



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Análise RAMS na componente Manutenibilidade

Bruno José Azevedo de Lemos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Júri

Presidente:	Prof. Luís Manuel Varejão de Oliveira Faria
Orientador:	Prof. Virgínia Isabel Monteiro Nabais Infante
Co-Orientador:	Prof. Manuel Correia Alves da Cruz
Vogal:	Prof. Eduardo Joaquim Anjos de Matos Almas

Outubro de 2010

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os que, directa ou indirectamente, me ajudaram e contribuíram para a elaboração deste trabalho:

Aos meus orientadores: Professora Virgínia Infante do Instituto Superior Técnico, Eng. Manuel Alves da Cruz e Eng. José Lopes dos Santos do Instituto de Soldadura e Qualidade.

Aos trabalhadores da Integridade que me receberam durante as acções de manutenção e forneceram informação durante as entrevistas, especialmente ao Eng. Daniel Viola e Eng. Luís de Sousa.

Ao departamento de manutenção da CUF, que permitiu a visita às suas instalações, e às pessoas que me acompanharam e forneceram informação essencial, nomeadamente Eng. Pompeu Martinho e Eng. David.

Ao Eng. Rui Assis do ISQ pelos esclarecimentos e disponibilização de ferramentas de cálculo.

Ao director técnico da Engebrites por toda a informação e esclarecimentos sobre consumíveis, Eng. Fernando Ramos.

À minha família por todo o apoio, em especial José, Maria e Pedro Lemos.

A Luciana Sequeira por todo o apoio emocional e compreensão.

Resumo:

Um mercado cada vez mais competitivo e exigente procura continuamente métodos que garantam uma maior Disponibilidade e Segurança dos sistemas, o que leva à procura de técnicas que promovam uma melhoria desses factores. Conscientes da complexidade de cada sistema, é considerada uma abordagem do sistema que avalie a sua Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança, designada como RAMS. Esta permite analisar um sistema e actuar sobre cada factor, para atingir os objectivos, verificando a sua influência em cada um dos outros. No seguimento da filosofia de melhoria contínua por parte do Instituto de Soldadura e Qualidade, a RAMS será aplicada à prestação de serviços de manutenção de válvulas de segurança na indústria de processo, visando uma melhoria na Manutenibilidade que conduza ao aumento da Disponibilidade e Segurança. Pretende-se envolver os utilizadores do serviço no processo, criando uma sinergia entre estes e o prestador do serviço, a qual permita atingir uma adequada combinação entre o desempenho resultante da aplicação da metodologia RAMS e os custos envolvidos.

Neste trabalho foi realizada uma análise RAMS, na componente de Manutenibilidade, a válvulas de segurança. Para tal, foram definidos métodos e técnicas que permitiram caracterizar o sistema e identificar situações problemáticas associadas à Manutenibilidade.

Com base nos resultados da análise foram definidas medidas a serem implementadas, de modo a corrigir ou minimizar os problemas encontrados.

Palavras Chave: RAMS, Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade, Segurança e válvulas de segurança.

Abstract:

An increasingly competitive and demanding market searches constantly methods to ensure a greater Availability and Security of systems, which leads to the search of techniques to promote an improvement of these factors. Aware of the complexity of each system, a system approach is considered in order to assess his Reliability, Availability, Maintainability and Safety, designated as RAMS. This allows to analyze a system and act upon each factor, so that goals are achieved, noting its influence on each other. Following the philosophy of constant improvement by Instituto de Soldadura e Qualidade, the RAMS will be applied to the provision of safety valves maintenance to process industry, aiming at a Maintainability continuous improvement that leads to an increase in Availability and Security. The aim is to involve service users in the process, creating a synergy between them and the service provider, which enables them to achieve an appropriate combination of performance resulting from the application of the RAMS methodology and costs involved.

In this paper a RAMS analysis, in Maintainability component, was applied to safety valves. In order to do so, methods and techniques were defined, which permitted to characterize the system and identify issues associated to Maintainability.

Based on the results of this analysis, there was a definition of measures to be implemented in order to solve or minimize the issues encountered.

Keywords: RAMS, Reliability, Availability, Maintainability, Safety and safety valves

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	III
Abstract.....	V
Índice de figuras.....	IX
Índice de tabelas.....	X
Definições:	XI
1. Introdução.....	1
1.1 Problema em análise	1
2. Estado da Arte	3
2.1 Evolução Histórica da RAMS	3
2.2 Caracterização da Análise RAMS	5
2.2.1 Fiabilidade	5
2.2.2 Disponibilidade	8
2.2.3 Manutenibilidade.....	9
2.2.4 Segurança	9
2.3 O Ciclo RAMS.....	11
2.4 Métodos e Técnicas para uma Implementação RAMS.....	15
2.4.1 Introdução aos métodos e técnicas	15
2.4.2 Diagramas causa-efeito.....	15
2.4.3 Modos de falha, efeitos e análise de criticidade (FMECA).....	17
2.5 Árvore de análise de falhas.....	18
2.6 Gestão total de qualidade	20
2.7 Factores de Design.....	23
2.7.1 Acessibilidade.....	26
2.7.2 Permutabilidade	26
2.7.3 Normalização.....	27
2.7.4 Mostradores e medidores	27
2.7.5 Segurança	28
2.8 Factores humanos na Manutenibilidade.....	28
2.8.1 Comportamento humano típico	28
2.8.2 Sentidos.....	29
2.8.3 Visão.....	30
2.8.4 Tacto.....	30
2.8.5 Audição.....	30

2.8.6	Olfacto	31
2.9	Distribuição de Weibull.....	31
3.	Caso Prático	35
3.1	Introdução.....	35
3.2	Descrição da Válvula de Segurança	36
3.3	Manutenção	38
3.4	Certificação.....	38
3.5	Metodologia	39
3.6	Análise RAMS das Válvulas de Pressão de Segurança	41
3.7	Plano de Manutenção	48
3.7.1	Distribuição de Weibull aplicada às válvulas	48
3.7.2	Consumíveis	53
3.7.3	Conciliação de datas.....	54
3.8	Planear a Manutenibilidade.....	56
3.8.1	Acessos	56
3.8.2	Inspeção em serviço	57
3.8.3	Ferramentas	58
3.8.4	Pernos e porcas.....	58
3.8.5	Transporte da válvula	60
3.8.6	Segurança	61
3.8.7	Monitorização das Válvulas	62
3.8.8	Ficha da válvula	63
4.	Resultados.....	64
4.1	Medidas a serem implementadas	64
4.2	Discussão dos resultados obtidos.....	65
5.	Conclusões	67
5.1	Estudos futuros	69
Anexo 1	72
Anexo 2	73

Índice de figuras

Figura 1 - Curva de banheira	6
Figura 2 - Curva de banheira detalhada	6
Figura 3 - Tempos médios	8
Figura 4 - Ciclo RAMS (fonte: Smith 2005)	12
Figura 5 - Hierarquia factores RAMS (adaptado de: EN 50126)	13
Figura 6 - Passos para implementar TQM.....	22
Figura 7 - Capacidade de manobra vs custo de aplicação dos princípios	23
Figura 8 - Diagrama de Weibull.....	33
Figura 9 - Esquema da válvula de segurança	37
Figura 10 - Diagrama de Ishikawa para retirar a válvula de serviço	42
Figura 11 - Ajustamento Weibull Bernard.....	52
Figura 12 - Intervalos entre inspecções de manutenção	52
Figura 13 - Representação visual do plano de manutenção.....	55
Figura 14 - Inspeção em serviço	57
Figura 15 - Anilhas de carga viva e suas configurações (fonte: www.pump-zone.com).....	60
Figura 16 - Sistema de segurança da ferramenta	61
Figura 17 - Sistemas de monitorização remota	62

Índice de tabelas

Tabela 1 - Características das distribuições de probabilidades	7
Tabela 2 - Custos associados ao LCC	14
Tabela 3 - Símbolos utilizados na árvore de análise de falhas	19
Tabela 4 - Relação entre características de design e benefícios	25
Tabela 5 - Lista de Falhas e Causas	49
Tabela 6 - Estado dos componentes	51
Tabela 7 - Comparação de custo das pastas.....	59

Definições:

Disponibilidade: rácio entre o tempo efectivo de funcionamento sem falhas se um sistema e o tempo total previsto de funcionamento.

Fiabilidade: probabilidade de um sistema executar a função pretendida durante um intervalo de tempo específico e sujeito a determinadas condições (DoD, 1982).

MAMT (Mean Active Maintenance Time): tempo médio de manutenção activa (correctiva ou preditiva).

Manutenção correctiva: conjunto de medidas que visam restabelecer um sistema, no qual tenha ocorrido uma falha, ao seu estado de operacionalidade. É realizada após a detecção da falha.

Manutenção preditiva: conjunto de medidas que procura reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas num sistema. É planeada para manter e aumentar a Fiabilidade do sistema, através da reparação e substituição de componentes antes que estes falhem. Esta manutenção pode ser planeada para cumprir um determinado calendário, ou pode ser planeada para garantir que um sistema tem um desempenho específico.

Manutenção: Conjunto de acções técnicas, administrativas e de gestão realizadas durante o ciclo de vida do sistema com o objectivo de manter ou restaurar um sistema para um estado no qual consegue desempenhar a sua função. (www.efnms.org). Este conjunto de acções pode ser agrupado essencialmente em duas categorias: manutenção preditiva e manutenção correctiva.

Manutenibilidade: característica do design do equipamento e instalação que expressa a probabilidade de que um sistema retome o seu funcionamento normal num intervalo de tempo, quando sujeito a uma manutenção que utiliza procedimentos e recursos pré definidos.

MDT (Mean Down Time): tempo médio de indisponibilidade.

Melhoria Contínua: corresponde a um processo de gestão que avalia constantemente o desempenho de um sistema, e introduz medidas e inovações que permitam melhorar esse mesmo sistema (Imai, 1986).

MLDT (Mean Logistics Delay Time): tempo médio de atrasos de logística (atraso motivado por questões administrativas, espera de peças ou trabalhadores)

MTTMA (Mean Time To a Maintenance Action): tempo médio entre acções de manutenção (correctiva ou preditiva).

MTTF (Mean Time to Failure): tempo médio até a ocorrência de falhas.

Risco: combinação da possibilidade de ocorrer uma situação perigosa com a severidade das suas consequências.

Segurança: conjunto de medidas que visa proteger bens e pessoas de eventos ou exposição a algo que possa resultar em danos. Estão sempre associados à noção de segurança os conceitos risco e perda, os quais são utilizados para definir o grau de segurança.

Válvula de segurança: equipamento que protege sistemas pressurizados do excesso de pressão, evitando que sejam danificados ou destruídos.

1. Introdução

1.1 Problema em análise

Actualmente verifica-se a existência de uma mentalidade que procura otimizar os processos, na tentativa de maximizar os lucros. Nos últimos anos tem-se verificado um aumento de investimento nas áreas de desenvolvimento que permitam às empresas proporcionar o melhor serviço/produto ao preço mais baixo possível aos seus clientes. O que se verifica é que durante esse esforço por vezes foi descurada a necessidade de criar as condições para efectuar as manutenções necessárias dos equipamentos, ou seja, em muitos casos a componente Manutenibilidade não foi considerada, ou então foi implementada com falhas graves.

Um exemplo relativamente às válvulas de segurança é de uma válvula de grandes dimensões instalada aquando a construção de uma fábrica. Passados uns anos houve uma remodelação e construiu-se um barracão à volta da válvula. Como não houve o cuidado de pensar que seria necessário proceder à manutenção da válvula, a porta do barracão foi subdimensionada fazendo com que fosse impossível tirar a válvula do local. A solução passou pela demolição de uma parede do barracão, tornando todo o processo mais moroso e mais caro com todos os custos extra. Outro exemplo resulta da crescente tendência de miniaturização e a vontade de implementar inovações tecnológicas, levando a que a componente Manutenibilidade seja por vezes posta um pouco de parte, o que implica um aumento na dificuldade de reparar os equipamentos. Isto pode ser observado nos faróis dos automóveis. Alguns fabricantes, com o intuito de fabricar carros mais pequenos e aproveitar todos os espaços, colocam os faróis em locais inacessíveis, impossibilitando desta forma o utilizador de mudar uma simples lâmpada.

A ocorrência de uma avaria num sistema e a sua respectiva reparação ou uma manutenção agendada implica sempre que esse sistema pare de funcionar. Torna-se assim imperativo criar as condições que permitam responder rapidamente e eficazmente a essas necessidades. Surge assim a necessidade de melhorar a Manutenibilidade e introduzir essa preocupação desde a fase inicial do projecto do sistema e mantê-la enquanto este estiver em serviço. É importante ter em mente que durante o desenvolvimento de um sistema, para além de toda a atenção que é necessária ter com a desempenho do mesmo em funcionamento, é necessário precaver as suas necessidades de manutenção e simplificá-las o mais possível.

Actualmente verifica-se que muitas vezes os fornecedores de serviços de manutenção apenas são chamados pelas empresas (utilizadores) quando é necessária uma intervenção, deixando depois de haver uma comunicação. A introdução da metodologia RAMS irá procurar que exista uma maior ligação entre os utilizadores e os fornecedores que permita obter mais-valias para os dois. No caso dos utilizadores procura-se obter uma redução dos custos de operação e uma maior disponibilidade dos sistemas, e os fornecedores procuram diminuir os

tempos de manutenção, ter uma maior facilidade na execução das operações, um aumento da segurança (dos equipamentos e dos funcionários) e conseguir aumentar o seu know-how.

O Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), na qualidade de certificador de válvulas de segurança em Portugal, pretende investir na implementação da RAMS. Como tal será necessário envolver a empresa MT – Integridade – Serviços de Manutenção e Integridade Estrutural, que faz parte do grupo de empresas pertencentes ao ISQ, pois esta é a responsável por todo o processo de manutenção, excepto a certificação que é feita pelos engenheiros habilitados do ISQ.

Realizar uma implementação da RAMS como um todo apresenta um grande grau de dificuldade e complexidade se forem considerados todos os seus ramos simultaneamente. É por isso aconselhado que seja feita uma análise separada de cada um deles: Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança, mantendo sempre em consideração que partilham factores que os influenciam.

A implementação da RAMS implica que sejam feitas alterações aos procedimentos e métodos de trabalho. Como tal é necessário que exista por parte dos intervenientes uma predisposição para mudanças. Relativamente ao ISQ não existirão grandes entraves, pois estes apostam na melhoria contínua e na promoção de novas tecnologias e metodologias. O mais complicado serão as empresas nas quais são prestados serviços, pois algumas apresentam-se por vezes renitentes quanto à alteração de procedimentos com os quais já estão familiarizados e que lhes proporcionaram um desempenho aceitável até à data.

2. Estado da Arte

2.1 Evolução Histórica da RAMS

É difícil definir com exactidão o início dos estudos sobre Manutenibilidade e da análise RAMS como um todo. No entanto, Dhillon (1999) conseguiu descrever a história da evolução da Manutenibilidade, segundo o qual teve início no começo do século XX, no seu livro “Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance”.

A primeira referência surge em 1901, num contracto do Army Signal Corps para desenvolvimento do avião dos Wright Brother’s está especificado que o avião deve ser “fácil de operar e de reparar” (DoD 1976).

O início da definição do conceito de Manutenibilidade, tal como ele é conhecido hoje, pode ser atribuído ao período entre a 2ª Guerra Mundial e os anos cinquenta. Sabe-se que durante os períodos de guerra surgem sempre muitas inovações, promovidas por todo o esforço de guerra, tentando sempre inovar. Foi durante este período que o Departamento de Defesa dos Estados Unidos realizou vários estudos sobre o estado das suas forças militares nos diversos ramos, obtendo resultados preocupantes:

- Verificou-se que no Exército, em qualquer momento, estavam fora de serviço ou em reparação entre dois terços e três quartos todos os equipamentos.
- A Marinha verificou que durante as operações o equipamento electrónico estava operacional apenas 30% do tempo.
- A Oitava^ª da Força Aérea, estacionado na Grã-Bretanha, verificou que apenas 30% dos bombardeiros pesados estacionados numa base aérea estavam em estado operacional (a qualquer momento), e que a situação era semelhante noutros aeroportos.

Outro avanço no desenvolvimento da Manutenibilidade foi a publicação em 1956 de uma série de 12 artigos em na revista *Machine Design*, nos quais eram abordados temas como: o design orientado para a Manutenibilidade de equipamentos electrónicos; design de caixas e tampas; recomendações para projectar pontos de acesso para manutenção em equipamento electrónico; uma aproximação sistemática para permitir a manutenção; e recomendações de design para incluir pontos de teste (Retterer e Kowalski, 1984). Em 1957 é publicado o relatório “Reliability of Military Electronic Equipment” pelo AGREE (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment) no qual são definidas recomendações, elaboradas por nove grupos de trabalho do AGREE, que serviram de base para muitas das normas actuais sobre Manutenibilidade. A criação do AGREE deve-se à grande preocupação manifestada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, relativamente aos resultados apurados nos

estudos referidos anteriormente, pois estava comprometida a operacionalidade dos seus equipamentos e conseqüentemente a sua segurança nacional.

No seguimento do trabalho desenvolvido pelo AGREE e seguindo as suas recomendações, a Força Aérea dos Estados Unidos inicia um programa que visava obter sistemas eficazes para implementar melhorias na Manutenibilidade. Deste programa resultou a especificação MIL-M-26512, na qual constavam directrizes para implementação de um programa para abordar a Manutenibilidade e foram definidos procedimentos que garantissem os requisitos operacionais dos sistemas e equipamentos

Durante os anos sessenta e setenta foram elaborados vários documentos militares com base na especificação MIL-M-26512. Um que merece uma nota de destaque é "AMCP 706-133 - Engineering Design Handbook: Maintainability Engineering Theory and Practice" pois serviu como ponto de partida para outros estudos.

Em 1969 a NASA publica o NASA Handbook 5300.4 no qual é definido o conceito de Manutenibilidade. Começa assim o interesse da NASA nesta disciplina e são desenvolvidos vários programas para torná-la parte integrante de todos os seus programas. Muitos dos conceitos foram desenvolvidos durante o Programa Apolo.

Em 1972 é criado o Simpósio Anual em Fiabilidade e Manutenibilidade (www.rams.org). Foi o resultado da fusão do Simpósio Anual em Fiabilidade com a Conferência Anual de Fiabilidade e Manutenibilidade do AIAAA, da ASME e da SAE.

Em 1984, a Força Aérea dos Estados Unidos apresenta a "Reliability and Maintainability (R & M) 2000 Initiative), a qual se propunha a atribuir pesos iguais à Fiabilidade e Manutenibilidade, usando factores como custo, performance e tempo dispendido na fase de desenvolvimento. Esta medida foi seguida por Marinha e Exército, tendo mesmo este último estabelecido como meta reduzir até 1991 para metade os custos relacionados com Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e durabilidade (*SAE G-11, 1991*), sendo esta claramente a implementação de uma filosofia RAMS.

Desde então foram criados vários programas e desenvolvidos vários estudos sobre a Manutenibilidade. Os seus autores são variados, tais como o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, a NASA e várias outras entidades não tão conhecidas de diferentes sectores (indústria petroquímica, aeronáutica, ferroviário, etc).

Em 1992 foi criada a EN 50126 pelo Cenelec, a qual especifica e demonstra a Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança (RAMS) no sector ferroviário.

Presentemente a análise RAMS é muito utilizada no sector ferroviário, onde tem a sua maior expansão, mas começa a ser aplicada a vários sectores, abrangendo também a melhoria da prestação de serviços.

2.2 Caracterização da Análise RAMS

2.2.1 Fiabilidade

A Fiabilidade é definida como a probabilidade de um sistema executar a função pretendida durante um intervalo de tempo específico e sujeito a determinadas condições (DoD 1982). Note-se que esta é uma definição que não considera a idade do sistema.

Se for considerado um sistema que pode ser reparado, impõe-se a utilização de uma definição mais correcta: Fiabilidade, para um sistema que possa ser reparado, é a probabilidade de um sistema executar a função pretendida durante um intervalo de tempo específico, sujeito a determinadas condições e a uma determinada idade, se as manutenções correctiva e preditiva forem executadas correctamente.

