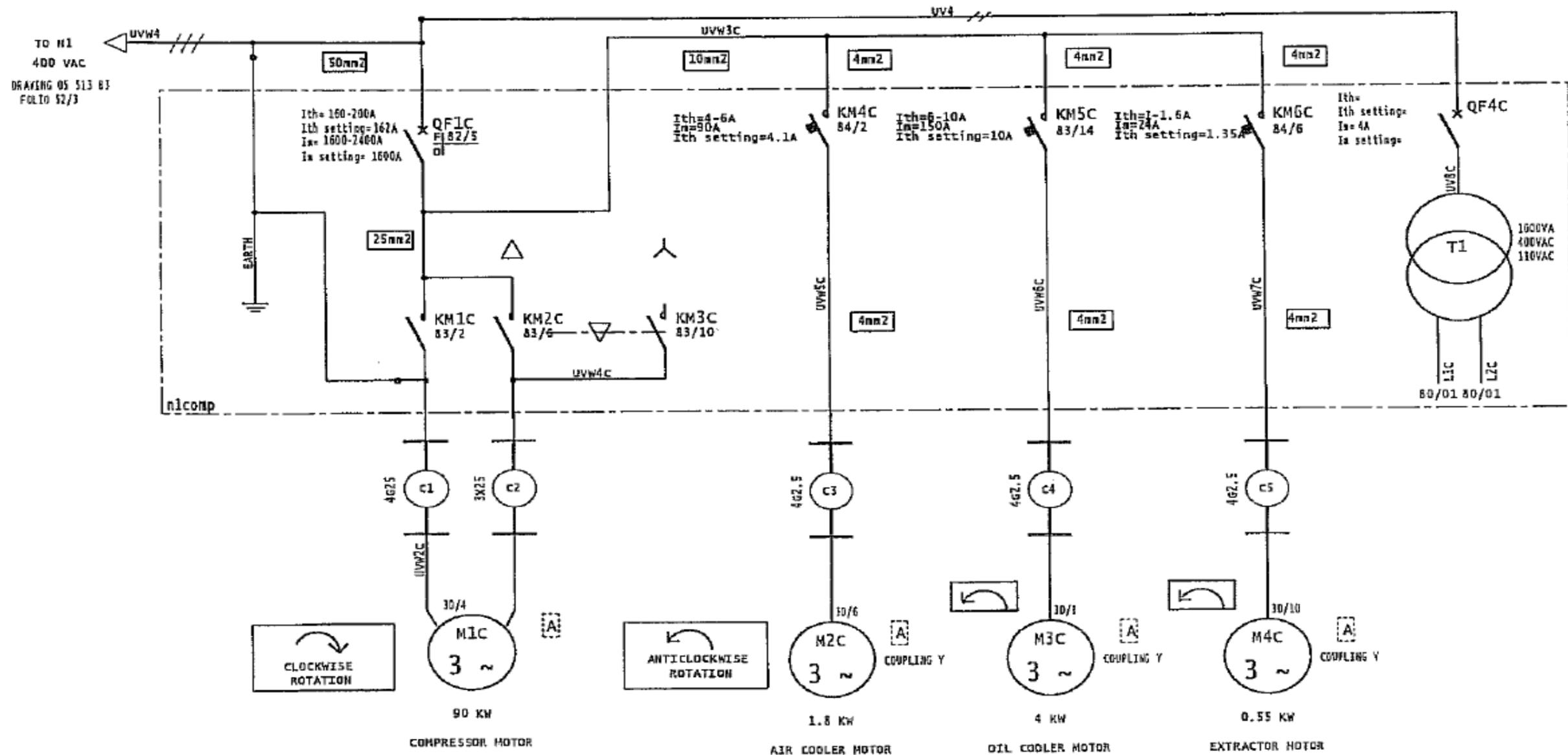
figura A7.3-12: Unidade de disparo micrológica

