



ESCOLA SUPERIOR NÁUTICA INFANTE D. HENRIQUE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MARÍTIMA

DETECÇÃO E PREVENÇÃO DE FALHAS APLICANDO
FERRAMENTAS DA QUALIDADE NO CICLO PDCA PARA
MELHORIA CONTÍNUA.

ESTUDO DE CASO: INSTALAÇÃO DE TRATAMENTO DE
PETRÓLEO.

Eng.º Inácio Miguel Carlos

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de
Máquinas Marítimas.

ORIENTADOR: Professora Doutora. Rosa Marat-Mendes

CO-ORIENTADOR: Professor Mestre. Yodelkis Delgado Drubey

ENIDH, Setembro 2020



ESCOLA SUPERIOR NÁUTICA INFANTE D. HENRIQUE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MARÍTIMA

DETECÇÃO E PREVENÇÃO DE FALHAS APLICANDO
FERRAMENTAS DA QUALIDADE NO CICLO PDCA PARA
MELHORIA CONTÍNUA.

ESTUDO DE CASO: INSTALAÇÃO DE TRATAMENTO DE
PETRÓLEO.

Eng.º Inácio Miguel Carlos

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de
Máquinas Marítimas.

ORIENTADOR: Professora Doutora. Rosa Marat-Mendes

CO-ORIENTADOR: Professor Mestre Yodelkis Delgado Drubey

ENIDH, Setembro 2020

PENSAMENTO

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou
o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o
que era antes”.*

(Martin Luther King)

DEDICATÓRIA

Dedico este meu trabalho à minha família: Maria Carlos, minha digníssima esposa, Daniel Carlos, meu filho de 7 anos de idade e Jemima Carlos de 5 anos de idade, por serem a minha fonte de inspiração para voar mais alto e melhor. É bem verdade que momentos difíceis sempre existiram, mas sei que sempre ultrapassaremos da melhor maneira com Deus no controlo...

Espero que o meu sucesso académico venha trazer um valor agregado à nossa família e em geral a toda a sociedade Angolana e não só...

RESUMO

As técnicas de análise a partir de ciclos de melhoria contínua e ferramentas da qualidade são cada vez mais aplicadas na indústria como instrumentos estratégicos para a prevenção, detecção e previsão de falhas e a garantia da integridade dos processos.

Neste âmbito, esta dissertação propõe o uso das ferramentas da qualidade dentro do ciclo de melhoria contínua PDCA para associar aspetos qualitativos (através de informações coletadas no campo com a opinião de especialistas) e quantitativos (provenientes de bancos de dados de registos de falhas de uma empresa do ramo petrolífero).

A proposta deste trabalho desenvolveu-se aplicando um procedimento ao sistema de reinjecção de água na instalação de tratamento de petróleo Castanha, Bloco Sul Cabinda. O procedimento foi dirigido à detecção e prevenção de falhas nos equipamentos, nomeadamente bombas centrífugas e de deslocamento positivo. Aproveitaram-se as 4 fases de ciclo PDCA e em cada uma delas utilizaram-se as ferramentas da qualidade.

Os dados obtidos nas avaliações foram processados para o sistema analisado de onde se obtiveram vários indicadores de gestão da manutenção, nomeadamente as Taxa de falhas das bombas, assim como o MTBF e o MTTR. Foi realizada a FMEA para as bombas junto de uma série de medidas de solução para o caso de alguma destas bombas falhar, em conjunto com a implementação de vários projetos de melhorias da instalação.

Ficou claro através das curvas de tendência, do impacto que o tempo de paragem dos equipamentos tem sobre a produção de petróleo e gás, assim como no consumo de água no sistema estudado influenciando directamente nas perdas económicas da referida instalação.

Palavras-chave: Ciclo PDCA, falhas, bombas centrífugas, bombas de deslocamento positivo, melhoria contínua, reinjecção de água, MTBF, MTTR, FMEA.

ABSTRACT

Analysis techniques based on continuous improvement cycles and quality tools are increasingly applied in the industry as strategic tools for the prevention, detection and prediction of failures and the guarantee of process integrity.

In this context, this dissertation proposes the use of quality tools within the PDCA continuous improvement cycle to associate qualitative aspects (through information collected in the field with the opinion of experts) and quantitative (coming from databases of failure records of an oil company).

The proposal of this work was developed by applying a procedure to the water reinjection system in the oil treatment facility Castanha, Bloco Sul Cabinda. The procedure was aimed at detecting and preventing equipment failures, including centrifugal and positive displacement pumps. The 4 PDCA cycle phases were used and quality tools were used in each phase.

The data obtained in the evaluations were processed for the analyzed system from which several maintenance management indicators were obtained, namely the pump failure rates, as well as the MTBF and MTTR. FMEA was also carried out for the pumps along with a series of solution measures in case any of these pumps fail, together with the implementation of various installation improvement projects.

It was clear through the trend curves, the impact that the downtime of the equipment has on the production of oil and gas, as well as on the consumption of water in the studied system directly influencing the economic losses of said facility.

Keywords: PDCA cycle, failures, centrifugal pumps, positive displacement pumps, continuous improvement, water reinjection, MTBF, MTTR, FMEA.

AGRADECIMENTOS

O fôlego da vida a Deus pertence, sendo assim agradeço e agradecerei sempre a Deus pela saudável protecção, pois só assim foi possível atingir este objectivo. Aos meus colegas, ex-colegas que dum modo geral contribuíram directa ou indirectamente durante a longa jornada de formação extendendo-se até aos dias de hoje em que nos tornamos profissionais, não posso deixar de mencionar os colegas Engenheiros Gaspar Dalas Jungo e Miclino Dário Carlos Mendes a vocês o meu respeito e o meu muito obrigado.

À empresa Pluspetrol Angola Cooperation o meu muito obrigado por me terem acolhido como funcionário desde Junho de 2012 e me darem a possibilidade de ter acesso a todos os dados que se achou necessário para a elaboração deste trabalho.

À Escola Superior Náutica Henfante D. Henrique em Oeiras, Paço de Arcos, na pessoa do Coordenador do Mestrado em Engenharia de Máquinas Marítimas (MEMM), Professor Manuel Nogueira, com o qual mantive os primeiros contactos para a elaboração do trabalho que aqui se apresenta.

No final, não por serem menos importantes, mas pelo contrário, sem vocês, meus exceltíssimos orientadores: Professora Doutora. Rosa Marat-Mendes e Professor Mestre Yodelkis Delgado Drubey seria simplesmente impossível a realização deste trabalho, a vocês, meus caríssimos Orientadores, os meus sinceros agradecimentos, não haverá maneira de pagar o esforço demandado por vós para me orientarem de forma incansável, mesmo em gozo de férias da vossa parte recebi as ajudas em tempo e hora, muito além do esperado.

Ao corpo de jurados presentes e todos que no ar da sua graça ajudaram para este trabalho para que a conclusão do MEMM fosse uma realidade, os meus agradecimentos.

ÍNDICE

RESUMO		. iv
ABSTRACT		. v
AGRADECIMENTOS		. vi
ÍNDICE		. vii
ÍNDICE DE FIGURAS		. x
ÍNDICE DE TABELAS		. xii
NOMENCLATURA		. xiii
CAPÍTULO 1		
INTRODUÇÃO		. 1
1.1. Pluspetrol		. 2
1.2. Objectivos		. 4
1.2.1. Objectivos gerais		. 5
1.2.2. Objectivos específicos		. 5
1.3. Estrutura da dissertação		. 5
CAPÍTULO 2		
FILOSOFIAS E TIPOS DE MANUTENÇÃO		. 7
2.1. Introdução à Manutenção		. 7
2.2. Evolução Histórica da Manutenção		. 7
2.3. Tipos de Manutenção.		. 9
2.3.1. Manutenção Correctiva		. 9
2.3.2. Manutenção Preventiva		. 10
2.3.3. Manutenção Detectiva		. 14
2.3.4. Manutenção de Melhoria		. 14
2.4. Gestão da Manutenção		. 15
2.4.1. Manutenção Centrada na Fiabilidade		. 16
2.4.2. Manutenção <i>Lean</i>		. 20
2.4.2.1. Manutenção Produtiva Total		. 20
2.4.2.2. Ciclo PDCA		. 22

CAPÍTULO 3

FERRAMENTAS E METODOLOGIA DA QUALIDADE	. 23
3.1. Sete Ferramentas Básicas da Qualidade	. 25
3.2. Outras ferramentas	. 31
3.2.1. Análises dos Modos e Efeitos de Falha	. 31
3.2.2. Prova de Hipóteses	. 32
3.2.3. Análise Árvore de Falhas	. 33
3.2.4. Capacidade de Processo	. 35

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA PROPOSTA	. 38
4.1. Grandes perdas em equipamentos industriais.	. 38
4.2. Perdas por Falhas	. 40
4.2.1. Falhas esporádicas	. 40
4.2.2. Prevenção de falhas esporádicas	. 41
4.2.3. Manutenção do nível 1 e 2	. 43
4.2.4. Identificação de modos potenciais de falha	. 44
4.2.5. Determinação da causa raiz e monitorização da sua evolução	. 44
4.2.6. Prevenção e padronização de falhas	. 45

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO	. 46
5.1. Descrição da Instalação	. 46
5.2. Caracterização dos Equipamentos	. 54
5.3. Divisão operativa da Instalação	. 56
5.4. Análise de Falhas.	. 56
5.4.1. Obtenção do Índice de Gestão.	. 57
5.4.2. Detecção e Prevenção de Falhas Esporádicas	. 62
5.4.3. Descrição funcional	. 62
5.4.4. Actividades de manutenção de nível 1 e 2 nas bombas	. 63
5.4.5. Identificação de modos potenciais de falha	. 63
5.4.6. Identificação da causa raiz das falhas	. 64
5.4.7. Monitorização da condição de risco e prevenção	. 68
5.4.8. Estandardização e conclusões.	. 68
5.5. Projecto de melhoria da instalação	. 68
5.6. Análise de custo	. 69

5.7.	Ciclo de melhoria contínua: PDCA na Instalação	.	.	.	.	.	.72
5.8.	Discussão de Resultados	.	.	.	.	.	.74
CAPÍTULO 6							
DISCUSSÃO DE RESULTADOS							.74
CAPÍTULO 7							
CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS							.77
7.1.	Conclusões	.	.	.	.	.	.77
7.2.	Trabalhos futuros	.	.	.	.	.	.78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS							.79
ANEXOS							.85
ANEXO 1. Instalação de tratamento de petróleo							.86
ANEXO 2. Tanques de armazenamento.							.87
ANEXO 3. O NPR na FMEA.							.87
ANEXO 4. Projeto de Melhoria							.95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Presença da Pluspetrol pelo mundo		. 3
Figura 1.2. Equipamentos da Instalação		. 3
Figura 1.3. Mapa dos três blocos de exploração petrolíferas em Cabinda		. 4
Figura 2.1. Quadro de evolução das técnicas de manutenção		. 8
Figura 2.2. Tipos de manutenção Industrial		. 9
Figura 2.3. Panorama tradicional da manutenção		. 11
Figura 2.4. Tipos de Manutenção		. 15
Figura 2.5. Oito pilares da Manutenção Productiva Total		. 21
Figura 2.6. Ciclo PDCA		. 23
Figura 3.1. Blocos básicos para construção de fluxogramas		. 26
Figura 3.2. Exemplo de Diagrama de Pareto		. 28
Figura 3.3. Diagrama de Causa-Efeito		. 29
Figura 3.4. Exemplo de Diagrama de dispersão		. 30
Figura 3.5. Exemplo de Cartas de controlo		. 30
Figura 4.1. Perdas e efeitos que provocam nos equipamentos.		. 39
Figura 4.2. Influência das falhas nas perdas dos equipamentos.		. 40
Figura 4.3. Metodologia proposta para a prevenção de falhas esporádicas.		. 42
Figura 5.1. Tocha Queimadora de gás		. 47
Figura 5.2. Poço de extracção de petróleo do campo castanha.		. 47
Figura 5.3. Porco ou raspador para limpeza de oleodutos		. 48
Figura 5.4. Separador trifásico		. 48
Figura 5.5. Tratador térmico		. 49
Figura 5.6. Fases do Tratamento de água		. 49
Figura 5.7. Tanque e bomba de reprocesso da Instalação		. 50
Figura 5.8. Bombas da Instalação de tratamento de <i>crude</i>		. 51
Figura 5.9. Taxa de falhas das Bombas analisadas		. 60
Figura 5.10. Índices MTBF e MTTR das Bombas analisadas.		. 61
Figura 5.11. Disponibilidade e fiabilidade das Bombas analisadas		. 61
Figura 5.12. Falha da Bomba P103-B		. 64
Figura 5.13. Sistema de lubrificação da Bomba P103-B		. 65
Figura 5.14. Zona desgastada da Cambota		. 66
Figura 5.15. Diagrama causa efeito ou espinha de peixe para a falha analisada		. 67

Figura 5.16. Produção de Petróleo e Gás vs Horas de paragem	. 71
Figura 5.17. Histogramas das horas de paragem entre janeiro e março de 2020.	. 72
Figura 6.1. Diagrama de Pareto para as bombas do sistema de injeção de água	. 75
Figura A1. Instalação de tratamento de petróleo	. 86
Figura A2. - TK-102; Tanque de armazenamento de água	. 87
Figura A3. - TK-002; Tanque de armazenamento de petróleo <i>crude</i> .	. 87
Figura A4. - TK-201; Tanque de resíduos	. 87

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Elementos de Árvore de Falha	34
Tabela 4.1. Objectivos pretendidos com a metodologia proposta	42
Tabela 4.2. Ferramentas na metodologia de prevenção de falhas esporádicas	45
Tabela 5.1. Equipamentos da instalação de tratamento de petróleo de Castanha	54
Tabela 5.2. Dados históricos referentes aos elementos que mais falharam	56
Tabela 5.3. Perdas económicas devido a paragens do sistema de reinjeção de água.	70
Tabela 5.4. Resumo da integração do procedimento para melhoria contínua	73
Tabela A1. Categorias de Frequência	88
Tabela A2. Categorias de Severidade	89
Tabela A3. Categorias de Detecção	89
Tabela A4. FMEA para as bombas <i>Booster</i> tipo centrífuga.	90
Tabela A5. FMEA para as bombas SIAM de deslocamento positivo	92
Tabela A6. Projecto de melhoria da Instalação	96

NOMENCLATURA

ABREVIATURAS, SIGLAS e ACRÓNIMOS

API	- <i>American Petroleum Institute</i>
BES	- Bombas electrosubmersíveis
CL	- <i>Check List</i>
CPI	- <i>Corrugated plate interceptor</i>
CTQ	- <i>Critical to Quality Characteristic</i>
DD	- Diagrama de dispersão
DFMEA	- <i>Design Failure Modes and Effects Analysis</i>
Dish	- Diagrama de Ishikawa
DOE	- <i>Design of Experiments</i>
DP	- Diagrama de Pareto
FMEA	- <i>Failure Modes and Effects Analysis</i>
FTA	- <i>Failures Tree Analysis</i>
CC	- Cartas de Controlo
GIE	- <i>Gas Infrastructure Europa</i>
Hist	- Histograma.
HR	- Horas de reparação
IBR	- Inspeção baseada em risco
IGF	- <i>Induced gas flotation</i> (Unidade de flutuação induzida)
LACT	- <i>Lease automatic custody transfer unit</i>
LIE	- Limite Inferior de Especificação
LSE	- Limite Superior de Especificação
MP	- Mapa de processo.
MTBF	- <i>Mean time between failures</i>
MTTF	- <i>Mean Time to Failures</i>
MTTR	- <i>Mean Time To Repair</i>
PDCA	- <i>Plan, Do, Check. Act</i>
PFMEA	- <i>Process Failure Modes and Effects Analysis</i>
PH	- Prova de hipóteses.
PSV	- <i>Pressure safety valve</i>
RCM	- <i>Reliability Centered Maintenance</i>
RPN	- <i>Risk Priority Number</i>

$R(t)$ - Fiabilidade

RVP - *Reid vapor pressure*

T.T.Ri - *Time To Repair*

TPM - *Total Productive Maintenance*

ULACT - *Lease Automatic Custody Tranfer Unit*

USD - Dolar americano

SIMBOLOGIA

C_p - Capacidade de processo

C_{pk} - Capacidade real de processo.

$\hat{C}_p$ - Capacidade estimada de processo

C_{pi} - Capacidade de processo unilateral inferior

C_{ps} - Capacidade de processo unilateral superior

K_{30} - Número de falhas esperado em 30 dias (um mês)

K_t - Número de falhas contabilizadas num determinado equipamento

n - Número de equipamentos ou itens analisados

$R(t)$ - Fiabilidade

t - Tempo previsto de operação

Δt - Intervalo de tempo analisado

λ_t - Fluxo ou taxa de falhas

μ - Média da amostra.

σ - Desvio padrão da amostra

$\bar{\sigma}$ - Desvio padrão da amostra estimada

UNIDADES DE MEDIDA ESPECIAIS

bbl - barris

bpd - barris por dia

MCF- Mil pés cúbicos

MMscfd - *Million standard cubic feet per day*

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Desde o advento das máquinas, muitos empresários dedicaram-se a estudar e a propor formas mais eficientes de organizar o processo fabril. Todas elas visavam atingir o máximo grau de produtividade. Os sistemas produtivos mais importantes criados nesta filosofia foram o Taylorismo e o Fordismo.

Fazendo uma rápida retrospectiva, pode-se identificar no Taylorismo uma pretensão em submeter o trabalhador ao ritmo da máquina, com o mínimo de interrupções, predominando neste sistema de produção a divisão e a subdivisão de tarefas, bem como a valorização de procedimentos mecânicos que dispensavam o raciocínio dos trabalhadores. O Fordismo surgiu numa tentativa de aperfeiçoar este primeiro sistema, havendo em ambos os casos, como exigência, o domínio de habilidades específicas.

Só que mais avanços e mudanças tecnológicas continuaram a ocorrer e assim estes modelos ficaram ultrapassados, uma vez que não conseguiram satisfazer as novas exigências do mercado justamente por não se preocuparem com a qualificação dos trabalhadores [Moro e Auras, 2007].

Actualmente na prática, em muitas empresas os directores de manutenção precisam pensar que é um bom negócio investir na manutenção dos equipamentos e não considerar a manutenção como uma despesa.

Nos últimos anos, rigorosos padrões de qualidade que devem ser cumpridos, assim como a intensa pressão da concorrência entre as indústrias na mesma categoria para se manterem nos mercados nacionais e internacionais, foi forçando os responsáveis pela manutenção nessas indústrias a implementarem mudanças necessárias e deixar de ser um departamento que realize somente reparações e mudanças de peças, convertendo-se assim numa unidade estratégica de alto nível, contribuindo dessa forma para o aumento dos níveis de produção. Portanto, é necessário notar que a actividade da manutenção se for realizada da melhor forma, poderá gerar um melhor produto; originando assim uma melhor qualidade de produção e maior quantidade com menores custos.

Nenhuma filosofia ou política da qualidade como *Lean Manufacturing*, *Kaizen*, *Zero Defeitos*, etc., faria sentido numa empresa onde a maquinaria apresenta um

funcionamento deficiente. É por essa razão que estas filosofias e técnicas nunca devem esquecer o desempenho e a manutenção dos seus equipamentos de produção.

Qualidade não é apenas separar produtos bons de produtos maus no fim da actividade de produção. A qualidade não é controlada, fabrica-se, evitando que os defeitos ocorram nos processos de produção, criando uma nova cultura, mantendo a liderança, desenvolvendo o pessoal e trabalhando em equipa.

Para garantir a qualidade na gestão da manutenção, existem várias ferramentas de qualidade, especificamente um grupo chamado **Sete Ferramentas Básicas** que são aplicadas para a melhoria da qualidade e resolução de problemas. Cada organização, adopta aquelas ferramentas que podem ajudar a melhorar a sua gestão; o sucesso dessas ferramentas está na capacidade que demonstram ao ser aplicadas numa ampla gama de problemas, desde o controlo de qualidade até às áreas de produção, marketing, recursos humanos e administração [Sánchez, 2013].

Depois da Segunda Guerra Mundial, por volta de 1950, com a preocupação dos japoneses em reconstruir o país, conquistar novos mercados e recuperar a reputação dos produtos, o sindicato japonês de cientistas e engenheiros convidou o estatístico americano Willian Edwards Deming para se deslocar ao Japão e ministrar palestras para líderes, ele dizia: *“elimine defeitos, analise os erros até encontrar a fonte dos erros, fazer correcções e registrar os acontecimentos posteriores à correcção”* [Chiavenato, 1999]. Com esse cuidado, a qualidade tornou-se uma preocupação prioritária na base das organizações japonesas, dando origem à fase de conceituação e conscientização da qualidade, o que provocou o surgimento da melhoria contínua da qualidade.

A melhoria de desempenho de produtos e processos pode ser obtida a partir de duas abordagens, melhoria contínua e melhoria radical [Carpinetti, 2010].

1.1. Pluspetrol

A instalação estudada no trabalho que aqui se apresenta, pertence à indústria petrolífera, mais especificamente à empresa Pluspetrol. A Pluspetrol é uma empresa internacional privada e independente com mais de 40 anos de experiência na exploração e produção de petróleo e gás. A Pluspetrol está presente em Angola, Argentina, Bolívia, Colômbia, Estados Unidos, Holanda, Peru e Uruguai, e promove o desenvolvimento de energia (Figura 1.1) [Pluspetrol, 2015].

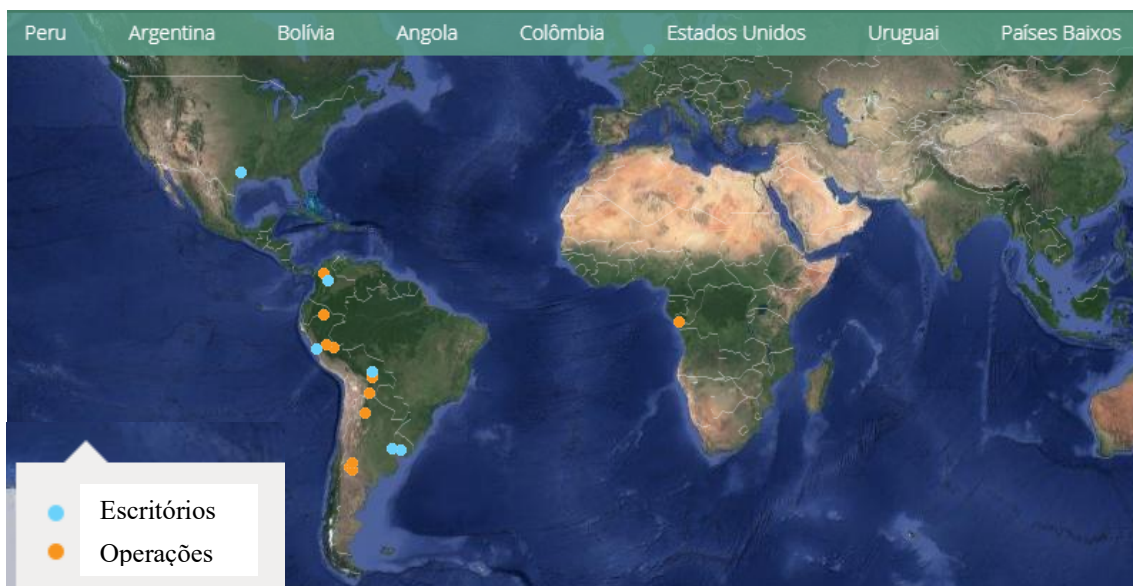


Figura 1.1. Presença da Pluspetrol pelo mundo [Pluspetrol, 2015].

Os pontos azuis na Figura 1.1 indicam a localização dos escritórios e os pontos castanhos indicam a localização dos campos de exploração e produção. Pode-se reparar que a empresa se apresenta maioritariamente no continente sul-americano, estando em Angola o local de exploração e produção da instalação estudada neste trabalho.

A presente tese apresenta um estudo de caso da instalação em Angola localizada na província de Cabinda, município cede na localidade de São Vicente que fica a 10 km a leste do centro da cidade (Figura 1.2).



Figura 1.2. Equipamentos da Instalação [Pluspetrol, 2015].

A Pluspetrol opera 55% do Bloco Cabinda Sul (Figura 1.3). A empresa obteve um forte conhecimento dos reservatórios da região através da análise de dados sísmicos geológicos e 3D da região. Em 2013 iniciou a exploração no campo de Castanha (Cabinda Sul), a

primeira empresa a iniciar a sua produção onshore em Angola desde a sua independência em 1975 [Portal de Angola, 2014].

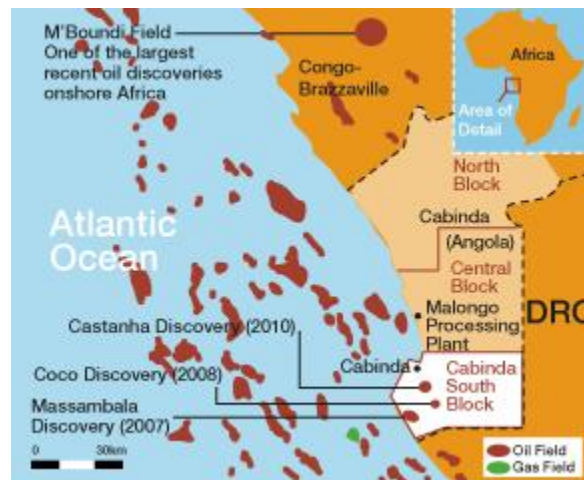


Figura 1.3. Mapa dos três blocos de exploração petrolíferas em Cabinda [Pluspetrol, 2015].

Em Angola, a Pluspetrol dispõe de um Departamento de Operações que inclui três subdepartamentos: i) Produção; ii) Segurança ocupacional, comunidades e meio ambiente e iii) Manutenção.

A Produção, encarrega-se de operar as plataformas, poços e do processo de tratamento do petróleo. A Segurança ocupacional, comunidades e meio ambiente, encarrega-se em garantir que o pessoal envolvido nas Operações trabalhe de forma a evitar acidentes, estabelecer boas relações com as comunidades ao redor do campo petrolífero e prevenir contaminações do meio ambiente, já a Manutenção, encarrega-se de garantir o bom funcionamento e a integridade dos equipamentos.

No que consta nos arquivos documentais da referida instalação, até ao momento, não se desenvolveu qualquer pesquisa ou investigação aprofundada de qualquer problema que tivessm ocorrido durante o funcionamento da mesma. Isto também constitui uma motivação adicional para a execução do presente trabalho.

1.2. Objectivos

No processo de exploração da instalação de tratamento de petróleo Castanha observa-se, no entanto, inactividade devido a problemas nos equipamentos que compõem o sistema de geração de energia e o sistema de injeção de água produzida, composto fundamentalmente por geradores e bombas respectivamente. Entre os problemas que têm afectado a capacidade produtiva destes equipamentos, encontram-se: aumento da

temperatura de trabalho; vibrações; falha nas linhas de descargas; entre outros problemas que limitam os volumes de produção, aumentando os custos operacionais e interferindo com o serviço ao cliente.

1.2.1. Objectivos gerais

O objectivo principal desta dissertação é o desenvolvimento de um procedimento baseado em ferramentas da qualidade, que permita ao pessoal da Manutenção aumentar a fiabilidade e a disponibilidade da maquinaria e dos equipamentos de produção, detectando possíveis falhas, tendências e padrões de comportamento negativos de forma a eliminá-los ou controlá-los antes que afectem o processo produtivo.

1.2.2. Objectivos específicos

Os objectivos específicos deste trabalho são:

- 1) Identificar as falhas do sistema de injeção de água produzida, através de uma análise sistemática utilizando as ferramentas da qualidade, conforme o caso em questão.
- 2) Identificar equipamentos críticos para a produção e os seus possíveis modos de falha, para evitar a sua ocorrência ou minimizar os seus efeitos.
- 3) Propor a integração das ferramentas da qualidade, como parte das rotinas de manutenção e tomada de decisões no departamento.
- 4) Obter parâmetros de fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos na instalação.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação contém sete capítulos que se dividem em vários subcapítulos.