A Fiabilidade depende da ocorrência de falhas, as quais não é possível saber exactamente quando ocorrem. Esta situação leva a que seja necessário quantificar a Fiabilidade com base em valores probabilísticos. A sua representação é $R(t)$.

Considerando que a definição da Fiabilidade depende de probabilidades, é necessário criar uma base de dados para possa ser aplicado um qualquer modelo, seja a distribuição de Weibull, a distribuição exponencial ou a distribuição Normal logarítmica. Para uma melhor compreensão recomenda-se a leitura de Assis (1997). Essa base de dados implica que sejam recolhidos dados do sistema durante o seu ciclo de vida, criando assim o seu histórico.

Se o tempo até ocorrer uma falha num sistema seguir uma distribuição de probabilidade, então a Fiabilidade pode ser obtida recorrendo à seguinte fórmula:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (1)$$

$\lambda(t)$ – taxa de falhas dependente do tempo de vida

Uma representação muito utilizada na Fiabilidade é a Curva de Banheira, que pode ser observada na figura 1 e cujo objectivo é descrever a variação da taxa de falhas durante a vida do sistema. A curva divide-se em três secções distintas:

Fase inicial - a taxa de falhas é decrescente devido às falhas iniciais ou com mortalidade infantil;

Fase de Vida Útil – assume-se que existe uma taxa de falhas constante;

Fase de Final – a taxa de falhas é crescente devido às falhas de desgaste.

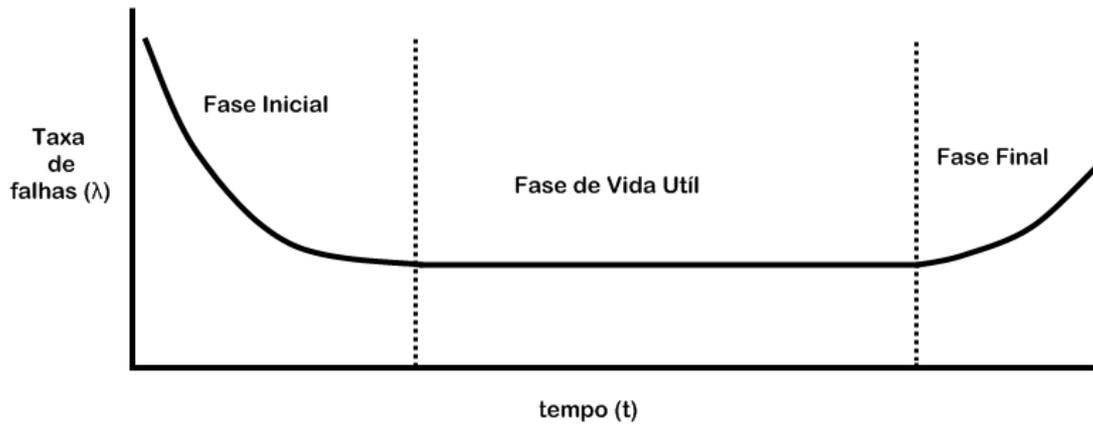


Figura 1 - Curva de banheira

No entanto existe uma representação introduzida por Smith (2005) que apresenta uma perspectiva um pouco mais detalhada, na qual estão presentes as três distribuições, o que permite entender melhor a curva resultante e quais os factores predominantes para o seu comportamento. Uma descrição mais detalhada das três distribuições está presente na tabela 1.

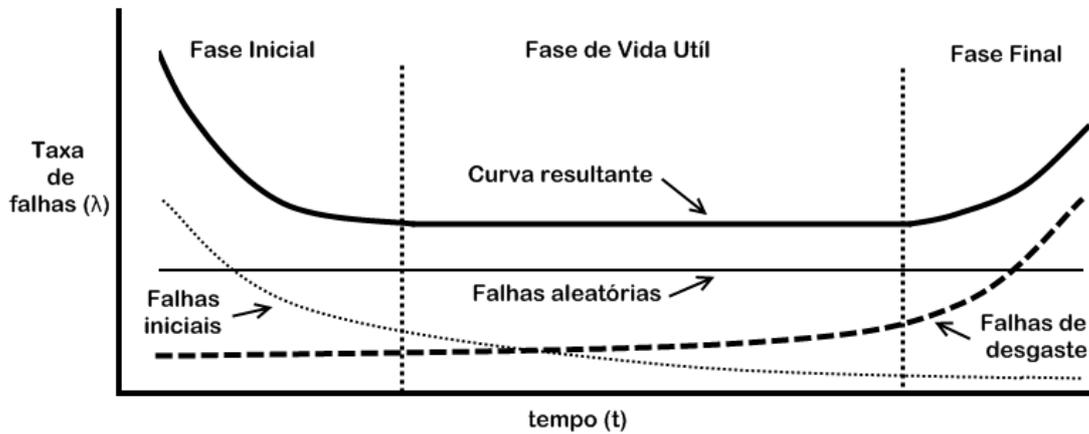


Figura 2 - Curva de banheira detalhada

Fase (nomes pelo qual é conhecida)	Comportamento	Causas
Inicial Arranque Mortalidade Infantil	Taxa de falhas decresce	Essencialmente defeitos de design, fabrico e montagem.
Vida Útil Falhas aleatórias Falhas estocásticas	Taxa de falhas constante	Submissão do componente a cargas de trabalho superiores à planeada, causas desconhecidas ou utilização inadequada.
Desgaste Fadiga	Taxa de falhas cresce	Ocorrência de corrosão, oxidação, perda de isolamento, desgaste por fricção, etc.

Tabela 1 - Características das distribuições de probabilidades

É importante esclarecer que no caso de sistemas mecânicos por vezes não se verifica o comportamento descrito na Curva de Banheira. Isto ocorre porque o principal factor que provoca falhas é o desgaste. É bem aceite pelos utilizadores que alguns sistemas precisem de manutenção e substituição de componentes durante a sua vida útil, antes que estes falhem, tal como nos aviões ou automóveis (Wilkins 2002).

Sabendo que serão precisas acções de manutenção em alguns sistemas, surge então a necessidade de utilizar outros indicadores de Fiabilidade que sirvam de base para a definição de planos de manutenção. Alguns desses indicadores são:

- Tempo médio entre falhas (MTBF – Mean Time Between Failures)
- Tempo médio de reparação (MTTR – Mean Time to Repair)
- Tempo médio de paragem (MTD – Mean Time Down)

2.2.2 Disponibilidade

O parâmetro Disponibilidade relaciona a Fiabilidade a as características de Manutenibilidade de um sistema, resultando num índice de eficiência. O seu objectivo é tentar responder à pergunta: “O sistema vai funcionar quando for necessária a sua utilização?” (DoD 1982). É a partir deste conceito que se deduz uma fórmula que representa a Disponibilidade, na qual se utiliza como numerador o tempo em serviço e como denominador o tempo total, sendo o último é a soma do tempo em serviço com o tempo fora de serviço. Essa fórmula pode ser desenvolvida para descrever três conceitos de Disponibilidade:

- Intrínseca $D = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR}$ (2)

- Alcançada $D = \frac{MTTMA}{MTTMA+MMT}$ (3)

- Operacional $D = \frac{MTTMA}{MTTMA+MMT+MLDT} = \frac{MTTMA}{MTTMA+MDT}$ (4)

Nas equações 3 e 4 são introduzidos alguns indicadores que têm em conta a própria disponibilidade dos meios necessários às acções de manutenção ou reparação e o tempo dispendido até ao seu início (NASA, 1995).

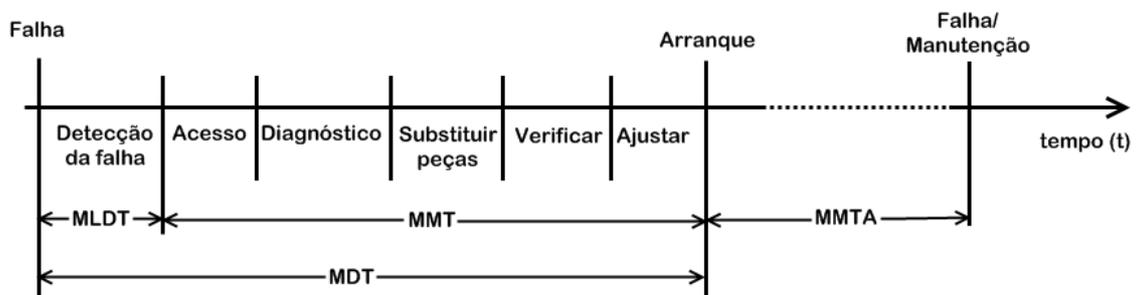


Figura 3 - Tempos médios

2.2.3 Manutenibilidade

A Manutenibilidade é uma característica do design e instalação que expressa a probabilidade de que um sistema volte a actuar como é esperado num determinado período de tempo, quando sujeito a uma manutenção que utiliza procedimentos e recursos pré-definidos (MIL-STD-778). Este é o conceito fundamental da Manutenibilidade, e implica que sejam criadas condições que permitam executar as acções de manutenção com rapidez.

A preocupação com a Manutenibilidade deve ocorrer desde a fase de design. Logo, uma vez que os requisitos operacionais do sistema estejam definidos deve ser feita uma análise que permita avaliar a sua Manutenibilidade. Esta será uma mais-valia para os projectistas que poderão assim saber quais as áreas que necessitam de ser revistas, e consequentemente melhoradas ou até mesmo totalmente modificadas ou suprimidas.

Tal como foi referido anteriormente, a Manutenibilidade afecta a Disponibilidade ao ser considerado o parâmetro MDT na equação 4. Este é o parâmetro que deve utilizado para quantificar a Manutenibilidade. Sabendo que ele resulta do tempo necessário para reparar o sistema e arranque, e do tempo dispendido com toda a logística, será então nessas áreas que terão de ser feitas melhorias.

2.2.4 Segurança

A Segurança pode ser definida como “o conjunto quer das medidas de protecção de pessoas e bens contra ameaças naturais ou provocadas, quer das formas de interacção e comunicação que resultem da aplicação dessas medidas” (Andrade, 2009).

A esta estão sempre associadas as noções de risco e perda. O risco é encarado como a combinação da possibilidade de ocorrer uma situação perigosa com a severidade das suas consequências. Como tal, planeamento da Segurança procura sempre identificar as situações potencialmente perigosas, agindo sobre o design ou alteração de procedimentos que conduzam à sua extinção. Tendo em conta que nenhum sistema é isento de falhas de segurança, existe a necessidade de classificar os tipos de risco, para se saber o nível de Segurança actual (Stapelberg, 2009). Eles são divididos em três categorias, as quais são encaradas de formas distintas:

- Risco intolerável:
Não é aceite em nenhuma circunstância. O risco implica a sua resolução imediata, com a inclusão de medidas que suprimam ou que reduzam a sua severidade.

- Risco tolerável:

É considerado aceitável, desde que possa ser obtido algum benefício e que o risco tenha sido reduzido tanto quanto possível. A dificuldade reside em medir objectivamente o benefício, se for necessário atribuir um custo a acidentes que resultem em danos físicos ou morte.

- Risco negligenciável:

São riscos muito pequenos que são quase considerados insignificantes, não necessitando de qualquer tipo de precauções.

A implementação de medidas que promovam a Segurança tem de ser vista como mais do que uma simples obrigação legal e ser encarada como uma obrigação ética e moral e uma mais-valia para qualquer empresa. Num mercado cada vez mais competitivo é necessário explorar qualquer factor que permita obter uma característica diferenciadora, pois todos os factores são importantes na escolha do cliente. Outro dos objectivos é o da diminuição de acidentes de trabalho, os quais implicam vários factores negativos, tais como: aumento do tempo de reparação e consequente aumento do tempo em que o sistema está indisponível, má reputação para a empresa, aplicação de coimas por incumprimento legal ou contratual, indisponibilidade temporária de trabalhadores e em casos extremos danos catastróficos ou mortes.

Assim, torna-se imperativo que sejam adoptadas as medidas exigidas por lei, mas que seja igualmente instituída uma política de melhoria contínua das condições de segurança, materiais e humanas.

2.3 O Ciclo RAMS

A realização de uma análise RAMS completa de um sistema implica considerar todos os seus componentes e factores, e perceber como eles se relacionam, tornando possível agir sobre eles para alcançar os objectivos definidos inicialmente. Considerando todas estas interações o correcto é encarar a implementação da RAMS como um ciclo (Smith, 2005) que pode ser visto na figura 4. Na parte superior estão representados as fases de especificação e viabilidade que conduzem à fase de engenharia conceptual e finalmente ao design.

Na fase de especificação devem ser incluídos os objectivos. Estes assumem um carácter de requisitos do projecto ou requisitos contratuais, os quais podem incluir a avaliação do design ou da performance. A vantagem de incluir requisitos contratuais é evitar que a introdução dos objectivos RAMS seja vista como perda de tempo ou capital, fazendo com que seja encarada sem motivação.

A metodologia RAMS é muito dinâmica, e como tal os objectivos podem ser alterados durante a fase de verificação de viabilidade, caso as previsões iniciais verifiquem que não podem ser alcançados, considerando o actual estado da arte. A próxima análise RAMS será assim iniciada com objectivos revistos, sujeitos a novas previsões. Os passos que definem esta análise, e os miniciclos associados, são os seguintes:

- Análise da comparação de exequibilidade RAMS do sistema com os objectivos iniciais (miniciclo 1).
- Análise da comparação das previsões RAMS de design conceptual com os objectivos RAMS (miniciclo 2).
- Análise da comparação do design detalhado com os objectivos RAMS (miniciclo 3)
- Análise da comparação dos testes RAMS, no final das fases de design e desenvolvimento, com os objectivos (miniciclo 4). Esta fase poderá permitir, de uma forma limitada, demonstrar os requisitos do projecto ou contracto.
- Análise dos resultados dos testes RAMS e conformidade com os objectivos (miniciclo 5). Estes são frequentemente realizados antes da entrega, mas a situação ideal realizar uma parte, ou até mesmo a totalidade, no terreno (miniciclo 6).
- Análise contínua da performance RAMS em serviço e sua comparação com os objectivos (miniciclos 7,6,8).

A diversidade e especificidade de projectos implica que nem sempre sejam executados todas estas análises, e seu grau de detalhe seja limitado pelas características do projecto.

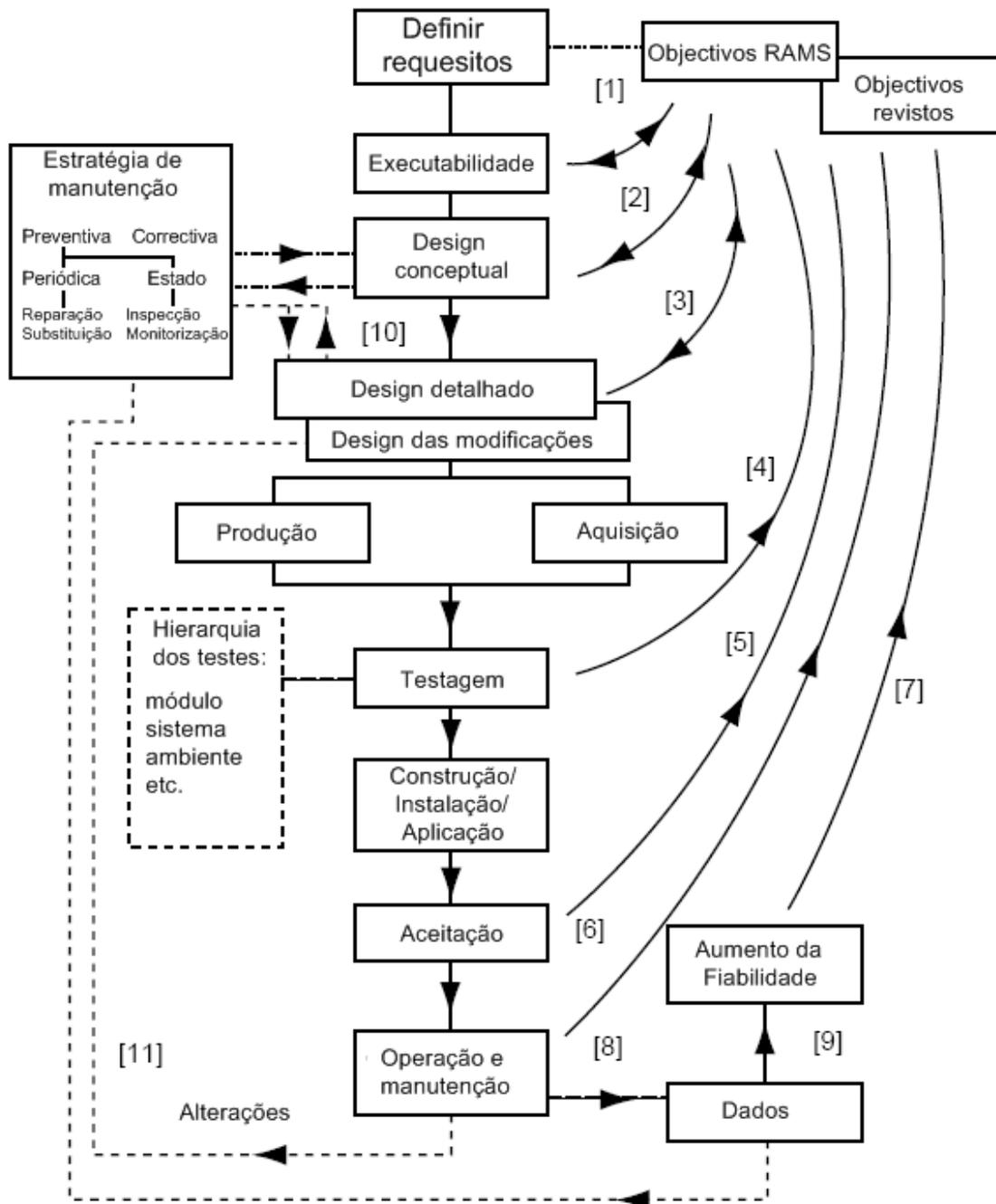


Figura 4 - Ciclo RAMS (fonte: Smith 2005)

O miniciclo [10] indica que as necessidades da manutenção devem ser consideradas na fase de design, para que se reflectam nas previsões RAMS. Isto só evidencia o forte impacto que a estratégia de manutenção, e todos os aspectos associados à Manutenibilidade, têm na Fiabilidade e Disponibilidade.

Outro facto importante, é verificar a importância dos dados recolhidos (miniciclo 8), que fornecem um feedback necessário para a melhoria da estratégia de manutenção (miniciclo 11) e aumento da Fiabilidade (miniciclo 9).

Considerando os objectivos do presente estudo, poderá ser feita uma aproximação da relação entre os factores RAMS com recurso à norma EN 50126. A figura 5 representa uma visão simplista da hierarquia dos factores RAMS, mas muito útil para identificar rapidamente qual está a afectar os objectivos.

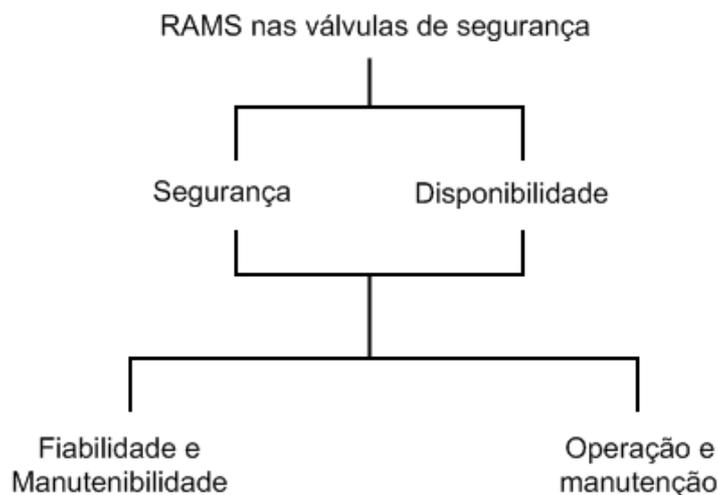


Figura 5 - Hierarquia factores RAMS (adaptado de: EN 50126)

Através da sua análise percebe-se que a Disponibilidade e Segurança dependem de serem cumpridos os requisitos de Manutenibilidade e Fiabilidade, e controlar as actividades de manutenção e operação do sistema. As escolhas efectuadas para uma melhoria de qualquer um deles, vai ter uma vertente económica. Para determinar o seu valor, é necessário introduzir o conceito de custo de ciclo de vida (*Life Cycle Cost – LLC*).