Fonte: Catalogo da Schneider,2024



ANEXO 8- Circuito de potencia retirado do manual de PTA

AIR COMPRESSOR



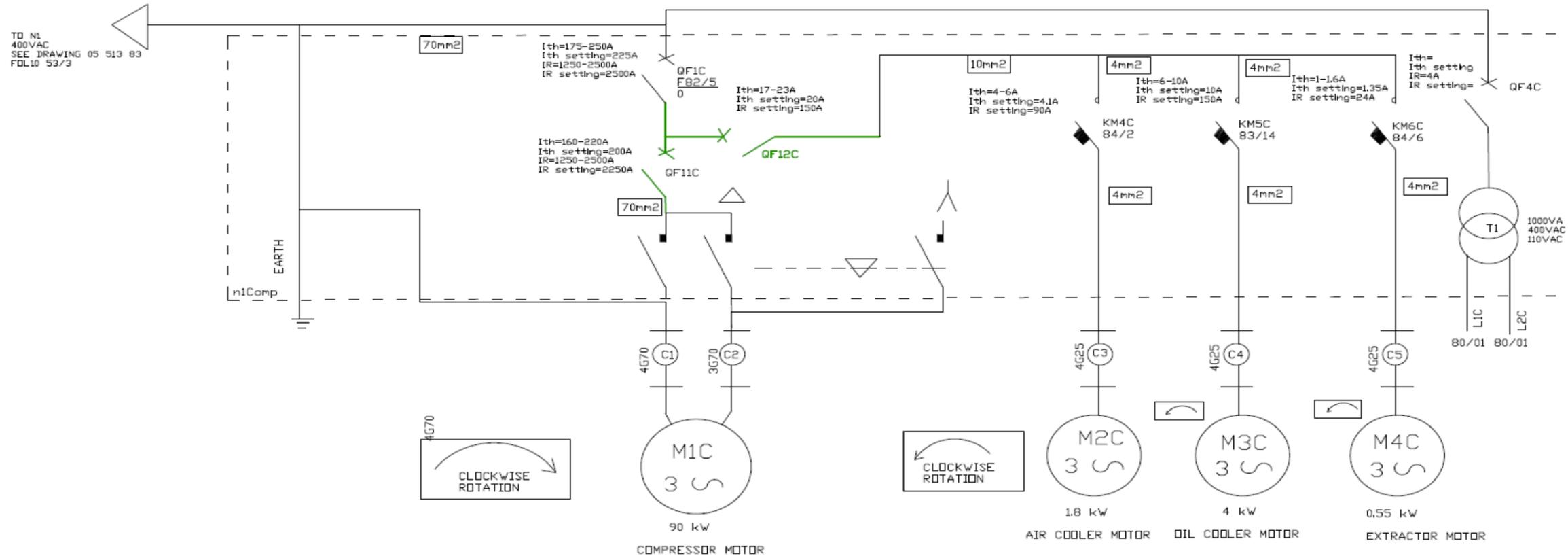
Code n° 06 513 06	Cde: P0495/01										
	Societe ECL 100, rue Chateau 59790 BONCHIN (FRANCE) Tel: (33) 03.20.88.70.70 Fax: (33) 03.20.88.70.99 Telex 132822P	TITRE: COMPRESSOR POWER DIAGRAM COMPRESSOR PANEL	<table border="1"> <tr><td>01</td><td>01/00/00 BELATRE/FINITION</td></tr> <tr><td>02</td><td>01/00/00 BELATRE/FINITION</td></tr> <tr><td>03</td><td>01/00/00 BELATRE/FINITION</td></tr> <tr><td>04</td><td>01/00/00 BELATRE/FINITION</td></tr> </table>	01	01/00/00 BELATRE/FINITION	02	01/00/00 BELATRE/FINITION	03	01/00/00 BELATRE/FINITION	04	01/00/00 BELATRE/FINITION
01	01/00/00 BELATRE/FINITION										
02	01/00/00 BELATRE/FINITION										
03	01/00/00 BELATRE/FINITION										
04	01/00/00 BELATRE/FINITION										

figura A8-13: Circuito de potencia do compressor

Fonte: Manual do PTA

ANEXO 9- Circuito de potencia retirado do manual de PTA

AIR COMPRESSOR



Drawer	Date	Surname	Project owner: Mozal	2024ELEPD19
Faqui	18.05.2024	Afai		
Verified	Date	Surname		
Adam		Mahomed		

figura A9-14: Circuito de potencia do compressor

Fonte: Adaptado pelo autor do Manual do PTA