Primeiro capítulo “Introdução”: trata dos fundamentos da metodologia da investigação científica, ficando nela descrita as razões que deram origem ao desenvolvimento deste trabalho assim como os objectivos a cumprir.

Segundo Capítulo “Filosofias e tipos de manutenção”: é apresentada a revisão bibliográfica dos temas abordados com uma base teórica resultante da análise da revisão bibliográfica, onde de forma objectiva se concentram, teorias, conceitos, e opiniões de diferentes autores. Passando pelos conceitos básicos de manutenção, conceitos de fiabilidade, manutenção centrada na fiabilidade e análise de modos e efeitos de falha.

Terceiro capítulo “Ferramentas e metodologia da qualidade”: apresentam-se os fundamentos relativos ao ciclo PDCA, detalhando-se cada um dos seus componentes;

descrevem-se as 7 ferramentas básicas da qualidade, começando por o Fluxograma, Diagrama de Ishikawa, Folha de verificação, Diagrama de Pareto, Histograma, Diagramas de dispersão e Cartas de controlo; faz-se a análise de outras ferramentas como: Prova de Hipóteses, FTA e Capacidade de processo.

Quarto Capítulo “Metodologia proposta”: dedica-se à metodologia proposta para aplicação na instalação referida iniciando com a descrição das grandes perdas industriais, seguido de duas divisões fundamentais: uma para onde se estabelece em forma de algoritmo a metodologia para a detecção da referida falha; a outra contém o algoritmo para prevenção de falhas esporádicas, onde são explicadas as principais partes do referido algoritmo. Este capítulo termina com os elementos que servem para analisar a fiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos analisados anteriormente.

Quinto Capítulo “Estudo de caso”: mostra a análise do caso de estudo, a instalação de tratamento de petróleo Castanha; com a consequente aplicação das ferramentas descritas anteriormente, assim como as considerações finais dos resultados da investigação de forma directa e concisa, como complemento do quinto capítulo e preparando a entrada para a conclusão da dissertação.

Sexto Capítulo “Conclusões e trabalhos futuros”: estabelecem-se as principais conclusões, resultantes da investigação, dando ênfase aos pontos mais relevantes. São ainda referidas possíveis implementações futuras ao projecto.

CAPÍTULO 2

FILOSOFIAS E TIPOS DE MANUTENÇÃO

2.1. Introdução à Manutenção

Entende-se por Manutenção, o conjunto das acções que têm por fim executar as operações necessárias para que os equipamentos sejam mantidos ou restabelecidos num estado especificado ou com possibilidade de assegurar um serviço determinado, por um custo global mínimo. Em termos operacionais pretende-se que:

- ☐ seja permitida uma execução normal das operações com melhores condições de custo, segurança e qualidade, como é o caso da manutenção dos equipamentos da produção;
- ☐ seja fornecido um serviço nas melhores condições de conforto e custo.

Algumas definições do termo Manutenção, podem ser descritas como:

- ☐ “Combinação de acções técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item num estado no qual possa desempenhar uma função requerida”: [ABNT-NBR 5462, 1994].
- ☐ “Forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas, cuidando das suas instalações físicas” [Slack e outros, 2002].

Com base nas definições apresentadas, pode-se dizer então que Manutenção é O CONJUNTO DE ACÇÕES, PARA MANTER DE FORMA CONTÍNUA E SISTEMÁTICA, AS ACÇÕES PARA ELIMINAÇÃO DE FALHAS JÁ OCORRIDAS E MELHORIA DOS EQUIPAMENTOS, ASSEGURANDO DURANTE TODA A SUA VIDA ÚTIL, AS CARACTERÍSTICAS ESPECIFICADAS EM PROJECTO, ALÉM DE GARANTIR A SAÚDE E SEGURANÇA DE SEUS UTILIZADORES E A PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE.

2.2. Evolução histórica da manutenção

Formas simples de manutenção, como conservação de objectos e ferramentas de trabalho, estendendo-se até pequenas actividades de reparação, podem ser observadas desde os primórdios das civilizações. No entanto, foi apenas com a Revolução Industrial do século XVIII, aliada a um grande avanço tecnológico, que a função manutenção emergiu na indústria, como forma de garantir a continuidade do trabalho. Neste caso, o próprio

operador da máquina era responsável pela sua manutenção, sendo treinado para realizar reparações [Wyrebski, 1997].

Segundo Fernández e Márquez [Fernández e Márquez, 2012], a manutenção vem registando uma evolução lenta, mas constante ao longo dos anos, partindo do conceito de “mal necessário” até ser considerada uma função integral da empresa e uma forma de vantagem competitiva.

Conforme Siqueira [Siqueira, 2005], a história da manutenção pode ser classificada em quatro fases distintas. A Figura 2.1 mostra a evolução temporal destas fases, após a Segunda Guerra Mundial.

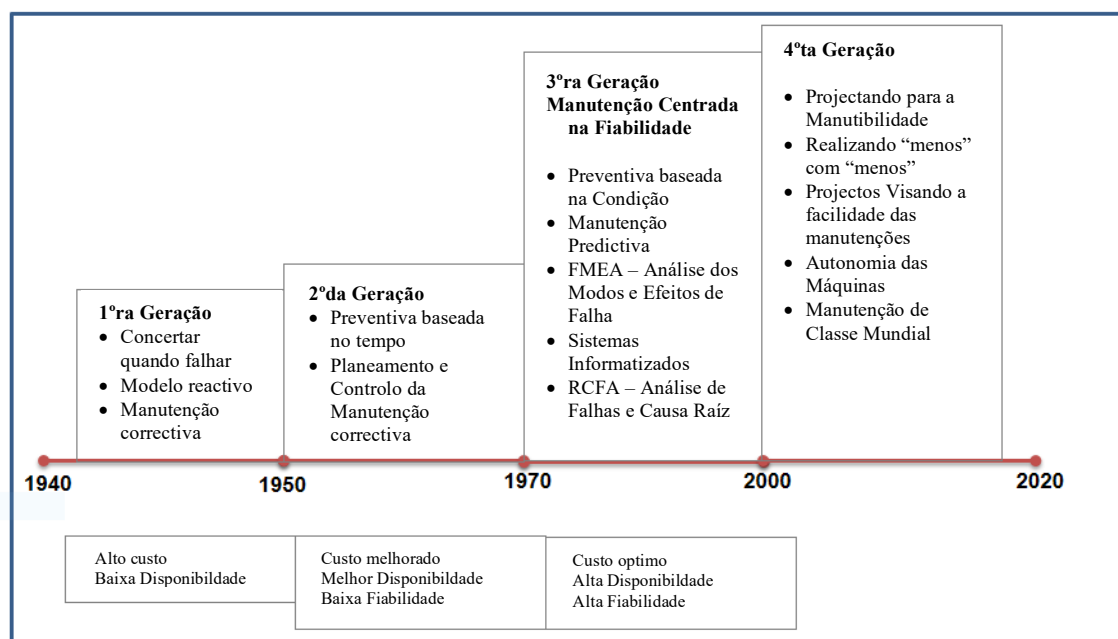


Figura 2.1. Quadro de evolução das técnicas de manutenção [Siqueira, 2005].

A Primeira Geração da Manutenção perdurou até meados dos anos de 1950. Nessa época, manutenção não era o acto de manter o activo, mas sim, de repará-lo de acordo com a necessidade.

A Segunda Geração da Manutenção surgiu no período da pós Segunda Guerra Mundial devido a alta competitividade e crescimento do consumo devido às circunstâncias. No Japão, os Engenheiros Industriais começaram a perceber que alguns equipamentos falhavam em intervalos semelhantes e dessa forma nasceu a Manutenção Preventiva. A Manutenção Preventiva consiste em realizar determinadas manutenções em intervalos pré-determinados, com a finalidade de diminuir a probabilidade da ocorrência das falhas.

Em 1970, impulsionada pela Terceira Revolução Industrial (chegada da automação industrial), surgia a Manutenção Centrada na Fiabilidade e o movimento conhecido por Terceira Geração da Manutenção. A Manutenção Centrada na Fiabilidade tem o foco em fazer apenas o necessário para se manter um activo disponível e confiável e por consequência, manter os sistemas em pleno funcionamento. Na época, a chegada de instrumentos de Manutenção Preditiva facilitou a adopção da estratégia da Manutenção por Condição.

Até à Segunda Geração da Manutenção, o foco da manutenção era preservar o equipamento. Com a chegada da Manutenção Centrada na Fiabilidade, o foco passou a ser preservar as funções dos equipamentos e actuar apenas conforme os Modos de Falha, proporcionando uma forma de garantir a disponibilidade e fiabilidade necessárias para o processo, e o melhor de tudo, gastando o mínimo possível.

A Quarta Geração da Manutenção, aparece nos anos 2000, fica marcada principalmente pela elevação da Manutibilidade dos activos por parte dos fabricantes, pelos seus níveis de autonomia e pela adopção de estratégias de se realizar “menos com menos” na busca por índices de Manutenção de Classe Mundial.

2.3. Tipos de Manutenção

São vários os Tipos de Manutenção utilizados no mundo industrial sendo utilizadas duas abordagens básicas: Manutenção Planeada e Manutenção Não Planeada. Na Manutenção Planeada estão incluídas a Preventiva e a Correctiva. Segundo Gradaille [Gradaille, 2008], as actividades de manutenção consistem nas abordagens básicas e na combinação delas. Actualmente incluem-se outras abordagens de manutenção: Manutenção Detectiva e Manutenção de Melhoria como se mostra na Figura 2.2 e Figura 2.4.



Figura 2.2. Tipos de Manutenção Industrial.

2.3.1. Manutenção Correctiva

A Manutenção Correctiva, também é conhecida como Manutenção de Quebras ou Manutenção de Falhas ou ainda Manutenção Curativa. Nesse tipo de manutenção, o activo pode operar até à falha; nesse momento, a reparação ou a substituição de todas as peças danificadas são realizadas. Geralmente a reparação das falhas é realizada com urgência e o equipamento não pode ser usado antes de ser consertado.

Este tipo de manutenção é a forma mais simples e mais primitiva da manutenção. De acordo com Slack [Slack e outros, 2002] “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido...”.

Apesar desta definição apontar para uma manutenção simplesmente entregue ao acaso, essa abordagem ainda se subdivide em duas categorias: planeada e não-planeada.

1-Manutenção corretiva não planeada – correção da falha de forma aleatória, ou seja, é a correção da falha ou o desempenho menor que o esperado após a ocorrência do facto.

2-Manutenção corretiva planeada – é a correcção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou até mesmo pela decisão da gestão em se operar até ocorrer a falha. Pelo facto de ser planeada, tende a ser mais barata, segura e rápida.

Essa estratégia de manutenção impede o diagnóstico confiável das causas da falha, porque ela as ignora, não se considera se falhou devido a má utilização, abandono, falta de uso, desgaste natural, etc.

2.3.2. Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva é a manutenção efectuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios definidos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação de uma unidade. O principal objectivo deste tipo de manutenção é reduzir as falhas ou a queda no desempenho, obedecendo a um planeamento baseado em períodos estabelecidos de tempo.

De acordo com Xavier [Xavier 2000], um dos segredos de uma boa Manutenção Preventiva está na determinação dos intervalos de tempo. No entanto, uma tendência conservadora nessas acções, leva a intervalos normalmente menores do que o necessário, o que pode implicar em interrupções e trocas de peças desnecessárias.

Na Manutenção Preventiva, uma questão importante a ser definida é a frequência da manutenção. À medida que se aumenta o intervalo de tempo entre manutenções, o custo da manutenção preventiva tipicamente diminui, enquanto que o risco de quebras e falhas aumenta. Objectiva-se então alcançar um equilíbrio entre o custo da manutenção e o custo de uma máquina parada. A determinação da frequência e da abrangência da manutenção preventiva, depende da frequência esperada de falhas e do custo de uma falha (incluindo os custos reais de reparações e de perda de produção).

A Manutenção Preventiva dependerá assim, da existência de registos completos de cada equipamento, assim como a leitura e a interpretação desses registos. Os registos necessitam de incluir informações que contemplem dados da instalação, número de horas de operação, datas das manutenções realizadas e a sua natureza.

A Figura 2.3 mostra o panorama tradicional da relação entre Manutenção Preventiva e Manutenção Correctiva. Com essa visão, a gestão da manutenção considera um equilíbrio entre os dois custos. Por um lado, a alocação de mais recursos para manutenção preventiva reduzirá o número de falhas. No entanto, em algum momento, a redução no custo da manutenção correctiva pode ser menor do que o aumento no custo da manutenção preventiva. Neste ponto, a curva de custo total começa a subir. Além deste ponto, a empresa agirá melhor se esperar por falhas e repará-las.

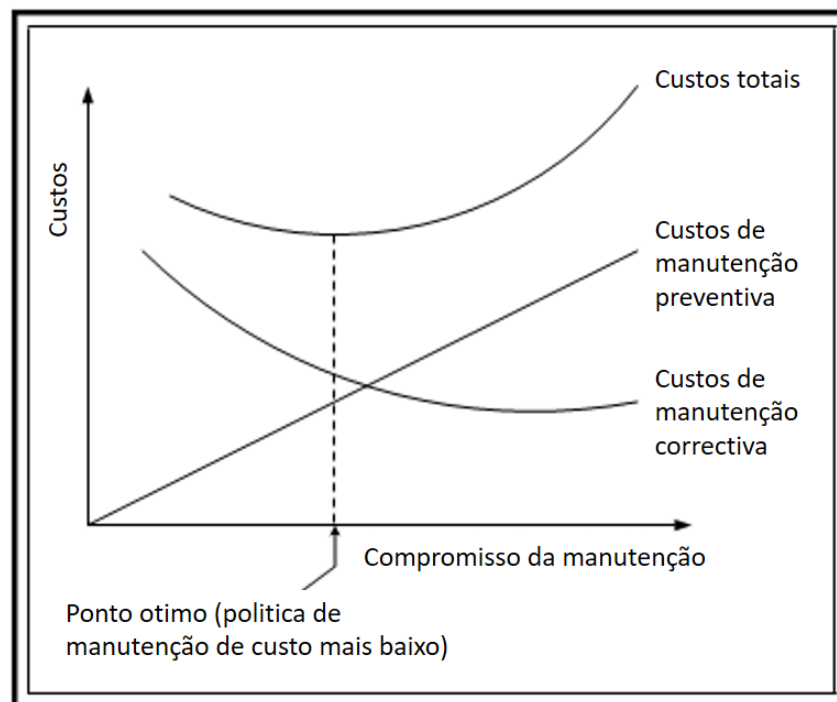


Figura 2.3. Panorama tradicional da manutenção [Render e Heizer, 2004].

Segundo Moubray [Moubray, 1997] dentro da Manutenção Preventiva existem ainda dois subtipos: Manutenção Preventiva Sistemática e Manutenção Preventiva Condicionada:

- **Manutenção Preventiva Sistemática**

A Manutenção Preventiva Sistemática, de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 13306:2004 [NP EN 13306, 2004], é a manutenção preventiva executada em intervalos de tempo pré-estabelecidos ou segundo um número definido de unidades de funcionamento, sem controlo prévio do estado do bem e tem por objectivo reduzir a ocorrência das avarias devido a desgaste, envelhecimento, corrosão e contaminação, de forma a minimizar as perdas de produção e evitar os efeitos nocivos na qualidade dos produtos que podem ser ocasionados por esses factores [Cabral, 2009].

No âmbito da Manutenção Preventiva, as tarefas são realizadas em intervalos regulares de tempo ou de acordo com os valores das variáveis de controlo que foram definidas (horas de serviço, número de ciclos/movimentos, etc.) e com um programa que estabeleça as tarefas a desenvolver [Farinha, 2011].

A Manutenção Preventiva Sistemática aumenta a disponibilidade dos equipamentos e instalações, permite assim uma melhor gestão da mão-de-obra disponível, reduzindo a necessidade de peças de reserva em armazém, melhorando as condições de higiene e segurança no trabalho, permitindo a standardização de procedimentos e redução de custos [Mobley, 2002].

- **Manutenção Preventiva Condicionada**

Outro subtipo de Manutenção Preventiva é a Condicionada, que se apresenta como uma nova abordagem à Manutenção Preventiva, baseada no conhecimento do estado real do equipamento a partir da implementação de um sistema de controlo da condição. Isto permite em vez de realizar os trabalhos de Manutenção Preventiva em intervalos de tempo fixos, passa-se a realizar inspecções em intervalos fixos e se necessário procede-se à respectiva reparação. Com este tipo de manutenção é possível obter ganhos por redução de perdas de produção e por redução de custos de manutenção [Cabral, 2009].

A implementação de um programa de Manutenção Condicionada deve ser cuidadosamente estudada e envolve diversas etapas, designadamente, a identificação e avaliação da instalação e dos equipamentos, a selecção das técnicas de diagnóstico e dos correspondentes sensores, a definição dos níveis de referência a utilizar, a elaboração de fichas de inspecção e a formação do pessoal envolvido. Tendo em atenção a

multiplicidade de causas envolvidas na degradação de um equipamento, geralmente é necessário considerar diversas técnicas para monitorizar um mesmo equipamento [Moubray, 1997].

A Manutenção Preventiva Condicionada é uma manutenção controlada, que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a Manutenção Preventiva e diminuir a Manutenção Correctiva. É a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do activo.

Diferentemente da Manutenção Preventiva Condicionada baseia-se na análise das suas condições, permitindo a operação ininterrupta do equipamento durante o maior tempo possível, antes de uma intervenção correctiva planeada, além de otimizar os custos relativos a uma troca prematura caracterizada pela Manutenção Preventiva Sistemática.

Este tipo de manutenção também auxilia na redução do volume de trabalho da Manutenção Preventiva Sistemática e na melhoria da qualidade do produto final.

Técnicas de inspecção mais sofisticadas que as utilizadas na Manutenção Preventiva Sistemática, caracterizam a política da Manutenção Preventiva Condicionada. Como exemplos: problemas como desgastes e contaminações, podem ser detectados por meio de uma análise físico-química dos lubrificantes em uso no equipamento, a qual leva o nome de ferrografia; atritos excessivos, falhas de isolamento e mau contacto podem ser detectados pela termografia, que analisa o espectro de temperatura das partes do equipamento; alterações de densidade e de espessura podem ser detectadas por ultrassonografia; ou a fluorescência para detecção de fissuras; assim como a análise de vibração e o alinhamento a laser completam as técnicas de inspecção utilizadas na Manutenção Preditiva [Pinto, 2013].

É necessário utilizar estas técnicas para medições periódicas, através das quais a própria história da máquina é construída e os problemas podem ser detectados, antes de afectar a operação no equipamento usando previamente alertas e alarmes para o(s) parâmetro(s) monitorado(s) (parâmetros de indicação de falha). Uma vez que a presença de um problema tenha sido detectada, o defeito e a sua causa terão que ser identificados, cujo objectivo principal será a correcção do defeito e a eliminação da sua causa.

2.3.3. Manutenção Detectiva

Técnicas de Manutenção Preventiva Condicionada indicam o momento em que a peça ou componente está perto da falha, mas não diz como evitá-la. Felizmente, existe uma nova alternativa conhecida como Manutenção Detectiva ou Proactiva.

Kardec e Nascif [Kardec e Nascif, 2009] definem Manutenção Detectiva como a acção efectuada em sistemas de protecção, comando e controlo, visando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Em sistemas complexos, essas acções só devem ser realizadas por pessoal da área da manutenção, com habilitação para tal, assessorado pelo pessoal da operação.

De acordo com Andrade [Andrade, 2002], esse tipo de manutenção é relativamente novo, surgindo a partir da década dos anos 90 e por isso ainda é muito pouco conhecida e utilizada. Ainda complementa, afirmando que assim como a Manutenção Preventiva Condicionada, a Manutenção Detectiva gera uma programação de paragem, ou seja, uma vez detectada a falha, é programada a sua correcção. Portanto, a Manutenção Detectiva é especialmente importante quando o nível de automação dentro das indústrias aumenta, ou o processo é crítico e não suporta falhas.

2.3.4. Manutenção de Melhoria

Após o aparecimento da Manutenção Preditiva, a prática da Manutenção de Melhoria, ou também conhecida por Engenharia de Manutenção, pode ser considerada como uma quebra de paradigma, principalmente em virtude das mudanças na rotina da actividade e da consolidação de uma política de melhoria contínua para a área de manutenção.

De acordo com Kardec e Nascif [Kardec e Nascif, 2009] a Manutenção de Melhoria significa “perseguir, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo”. Portanto, visa, de entre outros factores, aumentar a fiabilidade, a disponibilidade, a segurança e a manutibilidade; eliminar problemas crónicos e solucionar problemas tecnológicos; melhorar gestão de pessoal, materiais e sobressalentes; participar em novos projectos e dar suporte à execução; fazer análise de falhas e estudos; elaborar planos de manutenção, fazer análise crítica e acompanhar indicadores, zelando sempre pela documentação técnica.

A empresa que implementa a Manutenção de Melhoria, não está apenas a realizar o acompanhamento preditivo dos seus equipamentos e máquinas, está também a alimentar

a sua estrutura de dados e informações sobre manutenção que a irão permitir realizar análises e estudos de forma a realizar melhorias no futuro.

A Figura 2.4 mostra um resumo das principais diferenças dos diversos Tipos de Manutenção e a posição da Manutenção de Melhoria neste cenário como um tipo de manutenção, mas usando vários itens dos outros tipos de manutenções.

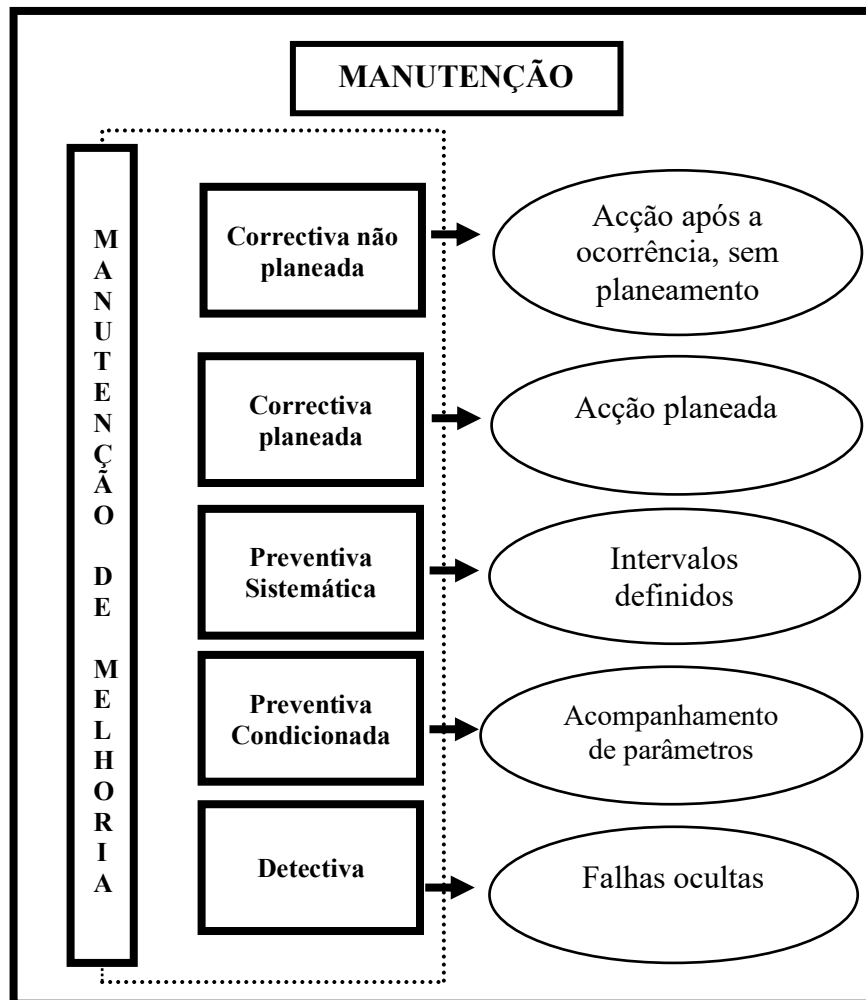


Figura 2.4. Tipos de Manutenção. Adaptado de [Kardec e Nascif, 2009].

Outro princípio da Manutenção de melhoria é a minimização do custo do ciclo de vida dos equipamentos ainda durante a fase do projecto, pois esse custo do ciclo de vida é praticamente imutável após o término do projecto, pelo facto de que 90% a 95% do equipamento são imutáveis após a sua construção [Duffuaa e outros, 2000].

2.4. Gestão da Manutenção

Em face das grandes mudanças ocorridas nos sectores tecnológico e de produção nos últimos anos, com complexidade cada vez maior dos equipamentos e, ao mesmo tempo,

grande exigência de produtividade e qualidade, a função manutenção tem assumido grandes responsabilidades no sentido de garantir fiabilidade e disponibilidade, factores reflectidos directamente no desempenho operacional da organização [Andrade, 2002].

De acordo com Souza [Souza, 2008], a gestão da manutenção inicia-se na definição da concepção: “...a gestão deve estar relacionada a todo conjunto de acções, decisões e definições sobre tudo o que se tem que realizar, possuir, utilizar, coordenar e controlar para gerir os recursos fornecidos para a função manutenção e fornecer assim os serviços que são aguardados pela função manutenção.”

De seguida são apresentadas duas filosofias/ferramentas de gestão da manutenção: a Manutenção Centrada em Fiabilidade (MCC) ou do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM) e a Manutenção Produtiva Total (MPT) ou do inglês *Total Productive Maintenance* (TPM).

2.4.1. Manutenção Centrada na Fiabilidade

A MCC-Manutenção Centrada na Fiabilidade, do inglês RCM-*Reliability Centered Maintenance*, pode ser definida como uma política de manutenção estruturada para seleccionar as actividades de manutenção necessárias para manter a disponibilidade e fiabilidade de qualquer processo produtivo, de modo a que se reduza ao máximo possível o custo do ciclo de vida do activo [Moubray, 2000].

Ou seja, pode dizer-se que a RCM consiste na selecção de estratégias de manutenção para cada equipamento ou máquina, visando manter um determinado processo. Isso torna a RCM o modelo de manutenção mais rentável que existe.

A RCM consiste em analisar as funções dos activos, ver quais são as possíveis falhas, perguntar sobre os modos ou causas das falhas, estudar os seus efeitos e analisar as suas consequências. A partir da avaliação das consequências, são determinadas as estratégias de manutenção mais adequadas, exigindo que sejam técnico-economicamente viáveis.

A RCM coloca tanto ênfase nas consequências das falhas, quanto nas suas características técnicas, mediante:

- A integração de uma revisão de falhas operacionais com a avaliação de aspectos de segurança e ameaças ao meio ambiente. O que significa que a segurança e o meio ambiente são levados em conta ao tomar decisões de manutenção.

- Prestar muita atenção nas tarefas de manutenção que têm maior impacto na operação e no desempenho das instalações, garantindo que o investimento em manutenção seja usado onde o maior benefício será relatado.

As consequências de falhas na RCM são classificadas em quatro categorias:

- Falhas ocultas;
- Segurança e meio ambiente;
- Operacional;
- Não operacional.

Outro objectivo da RCM é reduzir o custo da manutenção para focar nas funções mais importantes dos sistemas e evitando ou removendo acções de manutenção que não são estritamente necessárias.

Dentro de um programa de RCM as acções de manutenção devem ter três objectivos básicos:

1. Diminuir ou eliminar a chance de ocorrência de uma falha;
2. Diminuir ou eliminar a severidade de uma falha;
3. Aumentar a chance de detecção da falha em estágio inicial.

O objectivo número 1, actua na ocorrência da falha, o objectivo número 2 actua no efeito da falha e o objectivo número 3 actua na detecção da falha. Dessa forma, um dos pontos cruciais para a implantação de um programa de RCM é a Análise dos Modos e Efeitos de Falha (AMEF) ou do inglês *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) [Gilchrist, 1993].

A FMEA consiste na análise do processo de produção e no registo das falhas que podem ocorrer naquele processo; quais são os sintomas que aquelas falhas apresentam (modos de falha) e quais são suas consequências (efeitos).