O LCC irá depender essencialmente de duas componentes: aquisição e manutenção, os quais são compostos por um conjunto de parcelas de custo que podem ser agrupados em categorias de custo, tal como pode ser observado na tabela 2. Uma parcela de custo corresponde ao menor custo calculado ou estimado como uma entidade única, sendo que a sua quantidade depende da fase do processo de engenharia na qual os cálculos são realizados. A observação da tabela 2 permite ver as diferentes parcelas, ordenadas por ordem cronológica, que resultam de todo o trabalho associado ao design, produção, instalação, comissionamento, operação e manutenção ao longo da vida do equipamento (Stapelberg, 2009).

Fases do ciclo de vida	Categorias
Exequibilidade/Conceptualização Desing preliminar e de detalhe	Custos de Especificação
Construção/Fabricação Aquisição/Instalação Comissionamento/Garantia	Custos de Fundação
Operação/Utilização Manutenção/Modificação Renovação/Reabilitação	Custos de Utilização
Descomissionamento Dispensa/Abate/Demolição	Custos de Abate

Tabela 2 - Custos associados ao LCC (fonte: Stapelberg)

A equação 5 permite calcular o custo do ciclo de vida associado ao sistema, considerando as categorias de custo presentes na tabela 2.

$$\mathbf{LCC = C_E + C_F + C_U + C_A} \quad (5)$$

C_E – custos de especificação

C_F – custos de fundação

C_U – custos de utilização

C_A – custos de abate

2.4 Métodos e Técnicas para uma Implementação RAMS

2.4.1 Introdução aos métodos e técnicas

A implementação da RAMS na componente de Manutenibilidade necessita de métodos e técnicas que permitam a sua correcta introdução. Serão escolhidos métodos e técnicas utilizados igualmente em análises de Fiabilidade e Qualidade, que mostraram também bons resultados quando aplicados na melhoria da Manutenibilidade. Deste modo serão considerados diagramas de causa-efeito, métodos de falha, efeitos e análises de criticidade (FMECA); árvores de análise de falhas; e gestão total de qualidade.

Será abordado também a melhoria do design numa perspectiva da engenharia que permita obter vantagens, tal como um melhor desempenho em serviço ou design que permita uma desmontagem mais rápida. Este método exige que se considere todos os eventos que ocorram com o equipamento durante o seu ciclo de vida, para que seja possível ter um registo preciso passível de ser consultado sempre que seja necessário. Torna-se necessário ter um planeamento que seja eficaz e que permita contabilizar todos os pormenores relacionados com a especificação da manutenibilidade, tais como a sua avaliação e características. Alguns desses pormenores dependem de outros detalhes, tais como a capacidade de permutabilidade, normalização, modelização, acessibilidade, testagem e verificação, factores humanos e segurança (Dhillon, 1999).

2.4.2 Diagramas causa-efeito

Esta é uma ferramenta bastante útil e a sua utilização depende apenas de até onde se pretende alcançar na exploração de um acontecimento. Este diagrama é também conhecido como o diagrama de Ishikawa, o seu autor, ou por diagrama “Espinha-de-Peixe” pelo seu formato. Este foi usado a primeira vez por Ishikawa em 1943 para ajudar a explicar a um grupo de engenheiros da Kawasaki Steel Works como um conjunto complexo de factores podia ser relacionado para ajudar a compreender a causa de um problema.

Com este diagrama é possível estruturar hierarquicamente as causas de determinado problema ou hipótese de melhoria. Permite também obter uma representação gráfica e sucinta da resposta de um sistema a diferentes combinações de eventos que ocorram.

Outros dos nomes pelo qual é conhecido este diagrama é associado ao tipo de utilização que está a ser feita e aos respectivos factores estudados:

- Diagrama 6M numa vertente de produção, (Materiais, Mão-de-obra, Métodos, Máquinas, Medidas e Meio-ambiente);

- Diagrama 8P numa vertente de serviços industriais, (Pessoas, Produto/Preço do serviço, Promoção, Políticas, Processos, Procedimentos e Local/Fábrica/Tecnologia).

A criação de um diagrama causa e efeito e a sua utilização compreende alguns passos essenciais, sendo eles:

- Reunir as pessoas e identificar o claramente problema ou efeito a ser analisado/estudado;
- Colocar um quadro branco num local em que seja visível por todos e escrever o nosso problema ou efeito no lado direito do diagrama com uma espinha horizontal;
- Fazer uma sessão de troca de ideias (brainstorming) e utilizar as categorias dos diagramas 6M ou 8P para identificar as que serão utilizadas nos ramos principais;
- Identificar as causas principais e colocá-las no ramo adequado. Estas irão identificar os sub-ramos;
- Continuar com este processo, fazendo interrogações pertinentes tal como “O que causou isto?”ou “Isto está assim porquê?” até ser atingido o nível de pormenor/precisão desejado com a identificação de novas causas.
- Analisar bem o digrama;
- Actuar com base no diagrama, tentando suprimir as causas do problema.

Esta é uma ferramenta bastante útil com vários pontos fortes:

- Promove a discussão em grupo permitindo utilizar o conhecimento do grupo como um todo.
- Auxilia a descobrir e considerar todas as causas possíveis do problema.
- Recorre a uma representação gráfica, passível de ser lida e compreendida rapidamente, que mostra todas as relações causa e efeito;
- Permite identificar áreas que carecem de informação necessária para o estudo.

Convém no entanto ter em conta as suas desvantagens ou limitações:

- Não é apropriado para problemas de elevado grau de complexidade, nos quais exista uma grande interligação entre várias causas e problemas.

2.4.3 Modos de falha, efeitos e análise de criticidade (FMECA)

Este é um método que avalia a severidade do efeito da falha e a sua probabilidade de ocorrência num sistema e no seu equipamento, sendo atribuídas prioridades aos modos de falha. Cada falha potencial é classificada de acordo com o seu impacto na missão, sistema e segurança do equipamento e pessoal (Borgovini, 1993). O FMECA permite:

- Determinar o efeito de cada falha no desempenho do sistema;
- Identificar as causas de falha principais e criar o plano de prevenção adequado;
- Ajudar a desenvolver métodos de teste e técnicas para resolver os problemas;
- Pesquisar alternativas ao design actual considerando alta fiabilidade na fase conceptual do design;
- Obter bases para análises qualitativas de fiabilidade, manutenibilidade, segurança e logística.

O FMECA é constituído por duas partes: FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) e CA (Criticality Analysis).

Torna-se assim óbvio que no processo de análise FMECA a primeira análise a ser feita é a FMEA. Esta de ser integrada inicialmente no projecto de design relativo ao tipo de montagem funcional do sistema e actualizada sempre que se verifique alguma alteração no design. Esta deve ser utilizada para avaliar os componentes de alto risco e todas as acções desenvolvidas para proporcionarem medidas correctivas. Os passos para realizar o FMEA são:

- Definição e compreensão do sistema. Isto inclui identificar com clareza a missão e/ou operação e/ou componentes do sistema.
- Construção do diagrama de blocos da funcionalidade e fiabilidade, que ilustrem todas as relações e dependências entre os elementos funcionais do sistema considerando cada configuração possível dos componentes envolvidos no seu funcionamento.
- Identificar todos os potenciais modos de falha dos componentes e o consequente efeito no sistema, missão ou componentes.
- Classificar cada modo de falha consoante o grau de consequências no qual o mesmo pode resultar, e atribuir-lhe uma classificação em termos de severidade.

Categoria I – Catastrófica – Falha que resulte em morte ou perda total do sistema;

Categoria II – Crítica – Falha que provoque danos graves na integridade física de pessoas, em património, ou no sistema.

Categoria III – Marginal - Falha que provoque danos leves na integridade física de pessoas, em património, ou no sistema que resulte em perda de disponibilidade ou atrasos.

Categoria IV – Menor – Falha que não provoca danos mas que implica a necessidade de acções de manutenção não planeadas.

- Determinar os métodos de detecção de falhas.
- Identificar as alterações de design e as outras medidas necessárias para eliminar a falha ou controlar o risco.
- Verificar as consequências das medidas correctivas adoptadas.
- Criar uma base de dados com todas as análises documentadas, com resumos dos problemas que não foram resolvidos pelo design e uma lista de acções de controlo necessárias para a redução do risco de falha.

No final de todo este processo é necessário realizar a análise CA, da qual resulta o relatório correspondente ao FMECA. Neste serão documentados todos os resultados obtidos, o tipo de análises feitas, resumos dos resultados, fontes de informação e técnicas usadas na análise. Inclui ainda a descrição detalhada do sistema, a informação resultante da análise e fichas de trabalhos.

Numa análise FMECA da manutenibilidade o objectivo é definir, o mais cedo possível, critérios para: análise do plano de manutenção (APM), análise do suporte logístico (ASL), planeamento de testes, requisitos de inspecções e verificações, e identificação das acções correctivas necessárias às características de design (*MIL-STD-1629A*).

2.5 Árvore de análise de falhas

A Árvore de análise de Falhas (Fail Tree Analysis – FTA) é uma ferramenta que foi desenvolvida por H. A. Watson dos Bell Telephone Laboratories durante o estudo do Sistema de Controlo de Lançamento Minuteman, no âmbito de um contracto com a Força Aérea Americana em 1961. A obtenção de bons resultados fez com que fosse adoptado por Dave Haasl, da Boeing Company, para analisar todo o Sistema de Lançamento Minuteman. Em 1965 é organizada a 1ª Conferência de Segurança em Sistemas organizada conjuntamente entre a Boeing e a Universidade de Washington, na qual foram apresentados vários artigos sobre FTA, dando uma maior visibilidade ao método que assim despertou o interesse de várias entidades mundiais.

Este é um método baseado na ideia de transpor para uma representação visual e um modelo lógico o comportamento da falha de um sistema físico (Ericson, 1999). O resultado é

um modelo visual que expressa eficazmente as relações do sistema e os caminhos críticos das causas de falha. O modelo usa como bases a teoria da Fiabilidade, álgebra Boleana e teoria de probabilidades. Estas permitem que o modelo seja avaliado de uma forma qualitativa e quantitativa, as quais são feitas recorrendo a um conjunto de regras e símbolos simples (blocos funcionais).

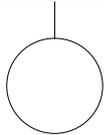
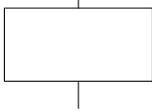
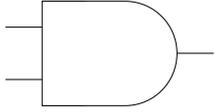
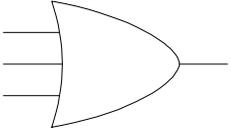
Símbolo	Descrição
	Círculo - representa uma falha básica ou a falta de um componente elementar.
	Rectângulo – representa uma falha que resulta da combinação de outras falhas com recurso a um bloco lógico.
	Bloco lógico AND
	Bloco lógico OR

Tabela 3 - Símbolos utilizados na árvore de análise de falhas

A utilização deste método implica numa primeira fase definir todos os eventos/estados indesejados do sistema ou objecto do estudo. Seguidamente faz-se uma análise do sistema com o intuito de descobrir e caracterizar todas as situações que possam resultar na ocorrência de um evento/estado indesejável. O resultado é um diagrama que expressa com clareza as causas de falha possíveis associadas ao sistema e as possíveis relações entre elas.

O passo final é introduzir no diagrama as probabilidades das falhas associadas a cada bloco funcional, tendo em conta:

- Bloco AND

$$P(Y_0) = \prod_{i=1}^n \{P(Y_i)\} \quad i = 1, 2, 3 \dots n \quad (6)$$

$P(Y_0)$ - probabilidade de ocorrência da falha de saída

$P(Y_i)$ - probabilidade de ocorrência da falha de entrada i

- Bloco OR

$$P(E_o) = 1 - \prod_{i=1}^n \{1 - P(E_i)\} \quad i = 1, 2, 3 \dots n \quad (7)$$

$P(E_o)$ - probabilidade de ocorrência da falha de saída

$P(E_i)$ - probabilidade de ocorrência da falha de entrada i

A definição total do diagrama fica dependente de serem conhecidas as probabilidades associadas a cada falha. Tal só é possível se for instaurada uma política para que sejam recolhidos e documentados dados relativos às falhas ou à falta delas, sendo assim constituída uma base de dados para estudos futuros (Wang, 1999).

2.6 Gestão total de qualidade

A Gestão Total de Qualidade (Total Quality Management - TQM) é um processo que procura assegurar que um determinado produto ou serviço “é de qualidade”. O primeiro obstáculo passa então por se fazer a pergunta: “O que é a qualidade?”.

Existem algumas definições tais como:

- A totalidade de qualidades e características de um produto ou serviço que atestam a sua capacidade de satisfazer necessidade verificadas ou implícitas (BS4778:1987).
- Grau para o qual um conjunto de características inerentes satisfaz os requisitos (ISO EN 9000:2000).
- “O produto e as características de serviço de marketing, engenharia, produção e manutenção segundo as quais o produto e serviço em uso cumprirão as expectativas do cliente” (Feigenbaum, 2004).

Segundo Oakland (2004) a qualidade pode ser então simplesmente definida como “satisfazer as necessidades dos clientes”. Isto significa que é importante conhecer bem o cliente, saber exactamente o que ele pretende e criar uma solução que lhe permita ter o que quer. Em termos de manutenibilidade, por exemplo, é importante saber a que aspectos o cliente dá mais importância: se quer o plano que é mais económico, se quer um plano que lhe proporcione os tempos de paragem mais curtos possíveis ou por outro lado um plano que dê a maior fiabilidade possível.

Isto é importante saber pois, embora o objectivo seja conseguir melhorar todos esses aspectos, quando for necessário tomar decisões é necessário que os responsáveis pela

elaboração do plano manutenção saibam qual o seu principal objectivo e as restrições impostas pelas condições do cliente.

A oferta de um serviço ou produto que o cliente reconhece como “ser de qualidade” tem como principal vantagem conseguir a satisfação do cliente sendo assim mais fácil obter a “fidelidade do cliente” (Oakland, 2004). Este é um factor que torna importante pois segundo Griffin (1997) manter um cliente é mais barato do que conquistar novos. Um cliente satisfeito, habituado a um serviço com qualidade, lida melhor com eventuais falhas pois tem confiança no prestador de serviços, reconhece as suas aptidões e acredita na sua capacidade de rectificar a falha. Tudo isto faz com que a reputação da empresa aumente, promovendo a angariação de novos clientes.

O recurso à TQM visa essencialmente dois aspectos: uma melhoria contínua dos processos/produto e a satisfação do cliente. Segundo a ISO 9000:2005 estão definidos oito princípios para uma melhoria da gestão da qualidade:

- Focar a atenção no cliente
- Liderança
- Envolver as pessoas
- Analisar o processo
- Abordar o sistema numa perspectiva de gestão
- Melhoria contínua
- Abordagem factual à tomada de decisões
- Manter relações mutuamente benéficas com os fornecedores.

A implementação da TQM pode ser feita seguindo a metodologia expressa na figura 6 (Dhillon, 1999):

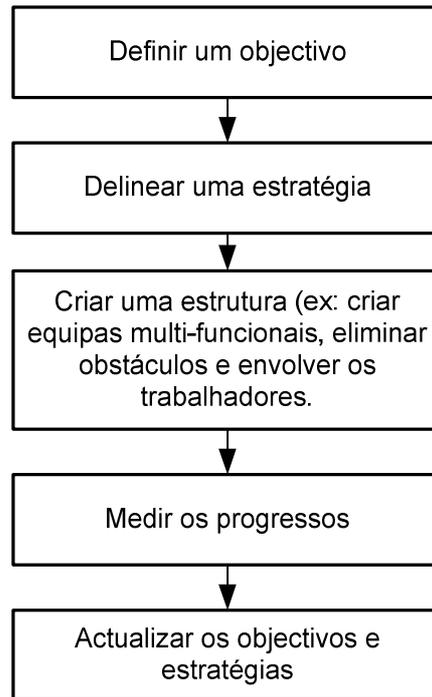


Figura 6 - Passos para implementar TQM

Estes passos, apesar de parecerem simples, não são fáceis de executar e são várias as organizações que encontram dificuldades na sua execução. Uma correcta e eficaz implementação da TQM obriga a que sejam assumidos vários compromissos entre todas as estruturas e pessoas envolvidas. É necessário que exista, por parte dos engenheiros responsáveis, a delegação de autoridade para tomar decisões a pessoas mais abaixo na hierarquia; sejam disponibilizados recursos para formação pessoal; exista um diálogo claro e constante entre todos os níveis organizacionais que permita ter um rápido feedback de todos os intervenientes.

2.7 Factores de Design

A Manutenibilidade de um sistema/componente é amplamente afectada pelo seu design, pelo que se torna necessário introduzir esta preocupação desde o início do seu desenvolvimento. Assim, é necessário tentar encontrar desde logo um equilíbrio entre os requisitos exigidos pelos projectistas e as necessidades do cliente/utilizador.

A necessidade de se ter esta preocupação logo na fase inicial de desenvolvimento do sistema deriva do facto de se considerar que os custos inerentes à manutenção são amortizados durante o ciclo de vida do sistema (NASA TM 4628A).

A preocupação de ser introduzida logo na fase inicial de desenvolvimento esta filosofia de design, orientada também para a Manutenibilidade, surge pelo facto de quanto mais tardia a sua introdução, maiores serão os custos para a alteração do design e mais dispendiosa será a própria manutenção, tal como pode ser observado figura 7. Isto acontece porque quanto mais avançada for a fase do projecto, menor será a sua flexibilidade, tornando assim mais dispendiosas todas as alterações no design.



Figura 7 - Capacidade de manobra vs custo de aplicação dos princípios de Manutenibilidade (fonte: NASA TM4628A)

Existem vários factores que podem ser considerados durante uma análise do design. Seguidamente estão presentes os mais referenciados de acordo com o DoD (1976):

- Acessibilidade
- Pontos de teste/verificação
- Comandos
- Etiquetagem
- Mostradores
- Manuais e listas de tarefas
- Equipamento de testes
- Ferramentas
- Conexões
- Invólucros, tampas e portas
- Montagem e sistema de aperto
- Manivelas
- Factores de segurança

Esta é uma lista com muitos factores, mas a necessidade de melhorar cada vez mais fez com que fosse necessário alargar o leque de factores analisados. De acordo com Dhillon (1981) é necessário incluir ainda factores como:

- Permutabilidade
- Normalização
- Modularização
- Lubrificação
- Local de trabalho
- Número de operários necessários
- Peso
- Iluminação
- Cablagem

Estes factores todos formam uma lista muito extensa e têm de ser feitas várias análises e considerar várias hipóteses, mas é necessário ter em conta que numa filosofia de melhoria contínua se torna essencial analisar qualquer factor passível de ser melhorado e que permita atingir o objectivo pretendido. Na tabela seguinte podem ser vistos algumas das características de design que são melhoradas e os respectivos benefícios para o projectista e o cliente:

Características de Design Melhoradas	Benefícios para a Manutenibilidade
Facilidade de acesso aos componentes	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do custo e tempo de manutenção - Aumento da Disponibilidade do sistema - Redução da fadiga e acidentes dos técnicos
Ajustes mínimos ou inexistentes	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do custo e tempo de manutenção - Aumento da Disponibilidade do sistema - Redução da curva de aprendizagem da manutenção
Componentes de rápida e fácil substituição	<ul style="list-style-type: none"> - Redução da fadiga e acidentes dos técnicos - Aumento da Disponibilidade do sistema - Melhoria da identificação do problema
Á prova de erro, o componente só instala de uma forma	<ul style="list-style-type: none"> - Redução da probabilidade de ocorrer dano na peça ou sistema - Melhoria da Fiabilidade - Redução da curva de aprendizagem da manutenção
Sistemas de teste previamente montados ou indicadores/mostradores que permitam ver rapidamente as falhas	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do custo e tempo de manutenção - Aumento da Disponibilidade do sistema - Melhoria da satisfação do cliente
Pouca ou nenhuma necessidade de ferramentas especiais	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do investimento na manutenção - Melhoria da satisfação do cliente - Redução do inventário de ferramentas
Meios de aperto normalizados	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do stock de peças sobresselentes - Redução do custo do produto - Redução do custo e tempo de manutenção
Redução de componentes na montagem final	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do custo do produto - Melhoria da Fiabilidade - Redução do stock de peças sobresselentes

Tabela 4 - Relação entre características de design e benefícios (adaptado de RIAC)

Como se pode verificar na tabela 4, é possível obter vários benefícios de diversas formas. No entanto, tendo em conta o intuito de se ter uma melhoria da Manutenibilidade nas válvulas de segurança, existem alguns factores do design que poderão ser muito difíceis ou

impossíveis de modificar, pois muitas vezes são solicitadas manutenções de sistemas que já estão instalados há alguns anos ou por vezes não existe a possibilidade de ter parcerias com os construtores tornando assim inviáveis quaisquer tentativas de serem feitas alterações ao sistema durante o seu projecto. Será assim interessante analisar um pouco melhor alguns dos factores que poderão ser modificados, descrevendo uma metodologia que promova a sua melhoria.

