



**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**ESTÁGIO PROFISSIONAL**

*Proposta de implementação de um plano de manutenção preditiva para o sistema de refrigeração chiller na Coca-Cola da Matola-Gare*

**Autor:**

Nunes Fernando Machava

**Supervisora da UEM:**

Eng<sup>a</sup>. Alima Averú

**Supervisora da Empresa:**

Eng<sup>a</sup>. Denyse Tânia Painsane

Maputo, Novembro de 2023



**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**ESTÁGIO PROFISSIONAL**

*Proposta de implementação de um plano de manutenção preditiva para o sistema de refrigeração chiller na Coca-Cola da Matola-Gare.*

**Autor:**

Nunes Fernando Machava

**Supervisor da UEM:**

\_\_\_\_\_  
Eng<sup>a</sup>. Alima Averú

**Supervisor da Empresa:**

\_\_\_\_\_  
Eng<sup>a</sup>. Denyse Tânia Paindane

Maputo, Novembro de 2023



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
M O N D L A N E

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL**

Declaro que o estudante: Nunes Fernando Machava

Entregou no dia \_\_\_/\_\_\_/20\_\_ as \_\_\_ cópias do relatório do seu relatório do estágio profissional  
com a referência: \_\_\_\_\_

Intitulado: *Proposta de implementação de um plano de manutenção preditiva para o sistema de refrigeração chiller na Coca-Cola da Matola-Gare.*

Maputo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_

A Chefe de Secretaria

---



**Proposta de implementação de um plano de manutenção preditiva para o sistema de refrigeração  
chiller na Coca-Cola da Matola-Gare. Nunes Fernando Machava**

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	iv
DEDICATÓRIA .....	v
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	vi
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. Introdução .....	13
1.2. Problemática .....	13
1.3. Problema .....	13
1.4. Justificativa .....	14
1.5. Objectivos .....	14
1.5.1. Objectivo geral.....	14
1.5.2. Objectivos específicos .....	14
1.6. Proposição .....	14
1.7. Pergunta de investigação.....	14
1.8. Metodologia .....	14
1.9. Estrutura do trabalho .....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
2.1. Sistema de refrigeração chiller.....	17
2.1.1. Componentes do sistema de refrigeração .....	20
2.1.1.1. compressor .....	20

2.1.1.2. Separador de óleo.....	23
2.1.1.3. Condensador resfriado a água.....	25
2.1.1.4. Torre de resfriamento.....	26
2.1.1.5. Válvula de expansão electrónica.....	26
2.1.1.6. Separador líquido-vapor.....	27
2.1.1.7. Evaporador inundado.....	27
2.1.1.8. Controle e arranque.....	28
2.1.1.9. Ciclo de refrigeração.....	29
2.1.1.10. Refrigerantes.....	31
2.2. Manutenção predictiva.....	31
2.2.1. Impacto da manutenção.....	31
2.2.2. Conceito da manutenção predictiva.....	32
2.2.3. Implicações financeiras e justificação dos custos.....	32
2.2.3.1. Avaliação da necessidade de monitoria da condição.....	33
2.2.3.2. Justificando os custos da manutenção predictiva.....	34
2.2.4. Técnicas de manutenção predictiva.....	36
2.2.4.1. Monitoria da vibração.....	36
2.2.4.2. Termografia.....	41
2.2.4.3. Tribologia.....	43
2.2.4.4. Ultrassom.....	47
2.2.4.5. Inspeção visual.....	48
3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO.....	52
3.1. Breve historial da empresa Coca-cola em Moçambique.....	52
3.2. Breve apresentação da Empresa.....	53
3.2.1. Estrutura organizacional da Coca-Cola da Matola-Gare.....	55

4. METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA .....	57
4.1. Elaboração do plano de manutenção.....	57
4.1.1. Definição dos objectivos.....	57
4.1.2. Requisitos fundamentais do sistema.....	57
4.1.3. Modo de falha dos equipamentos .....	60
4.1.4. Escolha das técnicas de manutenção preditiva .....	63
4.1.5. Escolha dos equipamentos de medição.....	64
4.1.5.1. Monitoria das vibrações.....	64
4.1.5.2. Termografia.....	66
4.1.5.3. Tribologia.....	70
4.1.5.4. Ultrassom.....	72
4.1.5.5. Inspeção visual.....	73
4.1.6. Treinamento da equipe da manutenção.....	73
4.1.7. Planificação da manutenção.....	73
4.2. Estudos do custo do projecto .....	77
5. APRESENTAÇÃO, DISCUSSÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS .....	78
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	80
6.1. Conclusões.....	80
6.2. Recomendações.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS .....	82

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer à Deus todo-poderoso por me dar saúde e pelas bênçãos que tem me concedido durante a minha caminhada.

Agradeço aos meus pais, Fernando Machava e Cacilda Fenias Tembe, que me trouxeram com todo amor e carinho a este mundo, dedicaram, cuidaram incondicionalmente de mim, despertando ainda na infância a sede pelo conhecimento e a importância deste em minha vida, que me ensinaram a praticar a honestidade, a ter caráter, paciência e a ser um verdadeiro homem.

A supervisora da Faculdade, Engenheira Alima Averú, pela paciência, disposição e orientação que me deu durante a elaboração do presente trabalho.

A supervisora do estágio, Engenheira Denyse Tânia Paindane pela disposição, tempo e atenção que teve em supervisionar e coordenar este trabalho.

A todos professores, amigos, familiares e aqueles que cruzaram em minha vida participando de alguma forma na construção e realização deste tão desejado trabalho.

À empresa Coca-Cola pela oportunidade de estágio que me concedeu, aos seus funcionários, técnicos com que trabalhei e com eles aprendi bastante.

A todos no geral que directa ou indirectamente contribuíram para a materialização deste trabalho.

Meu obrigado a todos!

## **DEDICATÓRIA**

Dedico o presente projecto final do curso aos meus pais Fernando Machava e Cacilda Fenias Tembe que sempre se preocuparam com a minha educação, pois desde cedo mostraram-se aptos a me guiarem durante esta jornada, ajudar na resolução dos meus problemas e pelos cuidados que têm me oferecido.

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Eu, Nunes Fernando Machava, declaro por minha honra que o presente Projecto Final do curso é exclusivamente da minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

---

(Nunes Fernando Machava)

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Equipamentos e processos típicos monitorados por análise de vibração.....	38
Tabela 2 Modo de falha comum de compressores do tipo rotativo. ....	61
Tabela 3 Modos de falha comum de valvula de expansão electrónica. ....	62
Tabela 4 características técnicas monitor de vibrações NK200.....	65
Tabela 5 características técnicas do sensor de vibrações NK25. ....	66
Tabela 6 características técnicas do scanner de temperatura de precisão SUPER-DAQ 1586A..	68
Tabela 7 características técnicas do módulo de alta capacidade 1586-2586. ....	69
Tabela 8 características técnicas de minilab 153. ....	71
Tabela 9 características técnicas do detector de vazamento LD 300. ....	72
Tabela 10 Planilha de inspecção diária do operador.....	74
Tabela 11 Planilha de inspecção semanal do mecânico de manutenção. ....	74
Tabela 12 Planilha de inspecção mensal do mecânico de manutenção. ....	75
Tabela 13 Planilha de inspecção anual do mecânico de manutenção. ....	76
Tabela 14 levantamento de preços. ....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Chiller de parafuso. ....	18
Figura 2 localização dos componentes de um chiller de parafuso.....	18
Figura 3 localização dos componentes de um chiller de parafuso.....	19
Figura 4 Rotores de compressor de parafuso.....	20
Figura 5 Porta de admissão do compressor de parafuso.....	20
Figura 6 Bolsas de vapor refrigerante no compressor de parafuso.....	21
Figura 7 porta de descarga do compressor de parafuso.....	21
Figura 8 ponto de engrenamento de rotores helicoidais do compressor.....	22
Figura 9 deslocamento do ponto de engrenamento do compressor de parafuso.....	22
Figura 10 Descarga do vapor refrigerante pela porta de descarga.....	23
Figura 11 Separador de óleo.....	23
Figura 12 Sistema de fornecimento de óleo.....	24
Figura 13 Condensador resfriado a água.....	25
Figura 14 Válvula de expansão electrónica.....	26
Figura 15 Separador líquido-vapor.....	27
Figura 16 Evaporador inundados de casco e tubo.....	27
Figura 17 Controle e arranque do chiller.....	28
Figura 18 Ciclo de refrigeração do chiller de compressor de parafuso.....	29
Figura 19 Diagrama entalpia x Pressão do refrigerante.....	30
Figura 20 Gráfico do custo de manutenção de uma máquina em função do tipo de manutenção aplicada.....	33
Figura 21 Fluxo de caixa geral típico de um investimento em manutenção preditiva.....	35
Figura 22 Instalações da Coca-Cola da Matola-Gare.....	55
Figura 23 Organograma da Empresa.....	56
Figura 24 Modos de falha de trocadores de calor.....	63
Figura 25 monitor de vibrações.....	65
Figura 26 sensor de vibrações NK25.....	66
Figura 27 scanner de temperatura de precisão SUPER-DAQ 1586A.....	67
Figura 28 módulo de alta capacidade 1586-2586.....	69

Figura 29 Minilab 153. ....	71
Figura 30 detector de vazamento LD 300.....	72

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ETA- estação de tratamento de água

ETAR- estação de tratamento de águas residuais

## RESUMO

Manutenção é o trabalho necessário para manter uma máquina ou equipamento de modo que possa ser usado na sua capacidade total e eficiência durante o máximo de tempo possível. Esta tem como papéis fundamentais, a maximização da disponibilidade de máquinas e equipamentos, e o estabelecimento de condições de trabalho tanto para os operadores, como para a maquinaria e equipamentos. Na Coca-Cola da Matola Gare, empresa orientada a produção de refrigerante e sumos de diversas marcas, um dos processos envolvidos na produção dos seus diversos refrigerantes é a redução da temperatura do xarope a 14°C, antes da sua mistura com outros componentes e seu envio a linha de enchimento. Este feito é conseguido por meio da troca de calor entre o refrigerante e a água proveniente de chiller. A manutenção desta temperatura é essencial para um enchimento desejável das garrafas de refrigerante, o que torna o bom funcionamento do chiller fundamental para o alcance deste objectivo. O trabalho de manutenção deste equipamento é terceirizado e o tipo de manutenção adotada para este é a manutenção correctiva. A realização da manutenção correctiva, não gera resultados favoráveis, devido ao facto de algumas avarias levarem um tempo considerável para a sua resolução, e devido a importância do equipamento para o processo produtivo, o que resulta em perdas significativas para a Empresa. Com vista a prevenir avarias do chiller e consequentemente aumentar a disponibilidade e produtividade deste, surge a necessidade de se implementar um plano de manutenção, que seja capaz de responder as dificuldades enfrentadas no processo de manter a máxima disponibilidade possível dos equipamentos.

Palavras-chave: Manutenção, chiller, produtividade

## **ABSTRACT**

Maintenance is the work required to maintain a machine or equipment so that it can be used at its full capacity and efficiency for as long as possible. This has as fundamental roles, the maximization of the availability of machines and equipment, and the establishment of working conditions both for the operators, as well as for the machinery and equipment. At Coca-Cola of Matola-Gare, a company focused on the production of soft drinks and juices of different brands, one of the processes involved in the production of its different soft drinks is the reduction of the temperature of the syrup to 14°C, before mixing it with other components and sending it the filling line. This feat is achieved through the exchange of heat between the soft drink and the water coming from the chiller. Maintaining this temperature is essential for a desirable filling of the soft drink bottles, which makes the proper functioning of the chiller essential for achieving this objective. The maintenance work for this equipment is outsourced and the type of maintenance adopted for these equipment's is corrective maintenance. Carrying out corrective maintenance does not generate favorable results, due to the fact that some malfunctions take a considerable amount of time to be solved, and due to the importance of the equipment for the production process, this results in significant losses for the Company. In order to prevent chiller breakdown and consequently increase its availability and productivity, there is a need to implement a maintenance plan, which is capable of responding to the difficulties faced in the process of maintaining the maximum possible availability of the equipment.

Keywords: Maintenance, chiller, productivity.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Introdução

Em um mundo como a que estamos inseridos nos dias actuais, sabe-se que as empresas andam numa corrida desenfreada de competitividade diante do mercado, e os fabricantes devem estar sempre em estado de prontidão para responder as violentas demandas do mercado caso contrário podem perder as concorrências para os suas empresas adversárias. Este intento só se consegue com equipamentos e máquinas em estado de produtividade ótimas para operacionalização.

Um mau funcionamento de uma máquina pode ser capaz de afectar toda a linha de produção, e isto pode ser explicado pelos rendimentos indesejados das linhas de produção ao fim de um determinado tempo, ou ainda haver uma produção em que os parâmetros de saída do produto final não são os mesmos conforme previamente fora desenhado pelo engenheiros e técnicos responsáveis destas linhas de produção.

Constitui a chave solucionadora para este fenómeno dentro das empresas a existência de planos de manutenção que possam ser capazes de responder as necessidades específicas de cada equipamento, neste contexto surge a necessidade de se elaborar um plano de manutenção para os chillers da CCBA- Matola Gare, que possa ser capaz de responder as necessidades destes equipamentos no quesito manutenção.

## 1.2. Problemática

Os chillers são equipamentos indispensáveis para o processo produtivo na Coca-Cola da Matola-Gare, a sua paragem resulta na interrupção do processo produtivo, estes têm a função baixar e manter a temperatura do xarope a 14°C para o seu processamento e engarrafamento, o que se consegue através da troca de calor entre o xarope e a água proveniente do chiller. Com o tipo de manutenção adotada para estes equipamentos (manutenção correctiva), sempre ocorrem paragens não programadas e como consequência a Empresa sofre perdas consideráveis.

## 1.3. Problema

Interrupções não programadas do processo produtivo devido a avarias do sistema de refrigeração chiller.

## **1.4. Justificativa**

A proposta de implementação de um plano de manutenção preditiva para o sistema de refrigeração chiller na Coca-Cola da Matola-Gare foi escolhido como tema devido ao prejuízo que a empresa sofre, resultante de avaria destes equipamentos. Outro aspecto importante, foi o facto de nunca antes se ter abordado este conceito em toda a faculdade neste ponto de vista. Por último foi considerada a identificação do autor com o assunto abordado, e a facilidade em colectar dados necessários para a realização do projecto.

## **1.5. Objectivos**

### **1.5.1. Objectivo geral**

Apresentar um plano de manutenção preditiva para o sistema de refrigeração chiller usado na Coca-Cola da Matola-Gare.

### **1.5.2. Objectivos específicos**

- Compreender o funcionamento do sistema de refrigeração chiller usado na Coca-Cola da Matola-Gare;
- Elaborar um plano de manutenção preditiva para o sistema de refrigeração chiller;
- Gerir ordens de serviço para o plano a ser implementado.

## **1.6. Proposição**

Se conseguir-se implementar a proposta do plano de manutenção para o sistema de refrigeração chiller então será possível a minimização das suas avarias.

## **1.7. Pergunta de investigação**

De que forma se pode reduzir as avarias do sistema de refrigeração chiller usado na Coca-Cola da Matola-Gare?

## **1.8. Metodologia**

A condição que determina um trabalho de pesquisa é por ela consistir em ordenar as perguntas de investigação e as estratégias para respondê-las. Neste ponto são descritos os caminhos ou procedimentos importantes que foram utilizados para responder à questão de partida, que são os instrumentos e técnicas de recolha de dados que foram utilizados durante o processo da recolha de informação em campo, assim como o método usado para interpretação da informação recolhida, de modo a construir conclusões segundo o objectivo a ser alcançado.

As metodologias usadas para a elaboração deste projecto foram, a pesquisa-acção e a pesquisa bibliográfica utilizando-se a abordagem qualitativa.

A pesquisa-acção pode ser definida como:

Aquela que, além de compreender, visa intervir na situação, com vistas a modificá-la. O conhecimento visado articula-se a uma finalidade intencional de alteração da situação pesquisada. Assim, ao mesmo tempo que realiza um diagnóstico e a análise de uma determinada situação, a pesquisa-acção propõe ao conjunto de sujeitos envolvidos mudanças que levem a um aprimoramento das práticas analisadas (Severino, 2013).

A preocupação da pesquisa-acção não se limita a descrição da situação a qual o objecto de estudo se encontra, esta inclui a proposição de soluções para a resolução do problema, conforme é efectuado no quarto capítulo do presente projecto.

Considera-se pesquisa bibliográfica com referência a fonte utilizada para a abordagem, e tratamento de assuntos relacionados aos objectivos específicos do projecto.

Conforme Severino (2013) “A pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos, como livros, artigos, teses etc”. As informações que permitem a compreensão do equipamento que constitui o centro do projecto, as técnicas que possibilitam a resolução do problema e a própria resolução do problema são obtidas por meio da pesquisa bibliográfica, sendo que as informações são extraídas de livros, artigos, catálogos e teses.

Segundo Oliveira (2011), a abordagem qualitativa é o “processo de reflexão e análise da realidade através da utilização de métodos e técnicas para a compreensão detalhada do objecto de estudo em seu contexto histórico e ou segundo sua estruturação”.

A abordagem qualitativa refere-se a um conjunto de metodologias, envolvendo, eventualmente, diversas referências epistemológicas. São várias metodologias de pesquisa que podem adotar uma abordagem qualitativa, modo de dizer que faz referência mais a seus fundamentos epistemológicos do que propriamente a especificidades metodológicas (Severino, 2013).

## **1.9. Estrutura do trabalho**

Este projecto é constituído de 6 capítulos, através dos quais dá-se a conhecer o problema enfrentado pela Empresa, até a solução trazida através do presente projecto.

O **capítulo 1** é o capítulo introdutório, onde faz-se a breve explicação da problemática, e da inconveniência da situação atual enfrentada pela Coca-Cola da Matola-Gare com relação aos chillers, passando pela descrição dos objectivos que se pretendem alcançar ao fim do presente projecto.

O **capítulo 2** aborda os conceitos teóricos necessários para a compreensão do objecto de estudo do presente projecto, apresentando os componentes, o funcionamento, e as instruções e recomendações do fabricante.

No **capítulo 3** aborda informações relativas a Empresa, desde o seu historial até a sua estrutura organizacional.