Actualmente, deparamo-nos com vários tipos de FMEA, distinguindo-se entre si ao avaliar as suas áreas de actuação, fazendo com que sejam aplicados especificamente para a atividade ou serviço que se deseja monitorar. De seguida, serão abordados alguns tipos de FMEA e as suas características [Palady, 1997]:

- a) FMEA de Projecto - DFMEA (*Design Failure Modes and Effects Analysis*): aplicado na análise de produtos antes de serem manufacturados, é movido pela busca de falhas actuantes em projectos inefficientes.
- b) FMEA de Processo - PFMEA (*Process Failure Modes and Effects Analysis*): aplicado na análise do processo que engloba a manufactura do produto, este é destinado para transparecer falhas potenciais ou existentes na etapa processual.

A diferença básica que prevalece entre os dois modelos apresentados são os objectivos traçados, pois na maioria das situações devem-se procurar resultados pensando no impacto nas duas modalidades, a fim de não comprometer a execução e o sucesso individual [Palady, 1997].

Após o processo de implementação da RCM, do mesmo modo, chega o momento de colocar em prática. Isso dá-se a partir de sete perguntas. São elas:

- Quais são as funções e padrões de desempenho do sistema/equipamento no seu contexto actual de operação?
- Como o sistema pode falhar ao realizar essas funções?
- O que pode causar a falha funcional?
- O que acontece quando a falha ocorre?
- Quais podem ser as consequências da ocorrência da falha?
- O que pode ser feito para detectar ou prevenir a ocorrência da falha?
- O que deve ser feito se não for identificada uma tarefa de manutenção?

Ao responder a essas sete perguntas, é possível evidenciar o que cada activo em revisão realiza no seu contexto de produção. Num contexto geral, do mesmo modo e consequentemente, essas questões compõem as seguintes etapas:

- definição do sistema (fronteiras/interfaces);
- funções e análises das falhas funcionais;
- análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA);
- diagrama de decisão para seleção de tarefas de manutenção;
- formulação e implantação do plano de manutenção baseado na RCM.

De forma geral, o principal objectivo da implementação da Manutenção Centrada na Fiabilidade numa organização é o de aumentar a disponibilidade dos equipamentos e, consequentemente, otimizar a produtividade [Engeman, 2019]. Quando se extrapola a análise dos resultados após a implementação da metodologia, é possível notar, a médio e longo prazos:

- maior fiabilidade;
- maior segurança;
- melhoria na qualidade dos produtos;
- ausência de danos ao meio ambiente;
- maior custo eficaz (quando se assegura, por meio de práticas acertadas de manutenção, que o capital investido tenha o melhor retorno).

Toda e qualquer metodologia de gestão, que vise melhorar processos e aumentar a produtividade dentro de uma companhia, como é o caso da RCM, necessita ser gerida e monitorada. Dentro desse contexto, para a boa gestão da RCM, é indispensável traçar e medir indicadores de desempenho, que comprovem que a técnica está trazendo as vantagens esperadas [Engeman, 2019].

Alguns dos indicadores de desempenho mais utilizados para medir a eficiência de um plano de RCM dentro de uma oficina, podem ser:

- MTBF – *Mean Time Between Failures* (Tempo médio entre falhas);
- MTTF – *Mean Time to Failure* (Tempo médio até à falha);
- MTTR – *Mean Time To Repair* (Tempo médio de reparação);
- R(t) - Fiabilidade;
- λ - Taxa de avarias.

As equações para obtenção dos indicadores são apresentadas no Capítulo 5.4.1.

Todos esses indicadores, aumentam a fiabilidade dos processos, mas é necessário que sejam adquiridos e medidos de forma precisa. É aí que os *softwares* de automação actuam no âmbito da Manutenção Centrada na Fiabilidade. Destaca-se a importância do envolvimento de todos os sectores e colaboradores, para que as novas melhorias atinjam a empresa como um todo e apresentem de facto, resultados significativos.

A RCM visa a utilização máxima dos recursos disponíveis, para garantir a fiabilidade de operação. Além disso, pelo alto nível de informações que gera, permite à empresa melhorar o seu desempenho operacional, aumentando a vida útil dos equipamentos, melhorando a tomada de decisão a respeito das manutenções (quando, onde, o quê e porquê fazer). Depois de levantados os riscos de falha, a empresa poderá direccionar os seus esforços para as máquinas que, caso falhem, possam vir a gerar algum efeito negativo para o ambiente e/ou seus próprios colaboradores. Melhora, portanto, a segurança [Moubray, 2000].

2.4.2. Manutenção Lean

A Filosofia do Pensamento Lean assenta num sistema de gestão cujo objetivo é o desenvolvimento de processos e sistemas tendo em vista a eliminação de desperdícios em toda a organização e a criação de valor para todas as partes. Com toda a tecnologia disponível atualmente, as empresas procuram cada vez mais executar todas as rotinas de manutenção com o mínimo de desperdício de tempo (útil e improdutivo) e de recursos.

A implementação de Lean na manutenção melhora o planeamento, a produtividade, a satisfação da equipa, auxilia e facilita a execução das tarefas e ainda indica onde estão os desperdícios que devem ser eliminados.

Os pontos fulcrais da Manutenção Lean são o favorecimento e desenvolvimento da mentalidade de trabalho em equipa, tal como o TPM a interação contínua entre o planeamento e a execução sustentada pelo ciclo PDCA.

2.4.2.1. Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total, do inglês *Total Productive Maintenance* (TPM), é uma filosofia de manutenção desenvolvida na indústria japonesa a partir dos anos 70 e que tinha como principal objectivo o envolvimento dos operadores nas actividades da manutenção, de forma a responsabilizá-los pelo desempenho dos seus equipamentos [Ahuja, 2008], [Pinto, 2013].

Este modelo de manutenção é orientado para garantir a máxima eficiência dos equipamentos, através da redução do desperdício e de perdas causadas por avarias. A sua implementação tem como principais objectivos:

- a) Zero defeitos;
- b) Zero acidentes;
- c) Zero quebras/falhas.

Esta é a nova ferramenta de gestão da manutenção que visa deixar de lado a Manutenção Correctiva, envolvendo mais a Manutenção Preventiva e Preditiva.

A TPM cultiva activamente a manutenção de melhoria e faz deslocar o centro de gravidade da manutenção preventiva um pouco para o lado dos operários e dos equipamentos. Deve-se elaborar um plano de manutenção transversal a toda a organização em que predomina a manutenção autónoma – desta forma, são os operários que efetuam acções de verificação, lubrificação, limpeza e inspeção dos equipamentos com que trabalham [Wyrebski, 1997].

Na base desta metodologia estão oito conceitos que sustentam o desenvolvimento da TPM. Essas oito actividades são normalmente designadas por os **oito pilares de sustentação do desenvolvimento**, sendo eles (Figura 2.5):

1. Manutenção Autónoma;
2. Manutenção Preventiva;
3. Melhorias Específicas;
4. Formação de operadores e técnicos de manutenção;
5. Manutenção da Qualidade;
6. Controlo inicial de Equipamentos e produtos;
7. Secção de TPM no serviço de manutenção;
8. Segurança, Higiene e Ambiente no Trabalho.

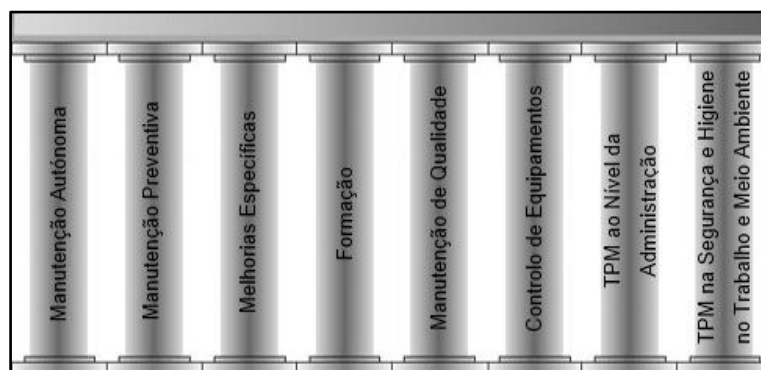


Figura 2.5. Oito pilares da Manutenção Productiva Total [Cabral, 1998].

A Manutenção Productiva Total representa uma técnica de gestão com muito potencial, traduzindo-se numa nova atitude das pessoas (técnicos), um grande aumento de gestão participativa, maior consciência na preservação ambiental, motivação do individuo mais

profunda e com grande aumento de pessoal polivalente. Porém, para implementação desta técnica há necessidade de grandes recursos financeiros.

O resultado final que é perseguido com a implementação da TPM é conseguir um conjunto mais eficiente de equipamentos e instalações de produção, uma redução dos investimentos necessários e um aumento na flexibilidade do sistema produtivo.

A TPM constitui um novo conceito de manutenção, baseado nos cinco princípios fundamentais a seguir:

1. Participação de todo o pessoal, desde a alta administração até aos operadores dos equipamentos;
2. Criação de uma cultura corporativa visando a máxima eficiência no sistema de produção e gestão de máquinas e equipamentos;
3. Implementação de um sistema de gestão de instalações de produção de tal forma que a eliminação de perdas seja facilitada antes que elas ocorram;
4. Implementação da Manutenção Preventiva, como um meio básico para atingir o objectivo de zero perdas, através de actividades integradas em pequenos grupos de trabalho, apoiadas pelo suporte prestado pela manutenção autónoma;
5. Aplicação de sistemas de gestão para todos os aspectos da produção.

A aplicação da TPM garante às empresas resultados em termos de melhor produtividade dos equipamentos, melhorias corporativas, maior formação de pessoal e transformação do posto de trabalho [Lefcovich, 2000].

Os objectivos fundamentais da TPM são:

- Redução de avarias de equipamentos;
- Redução do tempo de espera e preparação do equipamento;
- Uso eficaz do equipamento existente;
- Controlo de precisão de ferramentas e equipamentos;
- Promoção e conservação de recursos naturais e economia de energético;
- Formação de pessoal.

2.4.2.2. Ciclo PDCA

O ciclo *Plan, Do, Check, Act* (PDCA) aponta como o método universal para alcançar metas, que serão atingidas através da rotatividade sistemática das ferramentas [Xenos,

2014]. Segundo Pessoa [Pessoa, 2007], essa sequência de actividades é percorrida de forma cíclica para melhorar os resultados. É uma forma de orientar de forma eficiente e eficaz a execução de uma determinada acção. Também traduz o conceito de melhoria contínua, implicando literalmente um processo sem fim.

É necessário seguir as quatro fases do PDCA para que os objectivos sejam alcançados. O ciclo começa com o estágio P (de Planear-*Plan*), que envolve o exame do actual método ou do problema a ser estudado, envolvendo a identificação da necessidade, análise, estabelecimento dos objectivos e a determinação do método.

O próximo estágio do ciclo é o D (da Execução-*Do*) aborda a necessidade e execução de formação como a execução do plano de acção. Nesse estágio podemos aplicar um novo ciclo PDCA para resolver problemas da implementação.

No estágio C (da verificação-*Check*) o objectivo é avaliar a eficácia da nova solução e o resultado esperado, colectando informações para uma nova análise.

Finalmente, no estágio A (da Acção-*Act*) procura-se desenvolver a padronização da solução e a análise de sua extensão para outras aplicações, ou se o problema não foi corrigido, realiza-se uma nova tentativa por meio da formação adquirida com a primeira volta do ciclo PDCA.

A Figura 2.6 representa a sequência do ciclo PDCA.

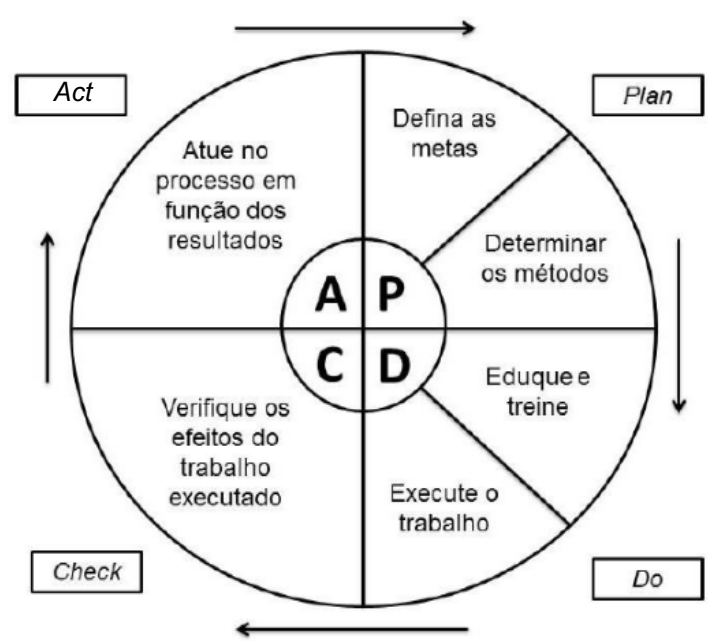


Figura 2.6. Ciclo PDCA [Xenos, 2014].

Os estágios anteriores podem, por sua vez, ser divididos em oito etapas [Gutierrez e De La Vara, 2004]:

Planear (*Plan* - P)

1. Seleccionar e caracterizar o problema, delimitá-lo e descrevê-lo, estudar o seu histórico e a sua importância e quantificar a sua magnitude actual;
2. Procurar todas as causas possíveis;
3. Investigar quais das causas são as mais importantes;
4. Desenvolver um plano de medidas focadas em remediar as causas mais importantes. Para cada acção, detalhar: o seu objectivo e como implementá-lo, quais os responsáveis, quais as datas de entrega e os custos.

Executar (*Do* - D)

5. Formar e treinar as pessoas envolvidas, e colocar o plano em prática.

Verificar (*Check* - C)

6. Verificar os resultados obtidos e comparar o problema antes e após.

Acção (*Act* - A)

7. Prevenir a recorrência. Se as acções funcionarem, a sua aplicação deve ser generalizada e padronizada.
8. Conclusão e avaliação do que foi realizado e documentar.

Esta metodologia pode ser aplicada em qualquer área numa empresa. A importância de seguir uma metodologia de solução bem estruturada é que, desta forma, os esforços de melhoria podem alcançar melhores resultados porque:

- Em vez de atacar os efeitos e os sintomas, trata-se de alcançar as causas-raiz dos problemas;
- Segue-se um plano de solução baseado em métodos e ferramentas de análise;
- Permite concentrar-se no importante;
- Requer que, quando as soluções são alcançadas, a sua aplicação seja padronizada e as medidas preventivas sejam decididas para que o problema não ocorra novamente.
- Verifica-se que as soluções realmente funcionaram.

FERRAMENTAS E METODOLOGIA DA QUALIDADE

Há muitas formas para definir qualidade. O conceito da qualidade que o cidadão comum tem relaciona-se com uma ou mais características desejáveis que um produto ou serviço deveria ter.

Para entender, definir e melhorar a qualidade dos produtos e/ou serviços que produz uma empresa, existem muitas ferramentas de gestão e controlo, algumas das quais são mostradas de seguida:

3.1. Sete ferramentas básicas da qualidade

Ferramentas da Qualidade são técnicas que se podem utilizar com a finalidade de definir, mensurar, analisar e propor soluções para problemas que eventualmente são encontrados e interferem no bom desempenho dos processos de trabalho [Muhammad, 2015].

As **7 Ferramentas do Controlo de Qualidade** são: Fluxograma, Diagrama Ishikawa (DIsh) ou Espinha-de-Peixe, Folha de Verificação ou Check List (CL), Diagrama de Pareto (DP), Histograma (Hist), Diagrama de Dispersão (DD) e Cartas de Controlo (CC) [Peinado e Graeml, 2007].

I. Diagrama de Fluxo

O diagrama de fluxo ou fluxograma; também conhecido por mapa de processo, é uma representação gráfica que identifica a sequência de actividades ou fluxo de materiais e informações num processo gerando um produto ou serviço para um cliente, seja interno ou externo [Ponge-Ferreira, 2019].

Fluxogramas ajudam a entender melhor o processo e com maior objectividade, oferecendo uma visão geral dos passos necessários para executar uma tarefa.

Lucinda [Lucinda, 2010] salienta que o fluxograma é uma excelente ferramenta para analisar o processo, já que permite a rápida compreensão das actividades que são desenvolvidas por todas as partes envolvidas; é uma ferramenta fundamental tanto para o planeamento (elaboração do processo) como para o aperfeiçoamento (análise, crítica e alterações) do processo.

Nos Diagramas de Fluxo existem padrões sobre as Figuras a serem usadas num mapa e o seu significado; no entanto, é complexo definir níveis de detalhes e, acima de tudo, obter aceitação rápida e facilmente do mapa nas diferentes hierarquias da organização.

Isto ocorre, porque quando os processos são representados, existe o risco de se obterem três versões totalmente diferentes do mesmo processo:

- A versão “como se acredita” que é o processo;
- A versão “como deveria ser” o processo;
- A versão “como é” o processo realmente.

As opções mencionadas podem gerar controvérsia ao verificar os mapas com o resto da equipa, gerando trabalho repetitivo desnecessários além de verificações contínuas.

Os símbolos básicos para construir um fluxograma de processo são os representados na Figura 3.1 [Ponge-Ferreira, 2019].

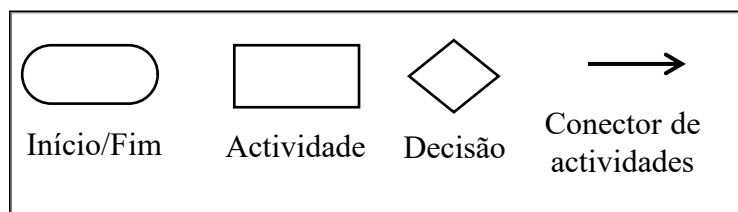


Figura 3.1. Blocos básicos para construção de fluxogramas [Ponge-Ferreira, 2019].

Para tornar o diagrama o mais útil possível, é importante incluir o máximo de informações possíveis sobre o processo: Características críticas de qualidade ou do inglês *Critical to Quality Characteristic* (CTQ), tempo de ciclo, custos, pessoal envolvido, gerentes, aprovisionamentos, etc.

II. Folha de Verificação

A lista de verificação ou Check List (CL), segundo Rodrigues [Rodrigues, 2010] “...é um formulário físico ou virtual para tabular dados de uma observação amostra, identificando a frequência dos eventos previamente seleccionados em um período determinado.” A importância da lista de verificação concentra-se na obtenção de informações para tomada de decisão, dessa forma, é imprescindível que os dados sejam colectados observando a forma e o período estabelecido, assim como processados e analisados de maneira consistente.

III. Histogramas

O Histograma (Hist) é uma ferramenta gráfica que possibilita demonstrar a percentagem ou o número de ocorrências de certa situação [Pinto, 2013]. O seu objectivo é visualizar a centralização, dispersão e forma de um grupo de dados.

Através do histograma, por pura inspecção, é possível responder a perguntas tais como as seguintes:

- Qual é a forma da distribuição?
- Qual é o dado ou conjunto de dados mais repetidos?
- Qual é o tamanho da dispersão?
- A distribuição é simétrica?
- A distribuição é tendenciosa?
- Existem barras isoladas?
- Existe apenas um pico ou tem vários?

Se os histogramas forem lidos e usados correctamente e tentando responder às perguntas acima, os problemas serão rapidamente revelados e os dados farão muito mais sentido do que o de uma simples linha de figuras. No entanto, o histograma não permite que dados individuais sejam identificados, porque é impossível distinguir todas as observações que compõem os dados numa classe.

IV. Diagrama de Pareto

O princípio ou Diagrama de Pareto foi desenvolvido pelo sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto, que procurou estudar a distribuição desigual de renda da população em Milão, identificando que 80% da renda eram de posse de 20% da população, enquanto que 20% da renda, em 80% da população [Pinto, 2013].

De acordo com Pinto [Pinto, 2013], o Diagrama de Pareto (DP) é uma representação gráfica de dados sobre determinado problema, facilitando a identificação de resultados prioritários. Neste contexto, a maior parcela dos problemas de qualidade (80%) é provocada por poucas causas (20%). A Figura 3.2 apresenta um modelo do Diagrama de Pareto.

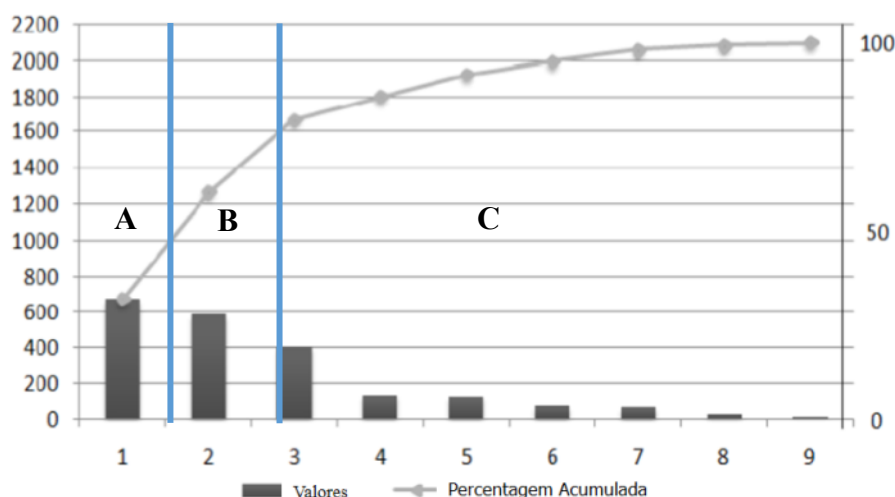


Figura 3.2. Diagrama de Pareto com curva ABC. Adaptado de [Pinto, 1994]

Analisando a Figura 3.2, observa-se que o Diagrama de Pareto permite apresentar as causas prioritárias de um processo, sendo elas responsáveis por cerca de 80% dos problemas identificados.

Uma vez construído o primeiro diagrama de Pareto convém não se apressar na análise deste, já que, podem-se obter conclusões erróneas. Em geral, a técnica sugere que depois um primeiro Pareto, no qual é detectado o problema principal, deve-se realizar uma análise de Pareto para causas ou de segundo nível, nesta análise estratifica-se o defeito mais importante ou fonte de variação para que dê indícios de onde, quando, ou sob quais circunstâncias o defeito principal se manifesta mais.

Este diagrama elimina a imprecisão na magnitude dos problemas e fornece uma expressão objectiva que pode ser expressa em termos gráficos, de modo que serve para avaliar objectivamente as melhorias alcançadas comparando a situação antes e após o projecto de melhoria.

V. Diagrama Causa-Efeito

O Diagrama de Causa-Efeito também conhecido como Diagrama de Espinha-de-Peixe ou Diagrama de Ishikawa (DIsh), utiliza-se para apresentar a relação existente entre um resultado e os factores que possam afectá-lo [Trejo, 2002]. Esses factores podem ser classificados em relação a materiais, a máquinas, ao meio ambiente, a mão-de-obra, ao método e a medida, conforme descrito por Carpinetti [Carpinetti e outros, 2004].

Além disso, esses diagramas são úteis para identificar a causa básica de um problema. Os diagramas de causa-efeito são usados com frequência para organizar o resultado de uma sessão de *brainstorming*.

De acordo com Trejo [Trejo, 2002], o Diagrama de Causa-Efeito conduz a uma grande quantidade de causas, sem estabelecer exactamente quais são as causas do problema, o que exige o emprego de outras ferramentas de Qualidade para tal finalidade, como o Diagrama de Pareto. Para se estabelecer o grau de importância das causas deve-se basear em dados e não somente na experiência das pessoas ou em observações.

Na Figura 3.3 está representado um modelo de diagrama de causa e efeito.

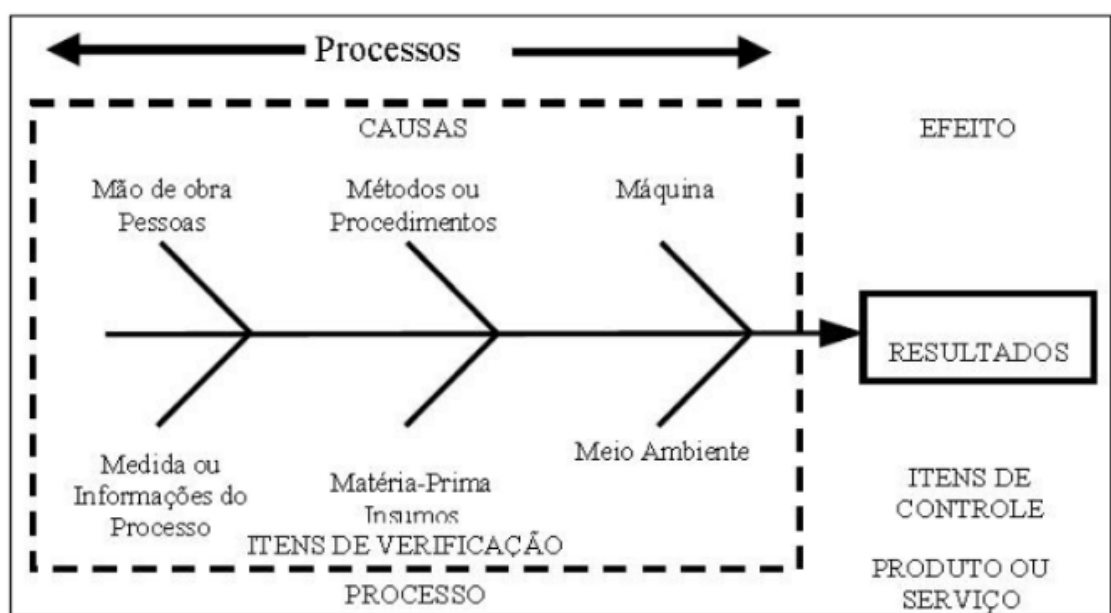


Figura 3.3. Diagrama de Causa-Efeito [Mariani e outros, 2005].

VI. Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão (DD) é uma ferramenta gráfica que permite demonstrar a relação entre duas variáveis e quantificá-las, de acordo quanto à intensidade de cada uma. Esta ferramenta visa avaliar se existe uma correlação entre duas variáveis de um mesmo problema [Pinto, 2013].

A Figura 3.4 apresenta um modelo de diagrama de dispersão.

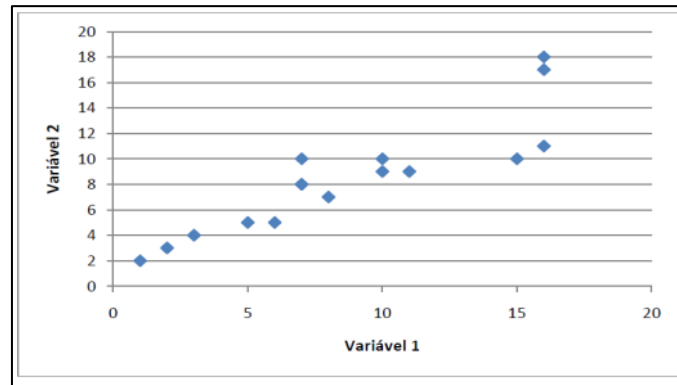


Figura 3.4. Exemplo de Diagrama de dispersão [Pinto, 1994].

VII. Cartas de Controle

As cartas ou gráficos de controle (CC) são gráficos muito utilizados na monitorização de um processo, e determina uma faixa de tolerância limitada pela linha superior e linha inferior, além de uma linha média [Shaka e Venkatesan, 2019].

As cartas de controle podem ser por variáveis ou por atributos [Siqueira, 1997]. Conforme o mesmo autor, nas cartas de controle por variáveis as características a serem avaliadas são mensuráveis (comprimento, peso, entre outras), enquanto que nas cartas de controle por atributos, as características não podem ser facilmente medidas (cor, brilho, entre outras). Um exemplo de cartas de controle é apresentado na Figura 3.5.