2.7.1 Acessibilidade

Começamos pela primeira necessidade numa acção de manutenção: aceder ao sistema. A questão da acessibilidade é considerada segundo o DoD (1976) como uma das principais causas de aumento do tempo dispendido numa acção de manutenção.

As causas para esta situação são várias, tais como: localização do sistema e meio ambiente onde está inserido, falta de visibilidade dos técnicos para realizar as tarefas, os tipos de tarefas de manutenção que devem ser feitas, o perigo associado à utilização dos acessos, o vestuário utilizado pelos técnicos, as ferramentas e acessórios necessários à realização das tarefas e inexistência de espaço suficiente para realizar as tarefas.

2.7.2 Permutabilidade

A capacidade de poder utilizar as mesmas peças nos vários sistemas tem várias vantagens que beneficiam a Manutenibilidade, tais como: reduz o stock de peças sobresselentes, permite uma maior familiarização por parte dos técnicos (o que diminui os tempos de operação) e permite criar uma base de dados mais precisas. Esta última é conseguida pelo facto de estarem em serviço diversas peças iguais, o que permite recolher dados sobre a mesma peça em condições iguais ou variadas. Isto só será possível se durante as acções de manutenção forem feitos com precisão os relatórios sobre as condições em que se encontram as peças.

A permutabilidade é uma característica que tem de ser estudada desde o início quando se pensa nos vários sistemas que irão trabalhar em conjunto, no entanto existem alguns tipos de fábrica nos quais é difícil de implementar devido à especificidade dos equipamentos utilizados.

Um dos riscos associados com a permutabilidade é a utilização de um componente específico, o que pode levar a tornar-se dependente de um fabricante e em caso de ruptura de stock não poder reparar nenhum sistema. Outro é o facto de ser necessário garantir que todas as peças são bem identificadas, para garantir que não são utilizadas noutra aplicação.

2.7.3 Normalização

A normalização é um dos principais objectivos no design segundo Rigby (1961). A falta desta pode resultar numa fiabilidade mais baixa e uma maior necessidade de manutenção. A utilização de componentes normalizados permite uma maior uniformidade no design do produto, e diminui o número de componentes diferentes num sistema. Esta é uma característica que apresenta as seguintes vantagens:

- Redução dos custos de fabrico
- Redução dos custos e tempo de manutenção
- Aumenta a fiabilidade
- Redução do risco de utilizar os componentes errados
- Redução do stock
- Maior compatibilidade com componentes de outro fabricante.

2.7.4 Mostradores e medidores

A existência de mostradores nos sistemas reduz o tempo de diagnóstico e permite verificar o correcto funcionamento do sistema sem o parar (Smith 2005). O melhor será optar por um tipo de mostrador que dê uma indicação do tipo “apto ou não apto”, permitindo assim que seja facilmente interpretado. Quando se trata de um sistema com múltiplos parâmetros a serem inspeccionados/medidos, pode-se recorrer a um mostrador único com um botão de selecção do parâmetro a ser verificado. Uma condição importante é a de colocar o mostrador num local que tenha boa visibilidade.

Em alguns sistemas podem ser colocados alarmes sonoros que atraiam de forma mais célere a atenção para o problema. Existe ainda a possibilidade de serem colocados sensores que transmitam a informação recolhida para uma central de comando, o que implica ter um sistema eficaz de comunicação e processamento de dados.

2.7.5 Segurança

A ideia de segurança não pode estar limitada ao conceito de serem cumpridas as normas e leis em vigor, pois muitas vezes estas limitam-se apenas aos equipamentos e instalações durante a fase de construção ou montagem. É fundamental criar as condições necessárias para que sejam feitas as inspecções ou manutenções sem que exista risco de saúde para os técnicos.

Se numa primeira abordagem é óbvio que a falta segurança pode levar à ocorrência de acidentes, é interessante também verificar que uma sensação de insegurança por parte do técnico faz com que este demore mais tempo a desempenhar uma tarefa pois não está concentrado unicamente na sua tarefa. Isto conduz a uma quebra de produtividade e a uma desmotivação do técnico.

2.8 Factores humanos na Manutenibilidade

A influência de factores humanos está presente em todas as actividades. Esta tanto pode ser benéfica, como prejudicial ou então impor limitações.

Os primeiros estudos do impacto dos factores humanos são atribuídos a Frederick W. Taylor (1911), quando efectuou vários estudos para determinar o melhor desenho de pás para cavar. Este foi o primeiro passo, mas foi só na 2ª Guerra Mundial que foram feitos estudos e análises da influência destes factores na Manutenibilidade (Chapanis, 1965).

Neste período verificou-se que existia uma grande relação entre o desempenho dos equipamentos militares e os homens que os operavam e faziam a sua manutenção. Verificou-se que equipas de homens com a mesma organização e os mesmos equipamentos, tinham desempenhos por vezes muito diferentes. O Exército concluiu a partir desta observação que era necessário incluir no projecto dos seus equipamentos esta preocupação (Dhillon, 1999).

2.8.1 Comportamento humano típico

Sabendo que o comportamento humano pode influenciar o desempenho dos sistemas, foram feitos estudos para saber quais os tipos de acções tomadas por uma pessoa quando colocada em determinadas situações (Woodson, 1981). Têm de ser consideradas as capacidades, a força e o tamanho das pessoas e incluir esses factores na fase de design. O objectivo será o de tentar minimizar as situações nas quais possa ocorrer erro humano. Para

tal deverão ser incorporadas medida que impossibilitem uma montagem incorrecta dos sistemas, desenhar o equipamento de modo que seja possível efectuar as operações necessários no local onde está inserido e tentar reduzir o número de acções de manutenção.

Segundo o mesmo autor, deve ser tido em conta que as pessoas têm tendência para:

- Ler de forma incorrecta ou ignorar as instruções ou etiquetas;
- Usar as mãos para testar e examinar;
- Serem desleixadas quando manuseiam elementos perigosos durante muito tempo e sem problemas;
- Executar tarefas enquanto pensam noutras coisas;
- Serem impacientes e agirem sem pensarem no que vão fazer;
- Assumir que os controlos (interruptores, manivelas, etc) funcionam sempre da mesma forma;
- Avaliar mal as distâncias e as dimensões do local de trabalho;
- Não confirmar se a tarefa foi bem executada;
- Desviar a atenção para sons altos, luzes a piscar e luzes brilhantes;
- Reagir de forma inadequada em caso de emergência;
- Não admitir que erraram;
- Assumir que um objecto que é pequeno pode ser levantado facilmente;
- Não terem noção dos seus limites físicos.

2.8.2 Sentidos

As pessoas relacionam-se com o meio onde estão recorrendo às suas capacidades sensoriais: visão, audição, tacto, olfacto e paladar. Este último não será importante nesta abordagem, mas os restantes devem ser explorados, pois serão estes os utilizados pelos técnicos de manutenção. Convém então definir quais os pontos fortes e fracos de cada sentido, como tirar o máximo proveito deles e saber as situações a evitar.

2.8.3 Visão

A visão desempenha um papel importante durante as acções de manutenção pois é necessário que o trabalhador consiga ter uma percepção visual do meio que o rodeia, para poder manusear todo o equipamento e ter noção dos perigos que o rodeiam.

A visão consiste em todo o processo de ver algo, desde que os olhos captam a luz até ao momento em que esses impulsos são recepcionados e interpretados no cérebro. O olho humano apenas consegue ver dentro do espectro visível, que se situa entre os 400 (nm) e os 700 (nm) do espectro electromagnético. Este mecanismo de funcionamento faz com que o olho humano seja sensível à luz amarela esverdeada e veja de forma diferente consoante o ângulo de observação. Isto faz com que ocorram situações que devem ser tidas em conta:

- Quando olha em frente, o olho humano consegue distinguir todas as cores, mas quando aumenta o ângulo de observação, deixa de conseguir distinguir com precisão algumas cores.
- Em locais mal iluminados ou à noite, pode não ser possível determinar a cor de uma pequena fonte de luz. Algumas poderão mesmo aparentar serem brancas.
- O desviar rapidamente o olhar enquanto observa uma luz vermelha ou verde, pode enganar o cérebro fazendo se tenha a noção errada da cor observada.

2.8.4 Tacto

O tacto serve como um complemento muito importante da visão. Em muitos trabalhos de manutenção é usual o trabalhador usar as mãos para detectar falhas ou relevos que são imperceptíveis à visão. O estudo feito por Lederman (1978) indica que a sensibilidade aumenta se for colocada uma folha de papel ou um pano fino entre o dedo e a superfície a ser analisada.

Em alguns casos verifica-se que os operadores de alguns equipamentos não olham para os manípulos de controlo, recorrendo apenas ao tacto para escolher o acertado. Isto é vantajoso pois torna a tarefa mais célere, no entanto poderá ser perigoso se o operário confiar apenas no seu tacto, pois poderá accionar o controlo errado.

2.8.5 Audição

A audição é outro dos factores muito importantes a ser considerado, especialmente no caso de trabalhos em instalações industriais, pois estes ambientes são quase sempre muito ruidosos. Isto levanta vários problemas, tal como poder inviabilizar a comunicação entre

trabalhadores, perturbar o nível de concentração, causar danos a nível auditivo ou provocar stress (EWCS, 2005). Para que sejam evitadas estas situações devem ser tomadas algumas precauções:

- Equipar os trabalhadores com protectores auriculares quando necessário (consultar a Directiva 2003/10/EC).
- Em locais que seja necessário comunicar e não se consiga ouvir bem, equipar os trabalhadores com intercomunicadores.
- Desenhar os equipamentos para que seja reduzido o ruído, usar silenciadores e outras técnicas redutoras de ruído nos locais que seja necessária intervenção humana.

2.8.6 Olfacto

Este é um factor pouco importante para desempenhar funções de manutenção. Este pode ser utilizado se o trabalhador conseguir detectar por exemplo uma fuga de gás através do cheiro. No entanto não é um sistema fiável e não deve ser usado como sistema de alarme em caso algum. O problema pode ser a sensibilidade de cada um, e no caso de pessoas mais sensíveis, ser necessário utilizar uma máscara para evitar enjoos.

Esta recomendação nada tem a ver com a necessidade de usar máscaras específicas em ambientes com atmosferas perigosas, pois essas servem para proteger os trabalhadores de danos físicos.

2.9 Distribuição de Weibull

A última metodologia a ser abordada é a da distribuição de Probabilidade Weibull. Esta permite definir/atribuir modelos matemáticos que representam/simulam problemas reais.

A grande vantagem deste método é a sua capacidade de adaptação para a análise de diferentes casos (Murthy et. al, 2004), tão distintos como: o crescimento de árvores, custo de seguros, velocidade do vento ou fiabilidade de um componente.

Outra das vantagens é a possibilidade de a modelação inicial do problema poder ser feita com poucos dados, sendo posteriormente o modelo afinado com dados obtidos experimentalmente. Nestes casos os dados iniciais são definidos com base na experiência existente sobre o objecto de estudo.

A função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull de três parâmetros é dada por:

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \left[\frac{t-t_0}{\beta} \right]^{\alpha-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-t_0}{\beta}\right)^\alpha} \quad (8)$$

t_0 - Parâmetro de localização: corresponde ao menor valor assumido por t (por exemplo, no caso de modos de falha que tenham como causa o desgaste ou a fadiga, a falha só poderá ocorrer após algum tempo de funcionamento – caso de um rolamento, por ex.);

α - Parâmetro de forma: traduz o mecanismo de degradação;

β - Parâmetro de escala: valor característico (ou vida característica).

Existe também uma variante desta função, a distribuição de Weibull de dois parâmetros, onde são considerados apenas α e β . Esta pode ser aplicada quando se estuda um sistema, pois constata-se frequentemente que é aceitável considerar-se $t_0 = 0$.

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \left[\frac{t}{\beta} \right]^{\alpha-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (9)$$

A integração da equação 8 entre t_0 e t permite obter a função acumulada de probabilidade de Weibull:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\beta}\right)^\alpha} \quad (10)$$

O mesmo pode ser feito para a equação 9, resultando em:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (11)$$

Considerando que está a ser feita uma descrição da distribuição de Weibull, como ferramenta para uma análise RAMS, esta será feita considerando a análise de sistemas. Como tal, no caso em estudo, o tempo representado na equação 11 por t , corresponde ao “tempo, ciclos de vida ou qualquer outra medida descritiva de duração de vida” (in Assis, 2004).

Tendo em conta as diferentes aplicações que pode ter, é necessário referir que existem diferentes modelos da distribuição de Weibull, estando a sua escolha associada ao tipo de problemas que se pretende analisar.

O processo para utilizar a distribuição de Weibull pode ser dividido em cinco etapas (Murthy, 2004):

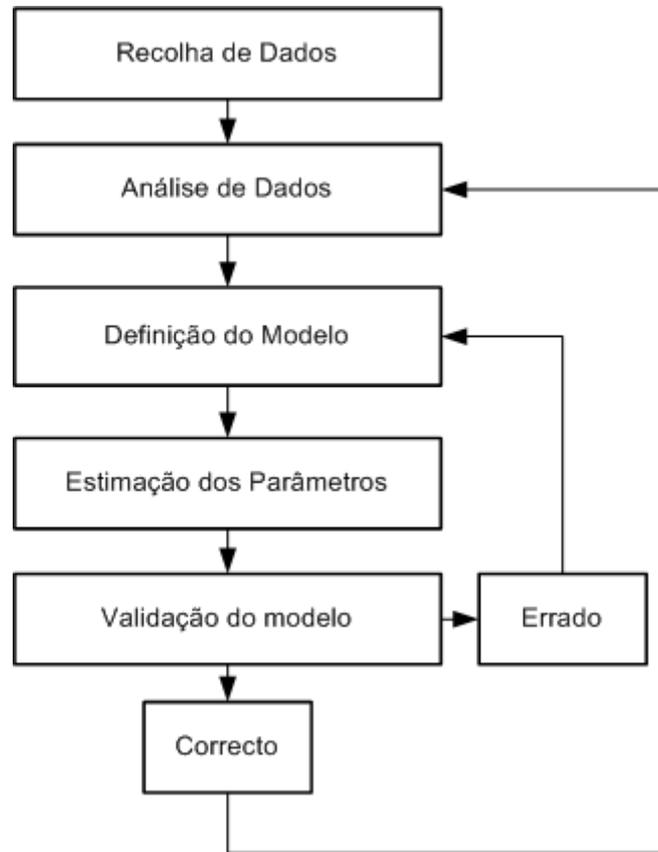


Figura 8- Diagrama de Weibull

1 – Recolha de dados:

Esta pode ser efectuada em laboratório ou no terreno. A primeira beneficia do facto dos dados serem obtidos num ambiente controlado. No entanto, em muitos casos apenas se podem obter dados no terreno, e por vezes existem situações que são difíceis de simular/reproduzir num laboratório. Os dados obtidos desta última forma poderão ser melhores, para que estes estejam influenciados por factores incontroláveis, característicos do sistema, que de outra forma não poderiam ser simulados.

Existe ainda o caso no qual não é possível recolher dados. Nomeadamente, no caso de um produto novo ou de um do qual não há registos. Neste caso terão de ser utilizados dados iniciais com base em sistemas semelhantes e usar a experiência pessoal.

Nota: Nesta etapa é necessário recolher o máximo de dados possíveis, tentando obter toda a informação necessária para o resto do processo.

2 – Análise dos dados

Nesta etapa, o primeiro passo é o tratamento estatístico dos dados recolhidos. Isto envolve determinar vários valores, tais como: máximo, mínimo, média, mediana e outros. É muito importante esta primeira abordagem, pois permite obter uma percepção global dos dados recolhidos. Se o intervalo de valores for muito pequeno ($=\max - \min$), poder-se-á eventualmente considerar apenas a média obtida, e como tal, optar por um modelo diferente.

3 – Definição do modelo

A definição do modelo é feita com base na análise da etapa anterior. Deve-se optar por um modelo que se adapte às características dos dados do sistema sobre o qual incide a análise. É nesta fase que se verifica também se a distribuição de Weibull é a mais adequada ou se será necessário utilizar outro tipo de distribuição (beta, binomial, logarítmica, normal, exponencial, etc.) (Stapelber, 2009).

Para uma escolha adequada do modelo a ser utilizado recomenda-se a leitura de Assis (2004) e Murthy (2004).

4 – Estimação dos parâmetros

Estando escolhido o método, o próximo passo é estimar os parâmetros que o modelo necessitar. Segundo Murthy (2004) existem várias técnicas que podem ser divididas essencialmente em duas categorias: a gráfica e a analítica. A primeira é adequada a uma primeira abordagem, mais grosseira, e a segunda permite obter resultados mais precisos e com limites de confiança mais elevados.

5 – Validação do modelo

No final do processo é necessário proceder-se a uma validação do modelo definido, fazendo-se uma verificação dos resultados obtidos após aplicação desse modelo. Caso se verifique que o modelo utilizado não produz resultados satisfatórios, isto pode ocorrer essencialmente por dois motivos: uma definição incorrecta do modelo; ou, caso o modelo seja adequado, por uma estimação errada dos parâmetros utilizados.

Este é um processo que, na maior parte dos casos, requer testes e dados adicionais.

Analisando as etapas definidas anteriormente, chega-se à conclusão que a aplicação da própria distribuição de Weibull tem uma filosofia semelhante à da análise RAMS, onde existe como que um ciclo fechado que leva a uma melhoria contínua, que neste caso origina resultados mais precisos.

3. Caso Prático

3.1 Introdução

O Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), que inicialmente se chamava Instituto de Soldadura, foi fundado em 1965, estando nessa altura vocacionado para o sector da construção soldada, uma tecnologia inovadora e crucial para o desenvolvimento da indústria portuguesa (www.isq.pt). Consciente das constantes evoluções tecnológicas nos diversos sectores da indústria e das respectivas necessidades das empresas, foi adoptada no início dos anos 80 uma estratégia de diversificação de serviços prestados, abrangendo outras áreas de interesse tais como o ambiente, a segurança, a metrologia, as inspecções de instalações e equipamentos eléctricos e de construção, e os ensaios de segurança de bens e equipamentos.

É no seguimento desta estratégia de diversificação que é criada em 1996 uma empresa do grupo, denominada MT – Integridade – Serviços de Manutenção e Integridade Estrutural, Lda. Esta desenvolve actividades nas áreas de manutenção industrial, reparação e fabricação de componentes metálicos e equipamentos. Beneficiando do facto de trabalhar conjuntamente com o ISQ, a Integridade conseguiu impor-se no mercado e conta na sua carteira de clientes com empresas da indústria petroquímica, da indústria de pasta de papel, indústria naval e outras.

A Integridade trabalha conjuntamente com o ISQ, existindo uma distribuição de competências: a Integridade é responsável por todo o processo de recolha/desmontagem de equipamento, reparação e montagem; o ISQ é responsável pela certificação dos equipamentos fazendo uso do seu estatuto de entidade certificadora reconhecida e autorizada pela União Europeia.