O **capítulo 4** desenrola o processo solucionador, onde faz-se a elaboração do plano de manutenção para o sistema de refrigeração chiller da Coca-Cola da Matola-Gare.

No **capítulo 5** encontra-se a conclusão do trabalho e as recomendações deixadas pelo autor.

No **capítulo 6** apresentam-se as referências bibliográficas tais como: manuais, catálogos, artigos, e websites, dos quais foram extraídas as informações.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Sistema de refrigeração chiller

Segundo Trane (2012, p.2), os chillers de água que usam o ciclo de refrigeração por compressão de vapor variam de acordo com o tipo do compressor utilizado. Compressores alternativos e scroll são normalmente usados em chillers menores. Os compressores rotativos helicoidais (ou de parafuso) são normalmente usados em chillers de tamanho médio. Os compressores centrífugos são normalmente usados em grandes chillers.

Os chillers de água de parafuso podem ser resfriados a ar ou a água, referindo-se ao método de rejeição de calor para a atmosfera. Os chillers de parafuso resfriados a ar e a água estão geralmente disponíveis de 200 a 1.500 kW (Trane, 2012).

O chiller de água de parafuso utiliza um sistema de evaporador de casco e tubo onde o refrigerante evapora dentro do casco e a água flui dentro dos tubos. O compressor é um compressor de parafuso de rotor duplo. Ele usa um motor refrigerado a gás de sucção para operar o compressor. Outro trocador de calor de casco e tubo é usado para o condensador, onde o refrigerante é condensado dentro a casca e a água fluem dentro dos tubos. O refrigerante é medido através do sistema usando uma válvula de expansão eletrônica. Um separador líquido/vapor pode ser usado para aumentar a eficácia do ciclo de refrigeração. Um sistema de suprimento de óleo fornece refrigerante quase isento de óleo às carcaças para maximizar o desempenho na transferência de calor enquanto fornece lubrificação e vedação do rotor para o compressor de parafuso. Um painel de controle também é fornecido no chiller e um starter conecta o motor do chiller ao sistema de distribuição elétrica (Trane, 2012).



Figura 1 Chiller de parafuso.

Fonte: autor

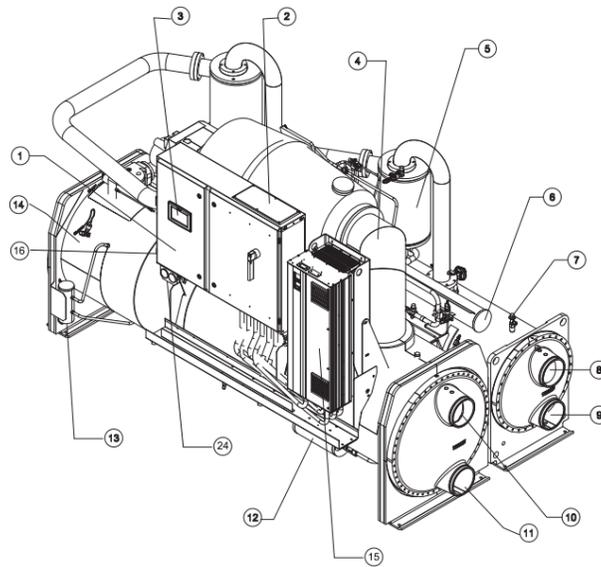


Figura 2 localização dos componentes de um chiller de parafuso.

Fonte: Trane, 2014.

Legenda:

1- Arranque/ painel de controle

2- Cabo de alimentação

3- Interface do rastreador TD7

7- Válvula de alívio HP

8- Saída do condensador

9- Entrada do condensador

4- Linha de sucção

5- Separador de óleo

6- Depósito de óleo

13- Sensor de nível de líquido

14- Evaporador

15- Conversores de frequência adaptativo

16- Cabo de fiação de controle externo

10- Saída do evaporador

11- Entrada do evaporador

12- Bomba de gasolina

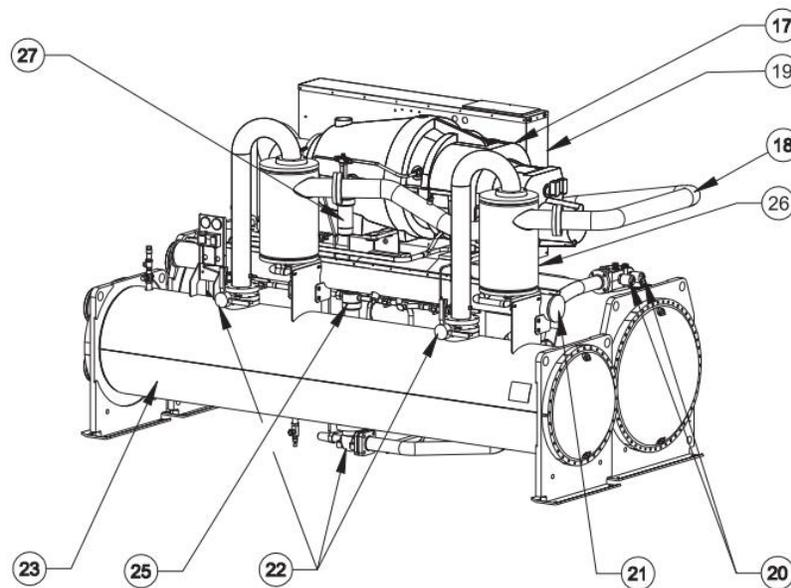


Figura 3 localização dos componentes de um chiller de parafuso.

Fonte:Trane, 2014

Legenda:

17- Compressor

18- Linha de descarga

19- Placa de identificação da unidade

20- Válvula de expansão electrónica

23- condensador

24- Indicador de pressão

25- Filtro de óleo quente

26- Interruptor de corte de alta pressão

21- Depósito de óleo

de duplo estágio

22- Válvula de serviço

27- Filtro de óleo frio

## 2.1.1. Componentes do sistema de refrigeração

### 2.1.1.1. compressor

O chiller de parafuso utiliza 2 rotores tipo parafuso para realizar a compressão processo.

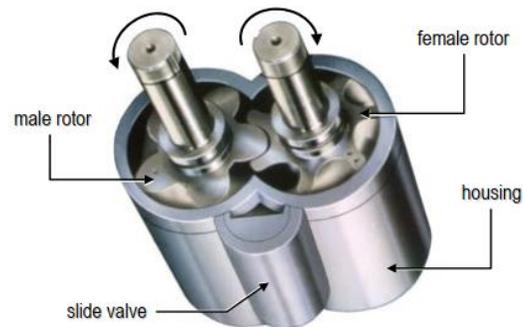


Figura 4 Rotores de compressor de parafuso.

Fonte: Trane, 2012

Os rotores são engrenados e encaixados, com tolerâncias muito estreitas, dentro de uma carcaça. Somente o rotor macho é acionado pelo motor do compressor. Os lóbulos do rotor macho engatam e aciona o rotor fêmea, fazendo com que as 2 peças girem em sentido contrário (Trane, 2012).



Figura 5 Porta de admissão do compressor de parafuso.

Fonte: Trane, 2012.

Na operação do compressor de parafuso, o vapor refrigerante entra na carcaça do compressor através da porta de admissão. A porta de entrada neste exemplo está na parte superior da carcaça do compressor (Trane, 2012).

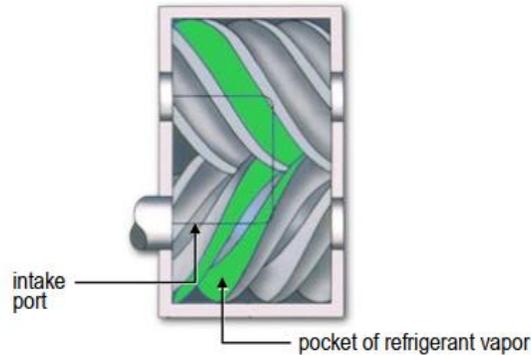


Figura 6 Bolsas de vapor refrigerante no compressor de parafuso.

Fonte: Trane, 2012.

O vapor refrigerante que entra está com baixa pressão de sucção e preenche as ranhuras ou bolsões formadas pelos lóbulos dos rotores. À medida que os rotores giram, eles empurram as bolsões de refrigerante em direção à extremidade de descarga do compressor (Trane, 2012).

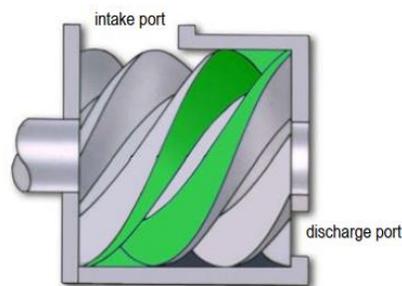


Figura 7 porta de descarga do compressor de parafuso.

Fonte:Trane, 2012

A vista lateral do compressor mostra que após os bolsões do refrigerante viajarem para a direita, passando pela área da porta de entrada, o vapor, ainda na pressão de sucção, é confinado dentro dos bolsões pela carcaça do compressor (Trane, 2012).

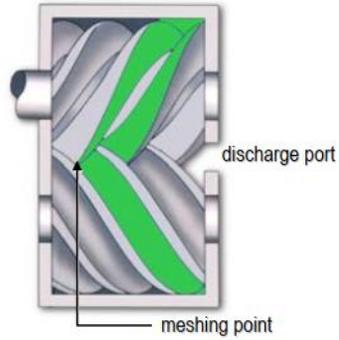


Figura 8 ponto de engrenamento de rotores helicoidais do compressor.

Fonte: Trane, 2014.

A vista de cima do compressor mostra que a rotação do rotor de lóbulos engrenados conduz o vapor do refrigerante preso (para a direita) à frente do ponto de engrenamento (Trane, 2012)..

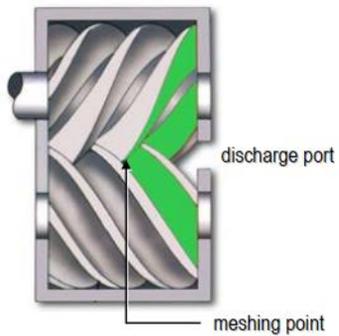


Figura 9 deslocamento do ponto de engrenamento do compressor de parafuso.

Fonte: Trane, 2012.

A rotação contínua dos rotores faz com que o ponto de engrenamento se desloque em direção a extremidade de descarga do compressor, conduzindo o vapor refrigerante preso à frente do ponto de engrenamento. Esta ação reduz progressivamente o volume das bolsas, comprimindo o refrigerante (Trane, 2012).

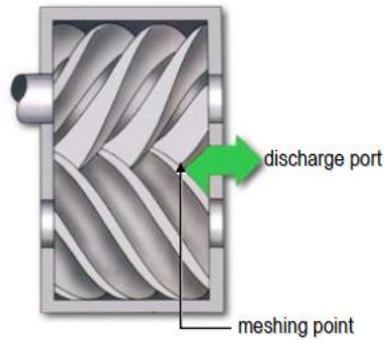


Figura 10 Descarga do vapor refrigerante pela porta de descarga.

Fonte: Trane, 2012

Finalmente, quando as bolsas de refrigerante alcançam a porta de descarga, o vapor comprimido é liberado. À medida que os rotores continuam a girar, o volume dos bolsões são ainda mais reduzidos, espremendo o refrigerante restante das cavidades (Trane, 2012).

#### 2.1.1.2. Separador de óleo

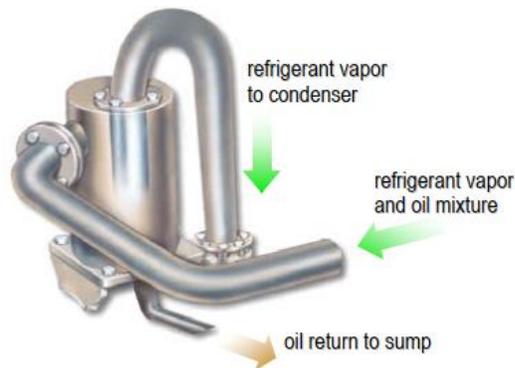


Figura 11 Separador de óleo.

Fonte: Trane, 2012.

O óleo sai do compressor arrastado pelo vapor do refrigerante descarregado.

O óleo é recuperado do refrigerante descarregado por um separador de óleo, que pode ter uma eficiência superior a 99%. O separador consiste em um cilindro vertical em torno de uma passagem de saída. A medida que a mistura de refrigerante e óleo é descarregada nesta passagem, o óleo é forçado para fora pela força centrífuga, acumula-se nas paredes do cilindro e drena para o fundo. Este óleo acumulado é drenado do cilindro e coletado no cárter de óleo localizado próximo à parte inferior do chiller (Trane, 2012).

O cárter de óleo é aquecido para garantir a lubrificação adequada e minimizar a condensação do refrigerante no reservatório

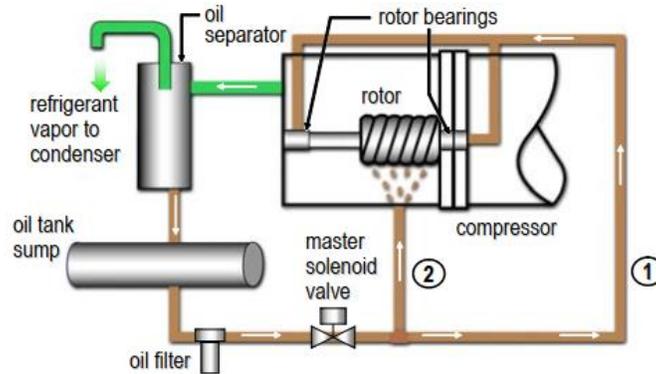


Figura 12 Sistema de fornecimento de óleo.

Fonte: Trane, 2012.

O óleo que se acumula no reservatório de óleo está na pressão de condensação durante a operação do compressor e, portanto, se move constantemente para áreas de pressão mais baixa do chiller. Neste sistema, o óleo flui em 2 caminhos distintos, cada um realizando uma função separada: 1) lubrificação e resfriamento de rolamentos e 2) injeção de óleo no rotor (Trane, 2012).

O óleo sai do cárter e passa por um filtro de óleo e por uma válvula solenoide mestra. A válvula solenoide mestra é usada para isolar o reservatório do lado de baixa pressão do sistema quando o compressor é desligado, evitando a migração de óleo (Trane, 2012).

O primeiro caminho é para lubrificar e resfriar os mancais do compressor. O óleo é direcionado aos rolamentos localizados no rotor e na caixa de rolamento. Cada caixa de rolamento é ventilado para o lado de sucção do compressor para que o óleo que sai dos mancais seja direcionado através dos rotores até o separador de óleo e depois de volta ao cárter de óleo (Trane, 2012).

O segundo caminho é para lubrificar e vedar os rotores do compressor. O óleo é injetado ao longo da parte inferior ou superior dos rotores do compressor dentro da carcaça. Seu principal objetivo é vedar as folgas rotor-rotor e rotor-carcaça (Trane, 2012).

Esta vedação fornece uma barreira entre as cavidades de alta e baixa pressão do compressor. Além disso, o óleo lubrifica o acionamento do arranjo rotor macho-fêmea (Trane, 2012).

### 2.1.1.3. Condensador resfriado a água

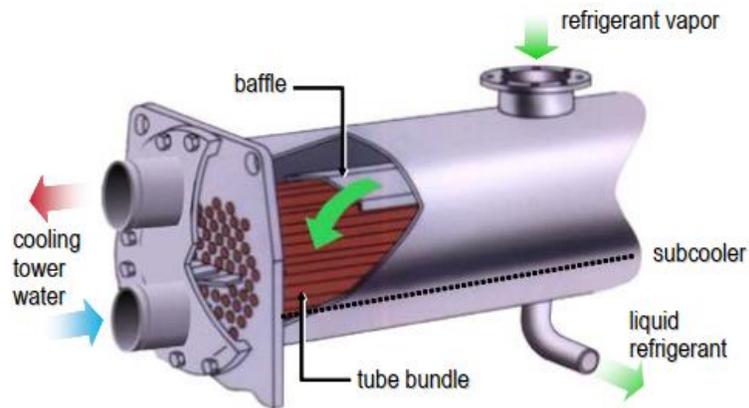


Figura 13 Condensador resfriado a água.

Fonte: Trane, 2012.

O vapor refrigerante de alta pressão, agora desprovido de gotículas de óleo, deixa o separador de óleo e segue para o condensador.

Segundo Trane (2012), em um condensador resfriado a água, a água é bombeada através dos tubos deste trocador de calor de casco e tubo enquanto o vapor refrigerante preenche o espaço do casco circundando os tubos. O condensador possui uma placa defletora que ajuda a distribuir o refrigerante uniformemente dentro do invólucro. À medida que o calor é transferido do vapor refrigerante quente e de alta pressão para a água, o refrigerante condensa nas superfícies dos tubos.

O refrigerante líquido condensado então se acumula na parte inferior do invólucro, onde os tubos inferiores estão agora submersos, resultando em resfriamento adicional, ou subresfriamento, do refrigerante. Este arranjo é chamado de subresfriador integral (Trane, 2012).

A água de resfriamento flui primeiro pelos tubos inferiores do condensador e depois através dos tubos superiores. Isso produz uma diferença de temperatura quase constante entre o refrigerante que se move para baixo e as superfícies do tubo, resultando em uma taxa de transferência de calor uniforme dentro do feixe de tubos (Trane, 2012).

O refrigerante líquido sub-resfriado sai do condensador (sub-resfriador) e flui através da linha de líquido até o dispositivo de expansão.

#### **2.1.1.4. Torre de resfriamento**

Para rejeitar o calor, a água é passada através de uma torre de resfriamento onde uma porção da água evapora, assim resfriando a água remanescente. A efectividade de uma torre de resfriamento particular em transferir calor, depende da taxa do fluxo da água, temperatura da água, e o bulbo húmido do ambiente. A diferença de temperatura entre a água entrando e saindo da torre de resfriamento é a variação. A diferença entre a temperatura saindo e entrando na temperatura de bulbo húmido é a aproximação (Trane, 2012).

#### **2.1.1.5. Válvula de expansão electrónica**



Figura 14 Válvula de expansão electrónica.

Fonte: Trane, 2012.

Trane (2012), diz que, um dispositivo de expansão é usado para manter a diferença de pressão entre o lado de alta pressão (condensador) e baixa pressão (evaporador) do sistema, conforme estabelecido pelo compressor. Esta diferença de pressão permite que a temperatura do evaporador seja baixa o suficiente para absorver o calor da água sendo resfriada, ao mesmo tempo que permite que o refrigerante esteja em uma temperatura alta o suficiente no condensador para rejeitar calor para o ar ou água a temperaturas normalmente disponíveis. O refrigerante líquido de alta pressão flui através do dispositivo expansão, causando uma grande queda de pressão que reduz a pressão do refrigerante para a do evaporador. Esta redução de pressão faz com que uma pequena porção do líquido ferva, resfriando o refrigerante restante até a temperatura do evaporador desejada.

A válvula de expansão eletrônica, além de manter a diferença de pressão nos lados alto e baixo, o A válvula de expansão eletrônica controla a quantidade de refrigerante líquido que entra no evaporador para garantir que ele será completamente vaporizado dentro do evaporador (Trane, 2012).

### 2.1.1.6. Separador líquido-vapor

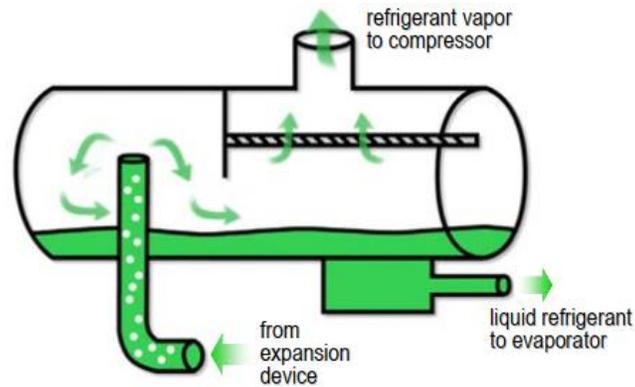


Figura 15 Separador líquido-vapor.

Fonte: Trane, 2012.

A mistura de refrigerante líquido e vapor que sai do dispositivo de expansão entra em um separador líquido-vapor. Aqui o refrigerante líquido assenta no fundo da câmara e o vapor é retirado do topo e direcionado diretamente para lado de sucção do compressor. O refrigerante líquido restante é então encaminhado para o evaporador (Trane, 2012).

Removendo a porção de vapor da mistura antes de chegar ao evaporador o separador aumenta a eficácia do processo de evaporação.

### 2.1.1.7. Evaporador inundado

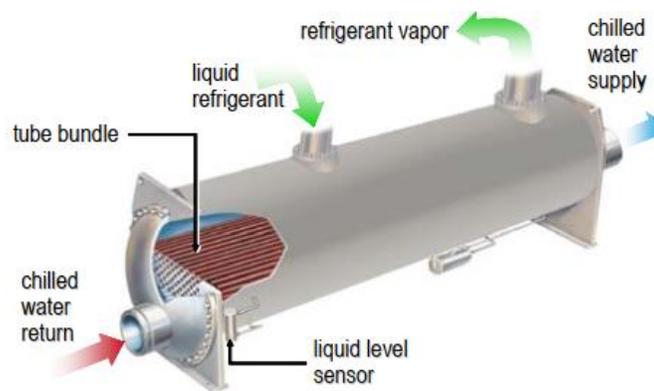


Figura 16 Evaporador inundados de casco e tubo.

Fonte: Trane, 2012.

No evaporador de casco e tubo inundado, refrigerante líquido frio e de baixa pressão entra no sistema de distribuição dentro do casco e é distribuído uniformemente pelos tubos, absorvendo o calor da água relativamente quente que flui através dos tubos. Esta transferência de calor ferve a

película de refrigerante líquido na superfície dos tubos e o vapor resultante é atraído de volta para o compressor. A água resfriada agora pode ser usada em uma variedade de aplicações de conforto ou de processo (Trane, 2012).

Um sensor pode monitorar o nível de refrigerante líquido neste tipo de evaporador e a válvula de expansão eletrônica pode ser usada para medir cuidadosamente o fluxo do refrigerante líquido para o sistema de distribuição do evaporador, a fim de manter um nível relativamente baixo de refrigerante no casco do evaporador (Trane, 2012).

#### **2.1.1.8. Controle e arranque**

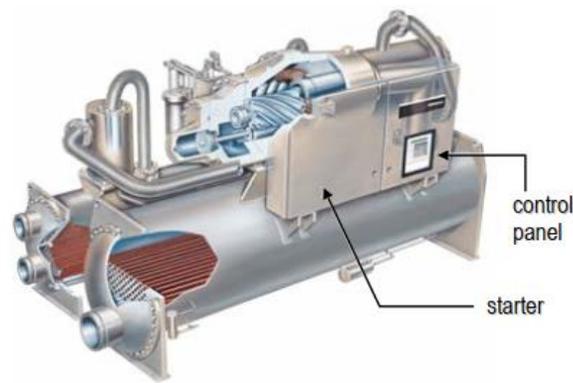


Figura 17 Controle e arranque do chiller.

Fonte: Trane, 2012.

Segundo Trane (2012), um painel de controle baseado em microprocessador é fornecido ao chiller para fornecer controle preciso de água resfriada, bem como monitoramento, proteção e adaptação das funções limite. Esses controles monitoram a operação do chiller e evitam que o chiller opere fora de seus limites. Eles podem compensar condições de operação incomuns enquanto mantém o chiller funcionando modulando os componentes do sistema, em vez de simplesmente desligar devido a uma configuração de segurança. Além disso, quando ocorrem problemas, as mensagens de diagnóstico ajudam na resolução do problema.

Trane (2012), saliente ainda que, este sistema de controle não apenas fornece controle preciso, otimizado e proteção para o chiller, mas permite a interface com um sistema de automação predial para controle integrado do sistema. Em um sistema de água resfriada, o controle ideal é um problema de todo o sistema, não apenas um problema do chiller.

Como os motores do compressor criam uma carga eléctrica tão grande, eles não podem ser arrancados e parados usando um simples interruptor ou plug. Um starter fornece uma ligação entre o motor e o sistema de distribuição eléctrica. Sua função principal é conectar (arrancar) e desconectar (parar) o chiller da linha. O starter também inclui um transformador que fornece energia ao painel de controle do chiller e componentes para realizar a proteção contra sobrecarga e funções de limitação de corrente (Trane, 2012).

Finalmente, a aplicação de um starter de chiller também requer a consideração de um meio de desconexão e proteção contra curto-circuito.

### 2.1.1.9. Ciclo de refrigeração

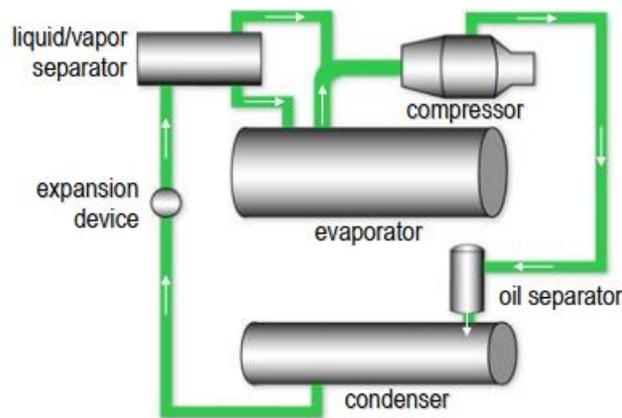


Figura 18 Ciclo de refrigeração do chiller de compressor de parafuso.

Fonte: Trane, 2012.

De acordo com Trane (2012), o vapor do refrigerante sai do evaporador e flui para o compressor, onde é comprimido a uma pressão e temperatura mais altas. O óleo é removido do vapor refrigerante no separador de óleo e o refrigerante viaja para o condensador enquanto o óleo é recirculado de volta para o compressor.

No condensador, o vapor refrigerante rejeita calor para a água ou para o ar e sai como um líquido sub-resfriado. A queda de pressão criada pelo dispositivo de expansão faz com que uma porção do refrigerante líquido evapore e a mistura resultante de refrigerante líquido e vapor entra no separador líquido-vapor. Aqui o vapor é separado da mistura e direcionado diretamente para o lado de sucção do compressor e o refrigerante líquido restante entra no evaporador (Trane, 2012).

No evaporador, o refrigerante líquido ferve à medida que absorve o calor da água. O vapor resultante é atraído de volta ao compressor para repetir o ciclo.

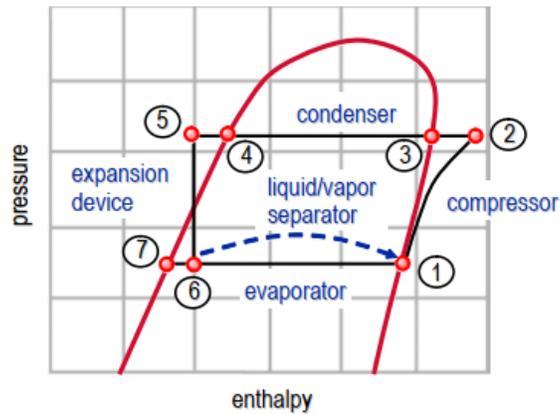


Figura 19 Diagrama entalpia x Pressão do refrigerante.

Fonte: Trane, 2012.

O ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor para uma chiller de água de parafuso pode ser plotado em um gráfico de entalpia-pressão.

O refrigerante sai do evaporador como vapor saturado e flui para a extremidade de sucção do compressor onde entra no compartimento do motor resfriado a gás de sucção. Aqui o refrigerante flui e resfria o motor, então entra na câmara de compressão. O vapor refrigerante é comprimido no compressor para uma pressão e temperatura alta. A entrada de energia para o motor e o compressor é transmitido ao refrigerante como superaquecimento. Vapor refrigerante superaquecido sai do compressor e entra no condensador (Trane, 2012).

A água que flui através do condensador absorve o calor do refrigerante quente e de alta pressão. Esta redução no conteúdo de calor do vapor refrigerante faz com que ele baixe a temperatura, condense em líquido e sub-resfrie ainda mais antes de sair do condensador para ir até o dispositivo de expansão (Trane, 2012).

A queda de pressão criada pelo processo de expansão faz com que uma parte do refrigerante líquido evapore. O refrigerante em evaporação absorve calor do refrigerante líquido restante. A mistura resultante de líquido frio e vapor refrigerante entra no separador de líquido-vapor. Aqui o vapor é separado da mistura e direcionado diretamente para o lado de sucção do compressor e o refrigerante líquido restante entra no evaporador (Trane, 2012).

O refrigerante líquido frio de baixa pressão entra no sistema de distribuição no casco do evaporador e é distribuído pelos tubos no feixe de tubos do evaporador, absorvendo o calor da água que flui através dos tubos. Esta transferência de calor ferve o filme de refrigerante líquido nas superfícies do tubo e o vapor resultante é puxado de volta para o compressor para repetir o ciclo (Trane, 2012).

#### **2.1.1.10. Refrigerantes**

Segundo Trane (2012), os fabricantes estão continuamente melhorando seus projetos de chillers de parafuso. Novos chillers precisam ser projetados em torno das características do refrigerante. Hoje existem 5 fortes candidatos para uso com chillers de parafuso de deslocamento positivo. Eles são HCFC-22, HFC-134a, HFC-404a, HFC-407c e HFC-410a.

## **2.2. Manutenção predictiva**

### **2.2.1. Impacto da manutenção**

Segundo Mobley (1943), os custos de manutenção são uma parte importante dos custos operacionais totais de todas as instalações de fabricação ou de produção. Dependendo da indústria específica, os custos de manutenção podem representar entre 15 e 60 por cento do custo dos bens produzidos.

Até recentemente, a gerência de nível médio e corporativo ignorava o impacto da operação de manutenção na qualidade do produto, custos de produção e, mais importante, no lucro final. A opinião geral tem sido “Manutenção é um mal necessário” ou “Nada pode ser feito para melhorar os custos de manutenção” (Mobley, 1943).

O desenvolvimento de instrumentação baseada em microprocessador ou computador que pode ser usado para monitorar a condição operacional dos equipamentos das instalações, máquinas e sistemas fornecem os meios para gerenciar a operação de manutenção. Esta instrumentação forneceu os meios para reduzir ou eliminar reparos desnecessários, evitar falhas catastróficas da máquina e reduzir o impacto negativo da operação de manutenção na lucratividade das fábricas e fábricas (Mobley, 1943).

### **2.2.2. Conceito da manutenção predictiva**

Segundo Higgins (2002) a manutenção predictiva não é uma panacéia para todos os factores que limitam o desempenho total da planta. Na verdade, não pode afectar directamente o desempenho da planta. Na verdade não pode afectar directamente no desempenho da planta. A manutenção predictiva é uma técnica de gestão que em termos simples, utiliza a avaliação regular das condições operacionais reais dos equipamentos da planta, dos sistemas de produção e das funções de gerenciamento da planta para otimizar a operação total da planta.

O Higgins (2002) acrescenta que, a saída de um programa de manutenção predictiva são dados. Até que sejam tomadas medidas para resolver os desvios ou problemas revelados pelo programa, o desempenho da planta não poderá ser melhorado. Portanto, uma filosofia de gestão comprometida com a melhoria da planta, deve existir antes de qualquer benefício possa ser obtido. Sem o comprometimento e apoio absoluto da alta administração e da cooperação total de todas as funções da planta, um programa de manutenção predictiva não pode fornecer meios para resolver o mau desempenho da planta.

### **2.2.3. Implicações financeiras e justificação dos custos**

Para Mobley (1943), os benefícios de um investimento em um sistema de monitoria da condição são difíceis de avaliar, especialmente como um simples exercício de custo-benefício, porque, simplesmente, as variáveis são muito mais intuitivas e menos mensuráveis do que as características puras de desempenho da máquina.

A justificativa final para um sistema de monitoria da condição é onde uma máquina é totalmente dependente de um único componente, como um rolamento ou caixa de velocidade, e a falha deste componente criaria uma parada prolongada e não programada afetando grandes áreas da fábrica. O custo de tal evento poderia muito bem estar na faixa dos milhões, e o efeito nas vendas e satisfação do cliente não quantificável (Mobley, 1943).

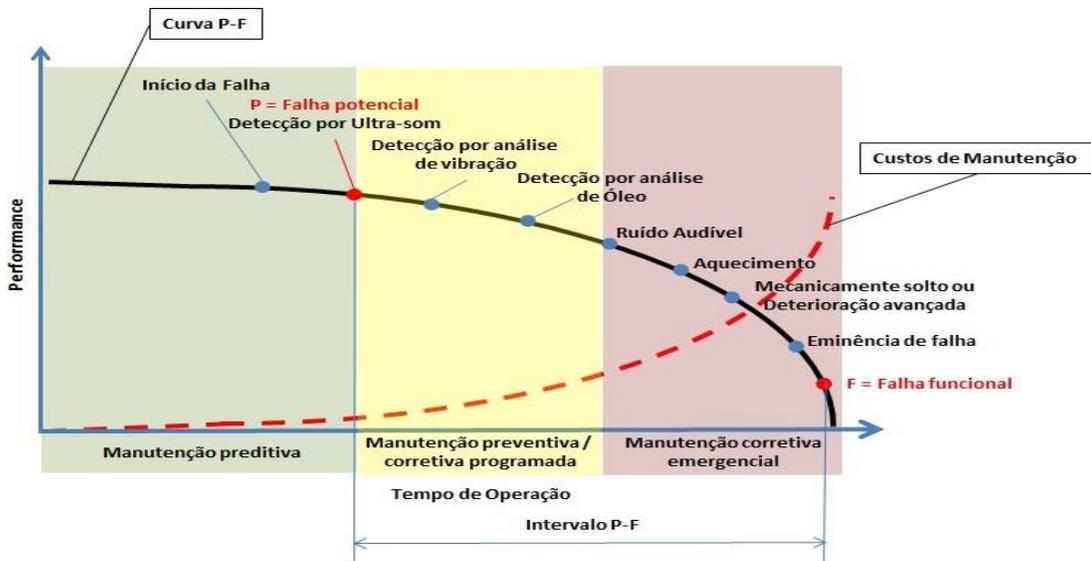


Figura 20 Gráfico do custo de manutenção de uma máquina em função do tipo de manutenção aplicada.

Fonte: Tractian.

### 2.2.3.1. Avaliação da necessidade de monitoria da condição

De acordo com Mobley (1943), a avaliação de qualquer engenheiro de manutenção da condição da fábrica é influenciada por uma variedade de observações práticas e análises de dados de desempenho da máquina, como o seguinte:

- Frequência de avarias;
- Aleatoriedade de avarias;
- Necessidade de reparos repetitivos;
- Número de produtos defeituosos produzidos;
- Perigos potenciais ligados ao mau desempenho;
- Qualquer consumo excessivo de combustível durante a operação;
- Qualquer rendimento reduzido durante a operação;

Essas e muitas outras dicas podem sugerir que um determinado item da fábrica requer monitoramento cuidadoso, manutenção preventiva planejada de rotina, melhor procedimentos de reparo ou alguma combinação de todas essas abordagens para garantir um nível razoável de disponibilidade operacional. Os sintomas de engenharia podem, no entanto, raramente ser quantificado com precisão em termos de perda financeira (Mobley, 1943).

O status da engenharia de manutenção em muitas organizações é tal que qualquer justificativa financeira, por mais precisa que seja, pode ser sem sentido. O departamento de manutenção na maioria das empresas geralmente é classificado como um custo indireto. Isso significa que uma quantia fixa é alocada para manutenção a cada ano como um orçamento, que cobre o custo dos salários do pessoal, peças sobressalentes, itens consumíveis e assim por diante (Mobley, 1943).

### **2.2.3.2. Justificando os custos da manutenção predictiva**

#### **2.2.3.2.1. Custos de instalação**

Para Mobley (1943), Parte do custo de capital será claramente definido pelo preço do equipamento e qualquer custo de instalação especializada. Também podem ser necessárias alterações preliminares, tais como criação de acesso, instalação de fundações, cobertura ou proteção, fornecimento de energia, acesso para manutenção, e assim por diante. Alguns ou todos podem estar sujeitos a subsídios de desenvolvimento ou outro incentivo financeiro, assim como o custo de consultoria antes, durante ou após a instalação. Isso pode incluir o custo de produzir uma justificativa financeira do projeto.

O custo da perda de produção durante a instalação pode ser evitado se o equipamento for instalado durante alterações normais do produto ou períodos de desligamento; porém, em um processo contínuo isso pode ser outra sobrecarga a ser adicionada ao investimento de capital inicial (Mobley, 1943).

Finalmente, pode ser necessário enviar funcionários para um curso de treinamento, que não foi incluído no preço do equipamento. O custo do tempo da equipe e do próprio curso pode ser compensado por bolsas de treinamento em algumas áreas, que devem ser investigadas. (Mobley, 1943).

#### **2.2.3.2.2. Custos de operação**

Uma vez que a unidade tenha sido instalada e comissionada, o maior custo provavelmente será sua exigência de pessoal. Se a equipe de engenharia existente tiver habilidade e treinamento suficientes, e o desempenho melhorado da fábrica reduz suficientemente sua carga de trabalho, então a operação do equipamento e o monitoramento de seus resultados podem ser absorvidos sem custo adicional. Esse fator de economia de tempo tem sido frequentemente ignorado em justificativa do caso para técnicas de manutenção melhoradas. Em retrospecto, no entanto, provou

ser um dos principais benefícios da instalação de um sistema de monitoramento baseado em computador (Mobley, 1943).

O custo contínuo da mão de obra necessária para executar o projeto de monitoria de condição deve ser avaliado cuidadosamente, e equilibrado em relação à economia potencial de mão de obra à medida que o desempenho melhora. Outros custos contínuos também devem ser considerados, como o combustível ou consumíveis necessários à unidade; no entanto, esses custos são normalmente pequenos e tendências recentes mostraram que os custos de consumíveis tendem a diminuir à medida que mais empresas recorrerem a este tipo de equipamento (Mobley, 1943).

A combinação dos custos iniciais e economias acima mencionados deve resultar em uma saída de caixa para investimento em equipamentos e treinamento, mas isso logo atravessa o ponto de equilíbrio dentro de um período aceitável. Deve então nivelar-se em um nível constante de lucro, o que representa um retorno satisfatório sobre o investimento inicial, uma vez que custos de manutenção reduzidos, além de melhor desempenho do equipamento, são percebidos como ganhos financeiros gerais (Mobley, 1943).

A Figura abaixo indica como o fluxo de caixa do investimento em monitoria de condição se move através o ponto de equilíbrio em uma região de ganho financeiro positivo constante.

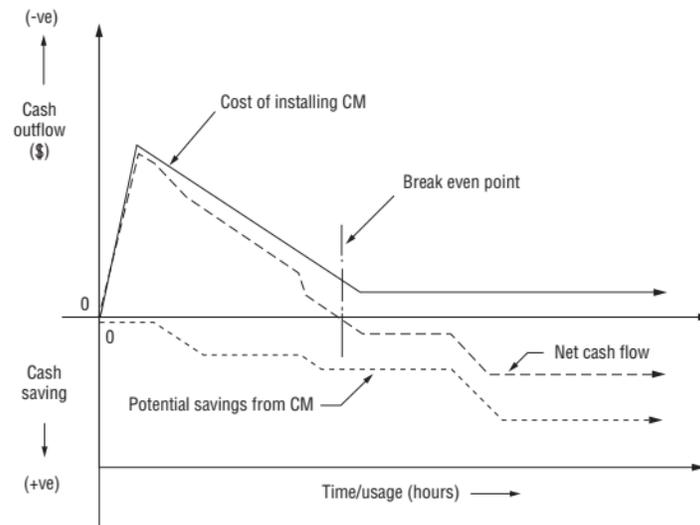


Figura 21 Fluxo de caixa geral típico de um investimento em manutenção preditiva.

Fonte: MOBLEY, 1943

### **2.2.3.2.3. Conclusão**

Concluindo, pode-se dizer que a justificativa financeira para a instalação de qualquer item de equipamento de monitoria de condição deve ser baseado em um plano de negócios firme, onde o custo de investimento é compensado por benefícios financeiros quantificados; no entanto, a imprecisão dos fatores disponíveis para quantificação, a falta de benefícios tangíveis firmes e o ambiente financeiro em que os engenheiros de manutenção operam, conspiram para tornar a construção de tal plano difícil (Mobley, 1943).

Até que o engenheiro receba as facilidades para coletar e analisar dados de desempenho com precisão e consistência; até que os departamentos de engenharia e manufatura estejam integrados em um sistema de custeio padrão preciso; e até a função manutenção de engenharia receba o status de um centro de lucro, então a justificativa financeira nunca se tornará a ciência exata que deveria ser. Em vez disso, o processo mais normal é aquele em que um engenheiro toma a decisão de instalar um sistema de monitoria da condição, e depois sustenta com números precisos baseados em dados imprecisos (Mobley, 1943).

### **2.2.4. Técnicas de manutenção preditiva**

Uma variedade de tecnologias pode e deve ser usada como parte de um plano abrangente de manutenção preditiva. Como os sistemas mecânicos ou as máquinas representam a maioria dos equipamentos da fábrica, o monitoramento de vibração é geralmente a componente chave da maioria programas de manutenção preditiva, no entanto, a monitoria da vibração não pode fornecer todas informações necessárias para um plano de manutenção preditiva bem-sucedido. Essa técnica é limitada a monitoria da condição mecânica e não de outros parâmetros críticos necessários para manter a confiabilidade e a eficiência da maquinaria. É uma ferramenta muito limitada para monitorar processos críticos e eficiências de máquinas e outros parâmetros que podem limitar severamente a produtividade e a qualidade do produto.

#### **2.2.4.1. Monitoria da vibração**

De acordo com Higgins (2002) a análise de vibração é a técnica dominante usada para gerenciamento de manutenção preditiva. Desde que a maior população de equipamentos típicos de uma planta é mecânica, esta técnica tem a mais ampla aplicação e benefícios em um programa total da planta. Esta técnica utiliza o ruído ou vibração criada por equipamentos mecânicos e, em alguns casos, por sistemas da planta para determinar sua condição real.

Higgins (2002) segue dizendo, os sistemas comercialmente disponíveis são capazes de fazer o monitoramento de rotina, tendências e avaliação da condição mecânica de todos os equipamentos mecânicos em uma planta típica. Este tipo de programa pode ser usado para programar a manutenção em todos os equipamentos mecânicos de processo rotativos e alternativos e na maioria dos equipamentos contínuos de processo. O monitoramento da vibração das máquinas da fábrica pode fornecer uma correlação directa entre a condição mecânica e os dados de vibração registrados de cada máquina da fábrica. Qualquer degradação da condição das máquinas da planta pode ser detectada usando técnicas de monitoramento de vibração. Usada de forma correcta a análise de vibração pode identificar componentes de máquinas degradantes específicos ou o modo de falha das máquinas da planta antes que ocorram danos graves.

#### **2.2.4.1.1. Aplicação da análise de vibrações**

Para Mobley (1943), o uso da análise de vibração não se restringe à manutenção preditiva. Essa técnica também é útil para aplicações de diagnóstico. Monitoramento e análise de vibração são as principais ferramentas de diagnóstico para a maioria dos sistemas mecânicos usados para fabricar produtos. Quando usados corretamente, os dados de vibração fornecem os meios para manter condições operacionais ideais e eficiência de sistemas críticos da fábrica.

A análise de vibração pode ser usada para avaliar o fluxo de fluido através de tubos ou vasos, para detectar vazamentos e para executar uma variedade de funções de teste não destrutivo que melhoram a confiabilidade e desempenho de sistemas críticos da planta.

<b>Centrífugo</b>	<b>Alternativo</b>	<b>Processo contínuo</b>
Bombas	Bombas	Máquina de lingotamento contínuo
Compressores	Compressores	Linha de galvanização
Sopradores	Motores a diesel	Linha de recozimento
Ventiladores	Motores a gasolina	Máquina de produção de papel
Motor/geradores	Cilindros	Linha de produção de latas
Chillers	Outras máquinas	Linhas de decapagem
Moinho de esferas		Impressora
Misturadores	Trem de máquinas	Linhas de produção de cobertura

Caixas de velocidade	Máquina de perfuração	Linhas de produção de produtos químicos
Centrifugador	Fresadora	Linha de produção de petróleo
Transmissões	Centro de usinagem	Linha de produção de poliéster
Turbinas	Máquina de trabalhar metal	Linha de produção de Nylon
Secadores rotativos	Laminadores	Linha de produção de pavimento
Motores eléctricos	Outros equipamentos	Linha de produção de neopreno
Todas máquinas rotativas		Linhas de processo contínuo

Tabela 1 Equipamentos e processos típicos monitorados por análise de vibração.

Fonte:MOBLEY, 1943

#### **2.2.4.1.2. Equipamentos de medição de vibração**

##### **Transdutor**

O transdutor mais comumente usado para obter medições de vibração é um acelerômetro. Ele incorpora filmes piezoelétricos (isto é, sensíveis à pressão) para converter energia mecânica em sinais elétricos. O dispositivo geralmente incorpora um peso suspenso entre dois filmes piezoelétricos. O peso se move em resposta à vibração e comprime os filmes piezoelétricos, que enviam um sinal elétrico a cada vez o peso o aperta (Mobley, 1943).

##### **Analísadores portáteis de vibração**

O analisador de vibração portátil incorpora um microprocessador que permite converter matematicamente o sinal elétrico em aceleração por unidade de tempo, realizar uma transformada rápida de Fourier, e armazenar os dados. Pode ser programado para gerar alarmes e exibir os dados. Os dados armazenados pelo analisador podem ser baixados para um PC ou um computador mais poderoso para realizar análises mais sofisticadas, armazenamento e recuperação de dados e geração de relatórios (Mobley, 1943).

#### **2.2.4.1.3. Interpretação dos dados de vibração**

De acordo com Mobley (1943), a chave para usar a análise de assinatura de vibração para manutenção preditiva, diagnóstico, e outras aplicações é a capacidade de diferenciar entre perfis de vibração normal e anormal. Muitas vibrações são normais para uma peça rotativa ou em movimento de máquina. Problemas específicos com máquinas geram vibrações anormais, mas

identificáveis. Exemplos disso são parafusos soltos, desalinhados eixos, rolamentos gastos, vazamentos e fadiga incipiente do metal.

Mobley (1943), acrescenta ainda que, a manutenção preditiva usando análise de assinatura de vibração é baseada nos seguintes fatos, que formam a base dos métodos usados para identificar e quantificar as causas de falha:

- Todos os problemas comuns de máquinas e modos de falha têm componentes de vibração de frequência distintas que podem ser isolados e identificados.
- Uma assinatura de vibração do domínio da frequência é geralmente usada para análise porque consiste em picos discretos, cada um representando uma vibração específica fonte.
- Existe uma causa, denominada função de forçamento, para cada componente de frequência na assinatura de vibração de um trem-máquina.
- Quando a assinatura de uma máquina é comparada ao longo do tempo, ela se repetirá até algum evento muda o padrão de vibração (ou seja, a amplitude de cada componente de vibração permanecerá constante até que a dinâmica de operação do trem-máquina mude).

Embora um aumento ou diminuição na amplitude possa indicar a degradação do trem-máquina, nem sempre é esse o caso. Variações na carga, práticas operacionais e uma variedade de outras alterações normais também alteram a amplitude de uma ou mais componentes de frequências dentro da assinatura de vibração. Além disso, é importante observar que uma amplitude menor não indica necessariamente uma melhoria na condição mecânica do trem de máquinas. Portanto, é importante que as fontes de todas variações de amplitude sejam claramente compreendidas (Mobley, 1943).

#### **2.2.4.1.5. Técnicas de análise de vibrações**

##### **Tendência**

A maioria dos programas de monitoria da vibração depende fortemente do histórico de tendências de amplitude do nível de vibração como sua ferramenta de análise dominante. Esta abordagem é válida se os dados de vibração são normalizados para remover a influência de variáveis, como carga, nos níveis de energia vibratória registrados. Dados de tendência válidos fornecem uma indicação de mudança ao longo do tempo dentro da máquina monitorada. Uma mudança na

amplitude da vibração indica uma mudança correspondente na condição de operação que pode ser útil ferramenta de diagnóstico (Mobley, 1943).

### **Análise comparativa**

A análise comparativa compara diretamente dois ou mais conjuntos de dados para detectar mudanças na condição operacional de sistemas mecânicos ou de processo. Esse tipo de análise é limitado à comparação direta da assinatura do domínio do tempo ou domínio da frequência gerada por uma máquina. O método não determina a dinâmica real do sistema. Normalmente, os seguintes dados são usados para essa finalidade: dados de linha de base, condição conhecida da máquina ou dados de referência industrial (Mobley, 1943).

Observe que muito cuidado deve ser tomado ao comparar os dados de vibração das máquinas com os padrões da indústria ou dados de linha de base. O analista deve certificar-se de que a frequência e a amplitude sejam expressas em unidades e velocidades de execução consistentes com o padrão ou dados básicos. O uso de um sistema baseado em microprocessador com software que converte e exibe automaticamente os termos desejados resolve esse problema (Mobley, 1943).

### **Análise de assinatura**

A assinatura completa da Transformada rápida de Fourier é geralmente aplicada ao espectro de vibração que identifica exclusivamente uma máquina, componente, sistema ou subsistema em uma condição e tempo de operação específicos. Ele fornece dados específicos sobre cada componente de frequência dentro da faixa de frequência geral de um trem-máquina. A faixa de frequência típica pode ser de 0,1 a 30.000 Hz (Mobley, 1943).

Em sistemas de microprocessadores, a assinatura é formada dividindo-se o total espectro de frequência em componentes únicos, ou picos. Cada linha ou pico representa um componente de frequência específico que, por sua vez, representa um ou mais componentes mecânicos dentro do trem-máquina. Os sistemas típicos de manutenção preditiva baseados em microprocessadores podem fornecer resoluções de assinatura de pelo menos 400 linhas e muitas fornecem 12.800 linhas ou mais (Mobley, 1943).

#### **2.2.4.2. Termografia**

Para Higgins (2002) a termografia é uma técnica de manutenção preditiva que pode ser usada para monitorar a condição de máquinas, estruturas e sistemas de plantas. Este usa instrumentação projectada para monitorar a emissão de energia infravermelha, ou seja, temperatura, para determinar a sua condição operacional. Ao detectar anomalias térmicas, ou seja, áreas mais quentes ou mais frias do que deveriam ser, um pesquisador experiente pode localizar e definir problemas incipientes dentro da planta.

Em adição Higgins (2002) continua dizendo a tecnologia infravermelha baseia-se no facto de que todos os objectos com temperatura acima do zero absoluto emite energia ou radiação. A radiação infravermelha é uma forma dessa energia emitida. As emissões infravermelhas ou abaixo do vermelho são as de comprimento de onda mais curtas de toda a energia irradiada, e são invisíveis sem instrumentação especial. A intensidade da radiação infravermelha de um objecto é função da temperatura da superfície. No entanto, a medição da temperatura utilizando métodos infravermelhos é complicada porque existem três fontes de energia térmica que podem ser detectadas em qualquer objecto: energia emitida pelo próprio objecto, a energia reflectida do objecto e a energia transmitida pelo objecto. Apenas a energia emitida é importante para em um programa de manutenção preditiva. Energias reflectidas e transmitidas distorcerão os dados infravermelhos brutos. Portanto, as energias refletidas e transmitidas devem ser filtradas dos dados adquiridos antes que uma análise significativa possa ser feita.

##### **2.2.4.2.1. Tipos de instrumentos infravermelhos**

###### **Termômetros infravermelhos**

Segundo Higgins (2002), Termômetros infravermelhos ou radiômetros pontuais são projectados para fornecer a temperatura real da superfície em um único ponto relativamente pequeno em uma máquina ou superfície. Dentro de um programa de manutenção preditiva, o termômetro infravermelho no ponto de uso pode ser usado em conjunto com muitos dos instrumentos de vibração baseados em microprocessadores para monitorar a temperatura em pontos críticos nas máquinas da planta ou equipamento.

Higgins (2002) segue dizendo, esta técnica é normalmente usada para monitorar temperaturas da capa de rolamento, verificações pontuais de temperaturas de tubulações de processo e aplicações similares. É limitado no facto de a temperatura representar um único ponto na máquina ou

estrutura. No entanto usado em conjunto com os dados de vibração os dados infravermelhos no ponto de uso pode ser uma ferramenta valiosa.

### **Scanners de linha**

Este tipo de instrumento infravermelho fornece uma varredura unidimensional ou linha de radiação comparativa. Embora este tipo de instrumento forneça um campo um pouco maior de vista (ou seja, área da superfície da máquina), ela é limitada em aplicações de manutenção preditiva (HIGGINS, 2002).

### **Imagem infravermelha**

Ao contrário de outras técnicas de infravermelho, a geração de imagens térmicas ou infravermelhas fornece os meios para scanear as emissões infravermelhas de máquinas, processos ou equipamentos completos em um tempo curto. A maioria dos sistemas de imagem funciona como uma câmera de vídeo. O usuário pode visualizar o perfil de emissão térmica de uma ampla área simplesmente olhando através a ótica do instrumento (Higgins, 2002).

Uma variedade de instrumentos de imagens térmicas está disponível no mercado, variando de scanners em preto e branco relativamente baratos a cores, sistemas baseados em microprocessadores. Muitas das unidades mais baratas são projetadas estritamente como scanners e não podem armazenar e recuperar imagens térmicas. A incapacidade de armazenar e recordar dados térmicos anteriores limitam um plano de manutenção preditiva de longo prazo (Higgins, 2002).

#### **2.2.4.2.2. Segurança da termografia infravermelha**

Mobley (1943) afirma que, o equipamento incluído em uma inspeção de termografia infravermelha é quase sempre energizado. Portanto, muita atenção deve ser dada à segurança. As seguintes são as regras básicas de segurança durante a realização de uma inspeção por infravermelho:

- As regras de segurança da fábrica devem ser seguidas em todos os momentos;
- Notifique o pessoal da área antes de entrar na área para digitalização;
- Um eletricista qualificado da área deve ser designado para abrir e fechar todos os painéis;
- Onde for seguro e possível, todos os equipamentos a serem scaneados estarão online e sob carga normal com uma linha de visão clara para o item;

- Equipamentos cujas tampas estão travadas sem um mecanismo de defeito de travamento devem ser desligados quando permitido. Se seguro, suas coberturas de controle devem ser abertas e o equipamento reiniciado.

### **2.2.4.3. Tribologia**

Mobley (1943) define a tribologia como sendo o termo geral que se refere ao design e à dinâmica operacional da estrutura de suporte de rolamento-lubrificação-rotor de máquinas. Várias técnicas de tribologia podem ser usadas para manutenção preditiva: análise de óleo lubrificante, análise espectrográfica, ferrografia e análise de partículas de desgaste.

A análise do óleo lubrificante, como o nome indica, é uma técnica de análise que determina a condição dos óleos lubrificantes usados em equipamentos mecânicos e elétricos. Não é uma ferramenta para determinar a condição operacional de máquinas. Algumas formas de análise de óleo lubrificante fornecerão uma análise quantitativa precisa de elementos químicos individuais, aditivos e contaminantes, contidos no óleo. Uma comparação da quantidade de traços de metais em amostras sucessivas de óleo pode indicar padrões de desgaste de peças banhadas em óleo no equipamento da fábrica e fornecerá uma indicação de iminente falha da máquina (Mobley, 1943).

As principais aplicações para análise espectrográfica ou de óleo lubrificante são controle qualidade, redução dos estoques de óleo lubrificante e determinação do intervalo de troca de óleo com melhor custo-benefício. Os óleos lubrificantes, hidráulicos e dielétricos podem ser analisados periodicamente usando essas técnicas para determinar sua condição. Os resultados desta análise podem ser usados para determinar se o óleo atende aos requisitos de lubrificação da máquina ou da aplicação. Com base nos resultados da análise, os lubrificantes podem ser alterados ou atualizados para atender aos requisitos operacionais específicos (Mobley, 1943).

Mobley (1943) conclui afirmando que, como ferramenta de manutenção preditiva, o óleo lubrificante e a análise espectrográfica podem ser usados para agendar intervalos de troca de óleo com base na condição real do óleo. Em fábricas de médio a grande porte, uma redução no número de trocas de óleo pode representar uma redução anual considerável nos custos de manutenção. A amostragem relativamente barata e o teste podem mostrar quando o óleo em uma máquina atingiu um ponto que justifica a troca.

### **2.2.4.3.1. Análise do óleo lubrificante**

#### **Testes de análise de óleo**

Normalmente, os seguintes testes são conduzidos em amostras de óleo lubrificante:

##### *Viscosidade*

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes do óleo lubrificante. A viscosidade real das amostras de óleo é comparada a uma amostra não utilizada para determinar o afinamento ou espessamento da amostra durante o uso. Viscosidade excessivamente baixa reduzirá a força do filme de óleo, a sua capacidade de impedir o contato metal-metal. Uma viscosidade excessivamente alta pode impedir o fluxo de óleo para locais vitais na estrutura de suporte do mancal, reduzindo sua capacidade de lubrificação (Mobley, 1943).

##### *Contaminação*

A contaminação do óleo por água ou refrigerante pode causar grandes problemas em um sistema de lubrificação. Muitos dos aditivos agora usados na formulação de lubrificantes contêm os mesmos elementos que são usados em aditivos de refrigerante. Portanto, o laboratório deve ter uma análise precisa de novo óleo para comparação (Mobley, 1943).

##### *Diluição de combustível*

A diluição do óleo em um motor, causada pela contaminação do combustível, enfraquece a resistência da película de óleo, a capacidade de vedação e detergência. Operação inadequada, vazamentos no sistema de combustível, problemas de ignição, sincronização inadequada ou outras deficiências podem causar isso. Diluição de combustível é considerado excessivo quando atinge um nível de 2,5 a 5 por cento (Mobley, 1943).

##### *Partículas sólidas*

A quantidade de partículas sólidas na amostra de óleo é um teste geral. Todos os materiais sólidos no óleo são medidos como uma porcentagem do volume ou peso da amostra. A presença de sólidos em um sistema de lubrificação pode aumentar significativamente o desgaste das peças lubrificadas. Qualquer aumento inesperado em partículas sólidas relatadas é motivo de preocupação (Mobley, 1943).

### *Fuligem de combustível*

A fuligem causada pela combustão de combustíveis é um indicador importante para o óleo usado nos motores a diesel e está sempre presente até certo ponto. Um teste para medir a fuligem do combustível no óleo do motor a diesel é importante porque indica a eficiência de queima de combustível do motor. A maioria dos testes de fuligem de combustível é realizada por análise infravermelha (Mobley, 1943).

### *Oxidação*

A oxidação do óleo lubrificante pode resultar em depósitos de laca, corrosão do metal ou espessamento do óleo. A maioria dos lubrificantes contém inibidores de oxidação; no entanto, quando são usados aditivos, a oxidação do óleo começa. A quantidade de oxidação em uma amostra de óleo é medida por análise infravermelha diferencial (Mobley, 1943).

### *Nitretação*

A nitretação resulta da combustão do combustível nos motores. Os produtos formados são altamente ácidos e podem deixar depósitos nas áreas de combustão. A nitretação vai acelerar a oxidação do óleo. A análise infravermelha é usada para detectar e medir a nitretação produtos (Mobley, 1943).

### *Número total de ácido*

A acidez do óleo é uma medida da quantidade de ácido ou material semelhante a ácido na amostra de óleo. Como os novos óleos contêm aditivos que afetam o número total de ácidos, é importante comparar amostras de óleo usado com óleo novo e não usado do mesmo tipo. Análise regular em intervalos específicos é importante para essa avaliação (Mobley, 1943).

### *Número total de base*

O número base indica a capacidade do óleo de neutralizar a acidez. Quanto maior o número total de base, maior sua capacidade de neutralizar a acidez. Causas típicas de baixo número total de base incluem o uso de óleo impróprio para uma aplicação, esperar muito tempo entre as trocas de óleo, superaquecer e usar combustível com alto teor de enxofre (Mobley, 1943).

### *Análise Espectrográfica*

A análise espectrográfica permite medições precisas e rápidas de muitos dos elementos presentes no óleo lubrificante. Esses elementos são geralmente classificados como metais de desgaste,

contaminantes ou aditivos. Alguns elementos podem ser listados em mais de uma dessas classificações. A análise de óleo lubrificante padrão não tenta determinar os modos de falha específicos do desenvolvimento de problemas de trem de máquinas. Portanto, técnicas adicionais devem ser usadas como parte de um plano de manutenção preditiva abrangente (Mobley, 1943).

### **Análise de partículas de desgaste**

Mobley (1943) explica que, a análise de partículas de desgaste está relacionada à análise de óleo, apenas porque as partículas a serem estudadas são coletadas extraindo uma amostra de óleo lubrificante. Enquanto que a análise do óleo lubrificante determina a condição real da amostra de óleo, análise de partículas de desgaste fornece informações diretas sobre a condição de desgaste de trem de máquinas. Partículas no lubrificante de uma máquina podem fornecer informações significativas sobre a condição da máquina. Esta informação é derivada do estudo da forma da partícula, composição, tamanho e quantidade. A análise de partículas de desgaste é normalmente conduzida em dois estágios.

Mobley (1943), ainda salienta que, o primeiro método usado para a análise de partículas de desgaste é o monitoramento de rotina e a tendência de conteúdo sólido do lubrificante da máquina. Em termos simples, a quantidade, composição, e o tamanho do material particulado no óleo lubrificante indica a condição mecânica da máquina. Uma máquina normal conterá baixos níveis de sólidos com um tamanho menor que 10 microns. À medida que a condição da máquina se degrada, o número e o tamanho do material particulado aumenta. O segundo método de partículas de desgaste envolve a análise do material particulado em cada amostra de óleo lubrificante.

### **Ferrografia**

Esta técnica é semelhante à espectrografia, mas há duas grandes exceções. Primeiro, a Ferrografia separa a contaminação por partículas usando um campo magnético em vez de queimando uma amostra como na análise espectrográfica. Porque um campo magnético é usado para separar os contaminantes, esta técnica é principalmente limitada a partículas ferrosas ou magnéticas (Mobley, 1943).

A segunda diferença é que a partícula contaminante maior que 10 microns pode ser separado e analisado. A análise ferrográfica normal capturará partículas até 100 microns em tamanho e

fornece uma melhor representação da contaminação total do óleo do que técnicas espectrográficas (Mobley, 1943).

#### **2.2.4.4. Ultrassom**

Essa técnica de manutenção preditiva usa princípios semelhantes à análise de vibração. Ambos monitoram o ruído gerado pelas máquinas ou sistemas da fábrica para determinar sua condição real de operação. Ao contrário do monitoria da vibração, no entanto, o ultrassom monitora as frequências mais altas (ou seja, ultrassom) produzidas pela dinâmica única em sistemas de processo ou máquinas. A faixa de monitoria normal para análise de vibração é de menos de 1 Hz a 30.000 Hz. Técnicas ultrassônicas monitoram a faixa de frequência entre 20.000Hz e 100kHz (Higgins, 2002).

##### **2.2.4.4.1 Aplicações de ultrassom**

A principal aplicação da monitoria ultrassônica, é em detecção de vazamentos. O fluxo turbulento de líquidos e gases através de um orifício restrito, ou seja, vazamento, produzirá uma assinatura de alta frequência que pode ser facilmente identificada usando técnicas ultrassônicas. Portanto esta técnica é ideal para detectar vazamentos em válvulas, purgadores de vapor, tubulações e outros sistemas (Higgins, 2002).

##### **2.2.4.4.2 Sistemas ultrassônicos**

Segundo Higgins (2002), estão disponíveis dois tipos de sistemas ultrassônicos que podem ser usados para a manutenção preditiva: estrutural e aerotransportado. Ambos fornecem diagnósticos rápidos e precisos de operação anormal e vazamentos. Os detectores ultrassônicos aerotransportados podem ser usados em modo varredura ou contacto. Como scanners, eles são mais frequentemente usados para detectar vazamento de pressão de gás.

Higgins (2002) segue dizendo, como esses instrumentos são sensíveis a ultrassom, eles não estão limitados a gases específicos como a maioria dos outros detectores de vazamento de gás. Além disso, são frequentemente usados para localizar várias formas de vazamento em vácuo. No modo contacto, uma haste metálica actua como guia de ondas. Ao tocar uma superfície, este é estimulado pelas altas frequências (ultrassom) do lado oposto da superfície.

Segundo Mobley (1943) Alguns dos sistemas ultrassônicos incluem transmissores ultrassônicos que podem ser colocados dentro de tubulação ou vasos da fábrica. Neste modo, os monitores

ultrassônicos podem ser usados para detectar áreas da penetração sônica ao longo da superfície do recipiente. Este método de transmissão ultrassônica é útil em verificações rápidas de costuras de tanque, escotilhas, vedações, calafetagem, juntas ou construção juntas de parede.

### **Teste de materiais**

Para Mobley (1943), o ultrassom tem sido, e continua a ser, uma metodologia de teste primário para teste de materiais. As frequências típicas de teste começam em 250 quilohertz (kHz), ou 250.000 ciclos por segundo (cps), até 25 megahertz (megahertz), ou 25 milhão cps.

Os materiais de teste geralmente consistem na introdução de uma fonte de energia no material a ser testado, e gravar as características da resposta usando instrumentos ultrassônicos. Estes testes podem ser tão simples como bater o material com um martelo e gravar os resultados com um acelerômetro e um medidor ultrassônico (Mobley, 1943).

O teste ultrassônico depende da medição de tempo e amplitude ou força de um sinal entre emissão e recepção. Devido a uma incompatibilidade de propriedades acústicas entre materiais, o som será parcialmente refletido nas interfaces. A qualidade da energia refletida depende da relação de impedância acústica entre dois materiais. Se as taxas de impedância forem muito diferentes, como uma trinca aberta com uma interface aço/ar, ocorrerá uma reflexão adequada e permitirá a detecção da falha. Por outro lado, uma pequena trinca em um campo de tensão de compressão que não possui faces oxidadas produzirá um limite de aço/aço e não pode ser detectado usando este método (Mobley, 1943).

#### **2.2.4.5. Inspeção visual**

A inspeção visual regular das máquinas e sistemas em uma fábrica é uma parte necessária de qualquer plano de manutenção preditiva. Em muitos casos, a inspeção visual detectará potenciais problemas que passarão despercebidos usando as outras técnicas de manutenção preditiva. Mesmo com as técnicas preditivas discutidas, muitos problemas potencialmente sérios podem permanecer sem serem detectados. A inspeção visual de rotina de todos os sistemas críticos da fábrica complementa as outras técnicas e garante que potenciais problemas sejam detectados antes que danos sérios possam ocorrer (Mobley, 1943).

Todos os equipamentos e sistemas da fábrica devem ser inspecionados visualmente de forma regular. As informações adicionais fornecidas pela inspeção visual complementarão o plano de manutenção preditiva independentemente das técnicas primárias utilizadas (Mobley, 1943).

Mobley (1943) aponta que, a inspeção é uma chave para detectar a necessidade de requisitos de manutenção preventiva. Deve ser não destrutivo para que não prejudique o equipamento. Alguns métodos comuns de testes não destrutivos são descritos a seguir:

### **1. Sentidos corporais**

- Visão
- Olfato
- Audição
- Paladar
- Tacto

### **3. desgaste por vibração**

- Acelerômetro
- Estetoscópio
- Estroboscópio
- Escuta ultrassônica
- Alinhamento a laser

### **5. Depósitos, corrosão e erosão**

- Ultrassom
- Radiografia
- Peso

### **6. Fluxo**

- Bomba de fumaça
- Sensor de gás
- Manômetro
- Medidores de desconexão rápida

### **2. Temperatura**

- Termístor
- Termómetro
- Termómetro infravermelho
- Termopilha
- Fluxo de calor

### **4. Defeitos de materiais**

- Magnéticos
- Líquidos penetrantes
- Correntes de Eddy
- Radiografia
- Ultrassom
- Dureza rockwell
- Ressonância sonora
- Endoscópio de fibra óptica

#### **2.2.4.5.1. Métodos de inspeção visual**

Uma inspeção visual eficaz deve ser quantificável, e todo o pessoal deve universalmente aplicar os métodos utilizados. Os métodos específicos variam de simples inspeções visuais, como procurar vazamentos ou ler um medidor, a exigência de testes com instrumentos, tais como medidores de vácuo, indicadores de discagem e assim por diante. Em todos os casos, os métodos utilizados devem definir claramente como a inspeção deve ser realizada, a localização exata a medir ou que inspeção devem ser feita, critérios de avaliação e gama de desempenho (Mobley, 1943).

Segundo Mobley (1943), geralmente a inspeção visual pode ser dividida em duas classificações principais: aquelas que podem ser conduzidos usando apenas sentidos humanos e aqueles que exigem o uso de sensores ou instrumentação.

#### **Sentidos humanos**

Mobley (1943), escreve que, os seres humanos têm uma grande capacidade para detectar vistas, sons, cheiros, gostos, vibrações e toques incomuns. Cada gerente de manutenção deve fazer um esforço concertado para aumentar a sensibilidade dos seus sentidos e os sentidos humanos do pessoal. A experiência é geralmente o melhor professor. Muitas vezes, no entanto, experimentamos coisas sem saber o que estamos vivendo. Algumas horas de treinamento sobre o que procurar poderiam têm alto retorno.

#### **Sensores**

Porque os humanos não estão continuamente alertas ou sensíveis a pequenas mudanças e não conseguem entrar em espaços pequenos, principalmente em operação, é necessária a utilização de sensores que medem condições e transmitem informações para indicadores externos. Acelerômetros, sensores de proximidade por correntes parasitas e velocidade, e transdutores sísmicos estão permitindo as técnicas de movimento, posição e expansão analítica a ser cada vez mais aplicada a um grande número de equipamentos rotativos. motores, turbinas, compressores, motores a jato e geradores podem usar análise de vibração (Mobley, 1943).

O padrão normal de operação, denominado assinatura, é estabelecido medindo-se o desempenho do equipamento sob boas condições conhecidas. Comparações são feitas em intervalos de rotina,

como a cada 30 dias, para determinar se algum dos parâmetros está mudando irregularmente e, além disso, qual pode ser o efeito de tais mudanças (Mobley, 1943).

### **Análise espectrométrica de óleo**

O processo de análise espectrométrica de óleo é útil para qualquer dispositivo de movimento mecânico que usa óleo para lubrificação. Ele testa a presença de metais, água, glicol, combustível diluição, viscosidade e partículas sólidas. Motores automotivos, compressores e turbinas todos se beneficiam da análise de óleo (Mobley, 1943).

A principal vantagem da análise espectrométrica de óleo é a detecção precoce do desgaste dos componentes. Não só avalia quando o óleo não está mais lubrificando corretamente e deve ser substituído, mas também identifica e mede pequenas quantidades de metais que estão se desgastando devido ao movimento de superfícies. Os elementos metálicos encontrados, e sua quantidade, podem indicar quais componentes estão se desgastando e em que grau para que a manutenção e revisão possam ser cuidadosamente planejadas (Mobley, 1943).

### 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

#### 3.1. Breve historial da empresa Coca-cola em Moçambique

A Coca-Cola iniciou suas actividades em Moçambique a partir de 1950 e não demorou muito para que a marca se popularizasse na capital e em outras regiões do país. A bebida norte-americana constitui um importante fenómeno cultural na sociedade moçambicana, e as marcas deste processo estão fortemente impressas na paisagem. A chegada e consolidação do produto em Moçambique antecedeu o processo de independência em relação ao colonizador português, um facto que revela o poder de actuação desta multinacional sobre o território. As estratégias de marketing e o fortalecimento da cultura pop global fazem da Coca-Cola o produto industrial mais conhecido do país e com hegemonia absoluta no segmento de refrigerantes.

Em uma reportagem feita pelo Jornal Notícias (primeiro jornal diário de Moçambique) e publicada em 8 de setembro de 1950, Teixeira (2012) aponta o momento de criação da primeira fábrica da multinacional:

[...] uma sociedade anónima de responsabilidade limitada com o capital de 2:500 contos, dividido em acções nominativas de 250\$ , devendo 60 por cento, averbadas em nome de pessoas de nacionalidade portuguesa e a sociedade denominar-se-á << Companhia de refrigerantes Mac-Mahon, S. A. R. L. >>, com sede nesta cidade, para explorar a indústria de fabrico da bebida conhecida por Coca-Cola, que tinha sido autorizada ao primeiro, por despacho de 21 de março de 1950 e aprovado ao projecto de instalação para a parcela nº. 50/15, dos subúrbios de Lourenço Marques.

A Coca-Cola “*Made in Mozambique*” através da fábrica de refrigerantes Mac-Mahon causou uma explosão de consumo da bebida norte-americana em Lourenço Marques (capital de Moçambique até 1976 e actual Maputo). Isso causou um fenómeno cultural posto que muitas pessoas passaram a se referir aos cidadãos da capital do país como os “Coca-Colas” devido à forte identificação que estes tinham com o produto (Teixeira, 2012; Mergulhão, 2014).

### 3.2. Breve apresentação da Empresa

A fábrica de Coca-Cola de Matola Gare compreende a área administrativa (escritórios) e a área fabril que inclui os armazéns de matéria-prima e do produto final.

Mais especificamente esta unidade industrial apresenta as seguintes infra-estruturas:

- Instalações administrativas;
- Posto médico;
- Oficina para a reparação de máquinas e equipamentos pertencentes à fábrica (apenas empilhadeiras);
- Armazém de peças sobressalentes;
- Armazém de produtos acabados;
- Armazéns de matérias-primas;
- Laboratório para testes de matéria-prima, do produto acabado e outros processos relacionados com a produção;
- Laboratório de ETAR;
- Unidade fabril;
- Parque para estacionamento de viaturas;
- Instalação de unidade de serviços para a protecção da fábrica;
- Centro social;
- ETA;
- ETAR;
- Instalação para tratamento de soda cáustica;
- Instalação para produção de vapor;
- Instalação para produção de frio;
- Sala de ar comprimido, geradores;
- Depósito de combustível gasóleo;
- Recinto para a reparação de paletes;
- Armazenamento de vasilhames e resíduos sólidos.

De forma sintetizada a fábrica da Coca-Cola da Matola Gare apresenta os seguintes departamentos:

- Fabricação;
- Finanças;
- Fleet;
- Logística;
- Marketing e vendas;
- Procurement;
- Recursos Humanos.

**Observação:**

Normalmente toda área fabril funciona 24 horas por dia obedecendo regimes de turnos, da qual permitem que haja uma permuta constante do pessoal dos turnos (A, B, C e D) e períodos (Dia / Noite) divididos de seguinte forma:

- Duas (2) manhãs e duas (2) noites; ➤ Dois (4) dias de folga.

Com os seguintes períodos:

- Primeiro período: das 7h:00 às 19h:00;
- Segundo período: das 19h:00 às 7h:00;

Para além dos turnos o pessoal administrativo e gestores trabalham um único turno das 08:00 às 17 horas de segunda a sexta. Aos sábados e domingos também se trabalha em turnos.



Figura 22 Instalações da Coca-Cola da Matola-Gare.

Fonte: autor

### **3.2.1. Estrutura organizacional da Coca-Cola da Matola-Gare**

O organograma de uma empresa é basicamente uma maneira de organizar e documentar a estrutura organizacional da mesma. Essa organização é utilizada para estabelecer as hierarquias necessárias para a empresa funcionar da melhor maneira.

Abaixo está apresentado o organograma da Coca-cola da Matola-Gare, nele é possível observar a distribuição hierárquica da cadeia de comando que parte da directoria até as diferentes secções que compõem a empresa.

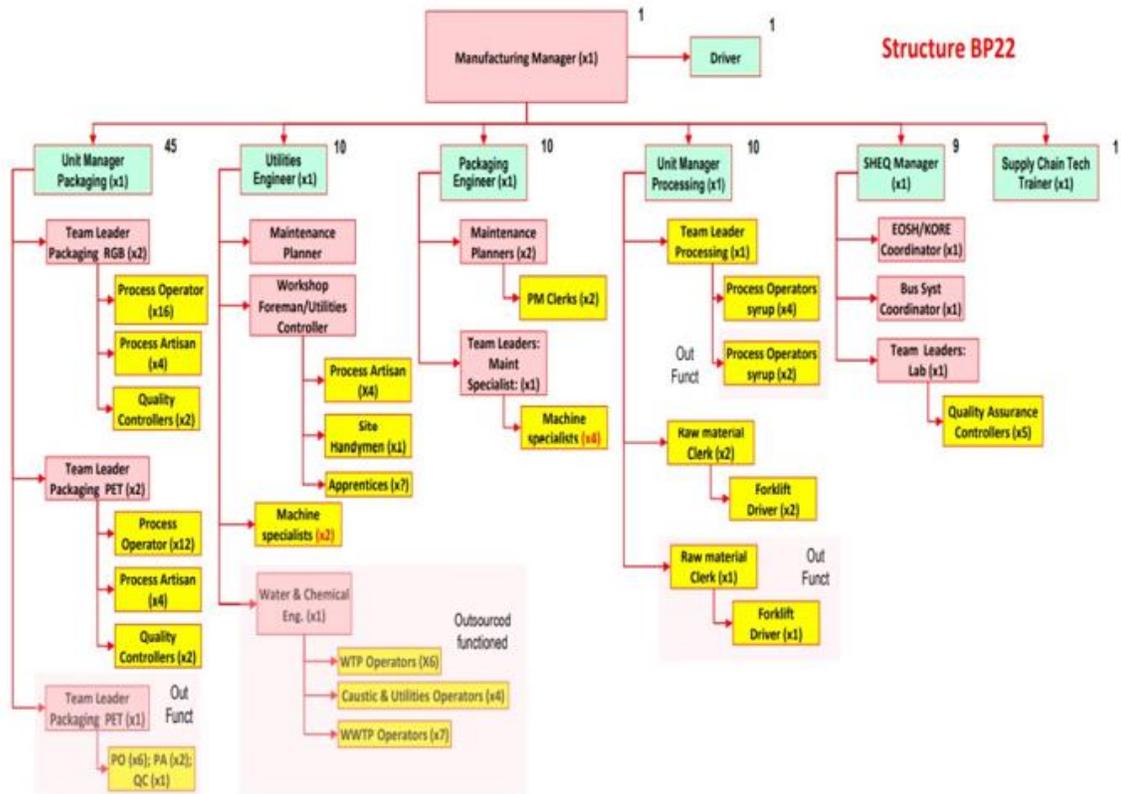


Figura 23 Organograma da Empresa.

Fonte: Coca-Cola da Matola-Gare

## **4. METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA**

### **4.1. Elaboração do plano de manutenção**

#### **4.1.1. Definição dos objectivos**

Um plano de manutenção preditiva bem-sucedido começa com a definição dos objectivos a alcançar com este.

Segundo Mobley (1943), o propósito do plano de manutenção preditiva é minimizar as paragens não programadas, os custos de manutenção e a perda na produção. Este também tem o propósito de aumentar a eficiência e a qualidade dos produtos produzidos.

Os objectivos a longo prazo do presente plano de manutenção são os seguintes:

- Eliminar manutenções desnecessárias;
- Reduzir perdas na produção causados por falha do sistema de refrigeração chiller;
- Reduzir o stock de peças de substituição;
- Aumentar a eficiência do processo;
- Aumentar a qualidade do produto;
- Prolongar a vida útil do chiller;
- Aumentar a capacidade de produção.

#### **4.1.2. Requisitos fundamentais do sistema**

O primeiro passo para a escolha do sistema de manutenção preditiva que será usado na Coca-Cola da Matola-Gare é o desenvolvimento de uma lista das capacidades específicas que o sistema deve possuir de modo a suportar os requisitos do plano de manutenção. Assim sendo o sistema deve possuir as seguintes capacidades:

- Software e hardware fácil de usar;
- Aquisição automatizada de dados;
- Gerenciamento automatizado de dados e tendências;
- Flexibilidade;
- Confiabilidade;
- Precisão;
- Treinamento e suporte técnico.

### **Software e hardware fácil de usar**

A premissa da manutenção preditiva é que o pessoal existente da fábrica deve ser capaz de compreender a operação do registrador de dados e o software. Porque a equipe da fábrica normalmente tem pouco ou nenhum conhecimento de informática ou microprocessador, o sistema deve usar uma operação simples e directa tanto do instrumento de aquisição de dados quanto do software. Sistemas complexos, mesmo que forneçam capacidades avançadas de diagnóstico, podem não ser aceites pelo pessoal da fábrica e, portanto, não fornecerão a base para um plano de manutenção preditiva de longo prazo (Mobley, 1943).

### **Aquisição automatizada de dados**

O objetivo do uso de sistemas baseados em microprocessadores é remover qualquer potencial erro humano, reduzir o pessoal e automatizar tanto quanto possível a aquisição de dados de vibração, processo e outros dados que fornecerão uma base de dados viável para a manutenção preditiva. Portanto, o sistema deve ser capaz de seleccionar e definir automaticamente os parâmetros de monitoramento sem intervenção do usuário (Mobley, 1943).

### **Gerenciamento automatizado de dados e tendências**

A quantidade de dados necessária para dar suporte a um plano de manutenção preditiva é enorme e continuará a aumentar ao longo da vida do programa. O sistema deve ser capaz de armazenar, criar tendências e recuperar os dados em vários formatos que permitirão ao usuário monitorar, criar tendências e analisar a condição do equipamento. O sistema deve ser capaz de fornecer dados de tendências de longo prazo para a vida do programa (Mobley, 1943).

Alguns dos sistemas baseados em microprocessadores limitam as tendências a um máximo de 26 conjuntos de dados e limitarão severamente as capacidades de tomada de decisão da equipe de manutenção preditiva. Limitar os dados de tendência a um número finito de conjuntos de dados eliminou a capacidade de determinar o ponto mais econômico para substituir uma máquina, em vez de deixá-la ele continua em operação (Mobley, 1943).

## **Flexibilidade**

Para Mobley (1943), nem todas as máquinas ou equipamentos industriais são iguais, e nem os melhores métodos de monitorar as suas condições são iguais. Portanto, o sistema selecionado deve ser capaz de apoiar o maior número possível de diferentes técnicas. No mínimo, o sistema deve ser capaz de obter, armazenar e apresentar dados adquiridos de todos os transdutores de vibração e do processo e fornecer uma interpretação precisa do valor medido valores em termos fáceis de usar.

Mobley (1943), ainda saliente que, os requisitos mínimos para o sistema de monitoria de vibração devem incluir a capacidade de adquirir filtro de banda larga, selecionar banda estreita, traços de tempo e dados de assinatura de alta resolução usando qualquer transdutor disponível comercialmente. Sistemas limitados ao monitoramento em banda larga ou a um único tipo de transdutor não conseguem suportar os requisitos mínimos de um plano de manutenção preditiva.

A capacidade adicional de calcular valores desconhecidos com base em entradas medidas melhora significativamente as capacidades do sistema. Um sistema de manutenção preditiva que pode calcular automaticamente esses valores com base no fluxo medido, pressão, e os dados de temperatura permitiriam ao plano automaticamente criar tendências, registros e alarmes de desvios nesses parâmetros críticos e desconhecidos (Mobley, 1943).

## **Confiabilidade**

O hardware e software selecionados devem ser comprovados em uso real em campo para garantir sua confiabilidade. É importante avaliar o histórico de campo de um sistema antes da compra. Uma conversa com quem já usa este sistema é uma maneira segura de avaliar os pontos fortes e fracos de um sistema específico antes de fazer um investimento de capital (Mobley, 1943).

## **Precisão**

As decisões sobre as condições da máquina serão tomadas com base nos dados adquiridos e reportados pelo sistema de manutenção preditiva. Deve ser preciso e repetível. Os erros podem ser inseridos pelo microprocessador e software, bem como pelos operadores. A precisão dos sistemas de manutenção preditiva disponíveis comercialmente varia. Embora a maioria forneça pelo menos uma precisão mínima aceitável, alguns são bem abaixo do nível aceitável (Mobley, 1943).

## **Treinamento e suporte técnico**

O treinamento e o suporte técnico são essenciais para o sucesso do plano de manutenção preditiva. Independentemente das técnicas ou sistemas selecionados, equipe de manutenção preditiva terá que ser treinada. Este treinamento assumirá duas formas: treinamento de usuários do sistema e conhecimento de aplicação para as técnicas específicas incluídas em seu programa. Poucos, senão nenhum, funcionário existente terá o conhecimento básico necessária para implementar as várias técnicas de manutenção preditiva abordadas no capítulo anterior. Nenhum entenderá a operação dos sistemas que são adquiridos para dar suporte ao plano de manutenção preditiva.

Muitos dos fabricantes de sistemas preditivos são estritamente orientados para hardware e software. Portanto, eles oferecem treinamento mínimo e nenhum treinamento de aplicação ou apoio técnico. Poucas fábricas conseguem obter benefícios mínimos com a manutenção preditiva sem treinamento e algum grau de suporte técnico. É, portanto, imperativo que o sistema ou fornecedores de sistemas selecionados forneçam um pacote de suporte abrangente que inclui treinamento e suporte técnico.

### **4.1.3. Modo de falha dos equipamentos**

Antes de escolher as técnicas de manutenção preditiva a se usar nos programas de manutenção, é necessário antes conhecer os modos de falha comum dos equipamentos que fazem parte do chiller:

#### **Compressor de parafuso**

Os modos de falha comuns do compressor de parafuso são apresentados na tabela abaixo:

Causa	Problema									
	Sem entrega do gás	Pressão de descarga insuficiente	Capacidade insuficiente	Desgaste excessivo	Calor excessivo	Vibração e barulho excessivo	Demanda de energia excessiva	Disparos do motor	Temperatura do motor elevada	Temperatura do gás elevada
Vazamento de ar na tubulação de sucção ou na vedação do veio		●	●			●				
Pressão de descarga excessiva				●	●	●	●		●	
Acoplamento desalinhado			●	●		●	●	●		●
Temperatura/humidade excessiva de entrada			●							
Fornecimento insuficiente de gás de sucção		●	●	●		●		●		
Desgaste interno de componentes	●	●	●							
Falha do motor	●									
Tensão do tubo na carcaça da bomba				●	●	●	●		●	
Válvula de alívio presa aberta ou configurada incorrectamente		●	●							
Vinculação de elementos rotativos				●	●	●	●	●	●	
Sólido ou sujeira no fornecimento de gás				●						
Velocidade muito baixa		●	●					●		
Filtro de sucção entupido	●	●	●			●			●	
Direcção de rotação incorrecta	●	●							●	

Tabela 2 Modo de falha comum de compressores do tipo rotativo.

Fonte: MOBLEY, 1943

Os modos de falha comuns da válvula de expansão são apresentados na tabela abaixo:

Causa	Problema				
	Falha na abertura da válvula	Falha no fechamento da válvula	Vazamento através da válvula	Vazamento ao redor da haste	Abertura/Fechamento muito lento
Corrosão	●	●	●		
Sujeira/detrítos presos na sede da válvula	●	●	●		
Desgaste excessivo	●	●			
Pressão de linha muito alta	●	●	●	●	●
Dano mecânico	●	●	●		
Falha do solenoide	●	●			
Fiação defeituosa do solenoide	●	●			
Tipo de válvula errado	●	●			

Tabela 3 Modos de falha comum de válvula de expansão eletrônica.

Fonte: MOBLEY, 1943.

Os modos de falha comum de trocadores de calor são apresentados na tabela abaixo:

Causa	Problema				
	Erosão do material	Martelo hidráulico	Falhas da conduta	Congelamento	Deretimento/deformação da conduta
Velocidade excessiva do fluido	●				
Onde de pressão/choque		●	●		
Vibração			●		
Fadiga térmica			●		●
Falha da protecção térmica				●	
Perda de água de resfriamento			●		●

Figura 24 Modos de falha de trocadores de calor.

Fonte: SCHWARTZ, 1982.

#### 4.1.4. Escolha das técnicas de manutenção preditiva

Para uma monitoria adequada da condição dos equipamentos é necessária que se faça a escolha correcta das técnicas de monitoria a se usar, para o sistema de refrigeração chiller são escolhidas as seguintes técnicas de manutenção preditiva:

##### Monitoria das vibrações

Esta técnica de manutenção preditiva tem como objectivo monitorar o seguinte artigo:

- Compressor.

## **Termografia**

Esta técnica de manutenção preditiva tem como objectivo monitorar os seguintes artigos:

- Condensador;
- Evaporador.

## **Tribologia**

Esta técnica de manutenção preditiva tem como objectivo monitorar a condição dos seguintes artigos:

- O óleo lubrificante;
- O desgaste das peças.

## **Ultrassom**

Esta técnica de manutenção preditiva tem como objectivo monitorar a condição dos seguintes artigos:

- Válvula de expansão;
- Tubulação.

## **Inspecção visual**

Esta técnica de manutenção preditiva tem como objectivo complementar as técnicas de manutenção preditiva anteriormente seleccionadas.

### **4.1.5. Escolha dos equipamentos de medição**

Cada técnica acima escolhida necessita de equipamentos específicos para a sua aplicação, abaixo serão indicados os equipamentos usados para a monitoria da condição das partes do chiller:

#### **4.1.5.1. Monitoria das vibrações**

Para a monitoria da vibração do chiller escolhe-se o transmissor de vibrações NK200, este é ideal para montagem em painéis de controle para monitoramento de equipamentos críticos.



Figura 25 monitor de vibrações.

Fonte: Teknikao.

Este possui as seguintes características técnicas:

Monitor de vibrações NK200	
Faixa de frequência do medidor nível global	10HZ a 1KHZ
Sensores compatíveis	NK20, NK25 ou ICP
Taxa de amostragem	3,5 kb/s
Conversor AD	10 Bits
Indicação	Nível global, alarme e desarme através de Bargraph
Saídas	4...20mA/Relê: alarme e desarme
Fixação	Norma DIN
Temperaturas de operação	-10°C ... + 60°C
Alimentações	110/220VAC
Dimensões	48x96x141 mm
Peso	340g

Medidas	
Velocidade	5, 10, 20, 50 mm/s RMS
Deslocamento	100, 200, 400, 1000µm PP
Outros valores	Sob consulta

Tabela 4 características técnicas monitor de vibrações NK200.

Fonte: Teknikao.

O monitor de vibrações funciona em conjunto com o sensor de vibrações. Dos sensores compactáveis com o sensor de vibração NK200 escolheu-se o sensor NK 25, cuja sua ilustração é feita abaixo:



Figura 26 sensor de vibrações NK25.

Fonte: Teknikao.

As características técnicas do sensor de vibrações NK25 são apresentados na tabela abaixo:

Sensor de vibrações NK25	
Sensibilidade do acelerômetro	100mV/g (nominal)
Pico máximo do acelerômetro	200g PP
Alimentação	DC 5...12V
Temperatura	-20°C...+80°C
Dimensões	50x55x43mm
Peso	600g
Fixação	04 (quatro) parafusos allen M4x35
Cabo (conexão com terminais)	Liso com electroduto metálico flexível à prova de tempo.

Tabela 5 características técnicas do sensor de vibrações NK25.

Fonte: Teknikao.

#### 4.1.5.2. Termografia

O instrumento que será usado para a medição da temperatura do condensador e evaporador do chiller correspondente a técnica de manutenção preditiva de termografia é o scanner de temperatura de precisão SUPER-DAQ 1586A.

O scanner de temperatura de precisão SUPER-DAQ 1586A para além de medir e registrar temperatura, este pode também medir e registrar a tensão de corrente contínua, a corrente de corrente contínua e a resistência em até 40 canais de entrada e com uma velocidade de varredura de 10 canais por segundo.



Figura 27 scanner de temperatura de precisão SUPER-DAQ 1586A.

Fonte: Fluke, 2013.

As características técnicas do scanner de temperatura de precisão SUPER-DAQ 1586A são apresentadas na tabela abaixo:

Geral	
Entrada máxima	50V
Tensão de deslocamento	$< 20\mu V$
Incorrespondência da resistência interna de 3 fios	$< 50 m\Omega$
Precisão CJC básica	0.25°C

Tensão principal	Configuração 220V	198V a 242V
Frequência	47HZ a 440HZ	
Consumo de energia	Pico de 36VA (média de 24W)	
Temperatura ambiente	Em operação	0°C a 50°C
	Precisão total	18°C a 28°C
	Armazenamento	-20°C a 70°C
Aquecimento	1 hora para as especificações de precisão total	
Umidade relativa (sem condensação)	Em operação	0°C a 30°C < 80% 30°C a 50°C < 50%
	Armazenamento	-20°C a 70°C < 95%
Altitude	Em operação	2 m
	Armazenamento	12 m
Vibração e colisão	Conformidade com a classe 3 MIL-PRF-28800F	
Capacidade do canal	Total de canais analógicos	45
	Canais de resistência/tensão	41
	Canais de corrente	5
	E/S digital	8 bits

	Totalizador	1
	Saídas de alarme	6
	Entrada do trigger	1
Proteção de entrada	50V todas as funções, terminais e faixas	
Canais de cálculo	Número de canais	20
	Operações	Soma, subtração, multiplicação, divisão, polinómio, potência, raiz quadrada, recíproca, exponencial, logaritmo, valor absoluto, média, máximo, mínimo.
Acionadores	Intervalo, externo (entrada do trigger), alarme, remoto (barramento), manual, teste automático	
Memória	RAM para dados de varredura	75000 leituras com registro de data e hora
	Memória flash de dados/ configurações	20 MB
Porta host USB	Tipo de conector	Tipo A
	Função	Memória
	Sistema de arquivo	FAT32
	Capacidade de memória	32 GB
Porta para dispositivo USB	Tipo de conector	Tipo B
	Função	Controle e transferência de dados
	Protocolo de comando	SCPI
LAN	Função	Controle e transferência de dados
	Protocolo de rede	Ethernet 10/100, TCP/IP
	Protocolo de comando	SCPI
RS-322	Conector	9 pinos D-sub (DE-9)
	Taxa de transferência	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400
	Função	Saída de controle de origem de temperatura
Dimensões	(385x254x150)mm <sup>3</sup>	
Peso	Peso	6 kg (configuração típica)
	Peso de envio	9.5 kg (configuração típica)

Tabela 6 características técnicas do scanner de temperatura de precisão SUPER-DAQ 1586A.

Fonte: Fluke, 2013.

Para a sua utilização em fábricas para a aquisição de dados o scanner de temperatura de precisão SUPER-DAQ 1586A é equipado com um módulo de alta capacidade 1586-2586 que possui canais de entrada universais para a medição de temperatura, resistência, corrente contínua, tensão de corrente contínua.



Figura 28 módulo de alta capacidade 1586-2586.

Fonte: Fluke, 2013.

As características técnicas do módulo de alta capacidade são apresentadas na tabela abaixo:

Geral	
Entrada máxima	50V
Tensão de deslocamento	<2 $\mu$ V
Incorrespondência da resistência interna de 3 fios	<50m $\Omega$
Precisão CJC básica	0.6°C

Tabela 7 características técnicas do módulo de alta capacidade 1586-2586.

Fonte: Fluke, 2013.

### **4.1.5.3. Tribologia**

O equipamento que será usado para a realização da análise do óleo lubrificante é o minilab 153. Este equipamento fornece indicações antecipadas do desgaste do equipamento e identifica as causas da corrosão.

O minilab 153 combina 4 testes que podem ser realizados no local em menos de 15 min:

- I. Análise elementar (Spectroil 120)
- II. Contagem de partículas (Lasernet 200)
- III. Viscosidade (minivisc 3050)
- IV. Análise química (Fluidscan 1100)

#### **Análise elementar**

O Spectroil Q100 analisa pequenas partículas de desgaste, aditivos lubrificantes e contaminantes por vestígios de elementos dissolvidos ou suspensos como partículas finas.

#### **Contagem de partículas**

A série LNF Q200 fornece contagens e códigos de partículas, classificação de grandes partículas de desgaste e monitoramento de desgaste ferroso.

#### **Viscosidade**

O SpectroVisc Q3050 fornece medições rápidas e precisas de viscosidade cinemática para fácil detecção de variações de viscosidade causadas por contaminação, mistura e óleo degradação.

#### **Análise química**

O FluidScan 1100 determina quando o óleo em serviço não é mais adequado para uso devido a degradação do óleo ou entrada de água ou glicol. É rápido e fácil de usar, necessita de apenas uma gota de óleo para a amostra e menos de um minuto para os resultados do teste. O analisador inclui uma extensa biblioteca de óleos, óleos adicionais podem ser adicionados pelo usuário.

## MiniLab Series

4 simple tests and less than 15 minutes to comprehensive oil analysis

Can be operated on-site by plant staff; no chemist required.



Figura 29 Minilab 153.

Fonte: spectro scientific, 2016.

As especificações técnicas do minilab 153 são apresentadas nas tabelas abaixo:

Minilab 153		
Especificações operacionais		
Exigências ambientais	Temperatura	5-40°C
	Umidade relativa sem condensação	10-80%
	Altitude máxima	2000 m
Volume da amostra	10-30 ml, varia conforme a viscosidade	
Solventes	Petróleo de iluminação, querosene sem cheiro	
Especificações da interface do usuário		
Sistema operativo	Computador pessoal com Windows 7 pro, 32 ou 64 bits, Versão inglês americano. Velocidade do microprocessador recomendada 2.6 GHz e 8GB de memória RAM	
Requisitos de alimentação		
Alimentação	1 fase, 115VAC/60 Hz, 1200W (máx)	
Especificações mecânicas		
Dimensões (A x L x P)	71cm x 214 cm x 66 cm	
Peso	84 kg	

Tabela 8 características técnicas de minilab 153.

Fonte: spectro scientific, 2016.

#### 4.1.5.4. Ultrassom

O equipamento que será usado para a detecção de vazamentos em condutas e válvulas é o conjunto detector de vazamento LD 300, este permite a detecção de fugas a vários metros de distância. Este conjunto é constituído por, um LD 300 leak detector, um sensor ultrassônico, fones de ouvido a prova de som, um tubo de foco com ponta, um cabo para sensor ultrassônico, carregador de bateria.



Figura 30 detector de vazamento LD 300.

Fonte: salcas.

O detector de vazamento possui as seguintes características técnicas:

Detector de vazamento LD 300	
Frequência de trabalho	40kHz±2kHz
Conexão	Conexão de 4 polos para fones de ouvido e carregador de bateria
	3,5 mm soquete estéreo para sensor e conexão de cabo
Laser	Comprimento de onda: 655...660nm
	Força de saída: 0.4...0.5mW
Fornecimento de energia	Bateria interna NiMH
Duração da operação	Aproximadamente 6 horas sem laser, aproximadamente 4 horas com laser
Tempo de carga	Aproximadamente 1,5 hora
Temperatura de operação	0°C a 40°C
Temperatura de armazenamento	-10°C a 50°C
Telescópio	3x120cm

Tabela 9 características técnicas do detector de vazamento LD 300.

Fonte: salcas.

#### **4.1.5.5. Inspeção visual**

A inspeção visual como sendo uma técnica de manutenção preditiva complementar para o presente projecto, esta limitar-se-á ao uso dos cinco sentidos humanos para a inspeção rotineira do chiller.

Para que esta técnica de manutenção seja de algum valor, é necessário que os inspectores treinem os seus sentidos, para aumentar sua sensibilidade, e assim poder conseguir distinguir as mudanças no padrão de funcionamento dos diferentes dispositivos que fazem parte do chiller.

#### **4.1.6. Treinamento da equipe da manutenção**

O treinamento da equipe de manutenção é umas das chaves para o sucesso do plano de manutenção preditiva, este treinamento deve ser realizado para todas as técnicas de manutenção preditivas que serão adotadas para o plano de manutenção independentemente da sua simplicidade.

O treinamento tem como objectivo familiarizar os membros da equipe de manutenção, com a operação dos equipamentos de monitoria e inspeção e a interpretação dos resultados registrados durante a monitoria ou inspeção das diferentes partes do chiller.

A complexidade do equipamento e as exigências de cada técnica de manutenção variam, as técnicas que fazem o controle das partes mais críticas do chiller são as mais complexas e exigem um monitoramento contínuo enquanto o chiller estiver em funcionamento, e as partes menos críticas exigem um monitoramento periódico, mas nem por isso estas técnicas de monitoramento periódico devem ser menosprezadas.

#### **4.1.7. Planificação da manutenção**

As planilhas foram definidas de acordo com a necessidade temporal e recomendação do fabricante assim ficou definido que as intervenções devem ser realizadas de forma diária, semanal, mensal, e anual, tanto pelo operador como pelo mecânico de manutenção. Nas tabelas abaixo são apresentadas as actividades que devem ser desenvolvidas. O tempo de manutenção deverá ser determinado, com o auxílio da análise dos dados relativos a condição de diversos dispositivos constituintes do chiller.

Logotipo		PLANILHA DE INSPEÇÃO DIÁRIA DO OPERADOR				
Operador:		Data:00/00/0000	Nº de equip:	Sim	Não	Não aplicável
Tempo	5 minutos	Anomalia do dia anterior foi resolvida				
A inspeção deve ser executada no início do turno de trabalho						
Item			OK	Não OK	Respons.	
1	Limpar o equipamento				Operador	
2	Realizar inspeção visual no equipamento				Operador	
Observações:						

Tabela 10 Planilha de inspeção diária do operador.

Fonte: autor

Logotipo		PLANILHA DE INSPEÇÃO SEMANAL DO MECÂNICO DE MANUTENÇÃO				
Operador:		Data:00/00/0000	Nº de equip:	Sim	Não	Não aplicável
Tempo	25min.	Anomalia da semana anterior foi resolvida				
A inspeção deve ser executada entre turnos						
Item			OK	Não OK	Respons.	
1	Verificar a pressão do condensador				Mecânica	
2	Verificar a pressão do evaporador				Mecânica	
3	Análise dos dados de vibração				Mecânica	
4	Análise dos dados termográficos				Mecânica	
Observações:						

Tabela 11 Planilha de inspeção semanal do mecânico de manutenção.

Fonte: autor

Logotipo		PLANILHA DE INSPEÇÃO MENSAL DO MECÂNICO DE MANUTENÇÃO				
Operador:		Data:00/00/0000	Nº de equip:	Sim	Não	Não aplicável
Tempo	50min.	Anomalia do mês anterior foi resolvida				
A inspeção deve ser executada entre turnos						
Item			OK	Não OK	Respons.	
1	Limpar todos os filtros de água nos sistemas de tubulação de água de resfriamento e resfriada.				Mecânica	
2	Medir a queda de pressão do filtro de óleo. Trocar o filtro de óleo, se necessário.				Mecânica	
3	Verificar o estado de refrigerante.				Mecânica	
4	Inspecionar fugas nas tubulações e válvulas acessíveis.				Mecânica	
5	Reparar os pontos de vazamento.				Mecânica	
6	Carregar o refrigerante até a unidade operar nas condições padrões, caso seja necessário.				Mecânica	
Observações:						

Tabela 12 Planilha de inspeção mensal do mecânico de manutenção.

Fonte: autor.

Logotipo		PLANILHA DE INSPEÇÃO ANUAL DO MECÂNICO DE MANUTENÇÃO				
Operador:		Data:00/00/0000	Nº de equip:	Sim	Não	Não aplicável
Tempo	1h	Anomalia do ano anterior foi resolvida				
A inspeção deve ser executada entre turnos						
Item		OK	Não OK	Respons.		
1	Executar todos procedimentos de manutenção semanais e mensais.			Mecânica		
2	Verificar a carga do refrigerante e o nível de óleo			Mecânica		
3	Realizar a análise do óleo.			Mecânica		
4	Verificar a queda de pressão através do filtro de óleo			Mecânica		
5	Limpar todos filtradores em linha			Mecânica		
6	Limpar e repintar as áreas com sinais de corrosão			Mecânica		
7	Inspeccionar os tubos do condensador para ver se há sujeira			Mecânica		
8	Limpar os tubos do condensador caso seja necessário			Mecânica		
9	Verificar se o aquecedor do cárter esta a funcionar			Mecânica		
Observações:						

Tabela 13 Planilha de inspeção anual do mecânico de manutenção.

Fonte: autor

Os procedimentos para a realização das actividades de manutenção, que não estão incluídas no programa de treinamento de manutenção preditiva, poderão ser consultados no manual do fabricante do chiller.

## 4.2. Estudos do custo do projecto

Este estudo tem como objectivo estimar os custos totais, custos directos e indirectos, envolvidos na execução do presente projecto. Para o efeito, será feito o levantamento dos preços dos produtos em lojas virtuais, catálogo, e lojas físicas.

### Levantamento dos preços dos produtos

Equipamento	Preço (USD)	Quantidade	Fonte
Monitor de vibrações NK200	1,069.82	1	Teknikao
Scanner de temperatura de precisão SUPER-DAQ 1586A	4,104.28	2	WB2
Minilab 153	78,707.50	1	Indiamart
Detector de vazamento LD 300	319.20	1	AliExpress
Total	-	88,305.08	-

Tabela 14 levantamento de preços.

Fonte: autor.

O custo total dos equipamentos necessários para o plano de manutenção esta avaliado em 88,305.08 USD, assumindo que o cambio está na casa dos 65 MZN por dólar, na moeda nacional o custo total dos equipamentos é de 5,585,296.31 MZN. A estes custos ao se adicionar os custos relativos ao treinamento da equipe de manutenção avaliados em 120,000 MZN, e os custos relativos ao transporte em e montagem dos equipamentos avaliados em 25% do custo total dos equipamentos, estima-se um custo total de 7,101,620.3MZN.

O custo total para a implementação do plano de manutenção é alto, mas este se justificará através dos benefícios de longo prazo que este plano vai proporcionar se for implementado da forma correcta.

## 5. APRESENTAÇÃO, DISCUSSÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

**Chiller:** O chiller é o componente principalmente do sistema de refrigeração usado na CCBA-fábrica de Matola Gare, a sua avaria ou falha condiciona de forma directa no processo produtivo, fazendo com que a temperatura do xarope seja diferente da temperatura desejada, afectando assim o enchimento das garrafas e outros processos produtivos. Sendo o chiller um dispositivo constituído de várias partes que trabalham em conjunto para a produção do xarope resfriado, as falhas podem ser agrupadas em dois grupos as que afectam a qualidade do xarope, e as que reduzem a vida útil das peças do chiller ou do chiller no seu todo, assim sendo, com o tipo de manutenção adotado actualmente (manutenção correctiva) na CCBA- fabrica de Matola Gare nem sempre é possível detectar as falhas do chiller, a não ser que esta afecta na temperatura do xarope.

**Perdas e prejuízos:** Devido ao facto de a temperatura do xarope ser crucial para a produção do refrigerante dentro dos padrões pré-desenhados pela Empresa, a paragem do chiller ou a sua falha em que resulte na alteração da temperatura do xarope, implica na paragem do processo produtivo. Com o trabalho de manutenção do chiller sendo terceirizado, o tempo de resposta para este problema torna-se demorado, e por não se ter noção da gravidade da avaria, a manutenção pode levar mais tempo do que é admissível para o alcance das metas da Empresa, assim sendo a Empresa sofre perdas devido a tempo de inactividade, e devido a natureza da falha ou avaria a manutenção do chiller poderá ser onerosa.

**Implementação do plano de manutenção preditiva:** para o sucesso de um plano de manutenção preditiva, estão envolvidos vários factores, desde o compromisso da equipe de manutenção em se manter fiel ao plano, um investimento financeiro elevado para aquisição e treinamento da equipe, no inicio o plano pode se mostrar desvantajoso devido a relação entre os custos necessários para a sua implementação e os retornos a curto prazo, mas caso o plano seja seguido fielmente, a longo prazo poder-se-á verificar benefícios tais como, o aumento da produtividade e a redução dos custos de manutenção, resultantes da redução das paragens do processo produtivo devido, a avarias ou falhas do chiller.

Os benefícios da implementação do presente plano de manutenção podem ser resumidos a:

- Prever as avarias e a sua gravidade;
- Interromper o processo produtivo de forma programada;
- Reduzir ou eliminar os prejuízos devido a paragens para a manutenção.

## **6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1. Conclusões**

Chegado ao fim do presente projecto pode-se afirmar que, as falhas que resultam na paragem imediata do processo produtivo, estão relacionadas ao condensador e evaporador e torre de resfriamento, pois a mudança da temperatura de saída do xarope do trocador de calor, é inaceitável. Assim sendo a termografia é uma das técnicas de manutenção preditiva que deve ser usada de forma contínua na monitoria da condição do chiller.

A monitoria de vazamento nas condutas e válvulas, do desgaste das peças, e do óleo lubrificante, não é feita de forma contínua, tal como a termografia, esta é feita de forma intervalar, e esta deve ser feita por um membro da equipe de manutenção treinado. A negligência na monitoria destas falhas pode desencadear uma séria de falhas ou ineficiência em outros componentes do sistema de refrigeração chiller.

Terminado o trabalho, foi possível alcançar todos os objectivos traçados no início do projecto, que consistiam em analisar as características do sistema de refrigeração chiller, estudar a manutenção preditiva e elaborar um plano de manutenção preditiva, o que vem a culminar com o melhoramento da eficiência do processo produtivo nas instalações da Coca-Cola da Matola-Gare, evitando interrupções não programadas do processo produtivo.

### **6.2. Recomendações**

- No momento da implementação do presente plano de manutenção, verificar os equipamentos de medição e monitoria, que melhor atendem ao requisito custo-benefício a nível do mercado.
- Na aquisição dos equipamentos, recomenda-se que se peça a lista de alguns clientes que compraram equipamentos semelhantes, para se informar sobre a eficiência de campo dos equipamentos.
- Como forma de verificar se o equipamento está a funcionar com a precisão requerida, é necessário por vezes repetir os testes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fluke. (2013). *Scanner de temperatura de precisão Super-DAQ 1586A*. United States of America: Fluke calibration.
- HANSON, S., SCHWEDLER, M., & BAKKUM, B. (2011). *Chiller System Design and Control*. Trane.
- Higgins, L. (2002). *Maintenance Engineering Handbook*. Nova York : McGraw-Hill.
- MOBLEY, R. K. (1943). *An introduction to predictive maintainance* (2 edição ed.). Estados Unidos da America : Butterworth-Heinemann.
- OLIVEIRA, M. M. (2011). *Como fazer projectos, relatórios, monografias, dissertações, teses*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- SCHWARTZ, M. (1982). *Four types of heat exchanger failures*. ITT Bell and Gossett.
- Scientific, S. (2016). *Industrial Solutions For On-site Fluid Analysis*. Spectro Scientific .
- SEVERINO, A. J. (2013). *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Cortez.
- Trane. (2012). *Helical-Rotary Water Chiller* . Trane.
- Trane. (2014). *RTHD SE/HE/XE/HSE Water cooled Helical-Rotary chillers 500-1500 kW*. Trane.
- [www.indiamart.com/proddetail/tirvector-minilab-15302014530.html](http://www.indiamart.com/proddetail/tirvector-minilab-15302014530.html)- acessado aos 14 de setembro de 2023
- [www.wb2instrumentacao.com.br/p-12064175-Scanner-Validador-Termico-Fluke-1586A-](http://www.wb2instrumentacao.com.br/p-12064175-Scanner-Validador-Termico-Fluke-1586A-) acessado aos 14 de setembro de 2023

# ANEXOS

## Anexo I



### M2 Malfunction Report


No. 10006

Date issued	04.03.23		SAP PM No	
Artisan	Helen Jaime Mangujo		Requested by	
Line / Area	Service	Machine	Drift	
Equipment		Equipment No	Order Type	<input checked="" type="checkbox"/> Breakdown <input type="checkbox"/> Break-In
Electrical		Mechanical		

SAFETY FIRST: Ensure that Lockout/isolation work instruction is followed & respective permits.

Breakdown / Downtime			
Start Date	04.03.23	End Date	04.03.23
Time Started	15h20	Time Ended	16h00
Actual duration	40'		
Time booked on IPM			

Description:

1. What was the problem? This is the actual description of the problem.  
Alta temperatura na saída do compressor de frio.
2. What did you do to correct the condition?  
Resetar o alarme e ligar o compressor
3. What was the cause of the damage?  
Oscilação da pressão de- pois da passagem da linha por muito.
5. If temporary, what is the tag number raised?
6. How can this be prevented in the future? (Schedule it as a weekly / Monthly check?)

Spares / External Services					RCA Codes		
Description	Material Number	Quantity	Stores / Stockrooms Reference Number	Bin/Case	Object Part	Damage Code	Cause Code
					AB70	AC70	AD70

Communication:

Artisan / Technical Operator on next shift to note: (Communication with next Artisan/ Technical Operator)

Comments:

No Downtime: Review / Monitoring / Break In Work

Artisan / Technical Operator	Helen	Time Start	15h:20	Time Ended	16h00	Actual Time	40'
Comments:							
Artisan / Technical Operator		Time Start		Time Ended		Actual Time	
Comments:							

Team Leader	Artisan / Technical Operator	Helen	Maintenance Controller	Rel Engineer / Planner
Date	Date	04.03.23	Date	Date

Items in grey to be completed by Production for Breakdowns

Diani Design 2014

Anexo II



### M2 Malfunction Report


No: 10572

Date issued: 16-09-2022		SAP PM No:	
Artisan: Denyse Penelope		Requested by: Fungo e Henrique	
Line / Area: Compressor	Machine: 17001	Shift:	
Equipment: Trine 1	Equipment No: 20052704	Order Type: Breakdown / Break-in	
Electrical:	Mechanical:		

SAFETY FIRST: Ensure that Lockout/isolation work instruction is followed & respective permits.

Breakdown / Downtime			
Start Date: 16-09-22	End Date: 16-09-22	Actual duration: 50'	
Time Started: 08:00	Time Ended: 08:50	Time booked on IPR:	

Description:

1. What was the problem? This is the actual description of the problem  
 High temperature in the cold compressor zone

2. What did you do to correct the condition?  
 I reset the circuit breaker and started the fan on manual mode

3. What was the cause of the damage?  
 Chiller main circuit breaker tripped due to system circuit

4. Is a root cause analysis required for a future date? If no, what is the Breakdown Analysis Form Number if applicable?

5. If temporary, what is the tag number raised?

6. How can this be prevented in the future? (Schedule it as a weekly / Monthly check?)

Spares / External Services					RCA Codes		
Description	Material Number	Quantity	Stores / Procurement Reference Number	Supplier	Object Part	Damage Code	Cause Code
					AR10	AC70	AD30
					AR10	AC70	AD30

Communication:

Artisan / Technical Operator on next shift to note: (Communication with next Artisan/ Technical Operator)

Comments:

No Downtime: Review / Monitoring / Break In Work

Artisan / Technical Operator: Denyse Penelope	Time Start: 8:00	Time Ended: 8:50	Actual Time: 50'
Comments: Denyse Penelope, Liete e Henrique Rodrigues			

Artisan / Technical Operator:	Time Start:	Time Ended:	Actual Time:
Comments:			

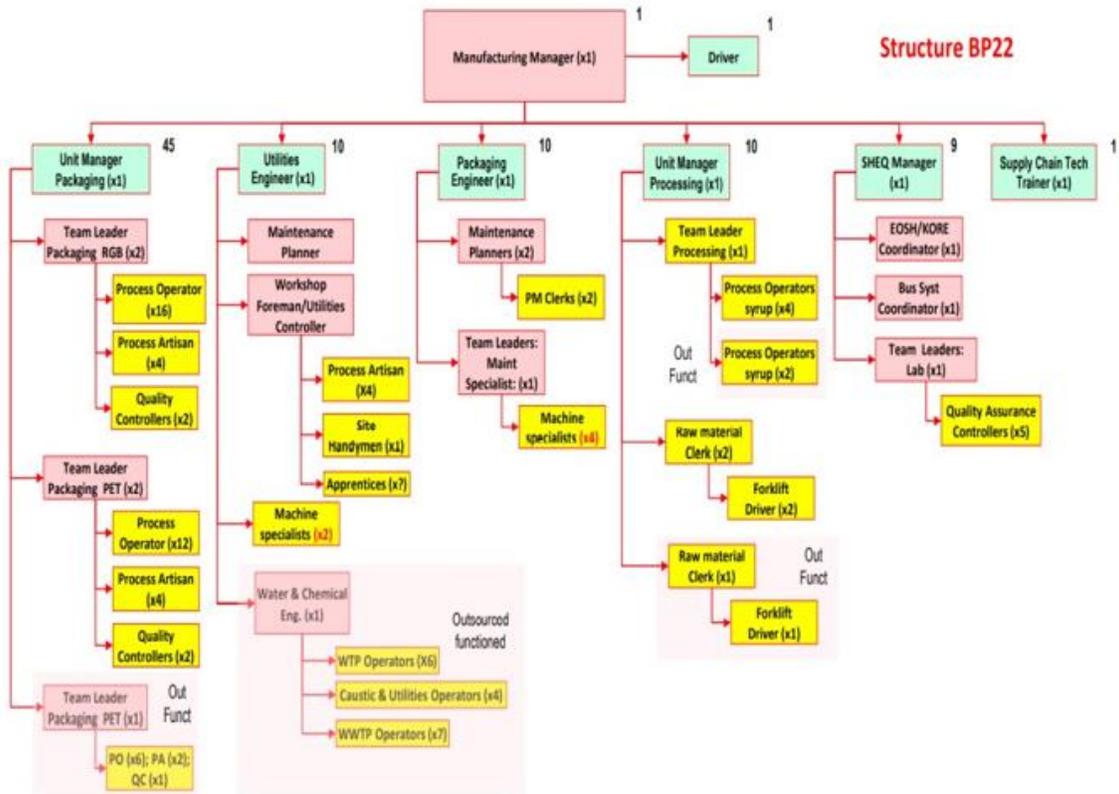
Team Leader: Marife	Artisan / Technical Operator:	Maintenance Controller:	Rel Engineer / Planner:
Date: 16-09-22	Date:	Date:	Date:

Items in gray to be completed by...

Anexo III

Coca-Cola Beverages Africa				M2 Malfunction Report		Nº: 10576	
Work Order	30.09.2022			SAP PM No			
Artsen	Eunice G. A. Sueana			Requested by			
Line / Area	5	Machine		Shift			
Equipment	Compressor	Equipment No	30052784	Order Type	<input checked="" type="checkbox"/> Breakdown	<input type="checkbox"/> Break-In	
Electrical		Mechanical					
<b>SAFETY FIRST: Ensure that Lockout/isolation work instruction is followed &amp; respective permits.</b>							
<b>Breakdown / Downtime</b>							
Start Date	30.09.22	End Date	30.09.2022	Actual duration	57'		
Time Started		Time Ended		Time booked on IPR			
<b>Description:</b>							
1. What was the problem? This is the actual description of the problem							
Alta temperatura de saída no compressor de frio							
2. What did you do to correct the condition?							
Resetar os alarme, ligar um compressor							
3. What was the cause of the damage?				5. If temporary, what is the tag number raised			
Bombas dos compressores estavam ligadas simultaneamente							
4. Is a root cause analysis required for a future date? If no, what is the Breakdown Analysis Form Number if applicable?				6. How can this be prevented in the future? (Schedule it as a weekly / Monthly check?)			
<b>Spares / External Services</b>				<b>RCA Codes</b>			
Description	Material Number	Quantity	Stores / Procurement Reference Number	Supplier	Object Part	Damage Code	Cause Code
					AR10	AC70	AD10
<b>Communication:</b>							
Artsen / Technical Operator on next shift to note: (Communication with next Artsen/ Technical Operator)							
<b>Comments:</b>							
<b>No Downtime: Review / Monitoring / Break In Work</b>							
Artsen / Technical Operator	E. Sueana	Time Start		Time Ended		Actual Time	
Comments:							
Artsen / Technical Operator		Time Start		Time Ended		Actual Time	
Comments:							
Team Leader		Artsen / Technical Operator	E. Sueana	Maintenance Controller		Rel Engineer / Planner	
Date	30.09.22	Date	30.09.22	Date		Date	
Items in grey to be completed by Production for Breakdowns							

Anexo IV



**SALCAS** CATÁLOGO TÉCNICO DE PRODUTO 

PIROMETRIA | TEMPERATURA | PRESSÃO | UMIDADE | FLUXO | ELÉTRICA | LABORATÓRIO | SEGURANÇA | DIVERSOS

**CONJUNTO LD 300 - DETECTOR DE VAZAMENTO**

Se gases escaparem por vazamentos, sons ultrassônicos são emitidos. Através do LD 300, vazamentos podem ser detectados em escala ultrassônica, mesmo de vários metros de distância. O LD 300 transforma sinais inaudíveis em uma frequência que pode ser identificada através de um conjunto de fones de ouvido a prova de som. Em sistemas despressurizados, um gerador de tom ultrassônico pode ser usado, já que o sinal viaja através das menores aberturas.

**Economia**

Na Alemanha, 60.000 fábricas usam 14.000.000.000 kWh de energia elétrica por ano. 15 a 20% poderiam ser facilmente economizados (Peter Radgen, Fraunhofer Institut, Karlsruhe) A maior parte desses custos é causada por vazamentos no sistema de ar comprimido. O ar "escapa" sem uso. 1 vazamento com 1mm de diâmetro = 270 EUR/ano

**O LD 300 será pago após 4 vazamentos.**

**Consistindo em:**

LD 300 leak detector	0500 0102
Sensor ultrassônico	0605 0001
Fones de ouvido a prova de som	0554 0102
Tubo de foco com ponta	0530 0101
Cabo para sensor ultrassônico	0553 0101
Carregador de Bateria	0554 0001
Estojo de transporte	0554 0101

**Acessórios, não incluídos no conjunto**

- 1 x Gerador ultrassônico de tom
- 1 x Telescópio bar 3 x 120cm

**Dados técnicos**

<b>Frequência de trabalho?</b>	40 kHz ± 2 kHz
<b>Conexão:</b>	1) conexão de 4 pólos para fones de ouvido e carregador de bateria 2) 3,5mm soquete estéreo para sensor e conexão de cabo
<b>Laser:</b>	comprimento de onda: 655...660 nm força de saída: 0.4...0.5 mW
<b>Fornecimento de Energia</b>	bateria interna NiMH
<b>Duração da Operação</b>	Aproximadamente 6 horas sem laser, aproximadamente 4 horas com laser
<b>Tempo de carga:</b>	Aproximadamente 1,5 hora
<b>Temperatura de Operação</b>	0 a 40 °C
<b>Temperatura de armazenamento</b>	-10 a 50 °C
<b>Telescópio:</b>	3 x 120 cm



## Monitor de Vibrações NK200

**O NK200 monitora continuamente o nível da vibração em máquinas ou equipamentos críticos.**

O Monitor de Vibrações NK200 é ideal para montagem em painéis de controle para monitoramento de máquinas críticas. Pode ser utilizado em Velocidade (mm/s) ou Deslocamento ( $\mu\text{m}$  P-P) com faixas de medida ajustáveis.

Através do bargraph pode-se configurar nível de alarme e desarme dentro da faixa de medida. Possui dois relés de saída acionados através dos níveis de alarme e desarme, podem ser configurados em normalmente fechado (NF) ou normalmente aberto (NA). Ideal para montagem em painéis de controle. Possui saída no padrão 4 a 20mA proporcional ao nível de vibração para monitoramento via CLP.

O Monitor de Vibrações NK200 é compatível com sensores ICP além dos sensores de fabricação própria da Teknikao:

- Sensor NK20: fixação através de um prisioneiro M8;
- Sensor NK25: possui 4 pontos de fixação e eletroduto flexível em fita de aço zincada revestido externamente com PVC para proteção do cabo, próprio para ambientes agressivos.



O Equipamento Básico compreende: 01 NK 200, 01 acelerômetro com cabo e conduíte de 05 metros e Manual de Operação.

### PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Unidade de medida:
  - Velocidade (mm/s RMS);
- Indicação por bargraph de LED;
- Saída proporcional 4 a 20mA;
- Relés de alarme e desarme.

### RECOMENDADO PARA:

- Torres de resfriamento;
- Máquinas de mineração;
- Máquinas críticas;
- Entre outros.

### OPÇÕES DE SENSORES - NK200



**Sensor de Vibrações NK20 (Acelerômetro)**

- Piezoelétrico com amplificador de carga interno;
- Resposta em frequência : 5Hz a 10KHz;
- Temperatura de operação: -20°C...+80°C.



**Sensor de Vibrações NK25 (Acelerômetro)**

- Piezoelétrico com amplificador de carga interno;
- Resposta em frequência : 5Hz a 7KHz;
- Temperatura de operação: -20°C...+80°C.

## Anexo VII

<b>ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS - NK200</b>	
<b>MONITOR DE VIBRAÇÕES NK200</b>	
Faixa de frequência do Medidor Nível Global	10Hz a 1kHz
Norma de medida	NBR10082
Sensores compatíveis	NK20, NK25 ou ICP
Taxa de amostragem	3,5ks/s
Conversor AD	10Bits
Indicação	Nível Global, alarme e desarme através de Bargraph
Saídas	4...20mA / Relés: alarme e desarme
Fixação	Norma DIN
Temperatura de operação	-10°C...+60°C
Alimentação	110/220VAC
Dimensões	48 x 96 x 141mm
Peso	340g
<b>MEDIDAS</b>	
Velocidade	5, 10, 20, 50mm/s RMS
Deslocamento	100, 200, 400, 1000µm PP
Outros valores	*Sob consulta
<b>SENSOR DE VIBRAÇÕES - NK20</b>	
Sensibilidade do acelerômetro	100mV/g (nominal)
Faixa de frequência	5Hz a 10kHz
Pico máximo do acelerômetro	200g PP
Alimentação	DC 5...12V
Temperatura	-20°C...+80°C
Dimensões	35 x 45mm (sem conector)
Peso	180g
Fixação	Prisioneiro M8 x 10
Cabo (conexão com terminais)	Liso com conectores MIKE (F)
<b>BASE MAGNÉTICA</b>	
Base magnética	Prisma 02 (dois) pólos
Ímã	Alnico / Terras Raras
Peso	100g
Dimensões	35 x 18mm
Fixação	Prisioneiro M8 x 10
<b>SENSOR DE VIBRAÇÕES NK25</b>	
Sensibilidade do acelerômetro	100mV/g (nominal)
Pico máximo do acelerômetro	200g PP
Alimentação	DC 5...12V
Temperatura	-20°C...+80°C
Dimensões	50 x 55 x 43mm
Peso	600g
Fixação	04 (quatro) parafusos allen M4 x 35
Cabo (conexão com terminais)	Liso com eletroduto metálico flexível à prova de tempo