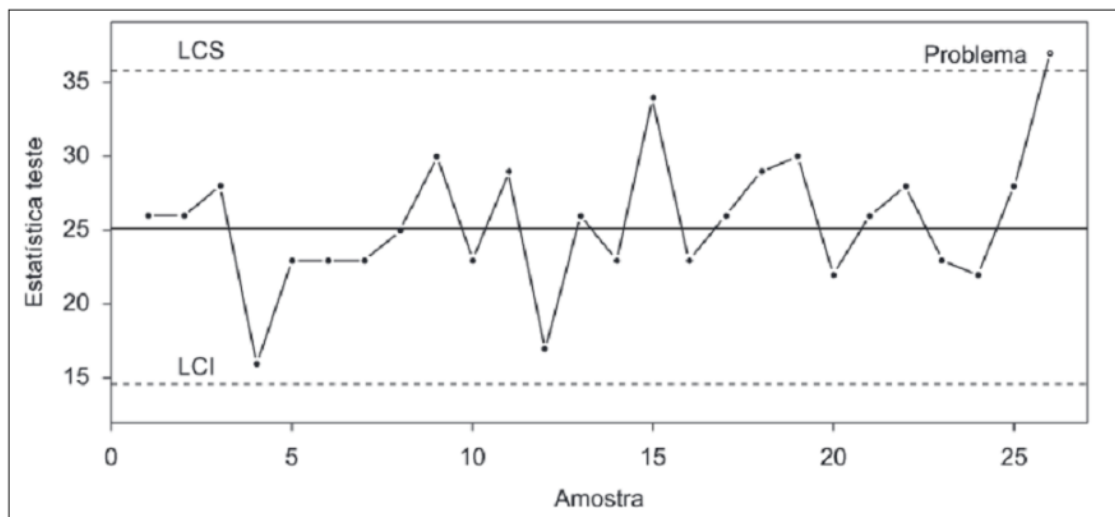


Figura 3.5. Exemplo de cartas de controle [Samohyl, 2009].

Em todas as cartas, por meio de equações específicas, são determinados os limites, superior, inferior e a linha média, permitindo a avaliação e controle do processo [Trivellato, 2010].

Os cartas de controle mais comuns para as variáveis são:

- Gráficos de médias e intervalos;
- Gráficos de médias e desvios padrão;
- Gráficos de leituras individuais.

Existem muitas características de qualidade que não são medidas com um instrumento de medição numa escala contínua ou numérica. Nestes casos, o produto é julgado conforme ou não conforme, dependendo se possui ou não certos atributos; ou também pode-se contar o número de defeitos ou não conformidades que o produto possui. Os cartas de controlo para atributos são:

- Gráfico p: Proporção de itens com defeito;
- Gráfico np: Número de unidades defeituosas com n constante;
- Gráfico c: Número de defeitos numa amostra com constante n;
- Gráfico u: Número de defeitos por unidade.

3.2. Outras ferramentas

3.2.1. Análises dos modos e efeitos de falha

Uma ferramenta para identificar possíveis modos de falha num processo e priorizá-los com base na sua gravidade, frequência de ocorrência e probabilidade de detecção quando a falha ocorre é a análise dos modos e efeitos de falha (AMEF) ou do inglês *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

As frequências com que as falhas ocorrem, juntamente com sua gravidade, são uma medida da fiabilidade de um sistema. Quanto maiores forem, menos será essa fiabilidade. Portanto, uma tarefa fundamental quando se procura caracterizar e melhorar um processo é aplicar a metodologia FMEA com a ideia de conhecer melhor as fraquezas (modos potenciais de falha) do produto ou processo e a partir daí gerar soluções no nível do processo ou redesenho do produto [Gutierrez e De La Vara, 2004].

As etapas para realizar uma FMEA podem ser [Escalante, 2007]:

1. Selecção do equipamento;
2. Desenvolvimento de um diagrama de blocos ou de um fluxograma de processo;
3. Obtenção dos dados de falha (modos de falha potenciais);
4. Análise da informação;
5. Recomendações das acções de melhoria;

6. Avaliação das acções de melhoria (recalcular o Risk Priority Number (RPN), número de prioridade de risco);
7. Continuação com as melhorias (documento dinâmico).

O número de risco Priority (RPN) resulta do produto da gravidade (quão significativo é o impacto do efeito para o cliente) pela ocorrência (o que é provável que uma causa ocorra) pela detecção (qual a probabilidade de o sistema detectar o efeito ou o modo), ou seja: Gravidade x Ocorrência x Detecção = RPN.

O RPN fornece um indicador relativo de todas as causas de falha. Números mais altos de RPN devem receber prioridade para acções correctivas, seja para evitar a causa ou, pelo menos, para usar melhores controlos de detecção.

3.2.2. Prova de Hipóteses

O teste de hipótese ou Prova de Hipóteses (PH), também designado por Planeamento de Experiências do inglês *Design of Experiments* (DOE), é um procedimento estatístico para tomar uma decisão, com base numa amostra, quanto ao valor que alguns parâmetros populacionais podem tomar (média, variância, proporção) ou sobre o tipo de distribuição que a população de onde os dados são obtidos [Escalante, 2007].

Em geral, a estratégia a seguir nos testes de hipóteses é supor uma afirmação (H_0), conhecida como hipótese nula, que se propõe como uma igualdade e que, seja rejeitada, seu complemento será aceite: a hipótese alternativa (H_1). Ou seja, a hipótese nula é verdadeira desde que o contrário não seja comprovado [Gutierrez e De La Vara, 2004].

Para discernir se uma hipótese é aceite ou rejeitada, usa-se uma estatística de teste, o qual é um número calculado a partir dos dados da amostra e cuja magnitude permite que tal discernimento seja feito. O conjunto de valores possíveis da estatística do teste chama-se região de aceitação, ao contrário, o conjunto de valores que não pertence a esse intervalo chama-se região de rejeição.

Como o teste de hipótese é uma decisão probabilística, existe o risco de cometer algum tipo de erro dos dois que existem nesse tipo de teste. O primeiro ocorre quando H_0 se rejeita sendo verdadeiro (erro tipo I ou α) e o segundo ocorre quando H_0 se aceita como sendo falso (erro tipo II ou β).

Existem diferentes tipos de testes de hipóteses para uma amostra e duas amostras. Os testes de hipótese para uma amostra podem ser:

- Teste de hipóteses de médias;
- Teste de hipótese para variância;
- Teste de hipótese para uma proporção.

Os testes de hipóteses para duas amostras podem ser:

- Teste de hipótese para a diferença de duas médias;
- Teste de hipóteses para a igualdade de variâncias;
- Teste de hipóteses para as duas proporções.

Para casos mais gerais, onde existem várias populações, usa-se o *design* de experimentos.

3.2.3. Análise Árvore de Falhas

A Árvore de Falhas trata-se de uma metodologia que visa identificar e encadear, de forma lógica, os diversos eventos que podem acontecer, separadamente ou em conjunto, que conduzirão a um determinado modo de falha. Ela é representada em forma de diagrama e utiliza operadores lógicos simples, tais como *and* e *or*, para encadear essas relações. Usualmente, a Árvore de Falhas utiliza-se para avaliar a fiabilidade e a segurança de sistemas complexos. Nesses casos, é necessário ter um profundo conhecimento do funcionamento do sistema e de como as falhas ocorrem. Para isso, utilizam-se diagramas de funções do sistema para decidir o modo pelo qual os sinais são transmitidos entre os componentes que fazem parte do mesmo [Pinto, 2013].

A elaboração de Árvore de Falhas para os diversos sistemas também traz outros benefícios além da simplificação das análises das falhas. Pode-se citar o aumento do domínio das características técnicas dos equipamentos e a integração entre equipas de projecto, operação e manutenção, pois para a sua elaboração, os especialistas devem-se aprofundar em todas as interfaces e interações de todos os componentes, destacando-se o impacto no cumprimento da missão do sistema. Outro benefício é na fase de novos projectos, pois com este encadeamento bem entendido, várias melhorias podem ser implementadas.

Na construção de uma Árvore de Falhas, o evento “Falha do Sistema” que está para ser estudado é chamado de “Evento Topo” ou “Evento Superior”. Eventos Falha que podem contribuir para a ocorrência do Evento Topo são identificados e ligados ao Evento Topo por funções conectivas lógicas, até que a estrutura da Árvore de Falhas seja criada. A

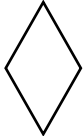
árvore de falhas é construída utilizando-se símbolos lógicos que também podem ser chamados de *Gates*, o que significa que os mesmos possuem entradas e saídas. Esse desdobramento ocorre até o momento em que o Evento Falha não pode ser mais dividido ou quando se decide limitar a análise de um subsistema, chegando-se então ao Evento Básico. Esses eventos são considerados “Estatisticamente Independentes”.

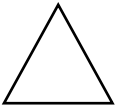
Os Eventos Básicos que não são considerados “Estatisticamente Independentes” são classificados como “Falhas com Causa Comum”. São falhas que ocorrem devido a incidentes que não podem ser previstos. A análise pode ser realizada de duas formas distintas: Análise Qualitativa, onde são determinadas as falhas básicas e a Análise Quantitativa, onde se calcula a probabilidade de ocorrência de cada evento [Pinto, 1994].

Símbolos e definições para construção de Árvore de falhas.

Conforme mencionado anteriormente, a Árvore de Falhas é construída utilizando conectores lógicos. Na Tabela 3.1 apresentam-se e definem-se esses conectores.

Tabela 3.1. Elementos de Árvore de Falha.

Símbolo	Nome	Descrição
	Retângulo	Evento intermediário: Falha resultado da interação com outras falhas que são desenvolvidas através de entradas lógicas.
	Círculo	Evento básico: falha básica do equipamento/sistema que não requer outras falhas ou defeitos adicionais. Caracterizado por uma taxa de falha.
	Diamante	Evento não desenvolvido: Falha que não é examinada mais, porque a informação não está disponível ou porque suas consequências são insignificantes.
	Casa	Evento externo: Condição ou evento que é suposto existir como uma condição limite do sistema para análise.
	Oval	Porta de restrição: Indica que a saída do evento ocorre quando a entrada não acontece e o tempo específico de atraso ou restrição expirou.

	Triângulo	Transferência: Indica que a árvore de falhas é desenvolvida de forma adicional em outras folhas (indicados com letras/números) Indica a continuação para uma Subárvore.
	E	Porta E: O evento/falha ocorre somente quando todas as entradas ocorrem de forma simultânea.
	Ou	Porta OU: Operação pela qual qualquer uma das entradas/eventos (falhas básicas) produz uma resposta.
	Inibição	Porta de inibição: Indica que a saída do evento ocorre quando acontece a entrada e a condição inibidora é satisfeita.

Os resultados da análise por Árvore de Falhas são voltados para a fiabilidade dos equipamentos analisados e para a segurança do processo como um todo.

Este método utiliza a lógica em forma de ramificações e é muito útil para descrever uma combinação de falhas ou possíveis erros humanos que podem contribuir para a formação do evento topo.

3.2.4. Capacidade de Processo

Os processos industriais têm variáveis de saída ou resposta, que devem atender a determinadas especificações para considerar que o processo está funcionando satisfatoriamente. Avaliar a habilidade ou capacidade de um processo, é analisar quão bem as suas variáveis de produção, estão dentro das especificações do mesmo [Gutierrez e De La Vara, 2004].

Geralmente convém ter uma forma quantitativa simples de expressar a capacidade do processo. Uma dessas formas é através do índice de capacidade de processo (C_p), que é uma comparação entre os limites de especificação (tolerância) e os limites de processo, sem levar em conta com a sua localização, ou seja, comparando a largura das especificações com a largura do processo.

O índice de capacidade potencial do processo, C_p , calcula-se através da equação 3.1:

$$C_p = \frac{\text{Variação tolerada}}{\text{Variação real}} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (3.1)$$

em que LSE é o limite superior de especificação, LIE o limite inferior de especificação e σ o desvio padrão do processo.

Um aspecto importante destacar, é o facto de que o índice C_p é baseado em três suposições: (i) que a característica da qualidade é normalmente distribuída; (ii) que o processo é estável; e (iii) que se conhece o desvio padrão do processo.

Numa aplicação prática, o desvio padrão (σ) do processo é quase sempre desconhecido e deve ser substituído por uma estimativa. Para estimar σ tipicamente usa-se o desvio padrão da amostra ($\hat{\sigma}$) resultando numa estimativa de $\hat{C}_p$:

$$\hat{C}_p = \frac{LSE-LIE}{6\hat{\sigma}} \approx \frac{LSE-LIE}{6\sigma} \quad (3.2)$$

Diz-se que 6σ é a variação real ou largura do processo, devido às propriedades da distribuição normal, que afirmam que entre a média $\mu \pm 3\sigma$ é 99,73% dos valores de uma variável com distribuição normal. Mesmo que não haja normalidade, uma grande percentagem da distribuição encontra-se nesse intervalo devido à desigualdade de Chebyshev. Em probabilidade, a desigualdade de Chebyshev (também escrito como Chebychov) é um resultado que oferece uma cota inferior à probabilidade de que o valor de uma variável aleatória com variância finita esteja numa certa distância de sua esperança matemática [Wikipedia, 2019].

Para que um processo seja considerado potencialmente capaz de atender às especificações, a variação real deve ser sempre menor que a variação tolerada. Portanto, deseja-se que o índice de C_p seja maior que 1. Se o valor do índice de C_p for menor que 1, é uma evidência de que não atende às especificações.

Uma desvantagem do índice C_p é que não leva em conta a centralização do processo, porque em sua definição a média (μ) do processo não interfere. Para superar esta desvantagem é necessário recorrer ao chamado índice de capacidade real do processo (C_{pk}). O índice C_{pk} define-se pela equação 3.3:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE-\mu}{3\sigma}, \frac{\mu-LIE}{3\sigma} \right\} \quad (3.3)$$

Ou seja, o índice C_{pk} é igual ao pior índice unilateral, portanto, se o valor de C_{pk} for satisfatório, isso indica que o processo é realmente capaz. A magnitude do C_{pk} em relação ao C_p é uma medida direta do quão longe do centro o processo está operando. Alguns elementos adicionais para a interpretação do índice C_{pk} são os seguintes:

- O índice C_{pk} é sempre menor ou igual ao índice C_p , quando os dois índices são muito próximos, o que indicará que a média do processo está muito próxima do ponto médio das especificações.
- Se o valor do índice C_{pk} for muito menor que C_p , indicará que a média do processo está longe do centro das especificações.
- Valores de C_{pk} iguais a zero ou negativos, indicam que a média do processo está fora das especificações.

O desenvolvimento do índice de capacidade potencial do processo (C_p) feito anteriormente, considera que o processo é de dupla especificação. Quando isso não acontece e a variável de saída tem apenas uma especificação, seja maior (como tempo) ou menor (como dureza), a capacidade do processo calcula-se unilateralmente como:

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3 \cdot \sigma} \quad \text{Só especificação inferior} \quad (3.4)$$

$$C_{pk} = \frac{LSE - \mu}{3 \cdot \sigma} \quad \text{Só especificação superior} \quad (3.5)$$

Existem outras medidas de capacidade que não são estudadas neste trabalho, para mais informações pode-se consultar o texto *Statistical Quality Control* por [Douglas Montgomery, 2012].

Metodologia proposta

A tecnologia utilizada na produção industrial tornou-se um fator muito importante nas empresas de qualquer tamanho e área. Isto implica um alto custo, o qual deve evitar-se para atingir níveis ainda maiores, e isso alcança-se quando o custo de manutenção, como parte fundamental do valor agregado de uma empresa, diminui, assegurando a disponibilidade de activos produtivos. Dessa forma, requer-se uma manutenção organizada, eficiente e desenvolvida que garanta, a um custo competitivo a disponibilidade de seus equipamentos.

Actualmente, a manutenção está destinada a ser o pilar fundamental de qualquer empresa que se considere ser competitiva devendo-se desenvolver técnicas e métodos para a detecção, controlo e execução de actividades que garantam o bom desempenho dos equipamentos.

4.1. Grandes perdas em equipamentos industriais

O objectivo de um sistema de produção eficiente do ponto de vista do equipamento é garantir que estes operem da forma mais eficiente o máximo de tempo possível [Cuatrecasas, 2000]. Para isso, é necessário descobrir e eliminar os principais factores que reduzem as condições ideais de operação do equipamento.

Os principais factores que impedem a maximização da eficiência geral de um equipamento foram classificados em seis grandes grupos e são conhecidos como as seis grandes perdas. Estas são agrupadas em três categorias, levando em consideração o tipo de resíduo e os efeitos que têm no desempenho do equipamento de produção (Figura 4.1).

Os sistemas de produção mais avançados visam otimizar a sua eficiência eliminando o desperdício, o que significa usar a quantidade mínima de recursos de todos os tipos e produzir exactamente o que se necessita. A manutenção em geral, e em particular o TPM, tenta aplicar o mesmo princípio básico para otimizar o desempenho dos processos por meio, neste caso, do equipamento de produção e da sua manutenção. Ou seja, a manutenção procura a eficiência através da eliminação de desperdícios ou perdas em equipamentos produtivos.

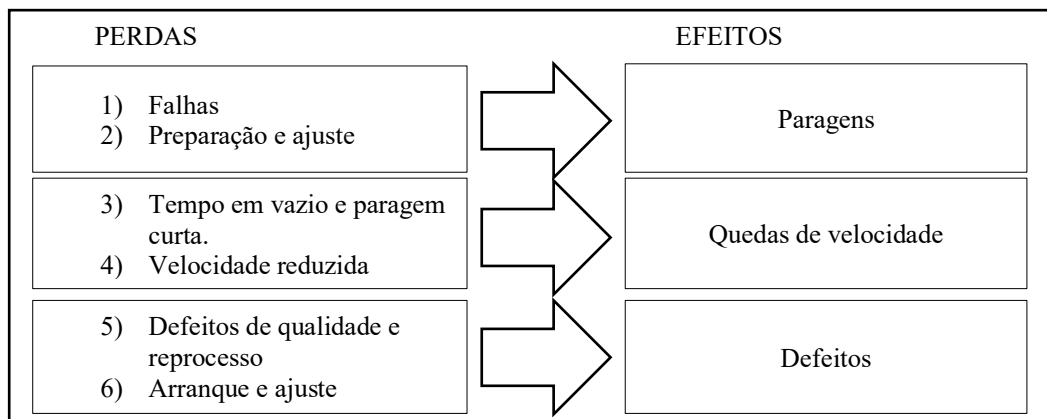


Figura 4.1. Perdas e efeitos que provocam nos equipamentos [Cuatrecasas, 2000].

Estas perdas estão intimamente relacionadas com o sistema *Lean Manufacturing*, que fornece ao cliente exactamente o que ele quer, quando necessário e sem desperdício, através da melhoria contínua. Quando se fala em desperdício na produção, faz-se referência a qualquer processo, actividade, material ou produto que não agregue valor e em geral tudo aquilo que o cliente não está disposto a pagar. Produtos que são armazenados, inspeccionados ou atrasados, aqueles que aguardam em linhas e defeituosos não agregam valor [Render & Heizer, 2004].

As seis maiores perdas de equipamentos industriais são definidas como:

- 1) Falhas: Refere-se às paragens do processo devido a falhas, erros ou avarias no equipamento, sejam esporádicos ou crónicos. Da mesma forma, falhas esporádicas podem ser do tipo catastrófico, ou seja, aquelas que retiram o equipamento de operação por longos períodos (algumas horas até dias), ou de um tipo menor, que são aquelas que podem ser consertadas imediatamente e em pouco tempo (alguns minutos), definitiva ou provisoriamente.
- 2) Tempos de preparação e ajuste do equipamento: São os tempos de paralisação do processo no qual se procede à troca de equipamento de A para B ou vice-versa conforme o caso.
- 3) Tempo vazio e paragens pequenas: Intervalos de tempo nos quais o equipamento está a aguardar para continuar, ou seja, devido à falta de material ou outros problemas tais como desalinhamento ou falhas menores.
- 4) Operação a velocidade reduzida: diferença entre a velocidade de trabalho da máquina e a do design.
- 5) Defeitos de qualidade e reproprocessamento: Produção de defeitos ocasionais ou crónicos no produto resultante.

- 6) Start-up (arranque): Perdas de rendimento durante a fase de arranque do processo que podem derivar de requisitos técnicos.

Dessas perdas, as mais importantes do ponto de vista de manutenção são as falhas. Não só por ser uma questão específica desse departamento nas empresas, mas devido à influência que as falhas dos equipamentos podem ter sobre outras perdas. As falhas levam o equipamento a não realizar ou a realizar com defeito o objectivo pelo qual foi designado. Uma máquina em condições precárias pode apresentar problemas de velocidade e tempo de inatividade devido a paragens como se mostra na Figura 4.2.

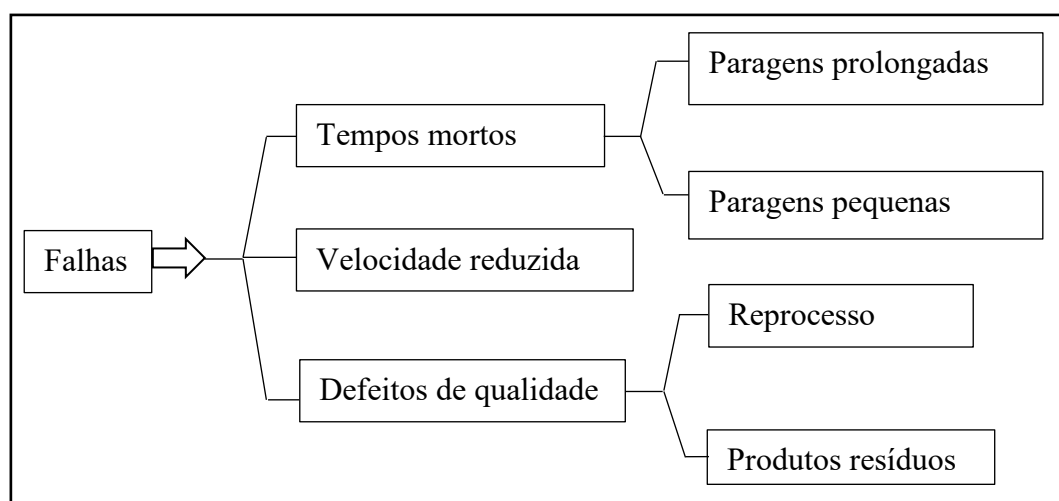


Figura 4.2. Influência das falhas nas perdas dos equipamentos.

Dadas as características muito importantes das falhas no desempenho dos equipamentos produtivos, apresenta-se no sub-capítulo seguinte uma análise aprofundada das mesmas.

4.2. Perdas por Falhas

As perdas por falhas, erros ou avarias no equipamento causam paragens do processo devido a paragens completas e problemas que impedem o seu bom funcionamento.

4.2.1. Falhas esporádicas

Esse tipo de falha caracteriza-se pelo fato de que o equipamento perde de repente algumas de suas funções fundamentais e pára completamente. Geralmente ocorre inesperadamente, resultando em perdas claras e urgentes para resolver.

Falhas esporádicas ou perdas de função resultam em perdas esporádicas com um alto custo económico inicial. No entanto, são visíveis e geralmente têm uma causa clara e concreta e, portanto, é relativamente simples agir quando ocorrem, levando em consideração o senso de urgência da substituição da função da máquina.

Mesmo apesar do alto custo de tais falhas, dado o custo de reparação (peças e pessoal envolvido), bem como a perda de função (produção interrompida), nem todas as empresas estão realmente interessadas na política de prevenção, porque evitar a ocorrência de uma falha não é fácil. É aqui que um equilíbrio de custos de manutenção e de não manutenção deve ser feito, dependendo da importância de cada equipamento no processo de produção da fábrica.

4.2.2. Prevenção de falhas esporádicas

A prevenção de uma falha implica a criação de um cenário pessimista para que isso não aconteça. Em outras palavras, trata-se de um cenário do tipo “*O que acontece se...*” considerando todas as possíveis alterações que o processo possa ter e identificando as suas consequências.

Tomando o produto como o principal indicador do estado de saúde da máquina, pode ser possível investigar quais são as características de qualidade que devem ser cumpridas e com base nisso definir, em um processo dedutivo, a possibilidade da ocorrência de um evento indesejado e onde é que possivelmente o equipamento falhe para que o defeito em questão apareça.

A detecção de possíveis falhas de equipamentos é a espinha dorsal da metodologia para a prevenção de falhas esporádicas, ou seja, onde o equipamento pode falhar e o que deve ser feito para que este evento não aconteça.

A metodologia proposta para a prevenção de falhas esporádicas pode ser representada na forma de um fluxograma, tal como se pode verificar pela Figura 4.3.

O objectivo principal, neste caso, é identificar os potenciais modos de falha para que sejam monitorizadas ou eliminadas as causas que as produzem, a fim de eliminar ou minimizar os seus efeitos. A Tabela 4.1 mostra as perdas nas quais a detecção de falhas crónica terá efeito, bem como os objectivos pretendidos.

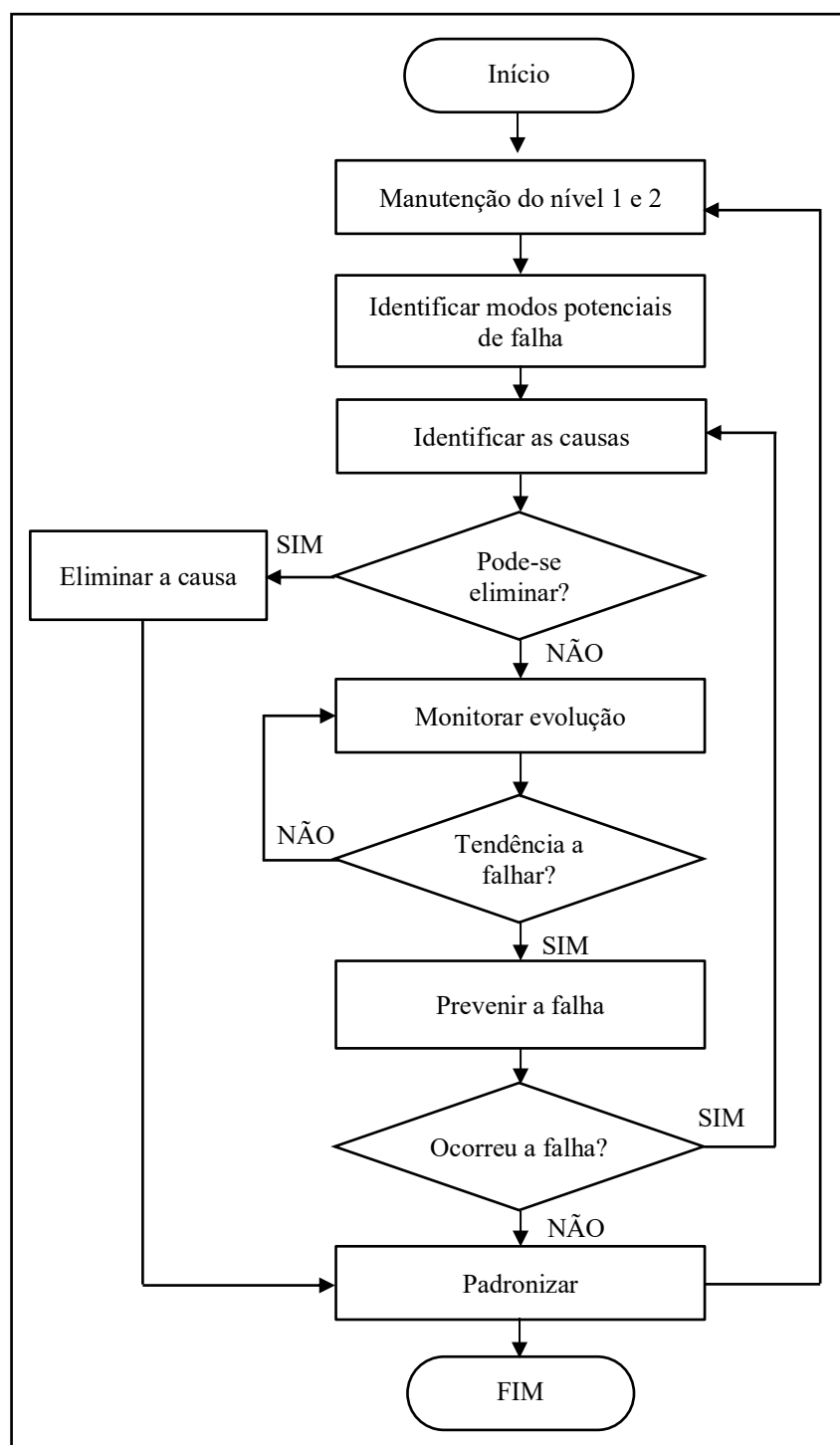


Figura 4.3. Metodologia proposta para a prevenção de falhas esporádicas.

Tabela 4.1. Objectivos pretendidos com a metodologia proposta.

Perda	Objectivo
Falhas	Eliminar
Paragens prolongadas	Reduzir ao máximo

A metodologia para a prevenção de falhas esporádicas pode ser apresentada como um algoritmo da seguinte forma:

- 1 Dar manutenção de nível 1 e 2 aos activos;
- 2 Identificar os modos potenciais de falha;
- 3 Identificar a causa raiz desses modos potenciais de falha:
 - Se pode ser eliminada a causa raiz da potencial falha, então:
 - 3.1 Eliminar a causa raiz;
 - 3.2 Padronizar a solução como a melhor prática até o momento;
 - 3.3 Repetir o processo a partir do passo 1;
 - Se não puder ser eliminada a causa raiz da potencial falha:
 - 3.4 Monitorar sua evolução;
 - Se na monitorização for detetada uma tendência a falhar, então:
 - 3.4.1. Prevenir a ocorrência da falha;
 - Se a falha não ocorrer, então:
 - 3.4.2. Padronizar a solução como a melhor prática até o momento;
 - 3.4.3. Repita o processo a partir do passo 1;
 - Se a falha ocorrer de qualquer forma, então:
 - 3.4.4. Retornar ao passo 3, pois a causa identificada ou não foi a raiz ou não foi a única causa do problema;
 - Se na monitorização não foi detectada uma tendência a falhar:
 - 3.5 Volte ao passo 3.4.

Cada um dos blocos no diagrama para a metodologia de prevenção de falha esporádica proposta apresentados na Figura 4.3 são detalhados nos subcapítulos seguinte.

4.2.3. Manutenção do nível 1 e 2

A manutenção do nível 1 e 2, também designada por manutenção básica, refere-se principalmente à limpeza e à lubrificação de equipamentos produtivos. Algumas tarefas adicionais podem ser adicionadas como reaperto de parafusos, tanto para dispositivos mecânicos como electromecânicos.

Essas actividades, muitas vezes diminuídas pelo pessoal de manutenção, podem levar à detecção de elementos soltos, gastos, com folga, fracturados, etc.

Recomenda-se, como etapa inicial de qualquer actividade de manutenção, propor um plano básico de manutenção baseado no tempo, seja com as recomendações do fabricante

do equipamento ou com base nas horas de trabalho e no ambiente em que o equipamento está operando: Um ambiente empoeirado pode fazer com que a lubrificação se torne corrosiva se não for constantemente removida.

4.2.4. Identificação de modos potenciais de falha

Antes de identificar potenciais modos de falha, torna-se importante determinar qual o equipamento que será estudado. Uma análise de quão crítico o equipamento é para o processo de produção pode elucidar este ponto de tal forma que são apenas aquelas máquinas ou secções delas, e cuja função é crítica, sobre as quais o estudo se faz.

A identificação pode ser feita através de uma FMEA; onde são identificados os modos potenciais de falha e calcula-se o NPR para saber quais são os pontos fracos do sistema e quais precisam ser reforçados. A coluna de acções recomendadas também é muito importante, mas neste caso, essas acções estão relacionadas com a prevenção da ocorrência do defeito e a capacidade de detectá-lo para o eliminar antes de gerar qualquer dano ao equipamento ou minimizar a sua gravidade.

Quando se tem informações suficientes de um tipo específico de componente ou secção do equipamento, pode ser mais fácil aplicar uma árvore de falhas. Isso, de forma dedutiva, indicará quais os eventos simples que devem ocorrer para o aparecimento do efeito indesejado.

4.2.5. Determinar a causa raiz e monitorização da sua evolução

Uma vez identificados os modos potenciais de falha por meio de uma FMEA ou os eventos básicos que podem gerar o evento indesejado por meio de uma árvore de falhas, procede-se à tentativa de determinar a causa raiz que os originariam se ocorressem. Para tal, recorre-se a um diagrama de causa e efeito.

Se o estudo foi realizado através de uma FMEA, os modos de falha potenciais ocuparão os principais ramos. Se tal foi construído através de uma árvore de falhas, os ramos principais serão os eventos básicos da árvore.

Quando as possíveis causas tiverem sido determinadas, convém eliminá-las do equipamento, se isso não for possível, então recomenda-se monitorar a sua evolução para que possa ser previsto com certeza quando a peça, secção ou componente do equipamento poderá falhar. Neste caso, determinar a forma pela qual a evolução da falha potencial pode ser monitorada nem sempre é fácil. Se tal acontecer, o que pode ser feito é monitorá-

lo através do produto que ele entrega e da característica de qualidade relacionada a ela. Uma forma de ajudar é tentar desenhar um diagrama de dispersão para identificar alguma dependência de uma variável em relação a outra que possa ser medida ou que tenha sido identificada como causa.

Se foi encontrada uma forma de monitorar a evolução da falha, os dados podem ser obtidos através de uma lista de verificação e, a partir dela, produzir um diagrama de Pareto para atributos, ou um histograma e/ou cartas de controlo, se for uma questão de variáveis.

4.2.6. Prevenção e padronização de falhas

É importante tomar algumas medidas de precaução, como limpeza, lubrificação, alinhamento, eliminação de vibrações, análise de lubrificantes ou outros, de tal forma que se possa ter um panorama do antes e depois para saber se o que está sendo feito ataca a causa raiz da falha. Talvez seja o caso de que se esteja prevenindo uma falha com uma causa errada.

Se a solução aplicada atrasa a falha ou esta não aparece, pode ser considerada a melhor solução até esse momento, pois a monitorização deve continuar e, se for possível, aplicá-la a outro equipamento que tenha a mesma configuração ou que sejam iguais. Um cartas de controlo pode ser muito útil para detectar causas especiais de variação na característica de qualidade que está sendo monitorizada.

A Tabela 4.2 mostra algumas das ferramentas úteis para cada etapa da metodologia de prevenção de falhas esporádicas.

Tabela 4.2. Ferramentas na metodologia de prevenção de falhas esporádicas.

N.º	Passo da metodologia	Ferramentas a utilizar*								
		CL	Hist	DP	DIsh	MP	DD	CC	FMEA	FTA
1.	Identificar modos potenciais de falha					✓			✓	✓
2.	Identificar a causa				✓					
3.	Monitorar	✓	✓	✓			✓	✓		
4.	Padronizar	PDCA, 5W2H, SDCA,								

*CL-Check List; Hist-Histograma; DP-Diagrama de Pareto; DIsh-Diagrama de Ishikawa; MP-Mapa de Processo; DD-Diagrama de Dispersão; CC-Cartas de Controlo; FMEA-Análise dos Modos e Efeitos de Falha; FTA-Análise de Árvore de Falhas. SDCA- *Standard, Do, Check, Act*; 5W2H- *What, How, Why, Where, When, Who, How Much*.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são explicados os resultados obtidos na investigação depois de processar os dados que foram recolhidos no trabalho de campo.

A metodologia proposta na seção anterior foi aplicada no departamento de manutenção da instalação de tratamento de petróleo Castanha. Analisaram-se minuciosamente os processos, bem como a aplicação da metodologia e os resultados obtidos.

5.1. Descrição da Instalação

Instalações de Produção do Campo Castanha, compreendem as instalações necessárias para produzir e processar fluidos da área Castanha, localizado no Bloco Sul Cabinda, Angola.

Estas instalações processam, armazenam e despacham 10 mil barris por dia de petróleo bruto de 33° API (grau de densidade do petróleo). Antes de exportar o petróleo bruto da área Castanha até o Terminal de Malongo, este desidrata-se; ou seja, o seu sal é removido e condiciona-se para ajustar a pressão de vapor requerida (RVP) de acordo com os requerimentos de exportação. O óleo armazena-se num tanque de armazenamento, antes de ser bombeado para a custódia (ponto de armazenamento e entrega definitiva do petróleo processado) das instalações de transferência (ULACT), próximo do Terminal de Malongo.

A quantidade de água produzida no processo de tratamento do petróleo bruto é de 10 mil barris por dia, antes de ser reinjectada, a água passa por um processo de tratamento onde são removidas partículas sólidas e restos de óleo crude, e por fim é injectada num ponto de injeção de água localizado no bloco de poços (blocos de extracção B).

A quantidade de gás associado ao petróleo bruto é de 10 MMscfd, separa-se e utiliza-se parcialmente como gás combustível depois de um prévio condicionamento. Cerca de 10% do gás produzido usa-se como combustível, enquanto o resto queima-se numa tocha queimadora (*flare*) (Figura 5.1).



Figura 5.1. Tocha Queimadora de gás [Transeletron, 2017].

As instalações de produção do campo Castanha incluem quatro blocos de poços (blocos de extracção A, B, C e D). Cada bloco conta com uma linha de fluxo de produção independente para as instalações de Tratamento de Castanha. (Para maior informação ver Anexo 1, Figura A1).

Constituição da Instalação de tratamento de petróleo de Castanha:

a) Processo de extracção (entrada à instalação)

No campo de produção Castanha, constituído por três blocos de perfuração, as operações começam quando se extrai petróleo bruto dos poços dos diferentes blocos de poços ou plataformas, que flui por pressão natural até ao primeiro colector. Na entrada do primeiro colector, injetam-se produtos químicos (anticorrosão e desemulsificante). Recolhe-se e transfere-se a outro colector para tratamento na instalação (Figura 5.2).



Figura 5.2. Poço de extracção de petróleo do campo castanha

Se necessário, a linha entre colectores é limpa através de um “porco” ou raspador (*Pig*) (Figura 5.3).

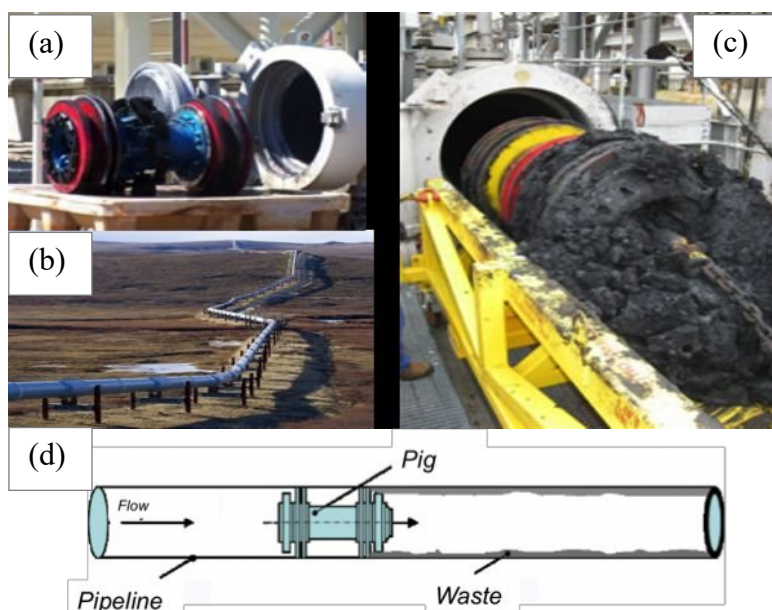


Figura 5.3. Porco ou raspador para limpeza dos oleodutos: (a) *Pig Launcher* (entrada na linha); (b) Linha de um oleoduto; (c) *Pig receptor* (saída); (d) esquema de um *Pig* num oleoduto [Borregales e outros, 2014].

b) Sistema de tratamento de óleo - Separação primária

O Óleo vem pelo segundo colector e entra no Separador Trifásico ou *Free Water* (Figura 5.4), sendo esta a primeira fase de separação de óleo-gás-água. Na entrada do separador, injectam-se produtos químicos, tais como os aditivos antiespumante e desemulsificante e logo na separação o óleo passa para o Tratamento Térmico. A água vai para o Tratamento de Água e o gás vai para Tratamento de Gás.

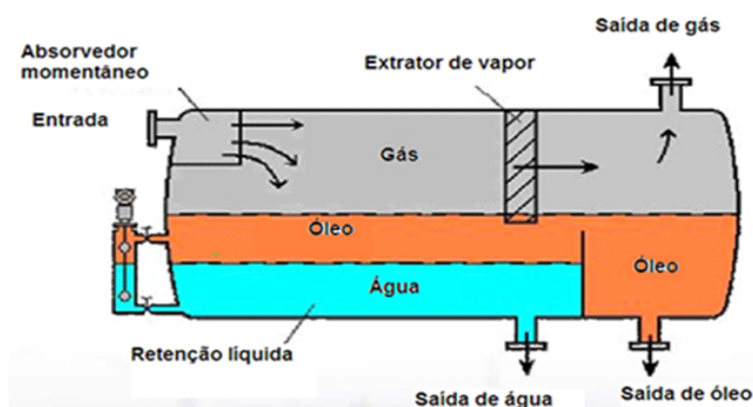


Figura 5.4. Separador trifásico. [Soares, 2018]

c) Sistema de tratamento de óleo – Separação Secundária

Seguindo a linha do óleo, este entra no Tratador Térmico ou *Heater treater* (Figura 5.5) para a segunda fase de separação de óleo-gás-água. Na entrada do Tratador são injectados

novamente produtos químicos (anti-espumante e desemulsificante). O óleo do Separador troca calor com o óleo do Dessalinizador através de um permutador de calor e passa para o Tratamento Térmico. Na separação o óleo desgassifica-se e transfere-se para o Dessalinizador. A água vai para o Tratamento de Água e o gás vai para Disposição de Gás.

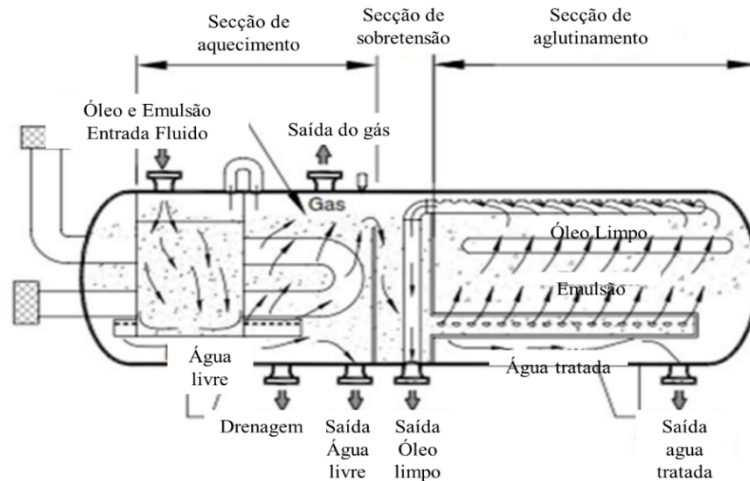
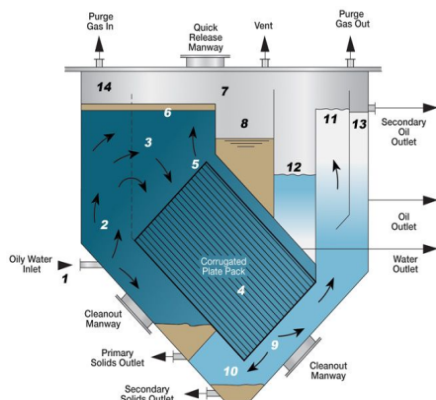


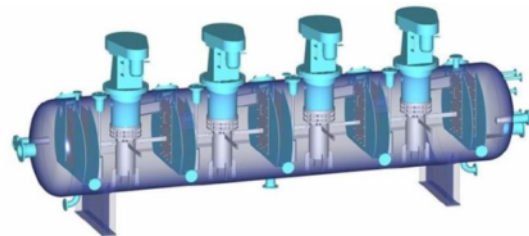
Figura 5.5. Tratador térmico. Adaptado de [Choudhary e outros, 2017]

d) Tratamento de água

A água separada nos três processos de tratamento de óleo é então colectada e tratada (remoção de impurezas oleosas e sólidos). O tratamento é realizado em duas fases: CPI- *corrugated plate interceptor* (Figura 5.6(a)) e IGF- *Induced gas flotation filter* (Figura 5.6(b)), com a ajuda de químicos. A água tratada passa para o processo de reinjeção de Água e as impurezas removidas (resíduos oleosos ou *slop*) são armazenadas para reproprocessamento.



(a)



(b)

Figura 5.6. Fases do tratamento da água: (a) através de CPI; (b) através de IGF [World Technologies, 2017]

e) Exportação de óleo

O óleo tratado armazena-se, filtra-se e transfere-se para o ponto final da cadeia de óleo. Se necessário, a linha entre a Bomba de Exportação e o processo de Fiscalização limpa-se com um "porco" ou raspador ou *pig*. Qualquer óleo fora das especificações armazena-se e transfere-se para o Tratador Térmico para o seu reprocesso. A Figura 5.7 mostra um tanque de óleo e uma bomba de reprocesso da instalação de tratamento de *crude* (petróleo bruto) Castanha em São Vicente - Cabinda Sul.

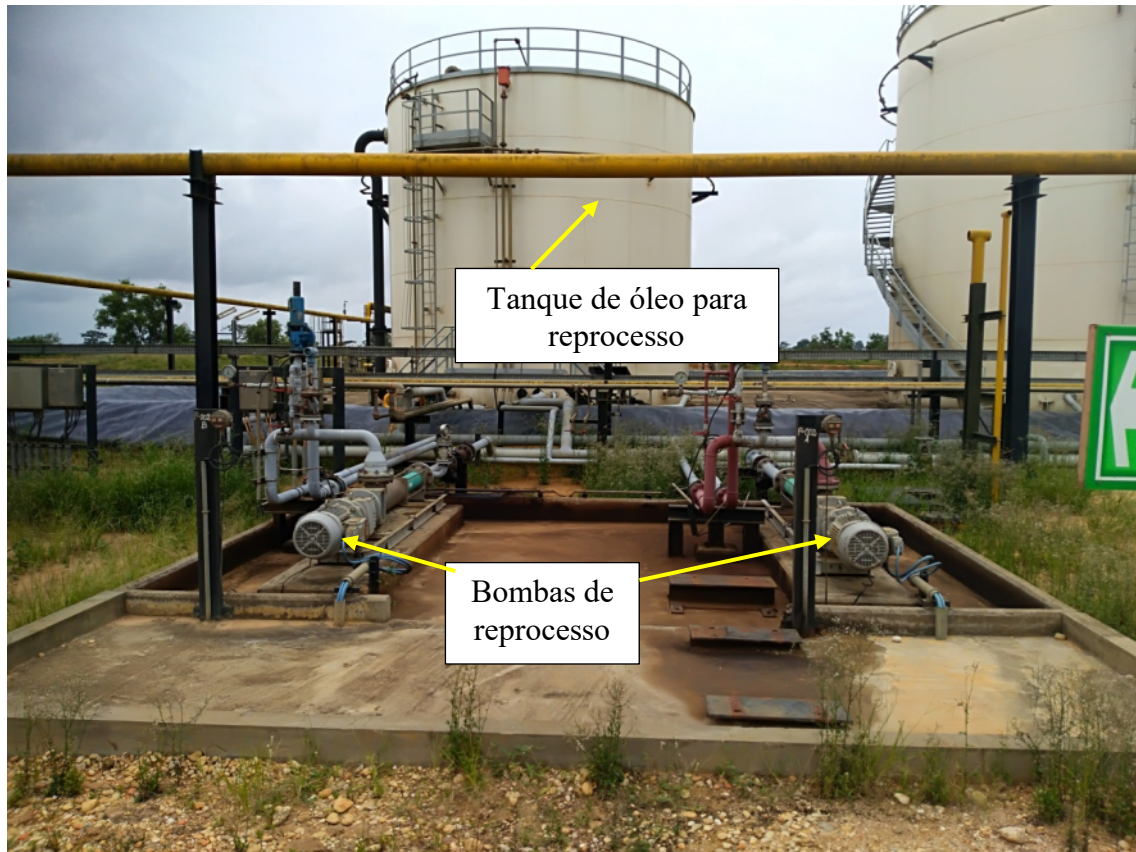


Figura 5.7. Tanque e bomba de reprocesso da Instalação.

O processo de Fiscalização é o último processo na cadeia de óleo. Neste processo, através da sua ULAFT verifica-se a quantidade e qualidade do produto final (óleo tratado) e transfere-se ao cliente.

f) Injecção de água

A água produzida é dirigida a partir do Sistema de Tratamento de água para o Tanque de armazenamento de água produzida, TK-102 (Anexo 2, Figura A2). As bombas impulsionadoras ou *Booster Pump*, P-102A/B provocam um aumento de pressão nas linhas e, em seguida, com as bombas de injecção de água produzida, P-103A/B (Figura 5.8), a água atinge a pressão necessária para injecção no interior da formação.

A água que sai do sistema de tratamento armazena-se no tanque de água tratada e é depois enviada para ser injectada na formação através de um poço na plataforma B (*Wellpad B*). A Figura 5.8 mostra as bombas de marca *SIAM* P-103 A e P-103 B de pré-injecção de água de produção para o poço sumidouro na plataforma B e bombas *Booster* ou impulsionadoras de marca *RuhrPumpen* P-102 A e P-102 B da instalação de tratamento de crude Castanha em São Vicente – Cabinda.

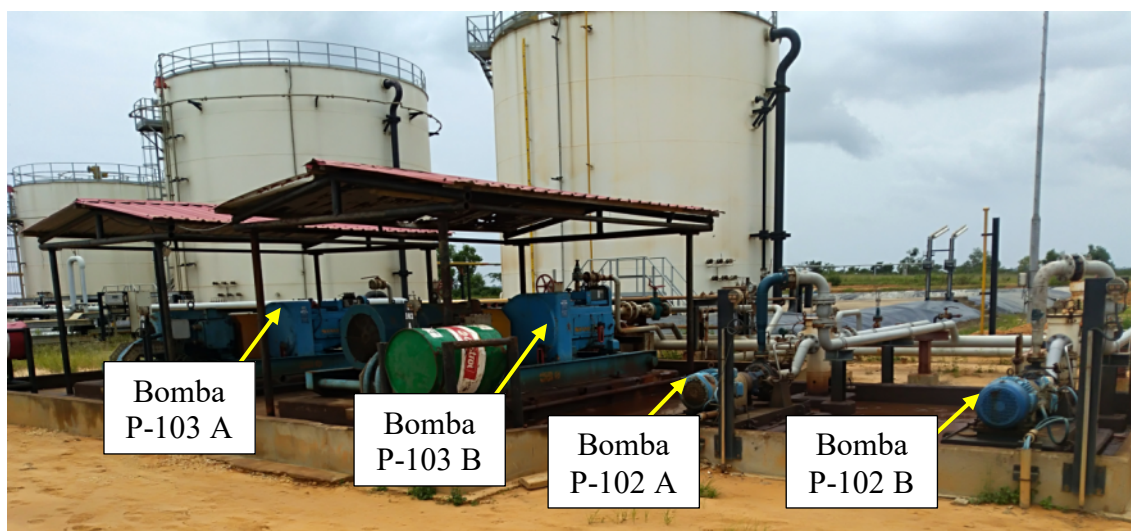


Figura 5.8. Bombas da Instalação de tratamento de *crude*.

g) Sistema de reprocesso

O óleo proveniente de diferentes partes da instalação é então enviado para o Tanque de armazenamento de óleo fora de especificações, TK-002 (Anexo 2, Figura A3). Deste tanque, o líquido dirige-se para o Sistema de tratamento de petróleo onde se reprocessa.

Sistemas Auxiliares:

h) Sistema de ventilação e alívio

Os alívios produzidos na instalação são colectados num canal transversal de 10" (cilindro de extracção) e são enviados para o vaso separador, V-201. Neste recipiente o líquido juntamente com o gás levados ao longo dele, são separados. O líquido leva-se pelas bombas do vaso separador (P-201A/B), ao tanque de resíduos de óleo. O gás é então queimado na tocha (*flare*), L-201.

i) Sistema de Ar para Instalações e Instrumentos

O ar atmosférico é comprimido, filtrado e seco por absorção e é novamente filtrado e armazenado num tanque de ar pressurizado. Deste tanque o ar distribui-se através de um

tubo de distribuição (colector) para os diferentes usuários da planta. Os principais usuários de ar comprimido seco são as válvulas de controlo pneumáticas.

j) Sistema de Gás Combustível

O gás separado, proveniente do separador de três fases trata-se num processo de tratamento de gás. O tratamento é basicamente, a remoção de partículas sólidas e líquidas. Esta remoção faz-se num Depurador e, em seguida, passa por um conjunto de Filtros. Para auxiliar a depuração, uma porção do gás arrefece-se em permutadores de calor que utilizam como meio de arrefecimento água de refrigeração. O gás tratado distribui-se como combustível para o gerador eléctrico e para outros usuários da instalação. O excesso de gás envia-se para o processo de Deposição do Gás.

k) Tanque de resíduos de óleo e Sistema de Drenagem

O fluido de drenagem não pressurizado escoar por gravidade para o Tanque de Drenagem, V-205. A partir deste recipiente, envia-se para o tanque de resíduos de óleo, TK-201 (Anexo 2, Figura A4).

Drenagem pressurizados do cilindro de extracção, Gás Combustível do Sistema condicionado e Sistema de Tratamento de Petróleo também são direccionados para este tanque. O óleo armazenado neste tanque pode ser enviado para o tanque de óleo fora de especificações, para o tanque de compensação ou para camiões.

l) Abastecimento de Água de Poços

A água é fornecida por dois poços de água (P-209 A/B), onde é clorado e enviado para os consumidores.

A água dos poços antes de ser enviada para os consumidores é tratada com hipocloroso de sódio para atingir as especificações de água potável e só assim é enviada ao Sistema de água de utilidade, sala de controlo, laboratório e Sistema de rede de Combate a Incêndio.

m) Sistema de água de utilidade

A partir do tanque de água de utilidade a água é distribuída para os diferentes destinos. Com as bombas de água industrial é bombeada por toda a instalação, assim como para os chuveiros de segurança distribuídos por toda a instalação. O Dessalinizador e as bombas de água de jacto de areia impulsionam a água usada como água de jacto de areia, água de diluição e água de lavagem no tanque de resíduos de óleo e no CPI.

n) Sistema de Injecção de Químico

Para realizar um tratamento adequado do óleo e da água processada nas instalações e para garantir a integridade da instalação, são injectados químicos, nomeadamente inibidores de corrosão, parafina, desemulsificante, sequestrante de oxigénio, biocida e clarificante; em pontos chave do processo. No Sistema de Tratamento de Óleo bem como no Sistema de Tratamento de Água, são incorporados produtos químicos para ajudar a quebrar as emulsões e melhorar a separação entre o óleo e água. O Sistema de água de Utilidade é provido de químicos que evitam o crescimento de bactérias e previne o aparecimento de corrosão. Adicionalmente o inibidor de corrosão é injectado à entrada da instalação.

o) Sistema de Combate a Incêndio

O Sistema de Combate a Incêndio fornece instalações com os elementos necessários para combater um fogo que já teve início e evitar a sua propagação.

O Sistema de água Contra Incêndio utiliza-se apenas em caso de emergência ou quando é testado. A água armazenada é bombeada através de uma rede de distribuição para os vários pontos de uso. Em caso de falha eléctrica, uma bomba diesel activa-se. Certos incêndios (com sólidos oleosos), exigem uma mistura de água e de espuma.

p) Geração Eléctrica

A energia eléctrica necessária para as operações da instalação produz-se através de três principais geradores eléctricos a gás, um dos quais é de reserva. Se necessário, a energia gera-se através de um gerador auxiliar accionado por um motor diesel. A energia produzida transforma-se em vários níveis de tensão e distribui-se para os centros de controlo da instalação.

q) Sistema de Diesel

O sistema de diesel fornece combustível aos consumidores. O diesel armazena-se no tanque de armazenamento e, em seguida, distribuído pelo distribuidor de diesel (onde os veículos automóveis são abastecidos com combustível) e com a bomba de diesel abastece-se o tanque diário do gerador *Black Start* e para os tanques diários de diesel das Moto-Bombas da rede de combate a incêndio.

r) Bombas auxiliares *WELPAD ABC*

As bombas 005, 006 e 007, encontram-se localizadas nas plataformas A, B e C respectivamente. São bombas do tipo centrifuga servem para transferir petróleo a partir

de tanques localizadas nestas plataformas até a instalação de tratamento Castanha. Esse petróleo resulta de testes efectuado nos poços. O petróleo destes tanques também pode ser transportado através de camiões cisternas preparados para o efeito.

5.2. Caracterização dos Equipamentos

Na Tabela 5.1 listam-se os principais equipamentos que operam na instalação de tratamento de petróleo de Castanha. Na sua maioria bombas, num total de 40 e em menor quantidade compressores (5) e geradores eléctricos (7).

Tabela 5.1. Equipamentos da instalação de tratamento de petróleo de Castanha.

N.º	TAG	EQUIPAMENTOS E MARCA
		BOMBAS RUHRPUMPEN
1	P-209 A	Bomba Electro submersivel/Centrífuga
1	P-209 B	Bomba Electro submersivel /Centrífuga
1	P-204 A	Bombas de Água Industrial/Centrífuga
1	P-204 B	Bomba de Água Industrial/Centrífuga
1	P-203 A	Bomba Sandjet/Centrífuga
1	P-203 B	Bomba Sandjet/Centrífuga
1	P-004 A	Bomba Transferência/Centrífuga
1	P-004 B	Bomba Transferência/Centrífuga
1	P-302	Bomba Jockey/Centrífuga
1	P-001 A	Bomba de Exportação/Centrífuga Multiestágios
1	P-001 B	Bomba de Exportação/Centrífuga Multiestágios
1	P-102 A	Bomba Booster Centrífuga
1	P-102 B	Bomba Booster Centrífuga
13		
		MOTOBOMBA CUMMINS
1	P-301 A	MotoBomba de Incêndio/Combustão Interna
1	P-301 B	MotoBomba de Incêndio/Combustão Interna
2		
		BOMBAS SIAM S.A.
1	P-103 A	Bomba Volumétrica de Pistão
1	P-103 B	Bomba Volumétrica de Pistão

1	P-103 C	Bomba Volumétrica de Pistão
3		
		BOMBAS NETZSCH
1	P-202	Bomba Volumétrica/Cavidade progressiva
1	P-002 A	Bomba Volumétrica/Cavidade progressiva
1	P-002 B	Bomba Volumétrica/Cavidade progressiva
1	P-205 A	Bomba Volumétrica/Cavidade progressiva
1	P-205 B	Bomba Volumétrica/Cavidade progressiva
1	P-003	Bomba de Arranque/Cavidade progressiva
1	P-201 A	Bomba <i>Knock out Drum</i> /Cavidade Progressiva
1	P-201 B	Bomba <i>Knock out Drum</i> /Cavidade Progressiva
8		
		BOMBAS QUÍMICAS MIRBLA S.A.
1	PQ-201	Bomba de injeção química/Diafragma
1	PQ-202	Bomba de injeção química/Diafragma
1	PQ-203	Bomba de injeção química/Diafragma
1	PQ-204	Bomba de injeção química/Diafragma
1	PQ-205	Bomba de injeção química/Diafragma
1	PQ-206	Bomba de injeção química/Diafragma
6		
		COMPRESSOR KAESER
1	K-201 A	Compressor de Parafuso
1	K-201 B	Compressor de Parafuso
1	K-701 A	Compressor de Parafuso
1	K-701 B	Compressor de Parafuso
1	K-701 C	Compressor de Parafuso
5		
		GERADORES CATERPILLAR G-3516 (50Hz)
1	G-202	Black Start Diesel
1	TG- 201 A	Gerador 1218 KVA
1	TG- 201 B	Gerador 1218 KVA

1	TG- 201 C	Gerador 1218 KVA
4		
		GERADORES <i>OLYMPIAN™ G-165</i>
1	G-702 A	Gerador Eléctrico 165 Kva
1	G-702 B	Gerador Eléctrico 165 Kva
1	G-200	Gerador Eléctrico 200 Kva
3		
		BOMBA <i>DIESEL</i>
1	P-210	Bomba Volumétrica/ Engrenagens
1	MAN-6115	Bomba de Diesel
2		
		BOMBA <i>AUXILIARES WELPAD ABC</i>
1	P-005	Bomba Centrífuga
1	P-006	Bomba Centrífuga
1	P-007	Bomba Centrífuga
3		
52	Total	

5.3. Divisão operativa da Instalação

A divisão operativa da instalação está representada resumidamente no fluxograma do Anexo 1, ilustrando os principais sistemas descritos brevemente no subcapítulo 5.1 do presente capítulo.

5.4. Análise de Falhas.

Foi realizada uma análise de falhas ao sistema de reinjecção de água durante 12 meses. Os dados históricos referentes aos elementos que mais falharam estão apresentados na Tabela 5.2 em termos de número de falhas (N.º falhas) e número total de horas (N.º HR).

Tabela 5.2. Dados históricos referentes aos elementos que mais falharam.

Equipamento	Tipos de falhas	N.º falhas	N.º (HR)
Sistema de reinjecção de água			
Falhas nas bombas de <i>deslocamento positivo</i> de marca <i>SIAM S.A.</i>			
P-103 A	Fuga no Niple na PSV	7	8
P-103 B	Fuga no Niple na PSV	6	8

P-103 B	Quebra da brida universal	2	5
P-103 A	Dureza na abertura e fecho da válvula	1	1
P-103 A	Fuga no Amortecedor de impulsão	3	8
P-103 B	Revisão da bomba Desgaste na Cambota	1	10
P-103 A	Troca de Capas de bielas	1	15
P-103 A	Quebra de Acoplamento	1	12
P-103 A	Desgaste do Pião	1	12
P-103 B	Desgaste do Pião	1	12
P-103 A	Contaminação no óleo	4	2
P-103 B	Contaminação no óleo	4	2
	Subtotal	32	87
Falhas nas Bombas <i>Booster</i> de marca <i>RUHRPUMPEN</i> tipo centrífuga			
P-102 A	Acoplamento danificado	2	12
P-102 B	Acoplamento danificado	2	12
P-102 A	Selo mecânico danificado	2	4
P-102 B	Selo mecânico danificado	1	4
P-102 A	Fuga do spooll de descarga	5	4
P-102 B	Fuga do spooll de descarga	5	4
P-102 A	Filtro da sucção sujo	4	2
	Subtotal	21	42
	Total	53	129

A Tabela 5.2, anteriormente apresentada, mostra o número de falhas, contabilizadas nos sistemas de reinjecção de água, totalizando um total de 53 falhas. Destaca-se que 32 falhas do sistema de reinjecção de água são nas bombas de deslocamento positivo da marca *SIAM S.A.*, sendo este o sistema que mais falhou. As restantes 21 falhas ocorreram nas bombas *Booster* da marca *RUHRPUMPEN*, ou seja, as bombas de deslocamento positivo apresentaram mais 20% de falhas do que as bombas *Booster*.

O N.º (HR) representa o número total de horas em reparação, de onde se pode verificar que as bombas de deslocamento positivo possuem mais 67,44% deste total das horas com respeito às bombas *Booster*.

5.4.1. Obtenção de Índice de Gestão

A obtenção de qualquer parâmetro de fiabilidade de um equipamento pode ser feita através da observação dos históricos de falhas de seus componentes.

Admitindo-se que os tempos para falha estejam distribuídos, o parâmetro de fiabilidade a ser calculado a partir da observação de históricos passa a ser exclusivamente o fluxo de falha.

a) Cálculo do Fluxo de Falha total

A equação (5.1) fornece o fluxo de falha total:

$$\lambda_t = \frac{K_t}{n \cdot \Delta t} \quad (5.1)$$

Onde K_t é o conjunto de número total de falhas notabilizada e Δt é o intervalo de tempo de observação (em meses, semanas, dias, horas, etc.), e n é o número de equipamentos analisados.

b) Cálculo do MTBF

A equação (5.2) permite calcular o tempo médio entre falhas (MTBF - *Mean Time Between Failure*)

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_t} \quad (5.2)$$

c) Cálculo do MTTR

Os tempos para reparação de falhas, podem estar associados a distribuições estatísticas distintas de modo que o valor do tempo médio para reparações (MTTR- *Mean Time To Repair*) é obtido da média aritmética dos tempos para reparação $T.T.Ri$ com $i \in \{1, 2, \dots, k\}$, [Helman e Andrey, 1995] ou seja pela equação (5.3):

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^{K_t} T.T.Ri}{K_t} \quad (5.3)$$

d) Cálculo do Número de Falhas Esperadas

Uma vez calculado o fluxo de falha do equipamento, pode-se calcular o número de falhas esperadas em 30 dias representado pela letra K_{30} (equação 5.4) e com um novo intervalo de tempo t_0 de um mês de serviço.

Onde $t_0 = 720 h$ para um mês de 30 dias e 744 para um mês de 31 dias.

$$K_{30} = n \cdot \lambda_t \cdot t_0 \quad (5.4)$$

e) Cálculo da Disponibilidade média dos equipamentos

De forma simplificada, pode-se definir o intervalo de tempo Δt de análise de um determinado equipamento como sendo a soma da parcela de tempo correspondente ao

período em que o equipamento esteve disponível para a operação (Δt_{Disp}), e da parcela de tempo correspondente ao período em que o equipamento esteve indisponível (Δt_{Indisp}).

Com estes dois valores, define-se então a Disponibilidade Média dos equipamentos, $A\%$, através da equação (5.5):

$$A\% = \frac{\Delta t_{Disp}}{\Delta t_{Disp} + \Delta t_{Indisp}} \times 100 \quad (5.5)$$

Esta equação é generalizada para a determinação da disponibilidade média dos equipamentos em qualquer intervalo de tempo $\Delta t \geq 0$, embora para processos nos quais a distribuição dos tempos para falha $MTTF$ e dos tempos para reparação $MTTR$ define-se normalmente a disponibilidade média através da equação (5.6):

$$A\% = \frac{MTBF}{MTTF + MTTR} \times 100 \quad (5.6)$$

f) Fiabilidade

Segundo Kardec e Nascif [Kardec e Nascif, 2009], fiabilidade trata-se da probabilidade que um determinado equipamento ou item possui em desempenhar as suas especificações às quais foi projectado, dentro de um intervalo de tempo estipulado, actuando em condições próprias de uso, e é representada a partir da distribuição exponencial apresentada pela equação (5.7)

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5.7)$$

Onde:

- $R(t)$: Fiabilidade em qualquer tempo (t);
- e : Base de logaritmos neperianos ($e = 2,718$);
- λ : Taxa de falhas;
- t : Tempo previsto de operação.

Os cálculos efectuados através das equações acima expostas repetem-se para cada um dos quatro equipamentos, ou seja, para as Bombas P-103 A e B de deslocamento positivo e para as bombas P-102 A e B centrífugas que pertencem ao sistema de reinjecção de água. Os resultados destes cálculos mostram-se na Figura 5.9.

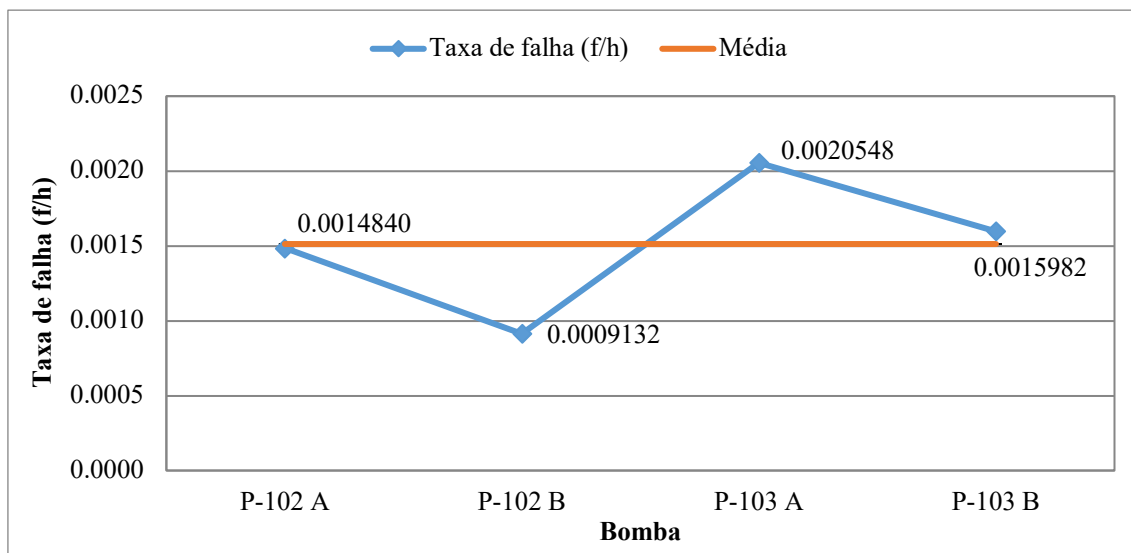


Figura 5.9. Taxa de Falhas das Bombas analisadas. (P-102A e P-102B – Bombas centrífugas; P-103A e P-103B – Bombas de deslocamento positivo)

O comportamento expresso pela Figura 5.9 representa a taxa de falhas de quatro bombas constituintes do sistema analisado calculados a partir da equação (5.1), evidenciando-se um valor maior nas bombas de deslocamento positivo (P-103A e P-103B) dada pela maior quantidade de falhas e horas de paragem das referidas bombas, sendo que a bomba P-103A possui 36% a mais de falhas e a bomba P-103B possui apenas 6% de falhas que a média, enquanto as bombas centrífugas (P-102A e P-102B) têm menos falhas que a média, sendo de -2% na P-102A e -40% na P-102B. De onde se depreende que a bomba centrífuga P-102B é a bomba com menor taxa de falhas apresentando quase metade das falhas que a média das bombas todas.

Resultado MTBF e MTTR

Os índices de Tempo Médio entre falhas (MTBF) e Tempo Médio Para Reparações (MTTR), calculados através das equações (5.2) e (5.3) respectivamente e obtidos no período em análise são apresentados na Figura 5.10.

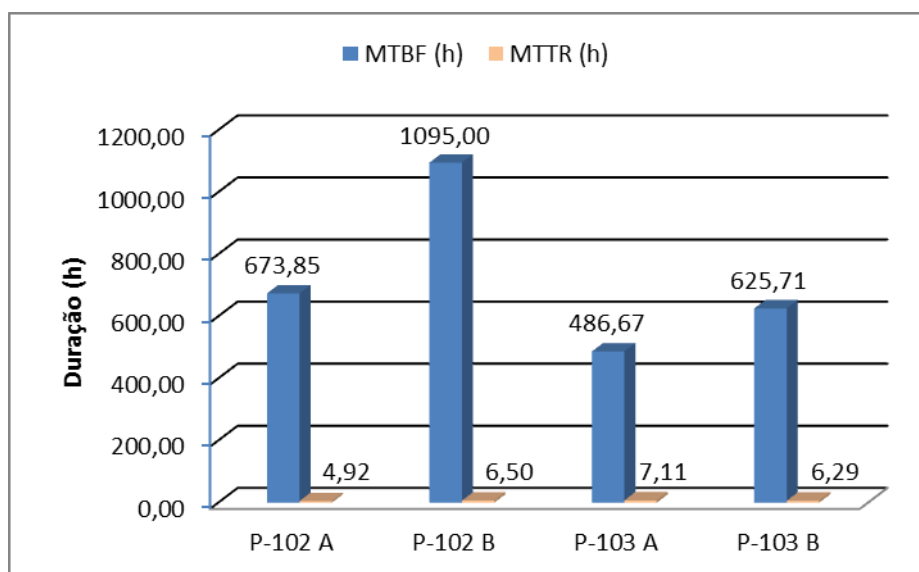


Figura 5.10. Índices MTBF e MTTR das Bombas analisadas. (P-102A e P-102B – Bombas centrífugas; P-103A e P-103B – Bombas de deslocamento positivo)

A partir da Figura 5.10, pode-se perceber que os valores mais altos do tempo médio entre falhas (MTBF) ocorre nas bombas de centrífugas (P-102 A e B), o que significa que a maior taxa de falhas irá ocorrer nas bombas de deslocamento positivo onde o MTBF é menor com um maior tempo de intervenções de reparação (MTTR). Neste período as falhas identificadas ocorreram de forma repentina. Este comportamento é justificado pelo surgimento de falhas prematuras.

A disponibilidade e a fiabilidade são obtidas através das equações (5.6) e (5.7) e estão representadas na Figura 5.11 assim como as respectivas médias.

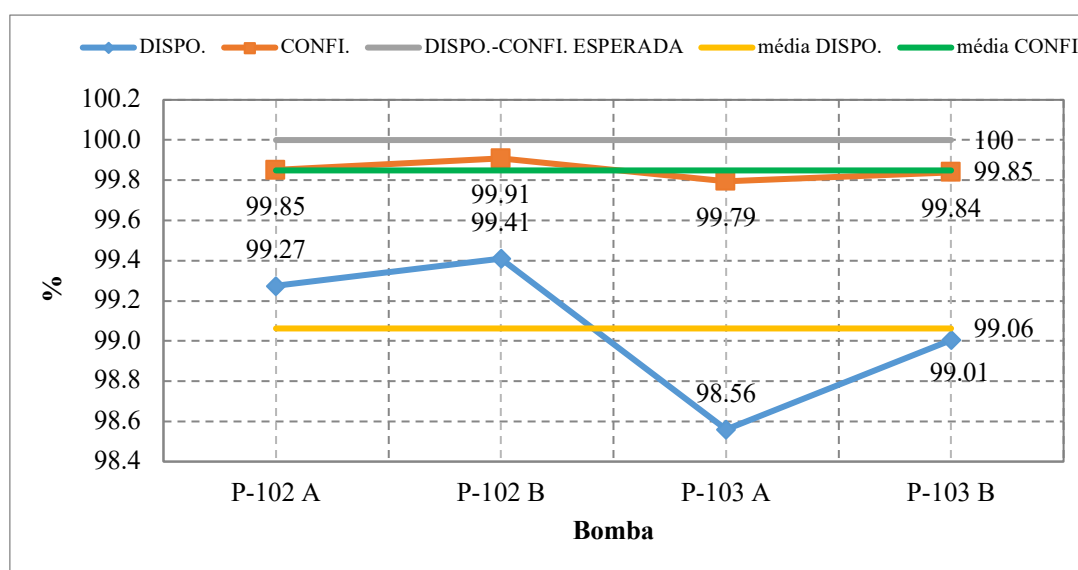


Figura 5.11. Disponibilidade e Fiabilidade das Bombas analisadas. (DISPO. – Disponibilidade; CONFI. - Fiabilidade)

A Figura 5.11 demonstra o nível de disponibilidade expresso em cada um dos equipamentos em avaliação. A expectativa nestes casos é sempre de 100% de disponibilidade produtiva representada pela linha DISPO.-CONFI. ESPERADA na Figura 5.11, no entanto, no sistema analisado as bombas centrífugas P-102 A e B obtiveram valores mais elevados de disponibilidade e fiabilidade comparando com as bombas de deslocamento positivo, isto devido a que as bombas de deslocamento positivo apresentaram uma maior quantidade de falhas no período analisado, tal como se observou anteriormente na Figura 5.9.

Verifica-se igualmente através da Figura 5.11 que a média da fiabilidade apresenta um desvio do esperado de apenas 0,15% enquanto que a média da disponibilidade apresenta um desvio de 0,94%.

5.4.2. Detecção e prevenção de falhas esporádicas

A Figura 5.8 apresentada anteriormente mostra uma fotografia das bombas analisadas. Para efeitos deste trabalho, enunciam-se as várias falhas que ocorreram nas bombas citadas, no entanto, só foi analisada uma delas.

O desenvolvimento da metodologia e dos seus resultados estão detalhados nos subcapítulos que se seguem.

5.4.3. Descrição funcional

A água produzida é dirigida a partir do Sistema de Tratamento de água para o Tanque de armazenamento de água produzida, TK-102. As bombas impulsoras, P-102A/B provocam um aumento de pressão nas linhas e, em seguida, com as bombas de injeção de água produzida, P-103A/B, a água atinge a pressão necessária para injeção no interior da formação. Os equipamentos que operam neste sistema são:

- Tanque de armazenamento de água produzida, TK-102. Este é um tanque atmosférico, de acordo com a norma API 650 [API standard 650]. Possui um diâmetro de 35" e uma altura de 33". A sua capacidade é de 5660bbl e as suas condições de projecto são de 0,25psig e 160°F.
- Filtros das Bombas Impulsoras, F-102A/B. São filtros tipo cesto. Possui um diâmetro exterior de 10,7" e um comprimento de 34,7" (incluindo a saia). A sua eficiência de filtragem é de remoção de 100% de partículas maiores de 50mm. Condições de projecto: 5500bpd de água, 129psig e 160°F.

- Bombas Impulsionadoras ou *Booster Pumps*. São bombas centrífugas de um estágio accionadas electricamente. Em condições nominais possuem 6860bpd e 105psig de pressão diferencial.
- Bombas de Injecção de água, P-103A/B. São bombas do tipo êmbolo accionadas electricamente. Em condições nominais possuem 7268 bpd e 1.925 psig de pressão diferencial.

A água que sai do sistema de tratamento armazena-se no tanque de água tratada e depois envia-se para ser injectada na formação através de um poço na plataforma B.

Como a bomba P-103A/B são bombas de deslocamento positivo, as suas descargas são protegidas pelas válvulas de segurança PSV-31003A/B, concebidas para um cenário de bloqueio na descarga.

Estas bombas são protegidas com chaves, que as fazem parar, no caso em que se verifique altas vibrações e baixos níveis de óleo lubrificante no cárter. Também são providas de alarme de nível de óleo baixo. As bombas de injecção de água têm amortecedores de pulsação nas linhas de sucção e descarga.

No início da operação, quando os caudais da água produzidos ainda estão mais baixos do que a capacidade de projeto da planta, somente duas bombas de impulso e duas bombas de injecção de água produzida estão instaladas.

Para ambas as bombas P-102A/B e P-103A/B, existem linhas que podem ser usadas para recircular água por descarga das bombas para o tanque de água produzida.

5.4.4. Actividades de manutenção de nível 1 e 2 nas bombas

As actividades de manutenção de nível 1 e 2 nas bombas consistem em limpeza e lubrificação do sistema transportador. Reapertam-se parafusos tanto de peças mecânicas como de dispositivos eléctricos. Nesta fase de limpeza, podem detectar-se algumas peças em mau estado, as mesmas podem ser substituídas ou reparadas, segundo o caso. Depois da manutenção de nível 1 e 2, alinha-se o equipamento (que consiste em abertura e fecho de válvulas) e põe-se a funcionar em operação normal, de forma a detectarem-se possíveis falhas que ainda possam existir ou que tenham surgido durante a manutenção.

5.4.5. Identificação de modos potenciais de falha

Com base nas falhas registadas nos itens anteriores, pode-se iniciar a abordagem dos modos potenciais de falha. Durante a análise chegou-se à conclusão de que a maior parte destas falhas registadas, levam à paragem da bomba ou ao seu mau funcionamento. Estas

listas de falhas verificadas estão associadas aos principais componentes das bombas. Nas Tabelas A4 e A5 (Anexo 3) apresentam-se os resumos da FMEA para as bombas centrífugas e de deslocamento positivo, contendo as principais acções que visam à diminuição da ocorrência destas falhas (Anexo 3). Nota importante para o NPR (RPN) contido nas Tabelas da FMEA Tabelas A4 e A5 que envolve os parâmetros: severidade, ocorrência e detecção (Tabela A1, A2 e A3 do Anexo 3).

5.4.6. Identificação da causa raiz das falhas

Durante o desenvolvimento do trabalho de investigação ocorreram várias falhas esporádicas que levaram à paragem da bomba de deslocamento positivo. Assim sendo, tomou-se de exemplo uma destas situações para a analisar dentro da metodologia.

- **Evento**

Que ocorreu?

Ocorreu a Paragem da Bomba motivada pela alta temperatura e pelo ruído excessivo no *Carter* da Bomba que “estragou” o Pião (Figura 5.12 A) da Bomba Lubrificadora (Figura 5.12 B) do sistema Biela-Cambota da Bomba P-103 B (Falha do sistema Lubrificação de baixa ROTAÇÃO, Figura 5.13).

Durante a operação da instalação, o Grupo de Manutenção apercebeu-se de um cheiro e de um ruído estranho vindo da área de sistema de reinjecção. Além da presença de fumo com um intenso ruído no carter da Bomba P-103 B, e de imediato parou-se a máquina.

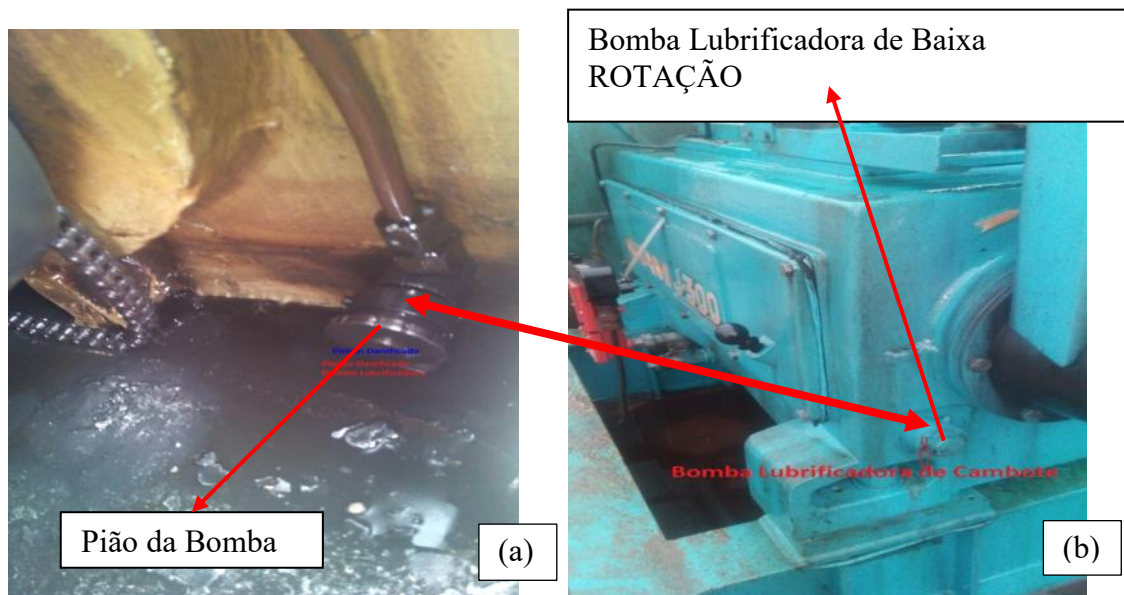


Figura 5.12. Falha da Bomba P-103 B: a) Pião da Bomba; b) Bomba Lubrificadora.



Sistema de lubrificação de baixa rotação (Biela-Cambota)

Figura 5.13. Sistema de lubrificação da Bomba P-103 B.

• Pesquisa

Antecedentes:

- A Bomba P-103 B, está submetida a um funcionamento intenso num ambiente com elevadas vibrações.
- Ocorreu desgaste do Pião da Bomba lubrificadora do sistema biela-cambota que ocasionou a falha no sistema de Lubrificação de baixa ROTAÇÃO.
- Ocorreram estragos das capas que afectaram o sistema biela-cambota, isto significa que o sistema ficou sem lubrificação provocando uma subida de temperatura excessiva e um ruído anormal.
- A Bomba não possui um sistema de segurança de controlo de alta temperatura.

Evidências encontradas:

- Após a inspecção e limpeza do carter da Bomba, verificaram-se partículas das capas calcinadas.
- Constatou-se de que os dentes do Pião da Bomba Lubrificadora do Sistema de baixa ROTAÇÃO encontravam-se completamente desgastados.
- Resultou a queda de corrente que transmite movimento de rotação à Bomba Lubrificadora, e o sistema funcionou sem Lubrificação.

Componentes/elementos em falha (modo de falha):

- Dentes do Pião da Bomba Lubrificadora.
- Falha no sistema de Lubrificação de Baixa ROTAÇÃO.
- Dano das Capas.

Na Figura 5.14 é possível verificar-se o desgaste que ocorreu na segunda biela e na Cambota onde é visível o desgaste por fadiga por exemplo por “*pitting*”, ou seja, por picadas.



Figura 5.14. Zona desgastada da Cambota.

Seleccção do mecanismo da falha encontrada:

Através da análise de possíveis mecanismos de falhas que poderão ocorrer neste tipo de componentes, apresentam-se no check-list seguinte, aquelas que foram encontradas no caso em estudo no presente trabalho, ou seja, os mecanismos de falha que ocorreram foram devido a carga mecânica e a fadiga.

- | | | | | |
|--|------------------------------------|----------------------------------|---|---|
| ☐ Corrosão | ☐ Erosão | ☐ Abrasão | ☒ Carga Mecânica | ☒ Fadiga |
| ☐ Carga Eléctrica | ☐ Obstrução | ☐ Escala | ☐ Sujidade | ☐ <u>Outros</u> |

- **Causas**

O funcionamento excessivo e a falta de sistema de segurança de controlo de Temperatura são apontadas como as principais causas das falhas que ocorreram no equipamento. Isto devido à obrigação das operações associado com o aumento da produção.

Na Figura 5.15 apresenta-se um diagrama de Ishikawa para mostrar e ajudar a determinar a causa raiz da falha que está em análise. Desta Figura é possível verificar que no caso da ocorrência na bomba analisada; a paragem da bomba pode ter sido causada por uma ou várias causa mostradas no referido diagrama. Isto a partir numa inspecção visual e na desmontagem da bomba vinculado com a experiencia do pessoal da manutenção.

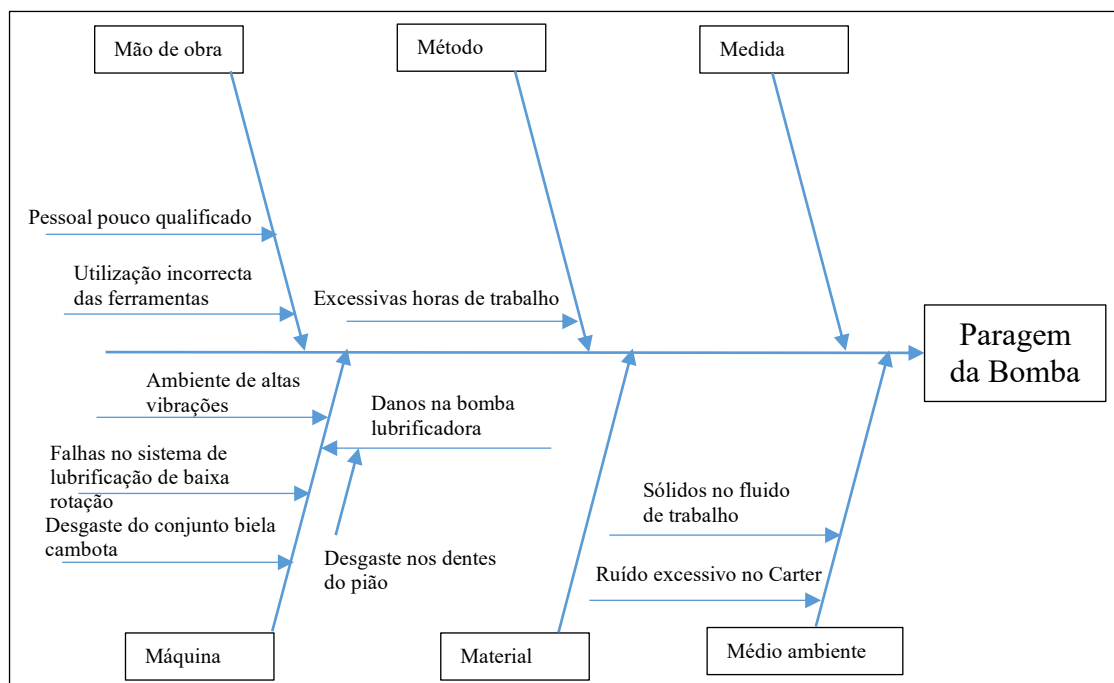


Figura 5.15. Diagrama causa efeito ou espinha de peixe para a falha analisada.

- **Conclusões da pesquisa da falha**

- A Bomba não possui um sistema de segurança de controlo de temperatura, (só possui controlo de baixo nível de óleo e vibração);
- Falta do sistema de segurança de controlo de temperatura;
- A bomba continuou a funcionar sem lubrificação no sistema Biela-Cambota com uma temperatura excessiva;
- Ocasinou o estrago das capas e consequentemente o desgaste da Biela e da Cambota devido à fadiga.

5.4.7. Monitorização da condição de risco e prevenção

Das condições de risco encontradas como possíveis causas da falha, deve-se encontrar aquela que poderia ser medida de forma continua neste caso e recomenda-se:

- Instalar um sistema de segurança de controlo de temperatura associado aos outros sistemas de segurança existentes;
- Intensificar a monitorização da vibração e da temperatura do sistema;
- Intensificar a inspecção de quinzenal para semanal da Bomba em particular do Sistema de Lubrificação de baixa rotação.

A partir do momento de colocação em prática das recomendações colocadas acima, os valores podem ser colocados em formulários, check-lists, ou outra forma de registo para posteriormente proceder à análise e à tomada de decisões. Essas decisões passam por estabelecer um controlo sobre os valores considerados anormais, usando ferramentas gráficas de controlo.

5.4.8. Estandardização e conclusões

O departamento de manutenção continua a procurar uma melhor forma de prevenir as falhas esporádicas, detectando-as precocemente. No exemplo da falha analisada, deve-se realizar a monitorização do comportamento das diferentes variáveis ligadas às causas da falha (temperatura, nível de vibrações,).

Para cada uma das bombas deve-se medir a corrente elétrica por fase do motor principal em vazio, ligar o sistema e verificar se o aumento da corrente não é superior ao estabelecido. Deve-se igualmente proceder-se às medições de temperatura nos pontos designados que sejam possíveis medir sistematicamente.

Concluindo, deve-se realizar um programa de medições a intervalos de tempo regulares durante a operação para cada bomba.

5.5. Projecto de melhoria da instalação

O resultado da FMEA das bombas centrífugas e de deslocamento positivo, a análise do comportamento de alguns índices de gestão da manutenção, assim como a análise de uma situação pontual de falha, entre outros elementos, servem como premissas para o debate sobre as condições operacionais que levaram a considerar o plano ou projecto de melhoria da Instalação, tais como:

- meios de detecção de falhas existentes: monitorização à distância, sensores, alarmes;
- logística de manutenção: deslocamento de pessoal, transporte;
- capacidade de reparação da oficina: nível técnico da mão-de-obra e sobressalentes.

Algumas das principais actividades a serem implementadas encontram-se listadas na Tabela A6 (Anexo 3). Com realce nos seguintes projectos:

1. Implementação do programa de inspecção de equipamentos estáticos da Instalação Castanha Baseada em Risco (IBR);
2. Gestão da Manutenção Instalação de *Software*;
3. Equipamento para desenvolver a Inspeção e Manutenção Preditiva.

5.6. Análise Custo

As análises em função das perdas de produção e as suas equivalências em perdas económicas para a totalidade das horas de paragem no sistema analisado foram desenvolvidas, ou seja, foram obtidos os tempos que influenciam os níveis de produção de petróleo e gás.

Devido ao facto de não ser possível ter acesso à informação financeira fornecida pela empresa por motivos de sigilo, a referida análise é meramente a título indicativo e estimativo; está baseada nos preços diários médios do barril de petróleo e do gás a nível internacional.

A perda económica na instalação devido às paragens provocadas pelas falhas nas bombas do sistema de reinjecção de água apresentam-se na Tabela 5.3. Esta Tabela ordena-se pela quantidade de horas de paragem (Hr), por ordem crescente, fazendo correspondência em cada data ao resto dos dados.

Nesta Tabela 5.3 a coluna das perdas económicas obteve-se da multiplicação da perda de produção pelo preço no mercado internacional, como exemplo; a primeira fila para o petróleo ficaria: $9,17 \text{ bbl} \times 58.16 \text{ USD/bbl} = 533,33 \text{ USD}$. A operação repete-se assim para resto das datas. O mesmo procedimento fez-se com o gás.

Tabela 5.3. Perdas económicas devido a paragens do sistema de reinjecção de água.

Data	Hr	Perdas de Produção		Preço no mercado internacional		Perdas Económicas	
		Petróleo (bbl*)	Gás (MCF**)	Petróleo (USDxbbl)	Gás (USDxMCF)	Petróleo (USD)	Gás (USD)
01-02-2020	2	9,17	32,25	58,16	1,829	533,33	58,99
22-02-2020	3	10,5	48,375	58,5	1,905	614,25	92,15
04-01-2020	7	27,71	112,875	68,6	2,13	1900,90	240,42
03-02-2020	12	55	193,5	54,45	1,819	2994,75	351,98
02-02-2020	13	59,58	209,625	58,16	1,829	3465,17	383,40
06-03-2020	13	45,5	209,625	45,27	1,708	2059,79	358,04
05-02-2020	14	64,17	225,75	55,28	1,861	3547,32	420,12
30-01-2020	15	68,75	241,875	58,29	1,829	4007,44	442,39
07-02-2020	15	68,75	241,875	54,47	1,858	3744,81	449,40
26-03-2020	16	56	258	26,34	1,637	1475,04	422,35
07-03-2020	19	66,5	306,375	45,27	1,708	3010,46	523,29
06-02-2020	24	110	387	54,93	1,862	6042,30	720,59
Subtotal	153	641,63	2467,125			33395,55	4463,13
Total de perdas económicas						37858,68	

*bbl–barris; **MCF–mil pés cúbicos.

Da análise feita da Tabela 5.3 fica patente a influência que têm as paragens na instalação, provocando elevadas perdas económicas que estão numa média de 247,44 USD/h. De onde se depreende que é extremamente importante a aplicação de metodologias, que incluam acções, para evitar ou diminuir as falhas e consequentemente as horas paradas da instalação.

Na Figura 5.16 apresentam-se as curvas de tendência das variáveis de produção de petróleo e gás em relação às horas de paragem das máquinas provocadas pelas falhas nas mesmas.

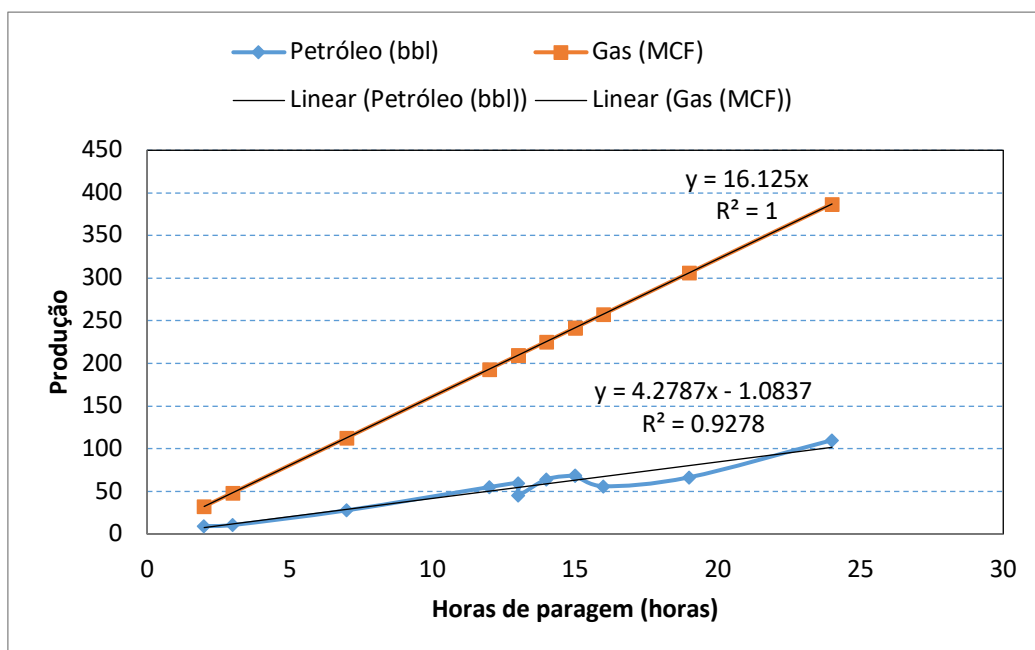


Figura 5.16. Produção de Petróleo e Gás vs Horas de paragem.

Da Figura 5.16 verifica-se a correlação linear positiva existente entre as variáveis apresentadas. Para o caso do petróleo está definida pela equação (5.8):

$$y = 4,2787x - 1,0837 \quad (R^2 = 0,9278); \quad (5.8)$$

e para o gás, pela equação (5.9):

$$y = 16,125x \quad (R^2 = 1); \quad (5.9)$$

As equações anteriores respondem à correlação (linhas de tendência) entre as variáveis, onde y corresponde ao petróleo e gás, entretanto x corresponde às horas de paragem da máquina. O valor do R (coeficiente de correlação), é superior a 0.70 nas duas variáveis o que indica que as curvas possuem uma boa aproximação ao modelo linear, atingindo-se uma relação directamente proporcional perfeitamente linear para o gás ($R=1$). Em ambas as equações (5.8 e 5.9) existe forte relação entre a variável horas paradas e produção de petróleo e gás, significando que para as mesmas condições, num futuro, poderão ser estimadas as perdas económicas por horas de paragem das máquinas.

Adicionalmente pela tabela 5.6 pode-se também verificar que houve um maior número de paragens entre 30 de Janeiro e 7 de Fevereiro como se observa mais explicitamente na Figura 5.17. Este facto está relacionado com uma elevada demanda na produção de petróleo e gás da instalação; obrigando os equipamentos a terem um excessivo trabalho (24 horas de serviço diárias). A isto juntam-se algumas avarias registadas no sistema de controlo automático das bombas analisadas, assim como a outros factores relacionados,

tais como a fraca capacidade de domínio sobre os equipamentos por parte dos operadores destes equipamentos, bem como a falta de treinamento adequado para o pessoal de manutenção poder realizar manutenções aceitáveis.

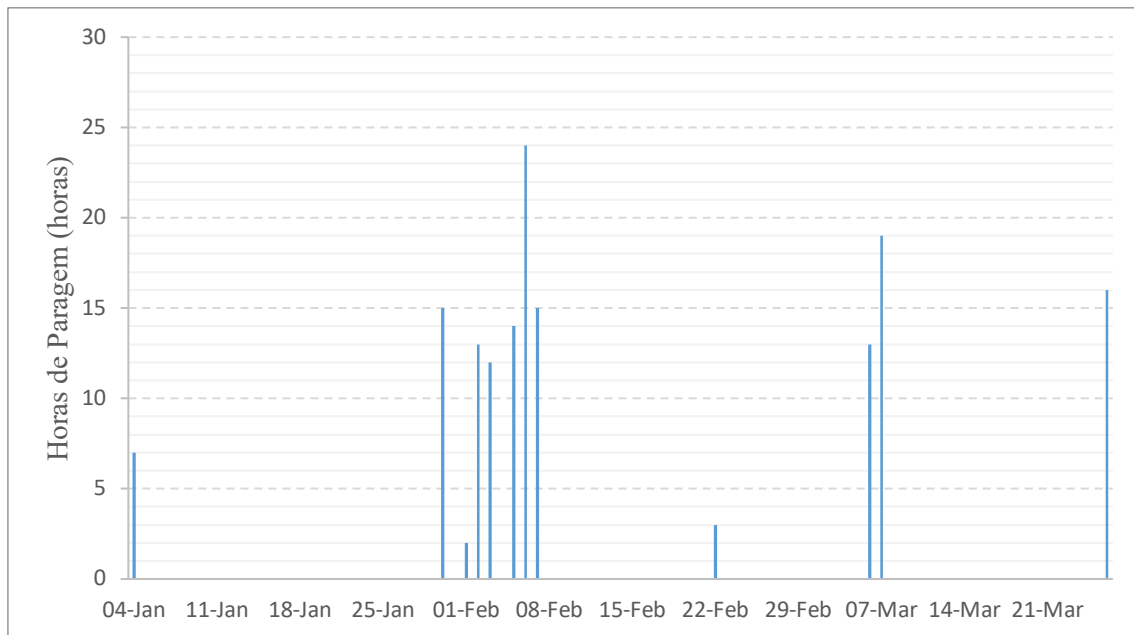


Figura 5.17. Histograma das horas de paragem entre janeiro e março de 2020.

5.7. O ciclo de Melhoria Contínua: PDCA na Instalação

O ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) trata-se de um método do qual exige um trabalho de grupo, onde todas as causas do problema são partilhadas e as soluções dos problemas devem ter o consentimento total dos intervenientes. Este método depende sempre dos seus participantes.

Trata-se neste caso, do estudo da instalação de tratamento de petróleo Castanha. A forma de aplicação deste ciclo fica ilustrada no fluxograma apresentado na Tabela 5.4. Assim sendo, o ciclo com as ferramentas em sua totalidade não se aplica, entre outras razões pelo nível de segurança nas actividades de empresa, o qual trouxe muitas dificuldades para aceder à monitorização e obtenção de dados; no entanto fica explicado a forma de proceder e executar o passo metodológico no ciclo.

Tabela 5.4. Resumo da integração do procedimento para melhoria contínua.

PDCA	Fase	Objectivos	Passo da metodologia (Tabela 4.2)
P	1. Identificação do problema	Seleccionar e caracterizar o problema, delimitá-lo e descrevê-lo, estudar seu histórico e importância e quantificar a sua magnitude actual.	1
	2. Observação	Procurar todas as causas possíveis.	
	3. Análise	Investigar quais das causas são as mais importantes.	
	4. Plano de acção	Desenvolver um plano de medidas focadas em remediar as causas mais importantes. Para cada acção, detalhe em que consiste, seu objectivo e como implementá-lo, responsáveis, datas de entrega e custos	
D	5. Execução	Formar e treinar as pessoas envolvidas, e colocar o plano em prática. Bloquear as causas fundamentais.	2
C	6. Verificação	Verificar os resultados obtidos e comparar o problema antes e após. Ou seja, verificar se o bloqueio foi efectivo.	3
A	7. Padronização	Prevenir a recorrência. Se as acções funcionarem, a sua aplicação deve ser generalizada e padronizada. Criar instruções e procedimentos para exploração e manutenção.	4
	8. Conclusão	Conclusão e avaliação do que foi realizado e documentar	

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se uma análise directa e resumida dos principais resultados da investigação.

Sempre que se procura uma redução dos custos operacionais para uma empresa se tornar competitiva, a empresa deverá pensar em vários objectivos e estratégias. Um desses objectivos é o de desenvolver procedimentos técnico-científicos que visam à melhoria contínua, interligados com as ferramentas da qualidade. Nesse âmbito esta pesquisa contribui para destacar a importância do ciclo PDCA e a sua dependência das ferramentas estatísticas da qualidade.

O trabalho investigativo contém uma revisão bibliográfica, para um enquadramento geral dos aspectos principais ligados à manutenção e às ferramentas básicas da qualidade, onde fica evidente a importância da melhoria contínua (meio de se atingir o melhoramento constante desejado) de uma determinada empresa, seja produtora ou de prestação de serviços.

O método apresentado nesta dissertação, foi o método do Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Act*) e as ferramentas utilizadas foram as Sete Ferramentas Básicas da Qualidade (Estratificação, Folha de Verificação, Diagrama de Pareto (DP), Diagrama de Causa e Efeito, Histograma (Hist), Diagrama de Dispersão (DD) e Cartas de controlo (CC)).

Para este tipo de estudo apresentou-se na forma de um fluxograma a utilização do ciclo PDCA e das ferramentas descritas neste trabalho numa instalação de tratamento (produtora) de petróleo, de dimensões médias e com uma vasta gama de equipamentos em operação contínua. Nestes equipamentos, ao longo do seu funcionamento, ocorrem avarias e falhas que provocam danos na produção e na economia da instalação. Apesar de não terem sido utilizadas todas as Sete Ferramentas básicas da Qualidade, o estudo mostrou que elas podem ser muito úteis no gerenciamento da melhoria contínua.

A proposta de integração das ferramentas da qualidade no ciclo PDCA resume-se no fluxograma da Figura 4.3 e apoiado pela Tabela 5.7. A Figura 4.3 tem 4 acções principais mais 2 que são executadas em dependência da resposta dos sistemas no qual se aplica o ciclo, durante a monitoração do mesmo. Na Tabela 5.10 constam 4 momentos fundamentais para a aplicação do ciclo PDCA: Identificar modos potenciais de falha; Identificar as causas; Monitorar; Padronizar (Tabela 4.2).

Da análise de falhas realizada anteriormente e apresentada na Figura 5.9, verificou-se que a bomba P-103 A de deslocamento positivo apresenta a maior taxa de falha num valor de 0.0020548 f/h, isto devido a que nesta bomba registaram-se aproximadamente 34% de todas as falhas (Figura 6.1). De entre as falhas mais importantes, estão a Fuga do Niple na PSV e a contaminação no óleo.

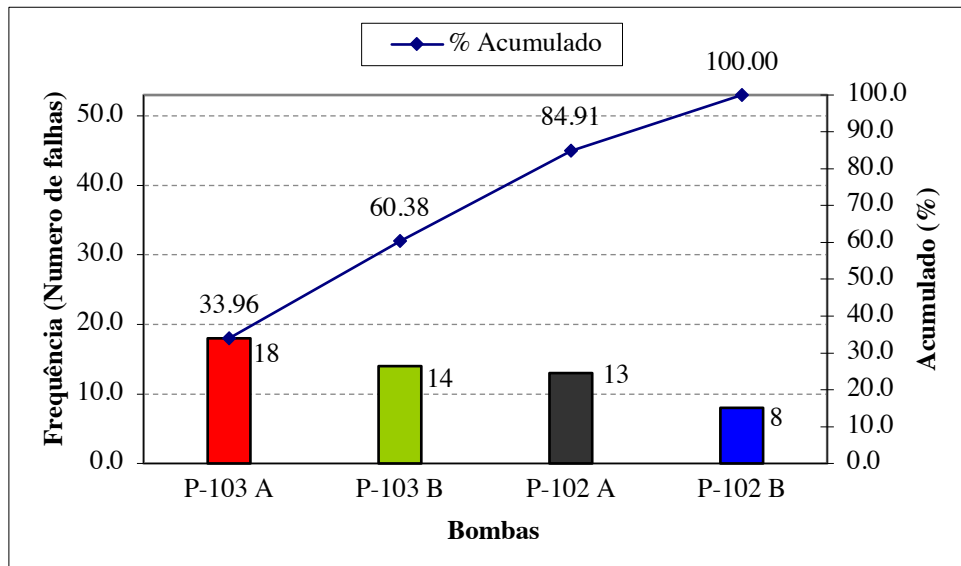


Figura 6.1. Diagrama de Pareto para as bombas do sistema de injeção de água.

Também se encontraram os índices de gestão, MTBF e MTTR apresentados anteriormente na Figura 5.10, obtendo-se os valores de 486.67 e 7.11 horas respectivamente. Neste caso MTBF representa 16.89 % do total de tempo médio entre falhas (2881.23 h); entretanto o MTTR representa 29% do total do tempo médio para reparos (24.82 h) é o maior valor entre o número de reparações das bombas. Obtendo-se também para a mesma bomba (P-103 A) o menor valor de disponibilidade e fiabilidade, ou seja, 98.56% e 99.79% respectivamente.

Os principais modos, efeitos e causas das falhas de cada componente foram definidos, o que permite uma maior percepção do motivo porque é que um determinado problema possa ter ocorrido numa bomba, sabendo-se que modos de falha, efeito e causa estão relacionados entre si.

Acções correctivas e preventivas foram sugeridas para o tratamento das falhas. Desse modo, os envolvidos na manutenção do equipamento podem orientar-se para a solução do problema, agilizando o processo de reparação da máquina. Como parte da melhoria continua realizam-se alguns projectos de melhoria apresentados na Tabela 5.4; com realce para os que têm a ver directamente com a manutenção: Implementação do programa de

inspecção de equipamentos estáticos da instalação Castanha Baseada em Risco (IBR); Melhoria da Gestão da Manutenção com a Instalação de um Software; Aquisição de Equipamentos para desenvolver a Inspeção e Manutenção Preditiva.

Com a aplicação destas propostas espera-se:

- uma redução significativa do número de avarias;
- uma redução do custo da manutenção;
- um registo de todos os equipamentos incluindo os respectivos dados técnicos;
- uma melhoria do nível de conhecimento dos operários da manutenção através de formação específica e consequentemente melhor capacidade técnica;
- uma redução do custo de produção para uma maior competitividade;
- assim como a redução do tempo de paragens dos equipamentos.

É esperado também uma:

- maior capacidade, não só da equipa da manutenção, como também das equipas de produção para que em conjunto e de forma transparente resolvam os problemas relacionados com as falhas e o desempenho dos equipamentos, uma vez que ambas as equipas estão interligadas e dependem uma da outra para conseguirem uma redução de custos, reduzindo os tempos de intervenção nos equipamentos de forma a atingirem a eficiência pretendida dos equipamentos e a excelência para a empresa na competitividade do mercado.

Com a correcta implementação destas propostas apresentadas podemos ter garantias de que os objectivos irão ser cumpridos e serão satisfatórios.

Para que estes conjuntos de propostas tenham o sucesso esperado na empresa é necessário um trabalho de equipa entre todos os departamentos e sectores da empresa, iniciando-se na gerência até aos operários da linha de produção, todos eles influenciam no sucesso da empresa, para isso tem de haver motivação, honestidade, humildade e comunicação, pois o ser humano é o único responsável por criar e levar a empresa a atingir a Excelência no mercado e nos seus concorrentes directos.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões desta dissertação e sugestões para trabalhos futuros.

7.1. Conclusões

Esta dissertação cumpriu o seu objectivo principal ao desenvolver um procedimento que visa garantir o aumento da fiabilidade e da disponibilidade dos equipamentos de produção. Este procedimento baseado em ferramentas da qualidade vinculado na actividade de manutenção de uma unidade de produção na indústria petrolífera, principalmente no que tange ao ciclo de melhora contínua PDCA para resolução dos problemas na área de manutenção da unidade de produção de petróleo e gás.

Com a utilização das ferramentas da qualidade e do ciclo PDCA identificaram-se que nas bombas que compõem o sistema estudado as principais falhas são; fuga no niple da PSV e contaminação no óleo. Estas falhas contabilizadas representam 40.13% e 25% respectivamente do total no sistema de injeção de água de produção; de realçar que estas bombas estão em regime de operação contínua; muitas vezes com sobrecarga por motivos de produção.

As bombas de deslocamento positivo P-103 A e B, pela experiência dos operadores e do pessoal de manutenção da instalação; então entre os equipamentos considerados críticos. A partir destas experiências e apoiado também nas literaturas especializadas em manutenção da indústria petrolíferas, ficou estabelecida a FMEA para as bombas tanto de deslocamento positivo como centrífugas; no qual descreveram-se as acções principais para resolver algumas falhas que poderiam ocorrer nas bombas.

Na melhoria contínua a partir do ciclo PDCA, determinou-se a partir de um fluxograma que envolve as distintas etapas do referido ciclo. Neste caso de estudo para a prevenção e/ou detecção das falhas, integraram-se com as ferramentas usando 4 passos e em cada um deles ficaram delimitadas as ferramentas da qualidade (ferramentas estatísticas) que se usam para cumprir com a referida etapa. Usando preferencialmente MP, FMEA e FTA no primeiro passo; DIsh no segundo; CL, Hist, DP, DD no terceiro passo; e no último passo usar CC para a padronização. Isto fica integrado como parte das rotinas de manutenção da instalação.

Ao considerar a manutenção dos equipamentos industriais de produção como um processo no qual entram equipamentos com falhas e saem equipamentos funcionando correctamente, as ferramentas da qualidade encaixam perfeitamente como método de eliminação de falhas. Nesse âmbito, talvez os resultados obtidos pela aplicação da metodologia de prevenção de falhas não sejam tão evidentes como deveriam ser na dissertação, no entanto, fica bem descrito o uso e a integração das ferramentas e do ciclo de melhora contínua.

7.2. Trabalhos futuros

Este estudo de caso foi desenvolvido num único sistema, limitado a dados colectados no período de um ano. Neste caso a sugestão fica no aumento da extensão do estudo pela instalação completa, envolvendo todos os sistemas que a compõem; assim, também se garante que a aplicação da metodologia desta dissertação seja validada com maior profundidade.

Fica também pendente uma análise aprofundada da criticidade dos equipamentos da instalação, a fim de conhecer quais são os críticos, e traçar estratégias a fim de analisar, prevenir e/ou resolver alguma causa que provoque a criticidade dos mesmos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (ABNT-NBR 5462, 1994) ABNT-NBR 5462: *Fiabilidade e Manutenibilidade*. Rio de Janeiro, 1994. ABNT-Associação Brasileira de Normas técnicas.
- (Ahuja, 2008) Ahuja, I.P.S., Khamba, J.S. *Total productive maintenance: Literature review and directions*. International Journal of Quality & Reliability Management, 25: 7 (2008) 709-756.
- (Andrade, 2002) Andrade, E. B. *Apostila de Gestão da Manutenção*. Florianópolis. CEFET/SC, 2002. Apontamentos.
- (API standard 650) API standard 650: *Weldedd tanks for oil storage*. 2013. American Petroleum Institute.
- (Borregales e outros, 2014) Borregales, M., Ensalsado, R., Asuaje M. *CFD Analysis of Phenomena Attributed to Pigging Run in a Straight Pipeline*, 2014. Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE.
- (Cabral, 1998) Cabral, J. *Organização e Gestão da Manutenção, dos conceitos à prática*. Lisboa, Portugal, Lidel - Edições Técnicas, 1998.
- (Cabral, 2009) Cabral, J. *Gestão da Manutenção de Equipamentos Instalações e Edifícios*, Lidel - Edições Técnicas, 2009.
- (Carpinetti e outros, 2004) Carpinetti, L. C. R., Faesarella, I. S., Sacomano, J. B. *Gestão da Qualidade: Conceitos e Ferramentas*. São Carlos: EESC – USP, 2004. Apontamentos.
- (Carpinetti, 2010) Carpinetti, L. *Gestão da Qualidade, Conceitos e Técnicas*. São Paulo: Atlas, 2010. Apontamentos.
- (Chiavenato, 1999) Chiavenato, I. *Administração dos novos tempos*. Rio de Janeiro, Brasil, Editora Campus, 1999. ISBN 9788535214437.
- (Choudhary e outros, 2017) Choudhary, P., Srivastava, R.K., Mahendra, S.N., Motahhir, S. *Sustainable Solution for Crude Oil and Natural Gas Separation using Concentrated Solar Power Technology*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 225, IOP Publishing, 2017.

- (Cuatrecasas, 2000)** Cuatrecasas, L. *TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*. Gestión. Barcelona, España, 2000. ISBN 84-8088-360-X.
- (Duffuaa e outros, 2000)** Duffuaa, S., Raouf, A., Dixon, J. *Sistemas de Mantenimiento. Planeación y Control*. Perú: Primera Edición. Editorial Limusa, 2000. ISBN 9681859189.
- (ENGEMAN, 2019)** ENGEMAN. *Manutenção centrada em fiabilidade*. 2019. (Consult. 15 de Dez. de 2019),
Disponível em <https://blog.engeman.com.br/manutencao-fiabilidade/>
- (Escalante, 2007)** Escalante, E. V. *Seis Sigma: Metodología y técnicas*. Limusa. México, D. F., 2007. ISBN 9681863917.
- (Farinha, 2011)** Farinha, J. T. *Manutenção - A terologia e as novas ferramentas de gestão*. Lisboa. Portugal, 2011. ISBN 9789729413827.
- (Fernández e Márquez, 2012)** Fernández, J., Márquez, A. *Maintenance Management in Network Utilities: Framework and Practical Implementation*. London: Springer. London, UK, 2012. ISBN 978-1-4471-2756-7.
- (Gilchrist, 1993)** Gilchrist, W. *Modelling Failure Modes and Effects Analysis*. International Journal of Quality & Reliability Management, 10: 5 (1993).
- (Gradaille, 2008)** Gradaille, A. D. *Mantenimiento y Reparación de Maquinaria Agrícola*. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba, 2008.
- (Gutierrez e De La Vara, 2004)** Gutierrez, H. P., De La Vara, R. Z. *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México, D. F.: McGraw-Hill, 2004. ISBN 978-970-10-6912-7.
- (Helman e Andrey, 1995)** Helman, H., Andrey, P.R.P. *Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA e FTA)*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni – Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 174 p. Edição técnica.
- (Kardec e Nascif, 2009)** Kardec, A., Nascif, J. *Manutenção: Função estratégica*. 3. Ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009. ISBN 8573031972.
- (Lefcovich, 2000)** Lefcovich, M. *Mantenimiento productivo total TPM*. 2019, (Consult. 15 de Dez. de 2019),

Disponível em Gestiopolis: <https://www.gestiopolis.com/mantenimiento-productivo-total-tpm/#autores>

- (Lucinda, 2010)** Lucinda, M. A. *Qualidade: Fundamentos e práticas para curso de graduação*. 3 ed. Brasport, Rio de Janeiro, Brasil, 2010. ISBN 9788574524467.
- (Mariani e outros, 2005)** Mariani, C. A., Pizzinatto, N. K., Farah, O. E. *Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processo industriais: um estudo de caso*. Revista de administração e inovação. 2: 2 (2005) 110-126.
- (Mobley, 2002)** Mobley, R. K. *An introduction to predictive maintenance*. 2nd ed. Woburn: Butterworth Heinemann, 2002. ISBN 978-0-7506-7531-4.
- (Montgomery, 2012)** Montgomery, D. C. *Introduction to Statistical Quality Control* (7th ed.). Arizona, US: Wiley, 2012. ISBN-13: 978-1118146811.
- (Moro e Auras, 2007)** Moro, N., Auras, A. P. *Introdução à Gestão da Manutenção*. Florianópolis: CFET/SC, 2007. Apontamentos.
- (Moubray, 1997)** Moubray, J. *Reliability-centred Maintenance*. s.l.: INDUSTRIAL PRESS INC., U.S, 1997. ISBN-13: 978-0831130787.
- (Moubray, 2000)** Moubray, J. *Manutenção Centrada na Fiabilidade - Reliability Centered Maintenance (RCM)*. Inglaterra: Aladon, Lutterworth, Edição Brasileira, 2000. ISBN 0953960307.
- (Muhammad, 2015)** Muhammad, S. *Quality Improvement of Fan Manufacturing Industry by using basic Seven Tools of Quality: A Case Study*. Int. Journal of Engineering Research and Applications, 5: 4 (Part -4) (2015) 30-35.
- (NP EN 13306, 2004)** Norma Portuguesa NP EN 13306: *Maintenance – Maintenance Terminology*.
- (Palady, 1997)** Palady, P. *FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram*. Instituto IMAM. São Paulo, Brasil. 1997. ISBN 8589824314.
- (Peinado e Graeml, 2007)** Peinado, J., Graeml, A. R. *Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços)*. Curitiba, Brasil: UnicenP, 2007.
- (Pessoa, 2007)** Pessoa, G. A. *Círculos de controlo da qualidade como instrumento de gestão participativa e motivacional*. Anais do XVIII Enangrad, 2007.

- (PETROBRAS N-2781, 2012)** PETROBRAS N-2781. *N-2781: técnicas aplicáveis à engenharia de fiabilidade*. CONTEC: Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
- (Pinto, 1994)** Pinto, V. M. *Gestão da Manutenção*. Lisboa: Edição IAPMEI. Lisboa, Portugal, 1994. ISBN 972-9205-57-4.
- (Pinto, 2013)** Pinto, J. P. *Manutenção Lean*. Lisboa: Lidel-Edições Técnicas, 2013. ISBN 978-972-757-877-1.
- (Pluspetrol, 2015)** *Pluspetrol*. de Pluspetrol Angola, 2015. (Consult. 15 de Dez. de 2019), Disponível em <http://www.pluspetrol.net/>
- (Ponge-Ferreira, 2019)** Ponge-Ferreira, W. *7 Ferramentas básicas da qualidade*. 2019. Apontamentos da EPUSP - Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo. Brasil
- (Portal de Angola, 2014)** *Petróleo: A hora do onshore - Portal de Angola*. (Consult. 12 de Dez. de 2019), Disponível em <https://www.portaldeangola.com/2014/02/04/petroleo-a-hora-do-onshore/>
- (Render e Heizer, 2004)** Render, B., Heizer, J. *Principios de administración de operaciones*. Pearson Educación. México, D. F. 2004. ISBN: 978-607-442-099-9.
- (Rodrigues, 2010)** Rodrigues, M. V. *Ações para a qualidade: gestão estratégica e integrada para a melhoria dos processos na busca da qualidade e competitividade*. Elsevier. 2010. ISBN 978-85-352-7926-9.
- (Samohyl, 2009)** Samohyl, R. W. *Controlo Estatístico de Qualidade*. Elsevier, 2009. ISBN-10 8535232206.
- (Sánchez, 2013)** Sánchez, S. A. *Aplicación de las 7 herramientas de la calidad a través del ciclo de mejora continua de Deming en la sección de hilandería en la fábrica pasamanería S.A.* 2013. Tese para obtenção do título de Engenheiro Industrial, Universidad de Cuenca: Cuenca, Ecuador.
- (Shaka e Venkatesan, 2019)** Shaka, A. A., Venkatesan, D. *Recent Developments in Control Charts Techniques*. Journal of Applied Research Review: 8 (2019) 746-756.
- (Siqueira, 1997)** Siqueira, L. G. *Controlo estatístico do processo*. São Paulo: Pioneira. São Paulo, Brasil, 1997. ISBN-10 8522100683.

- (Siqueira, 2005) Siqueira, I. P. *Manutenção Centrada na Fiabilidade: Manual de Implementação*. Rio de Janeiro: Qualitymark. Rio de Janeiro, Brasil, 2005. ISBN 9788573038804.
- (Slack e outros, 2002) Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. *Administração da Produção*. Editora Atlas, São Paulo, 2002. ISBN 8522432503.
- (Soares, 2018) Soares, A. (2018). *Planta de Processo e Separador Trifásico*. (Consult. 04 de Agosto. de 2020), Disponível em <https://www.linkedin.com/pulse/planta-de-processo-e-separador-trif%C3%A1sico-arthur-soares/>
- (Souza, 2008) Souza, R. D. *Análise da gestão da manutenção focando a manutenção centrada na fiabilidade: estudo de caso MRS logística*. 1 ed. Juiz de Fora. Minas Gerais, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
- (Transeletron, 2017) Transeletron Serviços Técnicos Especializados LTDA. (2017). *Criação de Válvula de Controlo*. TRANSELETRON Serviços Técnicos Especializados LTDA. (Consult. 04 de Agosto. de 2020), Disponível em <http://www.transeletron.com.br/criacao-de-valvula-de-controlo-de-fluxo-autonoma-promete-revolucionar-a-industria-do-petroleo.htm>
- (Trejo, 2002) Trejo, E. *Análisis Causa Raíz y solución de problemas*. Paraguaná. Venezuela, 2002. Taller dictado en el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED).
- (Trivellato, 2010) Trivellato, A. A. *Aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: estudo de caso numa empresa de autopeças*, 2010. Trabalho de conclusão de Curso em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/São Paulo, Brasil.
- (Wikipedia, 2019) Wikipedia. *Desigualdad de Chebyshev - Wikipedia la enciclopedia libre*. (Consult. 04 de Agosto de 2020), Disponível em https://es.wikipedia.org/wiki/Desigualdad_de_Chebyshev
- (World Technologies, 2017) World Technologies Water & Waste Water Expert. World Technologies PTE. LTD. (Consult. 04 de Agosto de 2020), Disponível em <https://worldtechnologies.sg/cpi-tpi-daf-igf-nsf/>
- (Wyrebski, 1997) Wyrebski, J. *Manutenção Productiva Total um Modelo Adptado*. Florianópolis: UFSC, 1997. Dissertação de Mestrado.

(Xavier, 2000) Xavier, J. Nascif. *Manutenção – Tipos e Tendências*, Tecém. (Consult. 28 de Abril de 2019), Disponível em

<http://claudemiralmes.weebly.com/uploads/3/8/6/2/3862918/tendencia.pdf>

(Xenos, 2014) Xenos, H. G. *Gerenciando A Manutenção Produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade*. 2. ed. Nova Lima: Falconi. Belo Horizonte, 2014. ISBN 85 86948-84-7,

(Gilchrist, 1993) Gilchrist, W. *Modelling Failure Modes and Effects Analysis*. International Journal of Quality & Reliability Management, 10: 5 (1993).

ANEXOS

Anexo 1. Instalação de tratamento de petróleo.

Pluspetrol Angola Corporation Bloco Sul Cabinda - Planta Castanha Resumo Do Processo

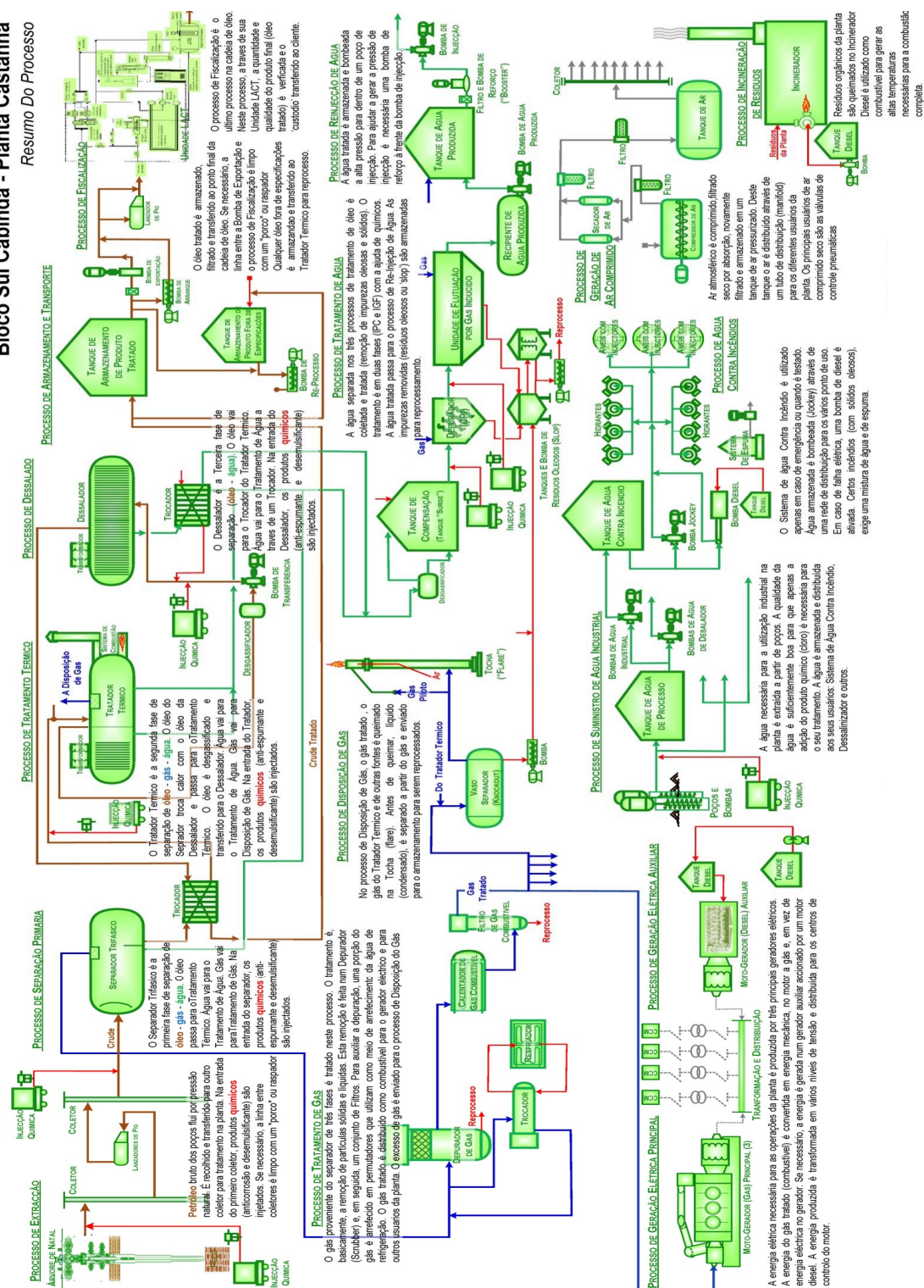


Figura A1. Instalação de tratamento de petróleo.

Anexo 2. Tanques de armazenamento.



Figura A2 - TK-102; Tanque de armazenamento de água.



Figura A3 - TK-002; Tanque de armazenamento de petróleo *crude*.



Figura A4 - TK-201; Tanque de resíduos.

Anexo 3. O NPR na FMEA.

A FMEA é responsável de identificar modos de falhas já conhecidos, bem como, fontes potenciais a ocasionar eventos inesperados. Para tanto, a FMEA aplica a temática que delimita as prioridades de avaliação, dentre elas destacam-se: Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). O Número de Prioridade e Risco (NPR), ou medida de risco da FMEA obtém-se a partir da multiplicação directa dos valores adquiridos nestes parâmetros na Tabela A1, A2 e A3.

Tabela A1. Categorias de Frequência [PETROBRAS N-2781, 2012].

Categoria de frequência	Denominação	Descrição
5	Frequente	Esperado ocorrer várias vezes durante a vida útil da instalação.
4	Provável	Esperado ocorrer mais de 1 vez durante a vida útil da instalação.
3	Ocasional	Possível ocorrer até 1 vez durante a vida útil da instalação.
2	Remota	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas.
1	Extremamente Remota	Conceitualmente possível, porém extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil da instalação. Sem referências históricas.

Tabela A2. Categorias de Severidade [PETROBRAS N-2781, 2012].

Categoria de severidade	Denominação	Pessoas	Patrimônio	Meio ambiente	Operacionalidade
5	Catastrófica	Incapacitação total definitiva ou acidente fatal.	Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam muito elevados comparados com o custo de aquisição.	Impacto ambiental de difícil reversão, mesmo com ações mitigadoras, e de grande magnitude e extensão (além dos limites do empreendimento) com potencial de afetar as partes Interessadas.	Mais que 30 dias de parada
4	Crítica	Incapacitação parcial definitiva ou de lenta reversão.	Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam elevados comparados com o custo de aquisição.	Impacto de grande magnitude, reversível com ações mitigadoras, mas restrita as áreas adjacentes da Unidade.	15 dias de parada
3	Moderada	Acidente com afastamento, por um período maior que 15 dias.	Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam moderados comparados com o custo de aquisição.	Impacto de magnitude considerável, porém reversível com ações mitigadoras, atingindo apenas áreas internas da Unidade.	7 dias (1 semana) de parada
2	Marginal	Acidente com afastamento, por um curto período de tempo (menor que 15 dias).	Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam reduzidos comparados com o custo de aquisição.	Impacto de magnitude desprezível, porém reversível com ações mitigadoras, atingindo apenas áreas internas da Unidade.	2 dias de parada
1	Desprezível	Acidente sem afastamento ou incidente. Ex.: pequenos cortes, hematomas etc.	Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam desprezíveis comparados com o custo de aquisição.	Impacto de magnitude desprezível para o meio ambiente / restrito ao local de ocorrência, totalmente reversível com ações imediatas, não afeta partes interessadas.	Algumas horas de parada

Tabela A3. Categorias de Detecção [PETROBRAS N-2781, 2012].

Categoria de detecção	Denominação	Critério
4	Muito Baixa	Inexistência de recursos para detecção (exemplo: não há presença de nenhum dos recursos citados nas categorias 1, 2 e 3).
3	Baixa	Existência de poucos recursos para detecção (exemplo: apenas percebido por sentidos humanos).
2	Moderada	Existência de recursos para inspeção (exemplo: equipamentos de medição).
1	Alta	Existência de recursos para inspeção e monitoração (exemplo: sistema "on-line" de monitoramento).

Tabela A4. FMEA para as Bombas Booster tipo centrífuga.

Item	Função do processo	Modo de falha	Efeitos potenciais de falha	Severidade	Causas potenciais	Ocorrência	Deteção	NPR	Acções Recomendadas
Carcaça	Conter fluido	Não conter fluido	Paragem da bomba	5	Fissura	2	3	30	- Preenchimento dos espaços com solda de material da mesma espécie. - Intensificar a monitorização da vibração e da temperatura do sistema.
					Degradação				
Eixo ou veio	Transmitir força ou movimento do motor para a bomba	Não Transmitir força	Paragem da bomba	3	Quebra	2	3	18	- Inspeccionar outros componentes que possam ter sido danificados (chumaceiras, rotor, carcaça, etc.) e realizar a manutenção necessária. - Troca ou substituição do veio
Selo Mecânico	Conter fluido	Não Conter fluido	Paragem da bomba	3	Contaminação por sólidos	5	2	30	- Inspeção do projecto de fabricação verificando plano de selagem. - Intensificar a monitorização de vibração e temperatura do sistema.
					Temperatura				
Skid	Fixação do conjunto Bomba Motor	Não Fixação do conjunto Bomba Motor	Mau funcionament o da bomba	1	Vibração	4	2	8	- Projecto de instalação, evitando erro de montagem; manutenção, com a monitorização da vibração e medidas de SMS devem ser implementadas.
Acoplamento	Conectar Motor e Bomba	Conexão deficiente ou desconexão da bomba ao motor	Mau funcionament o da bomba ou paragem da bomba	5	Desalinhamento da bomba ao motor	3	2	30	- Programa de inspecções Preditivas visuais do acoplamento e verificação do alinhamento
Rotor	Pressurizar fluido	Não Pressurizar fluido	Paragem da bomba	5	Quebra	3	1	15	- Preencher nos locais gastos solda eléctrica adequada ao material, esmerilhando em seguida. - Caso necessário, substituir rotor.
					Cavitação				

									- Trabalhar sempre com o NPSH disponível maior que o NPSH requerido. - Seleccionar um rotor feito com materiais com melhores propriedades à cavitação.
Comando	Controlo do motor protecção	Não Controlo do motor nem protege	Paragem da bomba	3	Falta de electricidade	2	1	6	- Projecto de fabricação, possui sistemas de protecção e controlo bem dimensionados. - Projecto de Instalação, possui monitorização através de sistema supervisor e protecção contra descargas atmosféricas instalados.
Motor	Transmitir força	Não Transmitir força	Paragem da bomba	3	Falta de electricidade	2	1	6	- Projecto de Instalação, possui monitorização através de sistema supervisor e protecção contra descargas atmosféricas instaladas.

Tabela A5. FMEA para as bombas SIAM de deslocamento positivo.

Item	Função do processo	Modo de falha	Efeitos potenciais de falha	Severidade	Causas potenciais	Ocorrência	Deteção	NPR	Acções Recomendadas
Carcaça da caixa redutora	Conter óleo para lubrificação das engrenagens	Não conter óleo	Paragem da bomba	5	Fissuras	2	3	30	- Preenchimento dos espaços com solda de material da mesma espécie. - Troca do niple
					Degradação ou quebra do niple				
Carcaça da Cambota	Conter óleo para lubrificação da cambota	Não conter óleo	Paragem da bomba	5	Fissura ou degradação ou quebra do niple	1	3	15	- Preenchimento dos espaços com solda de material da mesma espécie. - Troca do niple
Carcaça dos pistões	Alojamento dos pistões e conexão com a carcaça da parte hidráulica	Defeito na conexão com a parte hidráulica	Paragem da bomba	5	Fissura ou degradação	2	3	30	-Aplicar sempre o torque recomendado para evitar evento -Preenchimento dos espaços com solda de material da mesma espécie
Carcaça das bexigas amortecedoras de vibração	Alojar as bexigas e conter fluido	Não conter fluido	Paragem da bomba	5	Fissura ou degradação	5	3	75	- Normalmente degrada nas soldas. Refazer soda. - Substituição da carcaça
Carcaça da parte hidráulica	Conter fluido	Não conter fluido	Paragem da bomba	5	Fissura ou degradação	2	2	20	Preenchimento dos espaços com solda de material da mesma espécie.
Cambota	Transmitir força ou movimento do motor para bomba	Não Transmitir força	Paragem da bomba	5	Desgaste das capas ou da própria cambota	2	3	30	- Inspeccionar outros componentes que possam ter sido danificados (mancais, rolamentos, carcaça, etc.) e realizar a manutenção necessária. - Troca ou substituição da cambota

Empaquetadura	Conter fluido	Não Conter fluido	Paragem da bomba	3	Desgaste	5	2	30	- Inspeção no projecto de fabricação verificando plano de selagem. - Intensificar a monitorização de vibração e temperatura do sistema. - trocas dos componentes de selagem
Skid	Fixação do conjunto Bomba Motor	Não Fixação do conjunto Bomba Motor	Mau funcionamento da bomba	1	Vibração	4	2	8	- Projecto instalação, evitando erro de montagem; manutenção, com monitorização da vibração e medidas de SMS devem ser implementadas.
Acoplamento	Conectar Motor e Bomba	Conexão deficiente ou desconexão da bomba ao motor	Mau funcionamento da bomba ou paragem da bomba	5	Desalinhamento da bomba ao motor	5	3	75	- Programa de inspeções Preditivas visuais do acoplamento e verificação do alinhamento
Mancal	Suportar cambota	Não Suportar a cambota	Paragem da bomba	3	Alto aquecimento	2	3	18	- Substituir rolamentos e inspeccionar outros componentes que possam ter sido danificados pela fractura do mancal (eixo, rotor, carcaça, etc.) para realizar a manutenção necessária. - Partículas estranhas podem ser prensadas entre os elementos rodantes e a pista, causando identações, locais de início de trincas. Uso de impacto e força excessiva também podem gerar trincas. - Treinamento de pessoal para montagem correta reduz os riscos de falhas desse componente devido à fadiga. -Seguir as orientações de lubrificação que se encontram no manual da

									bomba. Usar sempre o óleo ou a graxa indicada pelo fabricante da bomba.
Comando	Controlo do motor protecção	Não Controlo do motor nem protege	Paragem da bomba	3	Falta de electricidade	2	1	6	- Projecto de fabricação, possui sistemas de protecção e controlo bem dimensionados. - Projecto de Instalação, possua monitorização através de sistema supervisor e protecção contra descargas atmosféricas instalados.
Motor	Transmitir força	Não Transmitir força	Paragem da bomba	3	Falta de electricidade	2	1	6	- Projecto de Instalação, possua monitorização através de sistema supervisor e protecção contra descargas atmosféricas instalados.

Anexo 4. Projeto de Melhoria

Tabela A6. Projecto de melhoria da Instalação.

N.º	Projecto de manutenção	Escopo	Situação actual	Caminho a seguir
1.	Implementar o programa de inspecção de equipamentos estáticos da Planta Castanha Baseada em Risco (IBR).	Ter um programa de inspecção de equipamentos estáticos.	Visita de um representante a GIE empresa de consultoria. Treinamento dado ao Eng. Norman Hekele na Argentina em Inspecção de Equipamentos estáticos. Se desenvolveram programas, que estão em execução.	Desenvolvimento de estratégias e planos de inspecção.
2.	Instalação de equipamentos de superfície para alimentar a bomba submersível eléctrica a partir da plataforma A e B.	Aumentar a produção dos poços da plataforma A, B e C.	Construir bases de cimento e tectos para equipamentos de superfície. Aluguer de grupos geradores. Se devolve dois grupos da plataforma B dos poços Ca- 4 y Ca-8 de onde falharam as BES (bombas electrosubmersíveis).	Utilizar o método de gás <i>lift</i> que deve dar melhores resultados que as BES.
3.	Gestão da Manutenção Instalação de Software.	Melhorar a gestão de Manutenção.	Software adquirido e treinamento do pessoal executado em Fevereiro 2015. Introdução dos dados e Job Plans.	Formação do pessoal no MP9 e ingresso de dados e <i>Job Plans</i> .
4.	Equipamento para desenvolver a Inspecção e Manutenção Preditiva.	Aumentar a produção em poços A e B plataforma.	Aquisição de um medidor de espessuras e equipamentos para inspecção.	Melhorar actuais rotinas de manutenção preditiva.
5.	Desenvolver integridade mecânica seguindo a orientação Pluspetrol	Melhorar a gestão de activos	Participação no primeiro fórum de integridade operacional Pluspetrol. Continuar com a gestão de integridade corporativa.	Melhorar a gestão da integridade
6.	Formalizar o programa de integridade de ductos	Melhorar a gestão de activos.	Em processo	Melhorar a gestão da integridade e visão