Uma das imagens de marca do ISQ é a constante inovação e procura de melhoria dos serviços fornecidos no âmbito da Segurança e Qualidade. Esta mentalidade é igualmente transmitida e inculcada nas restantes empresas do grupo.

3.2 Descrição da Válvula de Segurança

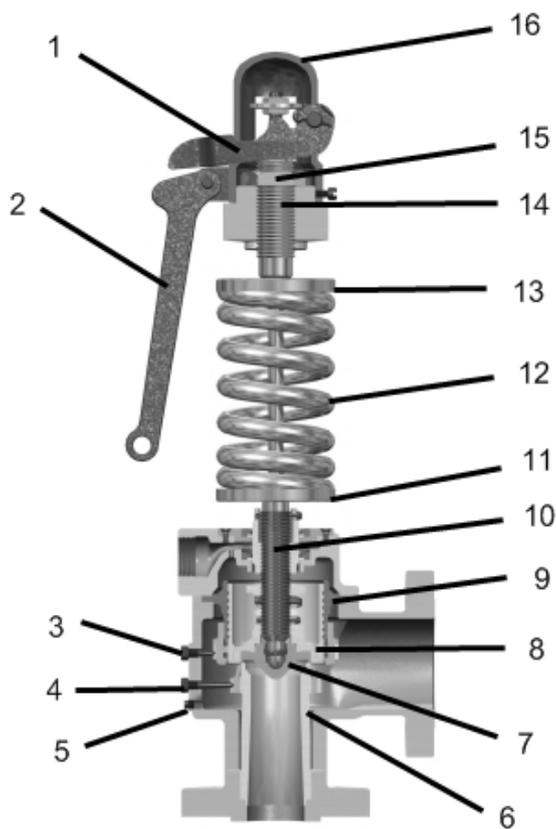
As válvulas de segurança são utilizadas para proteger sistemas pressurizados de excessos de pressão. O seu funcionamento é essencialmente automático, actuando quando sente um aumento de pressão no fluido, no entanto existem muitos modelos que podem ser actuados manualmente. Muitas vezes são designadas segundo os seus acrónimos: PRV (Pressure Relief Valve) ou PSV (Pressure Safety Valve).

A inclusão de válvulas de segurança numa instalação industrial visa proteger os outros sistemas, componentes e os funcionários ou outras pessoas. Para que este objectivo seja alcançado é necessário que a válvula desempenhe as seguintes funções:

- Suprima a condição de excesso de pressão
- Controle o volume do sistema.

As válvulas de segurança são utilizadas em todas as tubagens pressurizadas da instalação por serem um componente de segurança obrigatório sem os quais não se pode operar, pois uma variação de pressão inesperada pode levar à destruição total dos equipamentos e colocar pessoas em risco de vida. Este facto faz com que seja necessário garantir uma manutenção rápida e eficaz das válvulas de segurança para que o impacto negativo no funcionamento da instalação seja mínimo, tendo em conta que esta fica impedida de operar.

As válvulas de segurança podem apresentar ligeiras diferenças umas em relação às outras, mas o seu princípio de funcionamento é semelhantes. A válvula está desenhada para disparar durante uma emergência ou em condições anormais, para prevenir o aumento da pressão interna do fluido. Em alguns casos pode ser utilizada também para prevenir o vácuo interno excessivo (Malek, 2006). A pressão de disparo é definida com recurso a uma mola colocada entre dois batentes e a um perno de regulação (ver figura 9). A pressão de disparo é proporcional à força exercida pela mola, a qual depende da constante de rigidez da mola e da deformação desta representada na equação 12. Quando se verifica um aumento de pressão no fluido a pressão sobre o obturador também aumenta, fazendo-o subir, ou seja, dá-se o disparo da válvula e esta só fecha quando o fluido estiver à pressão para a qual a válvula está calibrada. O fluido que é libertado pode ser escoado por uma chaminé para a atmosfera, recolhido num depósito próprio caso seja perigoso para o ambiente ou pessoas, ou então em alguns casos volta para a linha de distribuição sendo utilizada uma válvula de segurança operada por piloto que tem uma configuração própria para esse efeito.



Número	Designação
1	Guilhotina
2	Braço de abertura manual
3	Perno de fixação do anel superior
4	Perno de fixação do anel inferior
5	Dreno
6	Sede
7	Obturador
8	Suporte do obturador
9	Guia do obturador
10	Haste
11	Batente inferior
12	Mola
13	Batente superior
14	Perno de regulação
15	Contra porca do perno de regulação
16	Capacete

Figura 9 – Esquema da válvula de segurança

$$F = -k.l \quad (12)$$

F – força aplicada na mola

k – constante de rigidez da mola

l – deformação da mola

3.3 Manutenção

O primeiro passo para efectuar a manutenção é retirar a válvula de segurança do local onde está. Para isso a equipa desloca-se até lá e usa os meios necessários para a retirar. O tipo de válvula, dimensões e localização implicam uma escolha adequada das ferramentas e métodos. Existem vários casos em que é necessária a utilização de grua para movimentar as válvulas, devido ao seu peso ou localização. A válvula é identificada com uma chapa numerada, sendo colocada outra chapa com o mesmo número na flange de onde foi retirada a válvula.

A válvula é transportada para a oficina onde é montada na bancada de ensaios e se efectua o primeiro disparo. Este serve para determinar a actual pressão a que a válvula abre, sendo este valor assinalado na ficha de reparação correspondente a esta válvula de segurança.

A válvula é desmontada, anotando na ficha de reparação o estado dos componentes e verifica-se quais os que necessitam de reparação ou substituição, sendo todos eles colocados numa caixa identificada com o mesmo número da chapa colocada. Todos os componentes que não necessitem de substituição são submetidos a uma beneficiação. Quando todos os componentes estão prontos, a válvula é montada, sendo utilizados os consumíveis adequados.

3.4 Certificação

A legislação Portuguesa e da União Europeia não especifica como o processo de certificação deve ser feito, mas é a União Europeia que determina quem são os certificadores autorizados (consultar directiva 97/23/EC). O ISQ é uma das entidades habilitadas para certificar válvulas de segurança e outros equipamentos sobre pressão (ESP).

Os engenheiros do ISQ executam o processo de certificação com base na norma API 527 que é aceite internacionalmente. Nesta estão definidos os métodos e parâmetros para a realização do teste de estanquicidade de válvulas de segurança e os critérios para a aprovação da válvula de segurança.

A válvula é colocada novamente na bancada e submetida aos testes. Se for aprovada é colocado o selo que comprova a sua certificação e que serve também como garantia para verificar numa próxima inspecção se a válvula foi aberta ou não. O responsável pela certificação preenche um certificado que será entregue aos proprietários da válvula, juntamente com a ficha de reparação, sendo que esta conterà todos os dados registados no teste.

3.5 Metodologia

A análise RAMS de um sistema implica que sejam considerados todos os parâmetros que estão envolvidos nas suas componentes. Uma análise simultânea das quatro vertentes que a compõe é uma análise demasiado exaustiva para ser feita no âmbito deste estudo. Como tal será feita uma análise RAMS de válvulas de segurança na componente de Manutenibilidade.

Tal como foi referido anteriormente, existem várias ferramentas e técnicas para efectuar uma análise RAMS. O objectivo será escolher as adequadas considerando o tipo de serviço que está a ser analisado e as suas características, pois existem algumas que não poderão ser utilizadas ou cuja utilização não faria sentido.

A implementação de uma melhoria na Manutenibilidade utilizando uma análise RAMS deve ser bem estruturada e a sua introdução deve ser bem gerida. Uma implementação de sucesso deve ser orientada segundo directrizes claras e precisas. A solução é criar um plano de gestão da integração da Manutenibilidade, no qual sejam definidos os passos e procedimentos a efectuar (DoD, 1995).

1º Definir objectivos

A definição inicial dos objectivos permite saber quais os resultados que se pretende obter, tornando mais fácil estabelecer os parâmetros que devem ser analisados ou as áreas mais propícias a serem estudadas. No entanto, esta escolha de objectivos, deve ter sempre em consideração que o objectivo máximo da Manutenibilidade numa filosofia RAMS é garantir que a Disponibilidade dos sistemas é máxima, e que só deve ser sacrificada se for mesmo necessário. Esta definição de objectivos deve também considerar a existência de outras análises ou programas de melhoria que estejam a ser aplicados simultaneamente no mesmo sistema, para que sejam evitados estudos duplicados. É essencial compreender as necessidades de Manutenibilidade do cliente.

O desenvolvimento dos objectivos permite ter uma base sólida para definir o conceito de Manutenibilidade, o plano de Manutenibilidade e os requisitos necessários que serão introduzidos nas fases seguintes.

2º Integrar a Manutenibilidade com a Engenharia de design e produção

Deve haver desde o início do desenvolvimento do produto/sistema uma preocupação com a Manutenibilidade. Isso implica que todas as análises feitas no âmbito da RAMS deverão ser uma parte integrante no processo de design e produção, sendo seleccionadas as que forem relevantes para uma melhoria desse mesmo processo.

3º Analisar o sistema/produto

É necessário analisar e compreender bem o sistema, as suas implicações, vantagens, desvantagens e limitações. Esta informação deve ser registada e elaborado um relatório com todos os pormenores, mesmo os que pareçam irrelevantes, para análise futura.

4º Planear para obter a Manutenibilidade desejada

Com base nas informações recolhidas e recorrendo às ferramentas e técnicas descritas anteriormente, elaborar um plano de Manutenibilidade que permita corrigir as falhas encontradas e melhorar aspectos passíveis de melhoria. Este deve ser definido com o intuito de serem cumpridos os objectivos estabelecidos inicialmente, sem comprometer o cumprimento de outras condições impostas, tais como condições do cliente ou restrições legais.

5º Validar a Manutenibilidade

Após a elaboração do plano é necessário realizar análises, simulações e testes que corroborem as modificações inseridas. Esta fase permite também descobrir problemas que não tenham sido solucionados na primeira abordagem, ou problemas que surjam depois das alterações. Consegue-se assim validar a eficiência das medidas adoptadas.

6º Monitorizar e analisar o desempenho operacional

A fase final consiste em determinar a Manutenibilidade do sistema em funcionamento real. Aqui serão identificados os eventuais problemas associados à sua colocação em serviço e novas necessidades de melhoria. Toda a informação recolhida e procedimentos adoptados serão compilados num relatório e adicionados a uma base de dados. Esta irá constituir uma mais-valia para a empresa, ao aumentar o know-how e servindo para melhorar os métodos de análise.

A recolha de informação foi feita com base nas entrevistas realizadas a funcionários da Integridade, do ISQ, da CUF e da Engebrites. Foram ainda realizadas visitas ao estaleiro da Integridade e às instalações da CUF, ambas em Estarreja. No âmbito dessas visitas foi possível acompanhar os trabalhos realizados durante a paragem para manutenção das instalações da CUF.

3.6 Análise RAMS das Válvulas de Pressão de Segurança

3.6.1 Definição de objectivos

O primeiro passo é a definição dos objectivos. No presente estudo o objectivo será aumentar a disponibilidade e segurança das válvulas de pressão de segurança, através da melhoria da Manutenibilidade. Pretende-se também que seja promovida uma sinergia entre os utilizadores e os fornecedores de serviço, que permita obter uma adequada combinação entre o desempenho resultante da aplicação da metodologia RAMS e os custos envolvidos. Desta aproximação resultam os seguintes objectivos:

- Melhoria da Manutenibilidade
- Aumento da Disponibilidade
- Aumento da Segurança
- Redução de custos

3.6.2 Integração da Manutenibilidade no design

A fase seguinte será a de integrar a Manutenibilidade numa perspectiva de design. Sendo que neste caso está a ser analisada uma prestação de serviços, no âmbito de manutenção, existem alguns factores que não deverão ser considerados, tal como as alterações de design a serem introduzidas nas válvulas de segurança. Este estudo só seria proveitoso se existisse uma parceria entre o ISQ e um construtor de válvulas, na qual houvesse uma troca de informações e estudos, para promover um design mais eficaz e que permitisse uma manutenção mais fácil.

A análise do design terá assim de ser aplicada de uma forma diferente, para se adaptar ao tipo de caso a ser analisado, a prestação de um serviço. Esta é aliás, uma das vantagens da análise RAMS, a capacidade de se adaptar a diferentes processos ou sistemas. Neste caso a abordagem do design será feita relativamente às instalações das fábricas. Será assim aplicado o conceito de ciclo RAMS, no qual serão feitas as análises necessárias e depois serão aplicadas na fase apropriada.

3.6.3 Análise do sistema

Uma análise correcta implica considerar todos os factores que influenciam a Manutenibilidade. Nesta incluem-se os procedimentos executados antes, durante e depois das acções de manutenção das válvulas de segurança, e identificação das falhas ou dificuldades encontradas e as suas causas. Será importante definir bem as relações existentes entre os

diferentes factores e como eles se afectam mutuamente. O primeiro passo será dissecar o processo de manutenção nas suas etapas:

1. Aceder à válvula
2. Retirar válvula de serviço
3. Transportar válvula para a oficina
4. Efectuar testes iniciais e operações de manutenção
5. Calibrar e certificar a válvula
6. Transportar e colocar a válvula em serviço

1ª e 2ª Etapa – Aceder à válvula e retirar a válvula de serviço

A primeira etapa consiste em os técnicos conseguirem aceder à válvula para proceder à sua remoção. As dificuldades encontradas aqui também se aplicam em alguns casos nos quais é preciso ter acesso para efectuar apenas uma inspecção visual. Esta fase será abordada conjuntamente com a de retirar a válvula. Das ferramentas enunciadas anteriormente será escolhido o diagrama de Ishikawa para se obter uma representação visual da análise, visível na figura 10.



Figura 10 – Diagrama de Ishikawa para retirar a válvula de serviço

Os problemas serão abordados pela ordem com que os técnicos se deparam com eles, e será sempre tido em consideração que as várias causas e factores se relacionam uns com os outros.

Verifica-se muitas vezes que não existiu por parte dos construtores das instalações o cuidado de criar as condições necessárias para que se possa aceder às válvulas e criar plataformas para os trabalhadores. A base do problema está muitas vezes em quem projecta

as instalações e, se preocupa apenas com a parte funcional e com o cumprimento legal relativo a equipamentos de pressão. O Decreto-Lei nº90/2010 aprovou o Regulamento de Instalação, de Funcionamento, de Reparação e Alteração de Equipamentos sob Pressão, e foi sendo complementado com instruções técnicas complementares. Em algumas delas, nomeadamente a publicada no Despacho nº24261/2007, estão bem definidas distâncias de segurança para reservatórios. Relativamente à criação de acessos para manutenção, a legislação é vaga com umas referências breves em que é dito que deve ser facilitado o acesso mas sem quaisquer recomendações.

Desta situação resulta que muitas instalações são projectadas sem pensar na necessidade de realizar acções de manutenção e/ou inspecção. Esta é uma abordagem errada, pois a falta de meios de acesso e plataformas para trabalhar dificulta muito qualquer trabalho de manutenção que seja necessário efectuar, o que implica complicações a nível logístico caso seja necessária a montagem de estruturas provisórias que permitam o acesso em alguns locais.

Muitas vezes opta-se por esta solução, pois considera-se apenas a obrigatoriedade legal em inspeccionar o ESP e a respectiva válvula de cinco em cinco anos, e como tal seria uma situação mais vantajosa ter estas estruturas temporárias. No entanto, muitas vezes estas estruturas acabam por se tornar permanentes, pois verifica-se que as válvulas necessitam de uma manutenção mais regular, obrigando a que seja necessário aceder à válvula em períodos de tempo inferiores a 5 anos e a ter um rápido acesso à válvula. Esta mudança de estatuto das estruturas faz com que seja necessário por vezes reforçá-las estruturalmente, o que implica custos acrescidos caso seja necessário contratar alguém para desempenhar essa tarefa.

A inclusão inicial de meios de acesso e locais para os trabalhadores poderem desempenhar as suas tarefas seria mais económica, pois seria integrada de raiz, fazendo com que a mão-de-obra utilizada fosse a mesma que utilizada na construção das instalações. Outra consequência é o aumento do MDT o que diminui a Disponibilidade, a qual se pretende aumentar.

Outro aspecto relacionado com o projecto da fábrica é a necessidade de existir espaço suficiente para os trabalhadores manusearem as ferramentas. Esta é uma situação que quando se verifica também é problemática, pois muito do trabalho de remoção de pernos é executado com ferramenta que se servem da força do trabalhador, tal como chaves de bocas ou chaves inglesas, o que implica que este necessite de espaço suficiente para colocar a ferramenta nas porcas e para poder exercer força na ferramenta, servindo-se do efeito de alavanca. Considerando que o binário aplicado é dado pelo produto da força aplicada pela distância ao seu ponto de aplicação, se não existir espaço suficiente, não se poderá aplicar o binário necessário para remover a porca. Isto pode acontecer porque por vezes as válvulas são instaladas e posteriormente são adicionados outros equipamentos ou estruturas que deixam pouco espaço livre, pois não se considerou a necessidade de remover a válvula.

Esta falta de espaço influencia também a forma como a válvula é transportada para a oficina. Antes de desapertar as porcas é necessário garantir que a válvula está segura e que não cairá. Se este passo pode ser simples para válvulas pequenas de 10 (Kg), deixa de o ser quando são consideradas válvulas de 200-300 (Kg) com 2 metros de altura, as quais são impossíveis de serem seguras manualmente por um trabalhador. Caso não seja possível utilizar grua ou uma empilhadora devido à falta de espaço, ou não existam pontos para fixar cordas, esse trabalho terá de ser feito por vários trabalhadores, recorrendo à sua força, o que é uma situação potencialmente perigosa para os trabalhadores e para as válvulas e outros equipamentos, e está limitada à força que estes conseguem desenvolver. Esta situação ocorre essencialmente em pavilhões fechados, pois muitas vezes a válvula foi colocada por cima, com recurso a uma grua, e depois foi construído o telhado. Outra das situações verifica-se no exterior, mas com a particularidade de a instalação ter crescido de “dentro para fora”, ou seja, as estruturas foram construídas e não foi considerada a necessidade de usar gruas e como tal não existe espaço suficiente para o braço das gruas operar. Estas situações levam a que sejam utilizados mais trabalhadores para efectuar uma operação, do que aqueles que seriam necessários, caso se verificassem as condições de operacionalidade necessárias, o que implica também que estes não estejam disponíveis para trabalhar noutros locais da instalação.

Relativamente à remoção dos pernos e porcas, a primeira situação prende-se com o desconhecimento da dimensão da porca. Isso implica que o trabalhador leve um leque de ferramentas que pense conter a adequada para as desapertar, correndo o risco de levar a errada, o que obriga a uma deslocação para ir buscar a correcta. O facto de levar mais do que uma ferramenta também é prejudicial para a segurança. Outra das situações, muito rara, é ter de remover sistemas de aperto não normalizados.

A principal dificuldade em retirar os pernos e as porcas, é estes estarem oxidados, dificultando ou impossibilitando a sua remoção. No primeiro caso, implica demorar mais tempo a desapertar e pode ser necessário utilizar um desaparafusador pneumático, cuja utilização está sujeita as restrições de espaço mencionadas anteriormente e à localização da válvula. O segundo caso é o pior, pois os pernos terão de ser cortados com recurso a uma rebarbadora ou maçarico, implicando a sua destruição com custos muito elevados. Esta opção implica que esteja disponível o equipamento necessário, o que por vezes não acontece, o que implica esperar ou solicitar o equipamento, aumentando o MMT. Este último caso poderá ter ainda proporções maiores se ocorrer num local em que seja proibido produzir faíscas ou lume, tal como em atmosferas perigosas. A única solução será a utilização de um serrote mecânico, sendo um processo muito moroso e cansativo para o trabalhador.

As causas principais para este fenómeno são:

- a localização geográfica das instalações, a qual pode estar inserida num meio ambiente agressivo para os equipamentos, tal como a proximidade do mar. Deve

também ser considerado o tipo de atmosfera de operação, que na indústria química, por exemplo, é muito corrosiva;

- uma força de aperto excessiva que resulte na escamação da porca, que aliada a uma afinidade química entre os materiais da porca e flange, resulta numa ligação cuja força é comparável à de uma soldadura. Esta situação pode ocorrer pelo facto de o aperto ser executado sem medição da força aplicada, fazendo com que o seu valor dependa do executante;
- uma protecção ou lubrificação inadequada dos pernos na sua montagem, a qual poderá resultar na formação de óxidos que dificultam ou impossibilitam o seu desaperto.

As situações analisadas anteriormente aumentam o MDT, reduzem a Disponibilidade e resultam em problemas de logística. Algumas prejudicam a Segurança dos trabalhadores e equipamento, e outras ainda aumentam os custos de manutenção e exploração. É lógico que numa perspectiva de melhoria da Manutenibilidade estas devem ser evitadas ou feitas.

3º Etapa – Transporte da válvula para a oficina

Esta é uma etapa que necessita de uma coordenação eficiente dos meios de transporte disponíveis, para que seja assegurado um transporte rápido e seguro da válvula de segurança entre o seu local de instalação e a oficina. Para tal devem ser considerados os seguintes factores:

- peso da válvula;
- dimensões da válvula e chaminés associadas, caso as tenha;
- distância até à oficina.

O primeiro passo, com base nestes factores, é definir quais os métodos de transporte necessários: empilhadoras, guas ou até mesmo carrinhas de transporte. Esta última é necessária quando se trata da reparação ou beneficiação de uma válvula que terá de ser transportada para uma oficina que se encontre a uma distância considerável da instalação. Em alguns casos de válvulas com dimensões e peso reduzidos é possível recorrer a carrinhos de mão. Uma combinação possível, é a utilização da grua para colocar no solo uma válvula localizada num plano mais elevado, e depois utilizar o carrinho de mão para a transportar até a oficina. Note-se que também deve ser tido em conta o número de trabalhadores, caso sejam necessários, para manobrar a válvula durante a sua retirada de serviço e na sua chegada ao solo.

O objectivo é, com base na análise feita, definir o tipo e quantidade de meios de transporte e também a quantidade de trabalhadores necessários para que todas as válvulas

sejam movimentadas o mais rapidamente possível, seguindo sempre as regras de segurança, e que não existam equipas à espera de meios de transporte para as válvulas. É de salientar que nesta fase é importante conciliar o volume de válvulas recebidas pela oficina com a sua capacidade, para que não existam problemas de movimentação das mesmas.

4ª Etapa – Efectuar testes iniciais e operações de manutenção

Quando a válvula chega à oficina é sujeita a uma rápida inspecção visual, para procurar danos visíveis, e é preparada para ser efectuado o 1º disparo. A única situação problemática é a necessidade de ter uma mesa de ensaios e material que se ajuste à válvula. Este é um teste importante pois permite aferir se a válvula está a disparar e a que a pressão.

Seguidamente a válvula é retirada do banco de ensaios e procede-se à abertura da válvula. Aqui pode surgir a mesma dificuldade, que foi encontrada anteriormente em retirar os pernos, sendo as causas as mesmas. Verifica-se assim que este é um problema que aumenta o tempo dispendido na manutenção em várias fases, cuja supressão seria muito benéfica para a diminuição do MDT.

Outro dos problemas verifica-se, quando após todos os pernos terem sido retirados, não se consegue separar o corpo da válvula. A causa primária é uma má escolha do empanque utilizado. Este é usado durante um período de tempo superior ao estipulado pelo fabricante, fazendo com que as suas propriedades mudem, e que este funcione como um autocolante. Torna-se assim necessário aplicar força mecânica para os separar, aplicando um cinzel para tentar remover o empanque e outras impurezas, ou bater com martelos na válvula para conseguir quebrar a ligação. Esta operação pode demorar vários minutos, como foi observado numa das visitas à CUF. Esta situação representa um aumento enorme (15m-20m) do tempo dispendido, num passo que deveria demorar aproximadamente 30s; e um risco acrescido à integridade da válvula, pois as pancadas por muito controladas que fossem poderiam resultar em danos na válvula.

Relativamente aos componentes internos da válvula, durante a inspecção verifica-se por vezes que alguns consumíveis, tal como o o-ring e os empanques apresentam um desgaste superior ao esperado ou que essa foi uma das falhas da válvula. Verifica-se muitas vezes que as válvulas são utilizadas para fluidos diferentes daqueles para que foram seleccionados alguns consumíveis. A falha destes componentes leva à ocorrência de fugas, que se em alguns casos resulta apenas na perda de matéria-prima, noutros pode resultar em danos para o meio-ambiente, para outros equipamentos próximos ou para a saúde dos trabalhadores.

Um problema que foi assinalado muitas vezes pelos técnicos, foi o desgaste acentuado de alguns componentes, devido a uma manutenção com uma frequência inferior à necessária.

Um ponto interessante que se verificou foi que existem algumas falhas que não são as comuns, e como tal apenas os trabalhadores com mais anos de experiência as conseguem identificar. Um exemplo destes ocorreu no estaleiro da Integridade em Estarreja: uma válvula foi beneficiada como todas as outras, mas mesmo assim apresentava uma fuga. Vários trabalhadores tentaram durante muito tempo perceber o porquê, mas sem sucesso. Quando falaram com o mais experiente ele identificou logo que existia uma fuga abaixo da sede (e como tal imperceptível) apenas pelo padrão da infiltração. Esta situação revelou uma enorme dependência da experiência de um dos trabalhadores, pois não existe uma base de dados com os tipos de avarias que possa ser consultada.

5ª Etapa – Calibrar e certificar a válvula

Nesta etapa recorre-se aos procedimentos definidos na norma API 527, e não se verificou a existência de problemas, apenas que existe uma maior dificuldade em realizar os testes a válvulas de grandes dimensões. O processo é rápido e preciso.

6ª Etapa – Transportar e colocar a válvula em serviço

Os problemas encontrados aqui são os mesmos que foram descritos anteriormente na 3ª fase.

3.7 Plano de Manutenção

Um dos primeiros aspectos a serem abordados na manutenção é a sua calendarização. Esta deve ser definida com base nas necessidades legais e funcionais. Em termos legais é obrigatória a cada 5 anos (inspeção periódica prevista no Dec. Lei 90/2010). Na parte funcional esta deve ter em conta factores como:

- disponibilidade dos órgãos que constituem a válvula.
- historial da válvula.
- paragens previstas da instalação.
- consumíveis utilizados.
- alteração das condições de serviço.

Sobrevém deste modo a necessidade de criar um registo das acções de manutenção a que a válvula de segurança é submetida, estando essa informação registada na sua ficha. Essa é a base para se poder ajustar o plano de manutenção, aumentando o intervalo entre acções de manutenção caso se verifique que a válvula e os seus componente se apresentam em bom estado em todas as inspecções, ou diminuindo-o caso se verifique um desgaste excessivo. Para definir as datas poderá ser utilizada a distribuição de Weibull ou outro método semelhante. Deve ser feito um esforço para que as intervenções sejam coincidentes com as paragens previstas. Pode coincidir com um período de férias, em que todas as instalações param ou com uma paragem total para manutenção geral. Este é um processo complexo e contínuo, mas bastante vantajoso, pois permite aumentar a Disponibilidade das válvulas.

O registo de falhas associadas às válvulas e respectivos métodos de reparação, é outro aspecto que não deve ser descurado, sendo essencial para recolher dados necessários aos estudos que permitem implementar melhorias no plano de manutenção. É muito importante para uma empresa ter uma base de dados com a maior quantidade de dados possível, pois: aumenta o seu know-how, é um registo escrito da sua experiência e permite que não se desperdice tempo a analisar e solucionar um problema que já tenha sido encontrado no passado (note-se que a procura de novas soluções para um problema deve ser sempre encorajada, o que será mais fácil se houver um registo das suas causas e soluções adoptadas anteriormente). Estas medidas permitem que o conhecimento e experiência ganhos durante os anos não se percam com a saída ou falecimento de um trabalhador, ou que seja criada a dependência de uma pessoa específica para solucionar os problemas.

3.7.1 Distribuição de Weibull aplicada às válvulas

Uma das variáveis essenciais na concepção do plano de manutenção é a data em que uma intervenção deve ser realizada. A coordenação de datas que envolvem os prazos legais e paragens estipulados pelo utilizador é relativamente simples. No entanto, tudo se torna mais

complexo quando é necessário incluir nesse plano intervenções que não têm datas pré-definidas. Torna-se assim necessário conseguir prever as paragens extras, nas quais a válvula necessita de manutenção, sendo que estas dependem essencialmente do tempo que um sistema funciona até um dos seus órgãos precisar de manutenção (MTBF). E, tal como referido anteriormente, estas intervenções devem ser realizadas no momento em que o impacto seja menor (entenda-se prejuízo). Cria-se então a necessidade de ter um modelo que consiga prever as falhas associadas ao correcto funcionamento da válvula.

Para o caso em estudo a escolha incidu na Distribuição de Weibull. Com esta serão/foram estudados os órgãos da válvula. A aplicação foi realizada seguindo a metodologia enunciada em 2.9. Teremos assim:

1º- Recolha de dados

O processo de recolha de dados foi um processo complicado, pois verificou-se uma falta de registos físicos sobre os motivos de falhas das válvulas e escassez de históricos das mesmas. Aliado a esta situação, verificou-se ainda que as fichas de reparação/inspecção das válvulas continham pouca informação sobre as acções de manutenção efectuadas e os problemas verificados. Isto acontece essencialmente porque não está definida uma mentalidade de melhoria contínua e não está implementada uma metodologia de recolha de dados. É precisamente neste tipo de problemas que a metodologia RAMS procura agir, solucionando estas situações.

A solução encontrada neste caso foi realizar entrevistas com os responsáveis de manutenção e com os trabalhadores que executam as tarefas de manutenção e/ou reparação. (Este pode ser considerado como um primeiro passo a ser dado na recolha de dados, pois permite definir quais os dados que serão necessários.) Foi assim possível criar uma lista com os problemas das válvulas e quais as suas causas, que pode ser vista na tabela 5:

Falha		Causas
Válvula não abre		- sede e obturador colados - mola danificada
Válvula abre à pressão errada		- descalibração
Fugas	flange	- empanque danificado - pernos mal apertados e/ou danificados
	sede	- mola danificada (pasmada) - sede e/ou obturador danificado - o-ring danificado

Tabela 5 - Lista de Falhas e Causas

Com base no estado dos componentes aquando as manutenções, estimou-se uma data para quando terá ocorrido a falha ou necessidade de manutenção por parte de um componente específico da válvula. Esta estimativa foi feita com base em duas fontes de informação: os relatórios das manutenções, cedidos pela CUF e informação recolhida junto dos responsáveis de manutenção. Dada a dificuldade de definir com precisão essas mesmas datas, pelos motivos já enumerados, admite-se que este é um processo válido, pois tenta-se aliar os poucos registos que existem com a experiência pessoal. No entanto, como se trata de uma primeira abordagem, será sempre necessário continuar a aperfeiçoá-lo com mais dados recolhidos posteriormente.

Para este estudo foram considerados os dados da válvula de segurança VS-1090.

2º - Análise dos dados

A primeira conclusão da análise dos dados recolhidos, resumidos na tabela 6, é a existência de um período muito extenso (entre 1996 e 2001) para o qual não existem relatórios. Optou-se por não se considerar este intervalo de tempo, pois não fazia sentido compará-lo com os outros.

Outra das conclusões é que sempre que as manutenções foram executadas, todos os componentes necessitavam de manutenção, não sendo possível saber com exactidão o momento em que se tornaram prejudiciais para o correcto funcionamento da válvula. Torna-se importante distinguir que o facto de uma mola apresentar um aspecto oxidado não implica que esta esteja a funcionar mal. No entanto, o mesmo não se verifica no caso do obturador, sede, o-ring, empanque e/ou pernos, que caso estejam danificados, já implicam fugas e como tal, um funcionamento inadequado da válvula. (Note-se que para os pernos, não é implícito que existam fugas caso esteja algum danificado. Depende da dimensão da válvula, número de pernos e pressão de serviço.)

Data	Componente						tempo entre intervenções (horas)
	Mola	Obturador	Sede	O-ring	Empanque	Pernos	
20-10-1995	Oxidado	Picado	Picado	Oxidado	Substituído	Substituídos	9216
07-11-1996	Oxidado	Picado	Picado	?	Substituído		
22-05-2001	Oxidada	Oxidado	Picado	Oxidado	Substituído	Substituídos	39768
29-01-2002	Oxidado	Picado	Picado	?	Substituído		6048
09-04-2003	Oxidado	Picado	Picado	?	Substituído	Substituídos	10440
19-09-2003	Oxidado	Picado	Picado	?	Substituído		3912

Tabela 6 - Estado dos componentes

3º - Definir o modelo

Considerando que a válvula é um sistema composto por vários componentes, o caminho escolhido seria o de numa primeira fase analisar cada um dos seus componentes em separado, determinando os valores de α , β e t_0 . Seguidamente usar-se-iam esses valores para avaliar o sistema em conjunto.

Como no caso de estudo as avaliações dos componentes possuem as mesmas datas, pois apenas foram realizadas nas acções de manutenção, não faz sentido executar a primeira fase. Como tal, será feita uma análise apenas ao sistema.

Com base no tipo de dados recolhidos (poucos e com falhas verdadeiras), segundo Assis (2004), verifica-se que se pode recorrer à distribuição de Weibull. No entanto, de acordo com o mesmo autor, esta deve ser conjugada com a regressão de Bernard para obtenção de dados mais precisos.

4º - Estimação dos parâmetros

A estimação dos parâmetros foi efectuada recorrendo às ferramentas de cálculo facultadas pelo Eng. Rui Assis. Esta é uma forma de rentabilizar as ferramentas existentes no ISQ, tentando aplicá-las em vários projectos. Neste caso utilizou-se a folha de cálculo "Ajustamento Weibull Bernard" que efectua um "Ajustamento de dados empíricos a uma distribuição de falhas Weibull" conjugada com uma "Estimação não paramétrica da probabilidade acumulada de falhas pelo método de regressão de Bernard (median ranking)". Os resultados obtidos podem ser vistos na figura 11.

Nº de dados		Intercepção = -20,23		Inclinação (α) = 2,235		$r^2 = 0,975$		$\beta = 8554$		$t_0 = 0$		
j	Tempo entre falhas	Escrever "s" se censurado	Tempo entre falhas ordenados	(TTF - t_0)	Median rank (Bernard)			Median rank corrigido	Median rank corrigido			
	TTF		TTF	t_j	$F(t_j)$	d_j	$N(t_j)$	$i(t_j)$	$F(t_j)_c$	$F(t_j)_c$	$\ln\{1/R(t_j)\}$	$\ln(t_j)$
1	9.216		3912	3912	0,1590909	1	1	1	0,1590909	0,1590909	-1,7528943	8,271804
2	6.048		6048	6048	0,3863636	1	1	2	0,3863636	0,3863636	-0,7167172	8,7074829
3	10.440		9216	9216	0,6136364	1	1	3	0,6136364	0,6136364	-0,0502661	9,1286964
4	3.912		10440	10440	0,8409091	1	1	4	0,8409091	0,8409091	0,6088301	9,2533999

Figura 11 – Ajustamento Weibull Bernard

- $\alpha = 2,235$, indica que a taxa de risco é aproximadamente linear.
- $\beta = 8554$ corresponde a dizer que a válvula tem associada uma probabilidade de falha de 0,63 em 8554 horas de funcionamento.
- $t_0 = 0$, significa que a válvula não tem um tempo sem falhas assegurado.

O próximo passo é, com os parâmetros estimados, definir datas de manutenção. O objectivo é que seja assegurada uma probabilidade de não existência de falhas, definida nos input's. No caso das válvulas será usado um valor de 0,95, pois é necessário garantir que a probabilidade de falha é baixa, devido ao seu cariz de equipamento de protecção. Assumiu-se ainda que existe um período de 360h (15 dias) no qual ainda é possível intervir sem que haja dano permanente. Recorreu-se à folha de cálculo "Intervalos entre inspecções de manutenção preditiva condicionada", a qual produziu os resultados apresentados na figura 12.

$t_0 =$	0	Período P-M =	360		
$\alpha =$	2,35	Fiabilidade mínima requerida =	0,95		
$\beta =$	8.554	abilidade mínima conseguida =	0,950000157		
			-1,56551E-07		
Inspecção n	R_i^n	Momentos de inspecção (M_n)	Intervalos entre inspecções	Momentos (P_n)	Probabilidade de falha funcional $F(P_n)$
1	0,97646977	1.744	1744	1384	0,033230374
2	0,953493211	2.342	598	1982	0,038502965
3	0,931057297	2.783	441	2423	0,042722225
4	0,909149304	3.145	362	2785	0,049999843
5	0,887756812	3.505	360	3145	-
6	0,86686769	3.865	360	3505	-
7	0,846470093	4.225	360	3865	-

Figura 12 - Intervalos entre inspecções de manutenção

Os resultados obtidos indicam que seria necessário proceder-se a inspecções nos momentos M_n . Isso levaria a que fosse feita uma primeira inspecção passados aproximadamente 2,5 meses. Note-se que os intervalos de inspecção vão diminuindo, pois nestas inspecções considera-se que o equipamento está em bom estado, não sendo assim substituído. É por esse

motivo que existe esta diminuição dos intervalos, para contabilizar o tempo de vida acumulado, assegurando que a fiabilidade se mantém a estipulada.

5º - Validação do modelo

O processo de validação do modelo é complicada de se fazer no caso de estudo, pois as datas consideradas na recolha de dados não correspondem a falhas que impeçam o disparo da válvula. Regra geral são falhas que resultam em fugas, e como tal, em termos práticos ninguém irá despender os recursos necessários à retirada de serviço e abertura da válvula (tempo de paragem, pessoal e custos associados), se a fuga que existir for mínima.

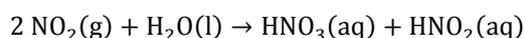
No entanto isto apenas é válido para produtos para os quais isto possa ocorrer, pois se for um produto venenoso, cancerígeno ou similar que possa afectar a saúde dos trabalhadores ou o meio ambiente, terá de ser efectuado um controlo muito rigoroso desses sistemas. Caso este sistema se enquadrasse nesse quadro, faria todo o sentido implementar as datas de inspecção obtidas. E aí sim, seria possível verificar se tinham ocorrido falhas e fazer um registo delas, que serviria para melhorar os parâmetros calculado inicialmente.

3.7.2 Consumíveis

A escolha dos consumíveis deve ter em conta as condições de serviço e deve ser assegurado que estes duram até à próxima intervenção. As massas para lubrificação, os o-ring e empanques representam um papel essencial no desempenho das válvulas. No caso das massas garantem o bom funcionamento mecânico dos componentes, e os outros garantem uma estanquicidade eficiente. Qualquer alteração nas condições de serviço deve ser comunicada à Integridade/ISQ para que se verifique se os consumíveis aplicados são os adequados e se resistem a essas novas condições, informando o cliente se é necessário proceder a uma alteração da data de manutenção.

Um dos casos que ilustra bem a importância de definir as condições de funcionamento é o seguinte:

Uma válvula colocada numa linha de dióxido de azoto possuía empanques e o-ring com um tempo de vida esperada de 1 ano para essas condições de serviço (fluido, pressão, temperatura, etc). No entanto, esta linha tinha um local que não estava bem vedado e pelo qual entrava água, o que resultava em:



Formava-se assim ácido nítrico (HNO_3) e ácido nitroso (HNO_2). Apesar de a contaminação ser pequena, e a quantidade de fluido que reagia (e se transformava) não ser muita, era a suficiente para atacar quimicamente o o-ring e o empanque, diminuindo o tempo de vida destes componentes para aproximadamente 3 meses, altura em que se iniciavam fugas já consideráveis de fluido pela válvula.

Esta era uma situação conhecida pelo departamento de qualidade da instalação, o qual estava a tentar solucioná-la, mas não foi comunicada aos executantes (entenda-se Integridade) do trabalho de manutenção. Se tivesse existido a comunicação entre as duas partes, os empanques e o-ring teriam sido seleccionados de modo a suportarem as condições reais de serviço.

3.7.3 Conciliação de datas

O último passo para obter o plano de inspecção final é fazer uma conciliação entre as datas em que o equipamento precisa de intervenções, sejam elas:

- para inspecção/beneficiação dos componentes mecânicos;
- por necessidade de mudança dos consumíveis;
- por imposições legais.

Nos casos em que seja necessário parar a produção, convém que esta ocorra numa data em que a produção seja menor. Caso se trate de um processo em que o volume de produção é constante ao longo do tempo, uma hipótese é tentar conciliar com o período habitual de férias dos trabalhadores.

Na figura 13 encontra-se uma sugestão para o que poderá ser uma representação gráfica do tempo restante até a próxima intervenção de cada válvula. Esta resulta dum template no qual estão inseridas as datas de intervenção já referidas de cada válvula. Esta é uma forma útil para se ter uma primeira ideia do planeamento e visualizar as datas possíveis.

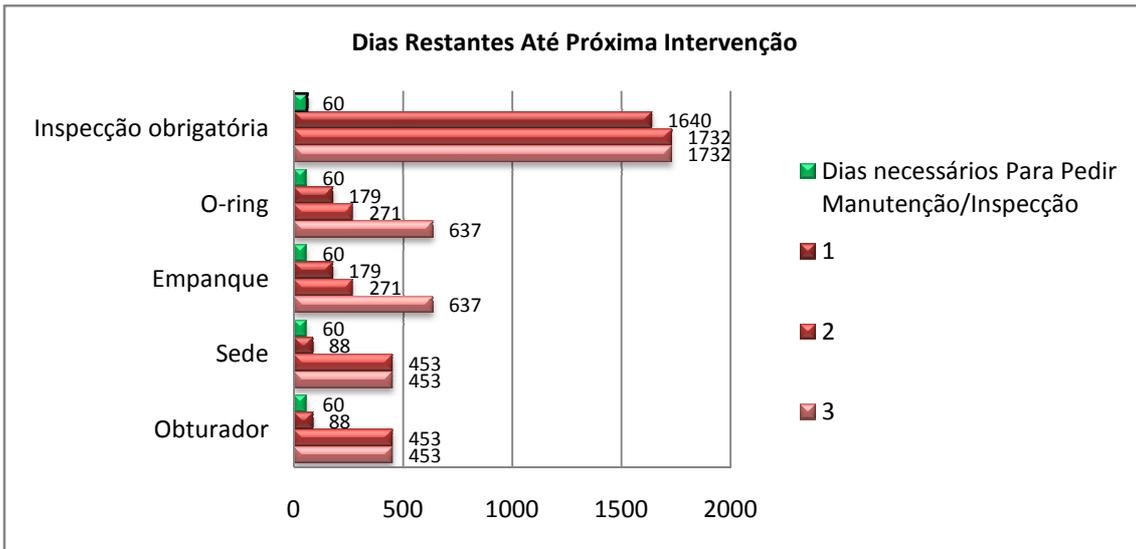


Figura 13 - Representação visual do plano de manutenção

3.8 Planear a Manutenibilidade

Após análise do processo que envolve a manutenção das válvulas de segurança e determinação das suas falhas e problemas associados, será a fase de planeamento que levará à obtenção da Manutenibilidade desejada. Aqui serão abordadas as decisões e procedimentos a adoptar para que se verifique a melhoria desejada. Isto equivale a definir as soluções para suprimir os problemas ou minimizar os seus efeitos negativos nos objectivos do estudo.

3.8.1 Acessos

Toda a problemática associada aos acessos é bastante complexa e pode ser abordada de duas perspectivas. A primeira passa por inculir nas empresas uma preocupação com a criação de acessos, mostrando as suas vantagens e desvantagens. Esta terá de ser uma preocupação incluída no projecto da fábrica desde raiz e deve ser considerada sempre que seja feita uma remodelação ou expansão das instalações. Para isso devem ser tidas em conta algumas linhas de orientação:

- garantir que é possível remover a válvula do seu local;
- criar condições de acesso aos equipamentos com a inclusão de escadas ou passadiços;
- criar plataformas de trabalho nos locais onde sejam necessárias operações de manutenção;
- garantir que existe espaço suficiente para os operadores trabalharem.

Se estas directrizes forem seguidas, todas as partes envolvidas serão beneficiadas, pois estas condições garantem uma diminuição no tempo de acesso às válvulas, garantindo que o retirar e o colocar das válvulas será mais célere, e como tal a Disponibilidade do equipamento será maior. É assim também eliminada a necessidade de colocar e retirar andaimes sempre que é necessário fazer uma manutenção, e os custos associados a essas operações. Existe ainda um acréscimo nas condições de segurança, pois as estruturas integradas de raiz têm uma maior estabilidade do que as temporárias, o que é uma vantagem importante para ambas as partes. Para o ISQ, porque é sempre importante garantir a segurança dos seus trabalhadores, e para o cliente porque se ocorrer um acidente muito provavelmente a instalação poderá ter de parar o seu funcionamento por algum período de tempo, com os consequentes prejuízos. A primeira directriz prende-se com o facto de assegurar que os meios extra necessários para remover a válvula, como uma grua ou uma empilhadora., têm acesso à válvula.

Esta fase implica que haja uma comunicação e troca de informação constante entre o cliente e o ISQ, para que este último explique quais as necessidades existentes, e servindo-se da sua experiência e conhecimentos técnicos aconselhe sobre o tipo de acessos a serem criados. Assim, qualquer alteração posterior nas instalações, deve também ser discutida e analisada pelas duas partes para que seja encontrada a melhor solução para cada caso.

3.8.2 Inspeção em serviço

Uma das limitações que se verificou foi a necessidade de retirar a válvula de serviço e transportá-la para a oficina para que fosse testada. Caso não se pretenda efectuar nenhuma acção de manutenção, e apenas verificar se a válvula não está colada ou a pressão a que está a disparar, não haverá a necessidade de abrir a válvula e como tal o seu transporte até à oficina será apenas para a testar. Nestas situações será útil ter um equipamento portátil que permita efectuar estas verificações. Actualmente existem no mercado produtos que permitem verificar o estado da válvula sem a necessidade de a retirar de serviço, nem parar a produção. Esta é uma solução que tem várias vantagens associadas, tais como:

- aumento da Disponibilidade, pois não é necessário retirar a válvula de serviço nem desmontá-la;
- diminuição dos custos associados, pois não é interrompido o funcionamento da instalação e é necessário apenas um operador para o aparelho, reduzindo assim a mão-de-obra necessária.



Figura 14 - Inspeção em serviço
(www.fabricomspecialistservices.co.uk)

3.8.3 Ferramentas

As ferramentas são essenciais para realizar as etapas da manutenção. Assim é necessário impor que as ferramentas e os elementos de ligação sejam normalizados, para que exista uma compatibilidade entre eles.

Tal como foi visto na análise do processo, o trabalhador tem de levar um leque de ferramentas consigo, caso estas tenham uma medida fixa, ao se deslocar para remover uma válvula. Uma maneira de evitar isso seria incluir na ficha de identificação da válvula a dimensão das porcas utilizadas, o que permitiria ao trabalhador só ter de transportar uma ferramenta, diminuindo o peso que tem de transportar e o risco de deixar cair alguma delas. Em termos logísticos existe ainda a vantagem de estarem disponíveis mais ferramentas, existindo assim uma gestão de recursos mais eficaz. Isto evita que um trabalhador esteja à espera de uma ferramenta que um colega levou, mas não está a utilizar. Note-se que isto só será possível se esta informação for fornecida pelo cliente, ou na intervenção seguinte a ter sido anotada essa informação.

3.8.4 Pernos e porcas

Um dos problemas associados à remoção dos elementos de ligação das válvulas de segurança, é quando se verifica que é muito difícil, ou mesmo impossível, desapertar as porcas ou os pernos. Esta situação origina vários efeitos negativos, que dependem da sua gravidade. Esta é uma das áreas onde tem de existir uma forte aposta na utilização de técnicas que previnam que ocorram este tipo de situações que levam ao aumento do MDT, diminuição da disponibilidade e aumento de custos associados ao ciclo de vida da válvula. Com base nos tempos recolhidos durante algumas manutenções (consultar anexo 1), verificou-se que os tempos de remoção dos pernos eram muito superiores nos casos em que estes não tinham uma protecção eficaz (mais 70,97%). Este aumento de tempo resulta num acréscimo do tempo de mão-de-obra necessária para desempenhar essa tarefa. É importante que o cliente compreenda o benefício em termos de custos e aumento de Disponibilidade, ao optar pela utilização de um produto que proteja todos os elementos de ligação, ainda que este seja mais caro.

A melhor opção a ser considerada é a aplicação de pastas à base de Molykote para protecção dos pernos e porcas. Estas pastas garantem uma boa lubrificação e protecção de todos os elementos, permitindo que nas intervenções seguintes seja mais rápido retirar a válvula de serviço e desmontá-la, sem a necessidade de danificar os pernos (NASA, 1999). A sua escolha é baseada no tipo de aplicação e meio-ambiente onde a válvula se encontra. A

recomendada é a Molykote HSC devido à sua boa relação preço/qualidade e versatilidade. Se for para uma utilização a temperaturas muito elevadas, uma escolha adequada será a Molykote P-37.

Seguidamente pode ser vista uma tabela que mostra a comparação de uma situação verificada numa válvula de segurança (com 10 pernos) na qual não tinha sido aplicada uma pasta correcta, com a situação na qual teria sido aplicada a pasta de Molykote. Serão indicados os tempos e custos associados.

	A - Pasta sem molykote	B - Pasta Molykote	Diferença (B-A)
Tempo	13m 30s	6m 22s	- 7m 08s
Preço pasta	2,3 €	5 €	+ 2,7 €
Preço mão-de-obra	16,5 €	8,1 €	- 8.4 €
		Balanço	- 5,7 €

Tabela 7 - Comparação de custo das pastas

Vê-se assim que esta é uma opção vantajosa para o cliente neste caso. Mesmo admitindo que em alguns casos a pasta normal poderia funcionar bem, esta medida deve ser encarada como uma prevenção que evite os casos mais graves, nos quais seria necessário destruir os pernos, sendo o custo de cada um bastante elevado. A solução ideal (mas impossível devido às tensões existentes) seria a que permitisse ter um binário de aperto que fosse igual ao binário de desaperto na acção de manutenção seguinte. É necessário salientar que esta se trata de uma prática preditiva e não correctiva, que visa proporcionar uma desmontagem mais rápida na intervenção seguinte e uma boa conservação dos elementos de ligação. Esta é portanto uma medida a adoptar no âmbito dum plano de manutenção estruturado a pensar no futuro. Outra solução a ser considerada é a utilização de pernos e porcas de materiais diferentes, diminuído a sua afinidade química, a qual pode resultar num fenómeno de soldadura.

Outra das causas que potencia a corrosão é a existência de tensões aplicadas e residuais, que resultam no fenómeno de corrosão sobre tensão (Brito, 2002). Para controlar ou minimizar este mecanismo de corrosão é importante que o material dos pernos seja seleccionado de acordo com as tensões aplicadas e o tipo de meio em que será aplicado. Um dos cuidados a ter é definir bem o binário de aperto a ser aplicada consultando uma tabela adequada. Esta é uma medida difícil de aplicar, pois seria preciso possuir várias chaves

dinamométricas de diversas dimensões, com um custo muito elevado, para medir o binário aplicado.

Um factor que é importante ter em mente, é que as tensões a que os pernos estão sujeitos não dependem apenas da força de aperto, dependendo também das variações de pressão no fluido contido na tubagem à qual a válvula de segurança está acoplada. O valor e quantidade de variações depende do tipo de fluido e da sua aplicação, no entanto existe uma situação na qual a válvula e todos os seus componentes são sujeito a uma tensão muito elevada num curto espaço de tempo. Esta situação verifica-se quando ocorre um golpe de aríete. Este corresponde a uma variação brusca de pressão, acima ou abaixo do valor nominal de funcionamento, devido às mudanças bruscas de velocidade da água, que podem ser provocadas pelo fecho ou disparo de válvulas, e resultar na danificação dos equipamentos (Costa *et al*, 2001). No caso dos pernos esta variação de pressão resulta no aumento de pressão suportada por estes, podendo ser atingida a sua tensão de cedência, levando eventualmente à sua deformação plástica, o que resultaria em fugas (Nayyar, 1999),. Uma solução para esse problema seria colocar anilhas de carga viva. Estas anilhas têm um desenho especial (ver figura 15), comportando-se como uma mola.

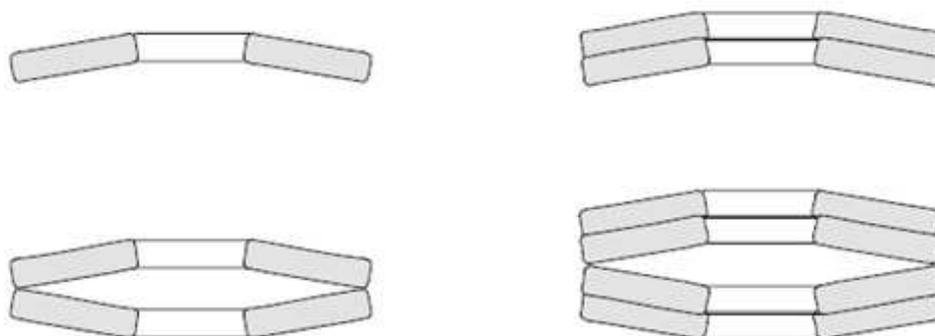


Figura 15 - Anilhas de carga viva e suas configurações (fonte: www.pump-zone.com)

Esta característica permite compensar uma deformação elástica do perno, garantindo uma força de aperto que mantêm o empanque sobre tensão, o que assegura a estanquicidade. Outra das vantagens é o amortecimento das vibrações na válvula. Na figura 15 podem ser observadas algumas das configurações que podem ser feitas com as anilhas de carga viva.

3.8.5 Transporte da válvula

O transporte da válvula de segurança implica numa primeira fase, conseguir aceder a ela, necessidade já abordada. Numa segunda fase é necessário planear a logística associada ao seu transporte até à oficina. Para efectuar esse planeamento antecipadamente e de forma eficaz, é necessário possuir informações sobre a localização e dimensões da válvula.

Recomenda-se assim que na ficha de cada válvula seja incluída a sua fotografia em formato digital. Isto permitirá ter uma melhor noção dos meios necessários para o seu transporte e verificar se tem chaminés acopladas e suas dimensões. Esta é uma medida que depende da aprovação do cliente, que por vezes se mostra renitente em fornecer informações sobre as suas instalações, mas mais uma vez tem de ser incutido o espírito de parceria e fomentar a troca de informações. O cliente apenas irá beneficiar, pois as próximas ações terão um melhor planeamento e uma melhor gestão dos equipamentos, eliminando a necessidade de se improvisar por desconhecimento das condições de trabalho, o que diminui o MDT.

3.8.6 Segurança

Relativamente ao perigo de queda de ferramentas, este também deve ser minimizado. Um método que pode ser utilizado para evitar a queda será usar um fio que seja preso ao trabalhador e à extremidade contrária à que será utilizada para desapertar a porca, tal como pode ser visto na figura 16. Para evitar que o trabalhador sofra ferimentos caso a ferramenta caia, o comprimento da corda terá de ser superior à distância entre a cintura do trabalhador e o chão. Este comprimento garante que, se a ferramenta cair, esta não irá rodar e bater no corpo do trabalhador, e permite que seja atingido o alcance máximo do braço, podendo ser ajustado pelo trabalhador até um máximo de $15+h$ (cm) (Ilda, 2005). Terá de ser colocado um sistema de abertura rápida (a.r.), permitindo que este seja capaz de a soltar rapidamente para prevenir uma situação em que a ferramenta fique presa e puxe o trabalhador.

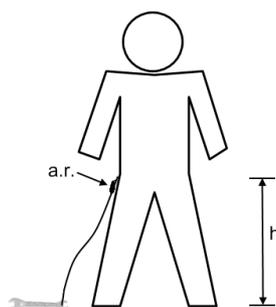


Figura 16 – Sistema de segurança da ferramenta

Outras modificações que melhoram a segurança foram abordadas durante a análise dos acessos.

A ocorrência de acidentes ou incidentes deve ser comunicada ao responsável e devidamente documentada. Nenhuma situação deve ser encarada como “um azar”. É necessário que qualquer indício de risco potencial seja analisado, precavendo a ocorrência de um problema similar, mas com consequências mais graves.

Relativamente aos equipamentos de protecção dos trabalhadores, existem alguns clientes que têm as suas próprias exigências e/ou restrições. No entanto deve ser sempre assegurado um nível mínimo de protecção e correspondente Segurança do trabalhador. Para tal deverá ser elaborada uma lista de material a usar pelo trabalhador de acordo com a tarefa que este irá desempenhar.

3.8.7 Monitorização das Válvulas

A introdução de sistemas remotos de monitorização de válvulas deve ser uma hipótese a ter em conta para válvulas cujo acesso seja difícil, ou que estejam em locais remotos. Outra boa aplicação destes sistemas é para recolha de dados “on-line” sobre o funcionamento das válvulas. Será assim possível verificar se a válvula está a actuar quando é necessário.

Uma combinação possível é a colocação de um manómetro a montante da válvula e um sensor acústico na proximidade da válvula. Utilizando o sistema de transmissão de dados (preferencialmente por wireless), será possível monitorizar as válvulas que estejam inseridas em processos com uma maior perigosidade sem a necessidade de deslocar alguém para esse local. O processo consistirá em produzir um registo electrónico no qual seja verificado se a válvula dispara quando é atingido o valor para o qual esta está calibrada. Caso se verifique uma anomalia, o que pode ocorrer por a válvula estar danificada ou mal calibrada, será emitido um aviso, o que possibilitará a actuação dos meios necessários para prevenir um excesso de pressão descontrolado.

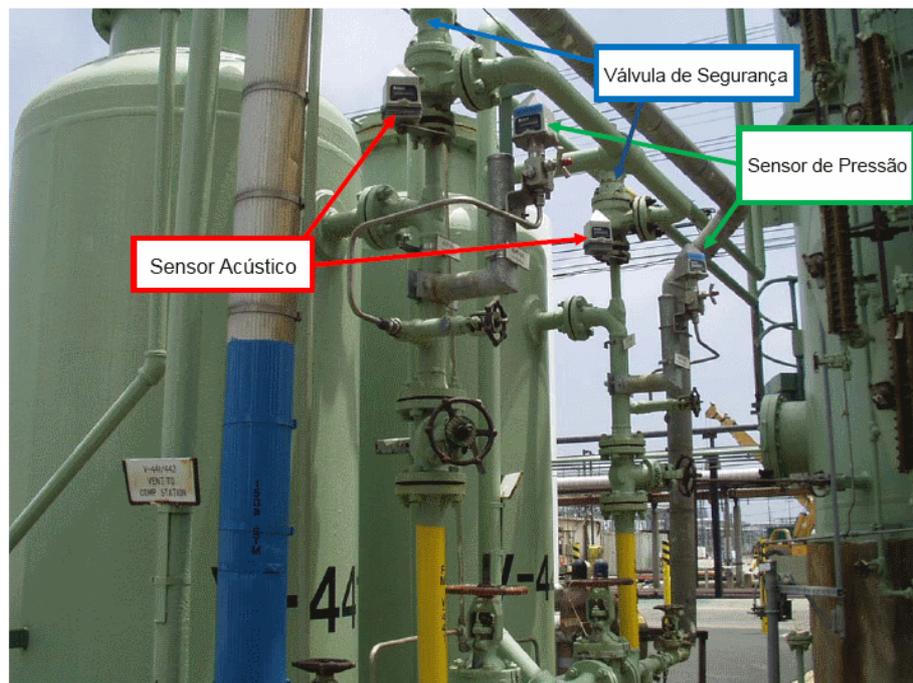


Figura 17 - Sistemas de monitorização remota
(www.accutech.com)

A inclusão de sensores acústicos permite ainda verificar a existência de fugas, função essa que permite ordenar a sua reparação, minimizando assim as perdas de produção e os custos associados. Note-se, que pelo facto de funcionarem em conjunto com os sensores de pressão, é possível contabilizar a quantidade de produto expelida pela válvula durante o seu disparo.

Adicionalmente, este sistema permite criar um registo com vários dados relativos ao funcionamento da válvula, dados esses que depois de analisados permitirão estudar melhor o MTTF associado a cada válvula. Estes dados poderão depois ser utilizados no aperfeiçoamento do plano de manutenção.

3.8.8 Ficha da válvula

Este é um documento que deverá ser atribuído a cada válvula, e que conterá uma descrição da válvula e o seu historial. Nele serão incluídas as informações referidas nos parágrafos anteriores e notas que se achem relevantes. Deve ter um formato digital, permitindo assim realizar uma busca automática nas várias fichas. O trabalhador poderá assim verificar se um problema com o qual se deparou já foi encontrado antes, ou visualizar rapidamente a ficha de uma válvula e suas características. Numa perspectiva de inovação, e considerando que por vezes as equipas do ISQ/Integridade estão espalhadas por vários pontos do país, seria interessante criar uma plataforma de acesso à base de dados através da internet, com recurso a login do utilizador. Isto permitiria o acesso remoto às fichas de trabalho e a possibilidade de as actualizar imediatamente, sem existir a necessidade de se deslocar a um sítio específico. No anexo 2 pode ser visto um exemplo de como poderia ser essa ficha. O botão que diz “Premir para ver foto” permite que o utilizador visualize a foto da válvula se esta estiver disponível.

4. Resultados

A implementação da análise RAMS, com recurso às ferramentas descritas em 2.4 permitiu identificar situações desfavoráveis relacionadas com a Manutenibilidade. Esta identificação permitiu passar para a próxima fase: a caracterização dos problemas encontrados e as suas causas. Nesta fase foi também possível identificar algumas sub-causas, o que foi bastante útil para ter uma visão mais pormenorizada da extensão de cada problema. Isto permitiu verificar que em alguns casos existiam interligações entre eles, tal como na remoção dos pernos, que influenciam o MDT em mais do que uma etapa do processo de manutenção.

Como resultado dessa análise, foram definidas medidas a serem implementadas para que se verifique o objectivo do estudo: uma melhoria da Manutenibilidade que resulte num aumento da Disponibilidade e Segurança.

4.1 Medidas a serem implementadas

Como resultado da análise efectuada, foram definidas medidas a serem implementadas para que se verifique o objectivo do estudo: uma melhoria da Manutenibilidade que resulte num aumento da Disponibilidade e Segurança. Seguidamente estão enunciadas essas medidas:

- inculzir, ou reforçar, em todos os intervenientes do processo de manutenção o espírito de melhoria contínua, explicando e mostrando os benefícios que daí advêm. Este é considerado um dos passos mais importantes e, em alguns casos, um dos mais difíceis, pois implica uma mudança de mentalidade e de atitude perante algumas situações;
- executar uma recolha de dados sobre as acções de reparação mais pormenorizada, com toda a informação relevante. Uma sugestão é a ficha apresentada no anexo 2. Esta contém os dados necessários para ser possível criar um histórico da respectiva válvula, o que ajuda a melhorar o plano de manutenção associado, bem como facilita a selecção de materiais necessários para uma intervenção posterior. Esta informação deverá estar registada em suporte informático, para que seja mais fácil o tratamento de dados e seja possível aceder a esta informação remotamente;
- incluir na definição do plano de manutenção estudos sobre a fiabilidade dos sistemas e seus componentes, os quais permitam estimar com maior precisão as datas em que estes necessitarão de intervenção. Estas devem ser conjugadas com as outras datas legais e operacionais.

- melhorar a comunicação entre a Integridade/ISQ e o cliente, de modo a que este último transmita de uma forma mais célere e precisa as alterações efectuadas aos sistemas e às suas condições de serviço. Só assim será possível, caso seja necessário, estimar uma nova data para a sua manutenção, pois as novas condições poderão alterar a velocidade de deterioração dos componentes e consumíveis utilizados;
- planejar as intervenções com base nas características de cada válvula, usando como base as informações de intervenções anteriores, a descrição dada pelo cliente e recorrendo à experiência pessoal. Devem ser tidos em conta pormenores tais como: dimensões, localização, acessos, ferramentas e meios de transporte necessários. O planeamento deve ser executado com base nos factores referidos, de forma a que os recursos existentes sejam alocados da forma mais eficiente e que sejam criadas as condições de acesso necessárias;
- assegurar que as ligações aparafusadas são facilmente removidas numa próxima intervenção. Para tal devem ser utilizadas pastas que garantam uma lubrificação e protecção eficaz destas ligações. Estas devem ser seleccionadas de acordo com as condições do meio ambiente em que a válvula se encontra. A força de aperto deve também ser controlada, e quando necessário deve-se recorrer a anilhas de carga viva, para que seja assegurada uma ligação eficaz das flanges e correspondente estanquicidade;
- introdução de mecanismos de monitorização remota do funcionamento das válvulas, com registo informático para posterior análise;
- realização de inspecção do estado das válvulas em serviço, com recurso a equipamentos adequados a esse fim;
- equipar as ferramentas com equipamentos que impeçam a sua queda de alturas elevadas;
- reportar todas as ocorrências ao responsável, o qual deverá determinar as suas causas e consequências, avaliar e, caso esta se verifique ser relevante, criar um registo da mesma.

4.2 Discussão dos resultados obtidos

O conjunto de medidas definidas apresenta uma melhoria da Manutenibilidade, com repercussões na Disponibilidade e Segurança. Verificou-se durante o estudo que existe uma interdependência entre todas as componentes da RAMS.

A impossibilidade de verificar a implementação destas medidas na prática é de lamentar, mas ela ocorre porque a repercussão da implementação destas medidas não poderia ser avaliada agora mesmo que elas fossem aplicadas imediatamente, pois o seu impacto só

seria sentido nas próximas acções de manutenção, sendo as mais próximas num período de seis meses. Essa componente de avaliação do desempenho das medidas implementadas é essencial para a RAMS, pois serve como feedback e permite realizar uma nova análise.

Relativamente à medida na qual é indicado que a força de aperto deve ser controlada, na vertente prática esta é bastante complicada de ser cumprida, essencialmente devido ao custo associado à aquisição e manutenção de ferramentas aptas a medir esse valor. Como tal, esta é uma medida sempre aconselhável, mas que na realidade será de difícil aplicação. Fica assim dependente da experiência do trabalhador, o que não sendo a melhor solução, será a adoptada na maioria dos casos. (Note-se que em materiais mais frágeis deve haver um maior cuidado, nomeadamente em flanges de inox, para evitar danificar o material.)

Quanto ao agendamento das acções de manutenção, verificou-se que a definição das datas estava muitas vezes associada apenas aos limites legais. Esta é uma metodologia que não é aconselhável, devendo ser feita uma análise do sistema (válvula de segurança neste caso) e dos seus componentes. Existem vários modelos que podem ser aplicados, tendo sido escolhida a distribuição de Weibull neste caso. Esta provou ser capaz de estimar valores aceitáveis e bastante credíveis, tendo em conta que a quantidade de dados possuídos era escassa e não correspondia a falhas incapacitantes do sistema. Considerando este facto, é necessário salientar que caso existisse um maior número de dados e mais pormenorizados, os resultados obtidos teriam sido mais precisos.

5. Conclusões

A realização deste trabalho permitiu verificar a eficácia e aplicabilidade da análise RAMS no caso particular de estudo, a qual permitiu identificar problemas relacionados com a Manutenibilidade das válvulas de segurança que afectavam a Disponibilidade e Segurança.

Durante todo o processo de recolha e tratamento de informação, concluiu-se que para este caso, e para que a análise possuísse uma estrutura bem organizada, se optasse por analisar o sistema seguindo a ordem pela qual todo o processo de manutenção decorre. Como tal, o método de análise primária consistiu em acompanhar os trabalhadores durante todo o processo para várias válvulas. Esta abordagem permitiu que se tivesse uma perspectiva igual à do trabalhador, o que contribuiu para uma melhor compreensão dos problemas associados a cada etapa. O passo seguinte foi a caracterização desses problemas e das suas causas. Nesta fase foi também possível identificar algumas sub-causas, o que foi bastante útil para ter uma visão mais pormenorizada da extensão de cada problema.

Um aspecto que foi constatado durante as visitas de campo e que merece atenção é o facto de quando se inicia uma análise RAMS deve ser sempre adoptada uma perspectiva do tipo “think outside the box”. Isto implica ter uma mente aberta, não ter ideias pré-concebidas e questionar todas as situações encontradas. Este foi um passo essencial, pois permitiu visualizar e analisar situações para as quais já existiam soluções que podiam ser melhoradas, ou situações que nunca tinham sido consideradas como problemáticas.

Da análise realizada resultou um conjunto de medidas, cuja aplicação resultaria inequivocamente numa melhoria Manutenibilidade e um consequente aumento da Disponibilidade e Segurança. Da parte do ISQ e Integridade existe uma total disponibilidade e incentivo para a inovação e melhoria dos seus métodos e procedimentos. O maior desafio prende-se essencialmente na aplicação das medidas que são responsabilidade dos clientes, tal como a criação de acessos. Apesar de, em alguns casos, se mostrarem benéficas em termos económicos e de segurança, estas muitas vezes não são implementadas por uma questão de hábito. Este é um dos pontos onde é necessário investir, sendo necessária uma mudança de mentalidade e atitude perante a inovação. É aqui que se torna importante promover a sinergia, que foi indicada inicialmente, entre os clientes e os fornecedores do serviço, pois a criação de uma relação de confiança e entajuda será bastante importante para a implementação de medidas inovadoras. A troca de experiências e conhecimentos é essencial para o desenvolvimento de ambas as partes.

Verificou-se também que ao possuir-se uma base de dados com o *know-how* acumulado durante os vários anos de actividade e informações sobre equipamentos que já

tenham sido intervencionados, torna-se mais fácil e célere programar intervenções futuras, pois já se conhecem as condições de trabalho que serão encontradas, tem-se uma caracterização do equipamento e, caso ocorra algum problema inesperado, pode-se sempre procurar na base de dados por casos semelhantes encontrados anteriormente. Tudo isto resulta numa diminuição de tempo dispendido no processo de manutenção e numa mais-valia.

Numa análise global final dos resultados obtidos e das medidas implementadas para uma melhoria da Manutenibilidade, concluiu-se que num sistema todas as componentes da RAMS (Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança) estão quase sempre interligadas e influenciam-se mutuamente. Esta ligação pode ser mais ou menos directa e, quando se actua sobre uma delas, é dessa ligação que depende o impacto que é causado nas restantes. Esta interdependência é simultaneamente uma das melhores características da análise RAMS, e uma das suas maiores dificuldades. Isto porque se torna impraticável estudar ou agir somente numa das suas componentes, pois é sempre necessário considerar, mesmo que pouco, as outras. Esta situação verificou-se neste estudo, pois ao ser analisada a Manutenibilidade e ao serem implementadas medidas para a melhorar, foram também sentidas melhorias na Segurança e Disponibilidade. Este facto permitiu verificar que a análise RAMS é uma ferramenta muito poderosa e útil nos casos em que se procura uma melhoria contínua, pois resulta numa análise muito detalhada e extensa dos sistemas analisados, se forem estudadas todas as suas componentes e correlacionadas as modificações implementadas com os efeitos no sistema.

A análise RAMS mostrou-se muito eficaz ao estabelecer objectivos, definir os problemas do processo, caracterizar as suas causas e produzir soluções para a sua redução ou eliminação. Tudo isto levou a que fossem atingidos os objectivos, levando a uma melhoria da Manutenibilidade, o que garantiu o aumento da Disponibilidade e Segurança. Conseguiu ainda envolver os clientes (CUF) e os fornecedores do serviço (ISQ e Integridade), promovendo assim uma sinergia entre eles.

5.1 Estudos futuros

Um dos obstáculos encontrados na elaboração desta dissertação foi um desconhecimento, por parte de alguns dos interveniente no processo de manutenção, da análise RAMS e das suas vantagens. Utilizando como base o estudo apresentado, seria interessante utilizá-lo para demonstrar as potencialidades da análise RAMS e os benefícios associados, convencendo-os a aplicar as medidas sugeridas e executar uma avaliação das mudanças reais que estas trariam ao sistema.

Considerando que nesta análise foi abordada a Manutenibilidade, como complemento poderá ser analisada uma das outras componentes da RAMS. No entanto sugere-se que se faça um estudo sobre a Fiabilidade, o qual seria um excelente complemento para o estudo agora efectuado. Note-se que este será mais facilmente executado se forem implementadas as medidas de registo de informação, as quais são essenciais para esse estudo.

Uma última sugestão é a aplicação da análise RAMS também na componente Manutenibilidade, mas aplicada a outros sistemas, o que permitiria verificar a grande capacidade de adaptação da RAMS e demonstrar e aplicar outro tipo de técnicas para efectuar a caracterização do sistema.

Referências

- Andrade, J. Luís, “A prevenção e segurança na empresa”, www.revistaseguranca.com, Agosto 2009
- Assis, R., “Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção - Fiabilidade e Manutenibilidade”, LIDEL, Lisboa, 2004
- Assis, Rui, “Manutenção Centrada na Fiabilidade – Economia da Decisões”, LIDEL, Maio 1997
- Borgovini, R.; Pemberton, S.; Rossi, M., “Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA), Report No. CRTA-FMECA”, Reliability Analysis Center, Nova York, Abril 1993
- Brito, Armando S., “Apontamentos Materiais II – Volume III – Ruína dos materiais”, AEIST, Lisboa, 2002
- Cenelec, “EN 50126 – Railway Applications – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)”. Cenelec, Brussels, 1999
- Chapanis, A., “Man-Machine Engineering”, Belmont, 1965
- Costa, Teixeira; Davide Santos; Lança, R., “Sebenta Hidráulica Aplicada – Capítulo VII – Golpe de Aríete”, ESTUA, Faro, 2001
- Department of Defense (DoD), “Designing and Developing Maintainable Products and Systems – MIL-HDBK-470A”, Washington, Junho 1995
- Department of Defense (DoD), “Engineering Design Handbook: Maintainability Engineering Theory and Practice - AMCP 706-133”, Washington, 1976
- Department of Defense (DoD), “Test and Evaluation of System Reliability, Availability and Maintainability - 3235.1-H”, Washington, 1982
- Dhillon, B.S., “Engineering Maintainability”, Gulf Publishing, Houston, TX, 1999
- Dhillon, B.S.; Singh, C., “Engineering Reliability: New Techniques and Applications” John Wiley & Sons, Nova York, 1981.
- EFNMS, www.efnms.org
- Ericson, Clif., “Fault Tree analysis – A History from the Proceedings of The 17th International System Safety Conference”, 1999
- EWCO, “Danish Work Environment Cohort Study 2005 (DWECS)”, Dinamarca, 2005
- Feigenbaum, A. V., “Total Quality Control”, McGraw-Hill Professional 2004
- Griffin, Jill, “Customer Loyalty: How to Earn It, How to Keep It”, Jossey-Bass, Junho 1997
- IIDA, ITIRO, “Ergonomia - Projecto e Produção”, Editora Edgard Blucher, 2005
- Imai, Masaaki, “Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success”, McGraw-Hill/Irwin, 1986
- Ishikawa, K., “Guide to Quality Control”, Unipub, USA, 1988

- ISO 9000:2005, Quality management systems Fundamentals and vocabulary
- ISO 9004:2000, Quality management systems Guidelines for performance improvements
- Lederman, S., "Heightening tactile impressions of surface texture" artigo presente em Gordon, G., "Active Touch" , Pergamon Press, Elmsford, 1978
- Leocádio, Miguel., "Sobre a Incorporação RAMS no Desenvolvimento de Produtos de Base Tecnológica: Uma Abordagem Holística a Veículos Ferroviários", Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão da Tecnologia", IST, Lisboa, Maio 2004
- Malek, Mohammad A., "Pressure Relief Devices", McGraw-Hill Mechanical Engineering, Londres, 2006
- Murthy, D. N. P.; Xie, M.; Jiang, R., "Weibull Models", Wiley-Interscience, Hoboken, 2004
- NASA, "LDEF Systems Special Investigation Group Support", Estados Unidos da América, 1992
- NASA, "SP-473 LDEF", NASA Langley Research Center, Virginia, 1999
- NASA, "Systems Engineering Handbook", Estados Unidos da América, 1995
- NASA, "TM 4628A - Recommended Techniques for Effective Maintainability", Dezembro 1994
- Nayyar, Mohinder L., "Piping Handbook" 7ª Edição, McGraw-Hill Professional, 1999
- Retterer, B. L.; Kowalski, R. A., "Maintainability: A Historical Perspective." IEEE Transactions on Reliability, Volume 33, Abril 1984
- Rigby, L.V., et al., "Guide to Integrated System Design for Maintainability, Report No. ASD-TR-61-424" U.S. Air Force Systems Command, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1961
- SAE G-11, "Reliability, Maintainability, and Supportability Guidebook", The Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pensilvânia, 1990
- Smith, David J., "Reliability, Maintainability and Risk " Elsevier, 7ª Edição, 2005
- Stapelberg, Rudolph F., "Handbook of Reliability, Maintainability and Safety in Engineering Design", Springer, Londres, 2009
- Taylor, Frederick W., "The Principles of Scientific Management", 1911
- Thiokol Corporation, "Evaluation of Newly Formulated Dow Corning 321 Dry Film Lubricant" Brigham City, 1989
- Wang, Yiqiang; Jia, Yazhou; Yu, Junyi; Yi, Shangfeng, "International Journal of Quality & Reliability Management - Field failure database of CNC lathes", MCB UP Ltd – 1999
- Wilkins, Dennis J., "Reliability HotWire eMagazine: Issue 22; The Bathtub Curve and Product Failure Behavior Part Two - Normal Life and Wear-Out", www.weibull.com, Novembro 2002
- Woodson, W.E., "Human Factors Design Handbook", McGraw-Hill, New York, 1981

Anexo 1

Nº pernos	Tempo total (min)	Média de tempo por perno	Observações
12	08:30	0:42	
8	05:03	0:37	
8	07:15	0:54	
10	13:05	1:18	Pernos e porcas oxidadas
12	09:13	0:46	
16	16:58	1:03	Pernos e porcas oxidadas
8	05:05	0:38	
8	05:01	0:37	
6	08:00	1:20	Pernos e porcas oxidadas. Foi necessário cortar os pernos.
10	08:00	0:48	
16	20:07	1:15	Pernos e porcas oxidadas. Recurso a martelo para bater na chave de bocas.

Tempo médio: Total 0:54
 Oxidados 1:14
 Bom estado 0:43

Aumento do tempo dispendido com os pernos oxidados - 70,97%

Anexo 2

	Ficha de Válvula de Segurança
	Data recepção: _____ Data de entrega: _____

Premir para ver foto

Cliente: _____	Fabricante: _____
Válvula nº: _____	Tipo/Modelo/Nº Série: _____
Equipamento ass: _____	Dimensões da válvula: _____
Tipo de fluido: _____	Dimensão porcas: _____

Componente	Recepção							Entrega						
	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	E
Suportes														
Tubagem após remoção														
Corpo da válvula														
Castelo/Capacete														
Flange														
Mola														
Haste/Guia														
Obturador/Guia														
Sede														
Anéis de regulação														
Pernos/Porcas														
Outro:														

Legenda: A-Bom; B-Razoável; C-Mau; D-Oxidado; E-Corroído; F-Picado; G-Danificado; E-Novo

Dimensões (mm):		
Sede:	Mola:	Obturador:
\varnothing_{int} _____	Comprimento: _____	Ressalto: _____
\varnothing_{ext} _____	Secção: _____	

Pressão 1º disparo: _____	Pressão abertura final: _____
---------------------------	-------------------------------

Data de inspeção recomendada: _____
Observações:
Avarias encontradas:
Causas:
Método de reparação:
Responsável: