

• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# Aplicação de Metodologias MCF numa Indústria Farmacêutica

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

**Autor**

**Miguel Filipe Gomes da Costa**

**Orientadores**

**Prof. Doutor Amílcar Lopes Ramalho**

**Eng.º João Ricardo Bicho Trindade**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor José Domingos Moreira da Costa  
Professor Associado da Universidade de Coimbra

**Vogais** Professor Doutor Cristóvão Silva  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Orientador** Engenheiro João Ricardo Bicho Trindade  
Engenheiro responsável da Manutenção da Farmalabor –  
Grupo Medinfar

**Colaboração Institucional**

---



Farmalabor – Grupo  
Medinfar

**Coimbra, Julho, 2015**

”Se não puder se destacar pelo talento, vença pelo esforço.”

Dave Weinbaum

Aos meus pais, irmão e namorada.

## Agradecimentos

A realização da dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não teria sido possível e aos quais estarei eternamente grato.

Ao meu orientador científico-pedagógico, Professor Doutor Amílcar Ramalho por toda a disponibilidade e orientação que contribuíram para um enriquecimento da qualidade do trabalho realizado.

Ao meu orientador da Farmalabor, Engenheiro João Trindade, por todo o apoio e disponibilidade para transmitir conhecimentos ao longo do estágio.

Ao pessoal do setor da manutenção da Farmalabor, quer pelo apoio e motivação, quer pelo conhecimento que me transmitiram.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio demonstrado ao longo da realização da dissertação. À minha família, em especial aos meus pais e irmão pela paciência e motivação manifestadas. À minha namorada por tornar este trabalho mais simples e possível, demonstrando sempre confiança e incentivo.

Por fim, não podia deixar de agradecer aos meus colegas de curso, nomeadamente aqueles com quem tive o privilégio de partilhar ideias e emoções ao longo de todo o percurso académico.

## Resumo

É impossível falar de indústria sem falar de lucros e custos e falar de indústria farmacêutica sem falar em higiene, segurança e qualidade.

Numa época em que se constata uma redução de preços de referência dos produtos farmacêuticos nomeadamente dos medicamentos, faz com que haja a necessidade de aumentar a eficiência dos processos, responsável essa do setor da manutenção.

Por conseguinte surgiu a necessidade de implementar a metodologia “Manutenção Centrada na Fiabilidade”, (MCF) que permite otimizar planos de manutenção de equipamentos ou sistemas, com o objetivo de reduzir custos e maximizar as suas potencialidades operacionais durante o seu ciclo de vida.

O estudo desenvolvido nesta dissertação visa a implementação desta metodologia em dois equipamentos críticos do processo produtivo de uma indústria farmacêutica, com a finalidade de otimizar os seus planos de manutenção e compreender os riscos de segurança e ambiente das falhas dos equipamentos. O primeiro equipamento em estudo é a máquina de revestimento de comprimidos sólidos, seguindo-se o estudo do equipamento de compressão de comprimidos sólidos.

**Palavras-chave:** Indústria Farmacêutica, Manutenção Centrada na Fiabilidade.

## Abstract

It's impossible to talk about industry without talk about profits and costs as well as pharmaceutical industry without talk about hygiene, security and quality.

At a time in which the reference prices of pharmaceutical products show constant reductions, specifically tablets, there's a need to increase the processes efficiency, which is maintenance sector responsibility.

Consequently, emerged the need to implement RCM which allows to optimize the maintenance plans of equipments and systems, with the main objective of reducing costs and maximize their operational potencialities during their life time.

The developed study in this thesis has the aim to implement this method in two critical equipments of the productive process in the pharmaceutical industry with the purpose of optimize the maintenance plans and understand the security and environmental risks and equipments failure modes. The first equipment studied was tablet coating machine, followed by tablet press machine.

**Keywords** Pharmaceutical Industry, Reliability Centered Maintenance.

## Índice

Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tabelas .....	viii
Siglas.....	ix
1. Introdução .....	10
2. Apresentação da empresa .....	12
3. Manutenção de equipamentos: Conceitos e técnicas .....	14
3.1. Definição de Manutenção .....	14
3.2. Evolução da Manutenção .....	15
3.3. Diferentes Técnicas de Manutenção .....	17
3.3.1. Manutenção Corretiva .....	17
3.3.2. Manutenção Preventiva .....	18
3.3.3. Outras técnicas de manutenção consideradas na metodologia MCF II .....	23
3.4. Custos da Manutenção .....	23
4. “Manutenção centrada na fiabilidade”: Metodologia .....	25
4.1. Evolução da Metodologia “Manutenção Centrada na Fiabilidade” .....	25
4.2. Descrição da metodologia “Manutenção Centrada na Fiabilidade” .....	27
4.2.1. Funções .....	28
4.2.2. Falhas Funcionais .....	29
4.2.3. Modos de Falha.....	29
4.2.4. Efeitos das Falhas .....	29
4.2.5. Consequências das Falhas.....	30
4.2.6. Avaliação do índice de risco prioritário.....	31
4.2.7. Sistema de decisão das técnicas de manutenção.....	33
4.2.8. Metodologia MCF e a Manutenção Produtiva Total (MPT) .....	36
4.2.9. Vantagens e Desvantagens da Metodologia .....	37
5. “Manutenção centrada na fiabilidade”: casos de estudo.....	38
5.1. Equipamento de Revestimento.....	39
5.1.1. História da Tecnologia de Revestimento .....	39
5.1.2. Caracterização do Sistema de Revestimento .....	40
5.2. Equipamento de Compressão.....	46
5.2.1. História da Tecnologia de Compressão de Comprimidos .....	46
5.2.2. Caracterização do sistema de compressão de comprimidos .....	48
6. Casos de estudo: Análise de resultados .....	53
6.1. Equipamento de Revestimento.....	53
6.2. Equipamento de compressão.....	59
7. Conclusão .....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67

---

ANEXO A .....	69
ANEXO B.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Organigrama da Farmalabor. ....	13
Figura 3.1. Diagrama de manutenção de equipamentos ou bens. ....	17
Figura 3.2. Padrões das falhas. [2].....	19
Figura 3.3. Curva de tendência de um componente. [2].....	21
Figura 3.4. Iceberg de custos. [2].....	24
Figura 4.1. Índice de frequência F. [9].....	31
Figura 4.2. Índice de deteção D. [9].....	32
Figura 4.3. Índice de gravidade G. [9].....	32
Figura 4.4. Diagrama de decisão “Manutenção Centrada na Fiabilidade II”. [8].....	35
Figura 5.1. Diagrama de manutenção de equipamentos ou bens. ....	38
Figura 5.2. Funcionamento do sistema de revestimento. ....	41
Figura 5.3. Vista geral do sistema de revestimento. [14].....	41
Figura 5.4. Conjunto do equipamento de revestimento e a unidade de controlo. [14].....	42
Figura 5.5. Sistema de pulverização. [14].....	42
Figura 5.6. Unidade de tratamento de ar (UTA). [14].....	43
Figura 5.7. Unidade de extração de ar. [14].....	43
Figura 5.8. Descrição do processo de revestimento de comprimidos. ....	44
Figura 5.9. Diagrama de causa efeito da máquina de revestimento. ....	45
Figura 5.10. Princípio de funcionamento de uma máquina de compressão. ....	49
Figura 5.11. Sistema de alimentação da máquina de compressão. (manual do equipamento) .....	49
Figura 5.12. Rotor da máquina da compressão. ....	50
Figura 5.13. Sistema de extração de comprimidos da máquina de compressão. (manual do equipamento).....	50
Figura 5.14. Equipamentos da garantia de qualidade da máquina de compressão. (manual do equipamento).....	51
Figura 5.15. Diagrama de causa efeito da máquina de compressão de comprimidos. ....	52
Figura 6.1. Setores da máquina de revestimento. ....	53
Figura 6.2. Consequências das falhas da máquina de revestimento. ....	57
Figura 6.3. Distribuição das técnicas de manutenção implementadas (gráfico da esquerda) e propostas (gráfico da direita) para a máquina de revestimento. ....	57

---

Figura 6.4. Setores da máquina de compressão de comprimidos. ....	59
Figura 6.5. Consequências das falhas da máquina de compressão de comprimidos. ....	62
Figura 6.6. Distribuição das técnicas de manutenção implementadas (gráfico da esquerda) e propostas (gráfico da direita) para a máquina de compressão. ....	63

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Tecnologias de aplicação no controlo de condição. [2] .....	22
Tabela 4.1. Exemplo de tabela com a descrição da função, falha funcional, modo de falha, efeito de falha e sua consequência. ....	30
Tabela 4.2. Exemplo de tabela com a descrição da função, falha funcional, modo de falha, efeito de falha e sua consequência com o cálculo do índice de risco prioritário P. ....	33
Tabela 4.3. Folha de decisão da metodologia adaptada à Farmalabor. ....	34
Tabela 5.1. Principais defeitos e causas no processo de revestimento retirado do manual do equipamento. ....	44
Tabela 5.2. Principais defeitos e causas no processo de compressão. [17] .....	51
Tabela 6.1. Descrição das funções dos componentes que compõem o tambor de revestimento. ....	54
Tabela 6.2. Falhas funcionais das funções dos componentes que compõem o tambor de revestimento. ....	54
Tabela 6.3. Modos de Falha das funções dos componentes que compõem o tambor de revestimento. ....	55
Tabela 6.4. Efeitos e consequências dos modos de falha que existem no tambor de revestimento. ....	55
Tabela 6.5. Tabela completa com índice de risco prioritário do modo de falha. ....	56
Tabela 6.6. Folha de decisão do tambor de revestimento. ....	56
Tabela 6.7. Comparação do plano de manutenção da máquina de revestimento antes e após o estudo. ....	58
Tabela 6.8. Descrição das funções dos componentes que compõem a máquina de compressão. ....	60
Tabela 6.9. Falhas funcionais das funções dos componentes que compõem a máquina de compressão. ....	60
Tabela 6.10. Modos de falha das funções dos componentes que compõem a máquina de compressão. ....	61
Tabela 6.11. Efeitos e consequências das falhas que existem na máquina de compressão de comprimidos. Índice de risco prioritário do modo de falha. ....	61
Tabela 6.12. Folha de decisão da máquina de compressão. ....	62
Tabela 6.13. Comparação do plano de manutenção da máquina de compressão antes e após o estudo. ....	64

## **SIGLAS**

CIP – Coating in Place

EPRI – Electric Power Research Institute

FAA – Federal Aviation Agency

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

FMEA – Failure Modes and Effects Analysis

GMP – Good Manufacturing Practise

INFARMED – Instituto Nacional da Farmácia e do Medicamento

MCF – Manutenção Centrada na Fiabilidade

MPT – Manutenção Produtiva Total

RCM – Reliability Centered Maintenance

TPM – Total Productive Maintenance

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

WIP – Washing in Place

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria farmacêutica tem vindo a assistir, desde há alguns anos a esta parte, a sucessivas reduções nos valores de mercado dos medicamentos, motivadas pelas recentes implementações de políticas governamentais com medidas como a redução de preços de referência para grupos de medicamentos similares ou a promoção de genéricos. Nesse sentido é cada vez mais importante não só otimizar processos e evitar o desperdício, mas também combater a ineficiência, com vista à redução de custos globais de produção. Assim sendo, o papel do setor da manutenção tem vindo a assistir a uma crescente valorização, desempenhando hoje um papel preponderante no auxílio à produção.

A indústria farmacêutica, à semelhança de indústrias como a alimentar e hospitalar, é considerada uma indústria limpa já que tem fortes requisitos de higiene, segurança e qualidade. Pelos motivos apresentados, e ao contrário do que acontece em indústrias não limpas, o setor da manutenção depara-se com uma preocupação acrescida com a não contaminação do produto, tendo por isso de estar de acordo com as normas de higiene e segurança que se aplicam à produção. Tal facto demonstra-se de alguma forma perturbador do trabalho de manutenção, nomeadamente no que diz respeito ao tempo de execução das tarefas. [1]

Em contrapartida, na indústria farmacêutica, mais concretamente na Farmalabor, existe o denominado período de higienização da sala. Esta operação decorre entre o fabrico de dois lotes, demora em média 3 horas e consiste na lavagem não só da sala onde está situado o equipamento mas também do próprio equipamento.

Tendo em consideração os fatores apresentados anteriormente, este estudo torna-se bastante benéfico para a empresa na medida em que permite não só obter resultados de cariz económico otimizando os planos de manutenção e beneficiando do tempo de paragem da máquina para higienização, como também permite obter uma maior compreensão dos riscos de segurança e ambiente instalados na fábrica.

Neste estudo, os fabricantes dos equipamentos, bem como dos componentes que os constituem estarão com uma designação genérica por motivos de confidencialidade.

A presente dissertação encontra-se sistematizada em sete capítulos. No capítulo um descreve-se a importância da manutenção na indústria farmacêutica, a motivação para a realização do estudo, os objetivos da dissertação bem como a sua organização. O capítulo dois é dedicado à apresentação da empresa. No terceiro capítulo descrevem-se as diferentes técnicas de manutenção conhecidas e integradas na metodologia Manutenção Centrada na Fiabilidade, que será apresentada no capítulo quatro. No capítulo cinco são apresentados os casos de estudo, sendo eles um equipamento de revestimento e um equipamento de compressão de comprimidos sólidos. No capítulo seis são analisados os resultados.

## 2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Farmalabor – Produtos Farmacêuticos, Lda, tem a sua sede e unidade fabril na zona industrial de Condeixa, freguesia de Sebal Grande, concelho de Condeixa-a-Nova, distrito de Coimbra.

A atividade da Farmalabor assenta na fabricação de produtos farmacêuticos, para a qual se encontra devidamente licenciada pela entidade competente, o INFARMED (Instituto Nacional da Farmácia e do Medicamento). Os produtos farmacêuticos autorizados são das seguintes classes: comprimidos, comprimidos revestidos, comprimidos efervescentes, cápsulas, granulados, pós, supositórios, cremes, pomadas e formas líquidas.

Trata-se de uma atividade dirigida não só aos produtos do Grupo Medinfar, onde está inserido e da qual faz parte, mas também para companhias nacionais e estrangeiras, que confiam à Farmalabor a fabricação e o controlo analítico das suas especialidades farmacêuticas. Como exemplos dessa colaboração, que na atualidade se estende a cerca de 40 parceiros comerciais, podem-se indicar a Johnson & Johnson, Cilag, Jansen, Parke-Davis, Grünenthal, Andrómaco, Fournier, GlaxoSmithkline, Warner-Lambert, Pfizer, Medinsa, Euro-Labor, Bial, Inibsa, Decomed, Lepori, Labesfal, Delta, entre outras.

As instalações fabris, construídas em 1989-1990, mas permanentemente alvo de cuidada manutenção e sujeitas a constantes e importantes melhorias, encontram-se edificadas em terreno vedado com a área total de  $47.694 m^2$ , com um parque de estacionamento com capacidade para 53 viaturas.

No primeiro piso, com a área coberta de  $5350 m^2$ , é possível encontrar:

- Áreas de produção:  $2770 m^2$
- Área de armazém:  $1930 m^2$
- Áreas destinadas a vestiários, receção e refeitório:  $600 m^2$

No que respeita às supracitadas áreas de produção, a sua distribuição é a seguinte:

- Formas sólidas:  $500 m^2$
- Formas líquidas e pastosas:  $810 m^2$
- Embalagem:  $600 m^2$

- Corredores fabris: 860  $m^2$

No segundo piso, com uma área de 2560  $m^2$ , encontram-se as seguintes áreas:

- Controlo de qualidade: 400  $m^2$
- Zona administrativa: 600  $m^2$
- Piso técnico: 1560  $m^2$

Para além da referida área, a possibilidade de crescimento da Farmalabor é perfeitamente concretizável, pois existe uma área adjacente à fábrica de cerca de 38.000  $m^2$  e uma alargada rede de equipamentos e instalações auxiliares que podem responder cabalmente à eventual expansão futura da empresa. O primeiro registo do número de embalagens produzidas remonta a 1983 com 1,66 milhões de unidades. Em 1990 o número de embalagens produzidas cifrou-se em 3,26 milhões, sendo em 2000 de 7,5 milhões. Atualmente, nomeadamente em 2014, foram produzidas 12,1 milhões de embalagens.

A Farmalabor atribui grande valor à sua equipa. Esta organização dispõe de uma equipa coesa, solidária e muito motivada, com elevada capacidade técnica e científica. A formação e a evolução dos seus colaboradores é uma das suas prioridades. Integra permanentemente novos colaboradores, sendo que neste momento ultrapassam os 115. O organograma da Farmalabor mostra a disposição dos vários departamentos e a forma como estão distribuídos.



Figura 2.1. Organograma da Farmalabor.

### **3. MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS: CONCEITOS E TÉCNICAS**

Numa empresa, independentemente dos equipamentos com que labora, é bastante importante garantir a operacionalidade dos mesmos devido à importância que estes têm na garantia de prestação de serviços e, posteriormente, na geração de riqueza. Assim sendo, a manutenção deve ter um bom nível de organização e operacionalidade e a capacidade de interagir ativamente com os outros setores da empresa.

Ao longo do tempo, a manutenção tornou-se num dos setores mais importantes de uma empresa, contribuindo para a melhoria contínua do processo produtivo, segurança, custos e da sua própria imagem. Esta, a par com a gestão da manutenção, permitem não só melhorar o desempenho e disponibilidade dos equipamentos, assim como controlar *stocks*, melhorar a qualidade dos produtos ou serviços e reduzir os custos relacionados com as falhas dos equipamentos.

Este capítulo tem como principais objetivos descrever as diferentes técnicas usadas na indústria na manutenção dos seus equipamentos e quantificar os custos de manutenção.

#### **3.1. Definição de Manutenção**

Existem várias definições de manutenção, segundo diversos autores:

“conjunto das ações destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que elas são intervencionadas nas oportunidades e com o alcance certos, por forma a evitar que avariem ou baixem de rendimento e, no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade, tudo a um custo global otimizado” [2]

“combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida” [3]

“A manutenção, para ser estratégica, precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização. É preciso, sobretudo, deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz; ou seja, não basta, apenas, reparar o equipamento ou instalação tão rápido quanto possível, mas é preciso, principalmente, manter a função do equipamento disponível para a operação, reduzindo a probabilidade de uma parada de produção não planejada” [4]. Torna-se relevante referir que esta citação é retirada de um livro em português (Brasil), sendo que os conceitos de “eficiência” e “eficácia” não são semelhantes ao português (Portugal). Posto isto e traduzindo para português (Portugal), a segunda frase da citação ficaria “É preciso, sobretudo, deixar de ser apenas eficaz para se tornar eficiente”.

### **3.2. Evolução da Manutenção**

Moubray, John (1997), descreveu a evolução da manutenção desde 1930 até o final do milénio. Esta evolução é exibida ao longo de três gerações:

- A Primeira Geração (1930 – 1939)

A primeira geração diz respeito ao período até a 2ª Guerra Mundial. Uma vez que nessa altura na indústria não existiam grandes cadeias de produção, a indústria não se preocupava em automatizar os seus processos e, portanto, os seus tempos de paragem não se tornavam muito importantes fazendo com que não fosse uma prioridade a manutenção preventiva. Para além disso, como nessa época os equipamentos eram simples, a manutenção era baseada em ações de limpeza e lubrificação, dada a simplicidade dos equipamentos, estes eram fáceis de reparar quando ocorria uma avaria.

- A Segunda Geração (1940 – 1975)

As indústrias mudaram dramaticamente durante a 2ª Guerra Mundial. A pressão da guerra aumentou a procura por bens, enquanto a mão-de-obra industrial era cada vez mais escassa. Assim, foi necessário aumentar a automatização. Na década seguinte, o número de máquinas aumentou e tornaram-se cada vez mais complexas. Na década de 60 começou a haver uma maior preocupação de evitar avarias e a manutenção preventiva atingiu uma grande popularidade, sendo esta baseada em revisões realizadas em intervalos de tempo fixos. Contudo, o custo das empresas com a manutenção começou a aumentar, havendo necessidade de iniciar o planeamento e o controlo da manutenção. Nesta altura houve uma

grande preocupação em maximizar a vida útil dos equipamentos, muito por causa do acentuado capital investido nos equipamentos.

- A Terceira Geração (1975 – 2000)

Desde 1975, foram realizados novos estudos sobre os padrões de avaria dos equipamentos e surgiram novas técnicas e desafios associados à manutenção. Consequentemente, os estudos sobre os padrões de avaria dos equipamentos, revelaram que a probabilidade de falha de um equipamento pode apresentar um comportamento que não depende da idade de operação do próprio equipamento. Nesta altura surgiram também novas técnicas de manutenção, tais como a manutenção condicionada e as ferramentas de apoio à decisão tais como os estudos de risco e análises de modos de falhas e efeitos (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA).

- A Quarta e Quinta Geração (2000 – Atualidade)

A partir do início do milénio e cada vez mais, o setor da manutenção é um setor indispensável em qualquer organização que, atualmente, para além de problemas de decisão de qual a técnica de manutenção adequada a um determinado equipamento, têm agora também preocupações ambientais e de segurança dos trabalhadores. Nesta altura os operadores da manutenção começaram a ser cada vez mais confrontados com problemas de decisão, assim como houve um aumento de utilização da manutenção preventiva condicionada. [5]

Nos últimos anos surgiu uma nova tecnologia, denominada Telemanutenção que permite através de *software* e *hardware* próprio não só monitorizar os equipamentos à distância, assim como visualizar estados e alarmes, enviar comandos e ordens. Esta tecnologia permite a comunicação via internet ou telemóvel, das máquinas com o responsável da manutenção, permitindo assim tomar decisões à distância e em tempo real.

Nos dias de hoje, uma manutenção que garanta uma elevada disponibilidade dos equipamentos, conjugado com um custo reduzido é o objetivo de qualquer departamento de manutenção.

### 3.3. Diferentes Técnicas de Manutenção

De um modo geral, a manutenção de equipamentos ou bens pode ser esquematizada conforme o diagrama seguinte:



Figura 3.1. Diagrama de manutenção de equipamentos ou bens.

#### 3.3.1. Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva compreende as ações que são desencadeadas após a ocorrência de uma avaria, tendo como objetivo repor as condições de operacionalidade.

Este tipo de manutenção pode ser dividida em duas fases:

- Manutenção Corretiva Paliativa
- Manutenção Corretiva Curativa

A primeira, manutenção corretiva paliativa, é descrita como sendo uma intervenção tipo conserto ou desempanagem, efetuada no local da avaria com reposição do estado de funcionamento, sem ser necessária uma longa interrupção da produção.

A segunda, manutenção corretiva curativa, é dada como sendo uma intervenção de reparação efetuada no local ou em oficina externa, por vezes após desempanagem, com carácter definitivo e com necessidade de interrupção mais prolongada da produção. Esta manutenção acarreta custos elevados, nomeadamente em perdas de produção significativas que se refletem no volume de vendas. [6]

A manutenção corretiva pode ser considerada uma hipótese viável quando aplicada a equipamentos de baixa criticidade e os custos envolvidos numa eventual reparação são inferiores aos custos de um acompanhamento por inspeções ou manutenção preventiva [7]

### **3.3.2. Manutenção Preventiva**

A manutenção preventiva compreende todas as ações de manutenção realizadas antes da ocorrência de uma previsível falha. Este tipo de manutenção tem como objetivo evitar ou reduzir a probabilidade de ocorrência de avarias, de modo a garantir um funcionamento seguro e eficiente dos equipamentos.

De acordo com Pinto, Carlos Varela, (1999), a implementação de um sistema de manutenção preventiva permite obter de forma direta ou indireta, alguns benefícios que se refletem nos custos de funcionamento dos serviços de manutenção, nomeadamente:

- Reduz a taxa de avarias e conseqüentemente diminui o tempo total de paragem dos equipamentos, aumentando a sua disponibilidade para produção e contribuindo assim para a redução dos custos indiretos relacionados com perdas de produção.
- Reduz o risco de acidentes graves devido a avarias, aumentando a segurança dos equipamentos e dos operadores.
- Melhora e racionaliza a utilização dos meios humanos através do planeamento das atividades de manutenção, com a conseqüente redução de custos.
- Origina economias de energia evitando o aparecimento de fugas de óleo, vapor, ar comprimido, água e outros fluidos envolvidos no processo produtivo.

A manutenção preventiva compreende dois tipos de manutenção tal como ilustra a Figura 3.1. A manutenção preventiva sistemática, baseada em intervenções de reparação ou substituição com periodicidade fixa e a manutenção preventiva condicionada baseada em intervenções de periodicidade variável efetuadas de acordo com o estado do equipamento, avaliado através do controlo das condições do seu funcionamento.

### 3.3.2.1. Manutenção Preventiva Sistemática

As operações de manutenção preventiva sistemática, também designadas operações de manutenção planeadas, devem coincidir com paragens por razões de planeamento de produção, cujas intervenções são de periodicidade fixa (semanal, mensal, anual, etc.).

Segundo Pinto, Carlos Varela, (1999), a manutenção preventiva sistemática poderá ser aplicada de duas formas:

- Inspeções sistemáticas compostas por verificações periódicas a pontos críticos do equipamento, agendando intervenções quando a inspeção o revele necessário.
- Revisões constituídas por trabalhos de manutenção programados realizados periodicamente com paragem geral ou parcial da fábrica.

Para realizar uma manutenção preventiva sistemática é necessário conhecer o modo de ocorrência das avarias. Na Figura 3.2 estão apresentadas as seis representações conhecidas da probabilidade de ocorrência de uma falha em função do tempo, sendo que a primeira variável representa-se no eixo dos Y, enquanto a segunda no eixo dos X.

A curva em “A”, denominada “curva da banheira”, revela que num período no início da vida do equipamento (período de mortalidade infantil), existe elevada probabilidade de ocorrência de avaria. Ao longo da vida do equipamento, essa probabilidade decresce mantendo-se constante durante um largo período de tempo (período de vida útil). Terminado este período, a probabilidade volta a crescer definindo-se o período de desgaste.

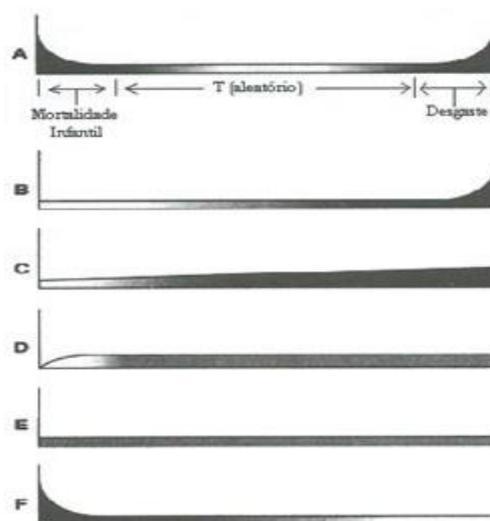


Figura 3.2. Padrões das falhas. [2]

A distribuição B é idêntica à “curva da banheira” mas sem o período de mortalidade infantil. Assim sendo, a manutenção preventiva sistemática é aplicada com o intuito de, por ação de reparações e substituições de componentes, manter a probabilidade de ocorrência de avarias sempre ao menor nível possível.

Nas restantes distribuições, representadas de C a F, é possível observar que em nenhum caso existe um ponto bem definido a partir do qual a probabilidade de avaria começa a subir ou a descer, o que se pode concluir que a abordagem sistemática deixa de ter aplicação.

Na aplicação da metodologia Manutenção Centrada na Fiabilidade II (MCF II) abordada no capítulo 4 a manutenção preventiva sistemática pode ser de dois tipos distintos:

- Manutenção Preventiva Sistemática de reparação
- Manutenção Preventiva Sistemática de substituição

A primeira engloba tipos de trabalho tais como: calibrações, rotinas de inspeção, rotinas de lubrificação e consertos de componentes. Pelo contrário, a segunda tal como o nome indica, abrange tarefas de substituição de peças.

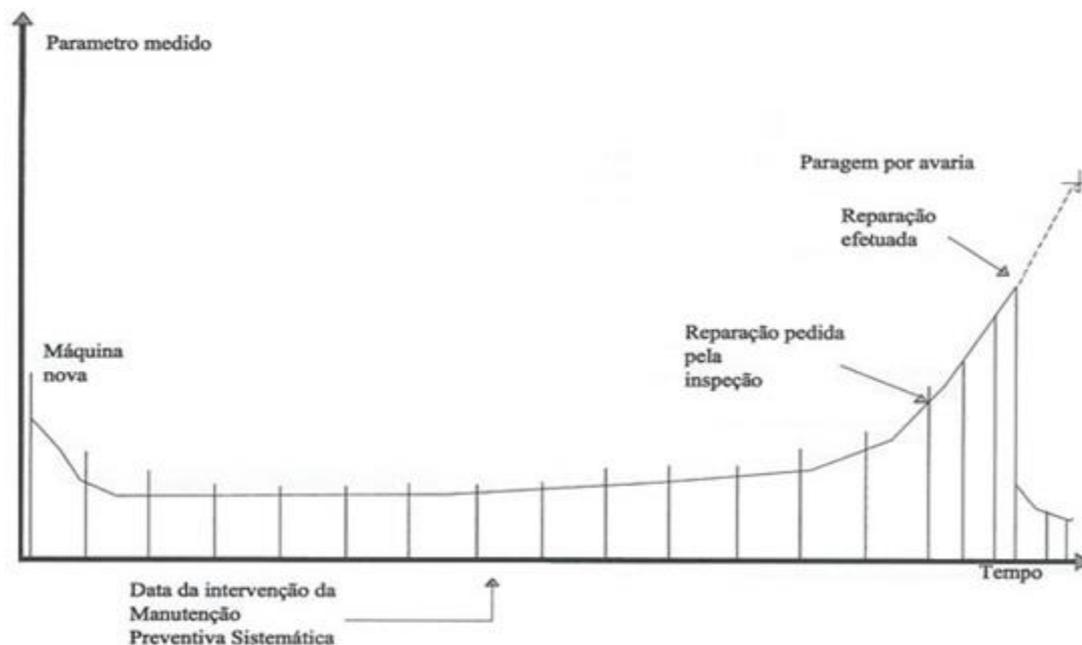
### **3.3.2.2. Manutenção Preventiva Condicionada**

Neste tipo de manutenção preventiva, a decisão de intervenção é tomada quando existe evidência de avaria iminente ou quando se aproxima do limite de degradação admissível pré-determinado, não necessitando do conhecimento prévio da lei de degradação do equipamento. [6]

Antes de implementar esta técnica de manutenção é necessário estudar os equipamentos presentes na fábrica a fim de perceber se vale ou não a pena fazer este tipo de manutenção. Para que valha a pena é imperativo que exista degradação progressiva e detetável. Não menos importante na implementação desta técnica de manutenção será encontrar os parâmetros mensuráveis no sistema, tais como pressões, débitos, temperaturas, vibrações, ruídos, etc.

Na Figura 3.3 está representada uma análise de tendência que possibilita verificar a evolução de um parâmetro mensurável no sistema. Através desta análise, é possível reparar um componente antes da ocorrência da sua avaria e verificar que a data de intervenção da manutenção preventiva sistemática se encontra num instante de tempo muito

anterior à reparação pedida e posteriormente efetuada com recurso às técnicas de manutenção preventiva condicionada.



**Figura 3.3.** Curva de tendência de um componente. [2]

Na Figura 3.3 é ainda possível verificar que a curva de tendência se enquadra perfeitamente na curva A da Figura 3.2. A razão pela qual a manutenção preventiva sistemática nem sempre conduz a bons resultados, ainda que exista um padrão de falhas bem definido, resulta do facto dos tempos entre avarias terem um desvio padrão muito elevado, o que significa que torna mais difícil definir com exatidão o momento da ocorrência da falha. Neste caso, opta-se por utilizar a manutenção preventiva condicionada.

Existem assim diferentes formas de manutenção condicionada sendo elas:

- Forma estrita, cuja vigilância se realiza continuamente (por ação de sensores, por exemplo);
- Forma larga: cuja vigilância se realiza periodicamente em intervalos de tempo variáveis, como são os casos da análise de vibrações e da termografia apresentados na secção 3.3.2.2.1;
- Forma integrada: sem vigilância externa e integrada na conceção do equipamento.

São inúmeras as vantagens da manutenção condicionada, sejam elas de teor económico e de segurança. Apresentam-se como alguns exemplos:

- Aumento da segurança do operador da máquina;
- Aumento da disponibilidade dos equipamentos, ampliando o volume produção;
- Redução de custos de manutenção, na medida em que evita intervenções, por vezes inúteis, realizadas com a manutenção preventiva sistemática;
- Permite tirar o máximo partido de um determinado componente, reparando ou substituindo o mesmo apenas quando está prestes a avariar.

Na atualidade existe uma série de técnicas de controlo da condição dos equipamentos em auxílio à manutenção condicionada. Algumas serão apresentadas na secção seguinte.

### 3.3.2.2.1. Equipamentos de auxílio à Manutenção Condicionada

Hoje em dia, existe uma panóplia de equipamentos de controlo da condição das máquinas. As técnicas de controlo mais usadas consistem em:

- Análise de vibrações
- Termografia
- Análise de lubrificantes
- Inspeção visual

Na Tabela 3.1 estão identificadas algumas aplicações destas técnicas, nomeadamente a tipos de componentes presentes numa indústria farmacêutica.

**Tabela 3.1.** Tecnologias de aplicação no controlo de condição. [2]

Tipo de Componente	Mecânico										Elétrico								
	Rotativo					Estático					Distribuição				Controlo				
	Motores	Geradores	Bombas	Compressores	Ventiladores	Purgadores de Vapor	Isolamento	Caldeiras	Válvulas	Permutadores	Tubagem	Motores	Geradores	Transformadores	Capacitores	Interruptores	Sistemas de corte	Sistemas de arranque de motores	Relés
Técnica de controlo	Análise do lubrificante		Análise de Vibrações			Termografia					Análise de Vibrações		Termografia			Calibração de Relés			
	Espectrografia do óleo		Medidor de tensões em correias			Pirómetro					Ensaio de Pressão		Pirómetro			Inspeção visual			
	Viscosímetro		Alinhamento de veios e polias			Medição de ultra sons					Ensaio de Vácuo		Medidor de tensão			Termografia			
	Análise de Vibrações										Ensaio hidráulico		Análise de Vibrações			Pirómetro			

### **3.3.3. Outras técnicas de manutenção consideradas na metodologia MCF II**

Na metodologia MCF II para além das técnicas de manutenção corretiva e preventivas, são apresentadas mais duas técnicas, sendo elas a manutenção de melhoria e a manutenção de deteção de falhas.

#### **3.3.3.1. Manutenção de melhoria**

As técnicas de melhoria são ações capazes de mudar a forma física de um equipamento, de modificar o seu contexto de operação ou alterar o método usado pelos operadores para realizarem as tarefas de manutenção. São exemplos alterar um rolamento, mudar o material de um componente ou o raio de curvatura de um veio. [4]

#### **3.3.3.2. Manutenção de deteção de falhas**

A manutenção de deteção de falhas permite verificar se um componente ainda está operacional, nomeadamente se realiza todas as funções requeridas e em conformidade. Esta técnica de manutenção é aplicada apenas a equipamentos de proteção, equipamentos estes que têm como funções alertar os operadores para condições anormais, desligar o equipamento em caso de falha e evitar que surjam consequências graves não só operacionais mas ambientais e de segurança do operador. [4]

### **3.4. Custos da Manutenção**

As margens de lucro das empresas são atualmente muito reduzidas e a indústria farmacêutica não é exceção tendo vindo a assistir desde há alguns anos a esta parte, a sucessivas reduções nos valores de mercado dos medicamentos. Assim sendo, é muito importante um bom controlo de custos da manutenção.

Os custos de manutenção podem ser de dois tipos, sendo eles: [6]

- Custos diretos
- Custos indiretos

Os custos diretos são os custos da atividade dos diferentes serviços da manutenção, são eles os custos de mão-de-obra representados pelo produto dos tempos gastos pela taxa horária dos trabalhadores, as despesas fixas do serviço de manutenção como o aquecimento e despesas administrativas, os custos de amortização de *stocks* de produto,

ferramentas e máquinas, o custo das matérias-primas e bens, componentes de substituição, assim como os custos relacionados com a subcontratação que mais não é do que uma operação pela qual uma empresa confia a outra a execução de um conjunto de tarefas.

Os custos indiretos consistem por sua vez nos custos de perda de produção nos quais se englobam os custos de perdas dos produtos não fabricados, custos de mão-de-obra parada, custos de amortização dos equipamentos em paragem e prazos de entrega não conseguidos.

Na Figura 3.4 está apresentado o iceberg dos custos da manutenção, em que a ponta visível representa os custos diretos e a parte imersa representa os custos indiretos.



Figura 3.4. Iceberg de custos. [2]

## **4. “MANUTENÇÃO CENTRADA NA FIABILIDADE”: METODOLOGIA**

A metodologia “Manutenção Centrada na Fiabilidade” (MCF), em inglês “Reliability Centered Maintenance” (RCM), é um processo que tem como principal objetivo otimizar a relação custo/benefício da manutenção aplicada a um dado equipamento ou sistema. A metodologia baseia-se em critérios de fiabilidade para determinar a técnica de manutenção mais adequada a cada modo de falha de um equipamento, tendo como prioridades os níveis de segurança dos operadores e bens, a proteção do meio ambiente, assim como a uma máxima disponibilidade do equipamento.

### **4.1. Evolução da Metodologia “Manutenção Centrada na Fiabilidade”**

De acordo com Moubray, John, (1997), no final dos anos 50 do século passado houve um aumento significativo do tamanho da frota aérea comercial, fazendo com que o custo das atividades de manutenção se tornassem suficientemente elevados para justificar um olhar crítico para os resultados das práticas de manutenção existentes. Ao mesmo tempo, a “Federal Aviation Agency” (FAA), entidade responsável por regular as práticas de manutenção das companhias aéreas, detetou que não era possível controlar a taxa de avarias de certo tipo de motores não fiáveis. Como resultado, em 1960 a FAA, conjuntamente com responsáveis de manutenção de várias companhias aéreas, uniram esforços para reavaliar a capacidade das estratégias de manutenção preventiva. O trabalho deste grupo assentava em desenvolver um programa de manutenção através de uma análise de fatores que afetam a fiabilidade. Assim sendo, cada companhia aérea envolvida no grupo de trabalho foi autorizada a desenvolver e implementar programas de manutenção baseados em fiabilidade. Os resultados revelaram que as manutenções preventivas tinham pouco efeito na fiabilidade de um equipamento complexo, a menos que ele tivesse um modo de falha predominante. Para além disso, foram identificados muitos equipamentos onde a manutenção preventiva não era eficiente.

O próximo passo foi recolher toda a informação dos vários programas de manutenção e desenvolver uma nova metodologia, onde a função que cada equipamento exerce no sistema em que está inserido era então considerada. Em 1965, um rudimentar diagrama de decisão foi idealizado, sendo que em Junho de 1967 foi apresentado um documento sobre a sua utilização no congresso “AIAA Commercial Aircraft Design and Operations”. A partir daqui foram feitos aperfeiçoamentos da técnica, sendo que a mesma foi publicada no manual “MSG-1: Maintenance Evaluation and Program Development” e aplicada no desenvolvimento do Boing 747, tendo sido um sucesso. Por força da inovação e melhoramento da técnica, dois anos mais tarde foi criado um segundo manual “MSG-2: Airline Manufacturer Maintenance Program Planning Document”. Este manual foi usado para desenvolver programas de manutenção para os aviões Lockheed 1011, Douglas DC10 e aviões militares, tendo sido igualmente bem sucedidos. O principal objetivo das metodologias MSG-1 e MSG-2 foi conceber programas de manutenção preventiva que assegurassem a máxima segurança e fiabilidade dos aviões com o menor custo possível. Exemplo do sucesso obtido com esta metodologia foi o programa de manutenção do avião Douglas DC10 que exigia revisões programadas a 7 componentes, ao contrário do programa inicial do avião Douglas DC8 que requeria revisões programadas a 339 componentes. Assim sendo, não só se reduziram revisões programadas e trabalho como, consequentemente, se reduziram os custos de manutenção sem diminuir a fiabilidade.

Embora os manuais MSG-1 e MSG-2 tenham revolucionado os procedimentos no desenvolvimento de programas de manutenção de aeronaves, a sua aplicação a outros tipos de equipamentos e indústrias era ainda bastante limitado devido à precisão e foco especializado. Para além disso, a formulação de certos conceitos estava ainda incompleta.

Em 1974, o departamento de defesa dos Estados Unidos da América tendo conhecimento da metodologia de manutenção preventiva que estava a revolucionar a aviação comercial, requisitou a United Airlines para elaborar um relatório sobre os processos usados na aviação civil no sentido de realizar programas de manutenção para os seus aviões. Assim sendo no ano de 1978, F.Stanley Nowlan e Howard F. Heap publicaram o intitulado “Reliability Centered Maintenance”. Desde então, também a marinha dos Estados Unidos da América começou a aplicar a metodologia MCF.

Em 1984 o Electric Power Research Institute (EPRI) iniciou estudos pilotos de MCF em três centrais nucleares nos Estados Unidos da América, sendo que a partir daí, começou-se também a utilizar em países como a França e a Alemanha.

No início da década de 80, John Moubray e os seus colaboradores começaram a trabalhar com centenas de organizações no mundo inteiro de modo a implementarem a metodologia “Reliability Centered Maintenance”, trabalho que levou ao desenvolvimento da MCF II usado em indústrias para além da aviação no ano de 1990.

Uma das alterações mais significativas foi a acrescente das consequências ambientais à árvore de decisão do relatório de Nowlan e Heap. Além disso, define sete questões essenciais como as etapas necessárias a seguir para implementar a metodologia, assim como substitui alguns dos termos usados no processo original, como por exemplo, os termos “aplicáveis” e “eficazes” para descrever as manutenções adequadas aos modos de falha são substituídos respetivamente pelas frases “tecnicamente praticáveis” e “vale a pena fazer-se”. No processo de seleção e frequência das técnicas de manutenção mais adequadas aos modos de falha, foram criadas regras de seleção mais precisas.

De facto o MCF II já foi aplicado por todo o mundo nas mais variadas indústrias, destacando-se a indústria petroquímica, alimentar, elétrica, militar, plásticos, mineira e de transportes.

## **4.2. Descrição da metodologia “Manutenção Centrada na Fiabilidade”**

A implementação da metodologia envolve o estudo detalhado de sete questões a um determinado equipamento. De forma perfeitamente organizada são identificadas as funções do equipamento no seu contexto operacional, as falhas dessas funções e os seus modos de falha. De seguida, são determinados os efeitos das falhas e, através destes, identificadas as consequências dessas falhas quer seja a nível operacional, ambiental ou de segurança. Finalmente, com base em critérios de fiabilidade, custos de manutenção e das consequências das falhas são determinados os tipos de manutenção preventiva e / ou corretiva que devem ser aplicados a cada modo de falha de um dado equipamento. No nosso caso, foram ainda acrescentados mais três parâmetros no estudo, sendo eles:

- Lista dos equipamentos a adquirir para realizar a manutenção mais adequada a um dado modo de falha.
- A necessidade ou não de paragem da máquina para realizar a tarefa, assim como o tipo de operador responsável por executar a referida tarefa, quer seja do setor da produção ou manutenção.

A metodologia MCF II permite saber em pormenor o funcionamento de um dado componente no seu contexto operacional, avaliando a sua criticidade e compreendendo qual a sua importância no sistema no qual está integrado.

De acordo com Moubray, John, (1997), e como foi apresentado anteriormente nesta secção, esta metodologia implica analisar sete questões sequenciais a um determinado equipamento, são elas:

- Quais as funções do equipamento no seu contexto operacional?
- De que maneiras podem essas funções falhar?
- O que causa cada falha de função?
- O que acontece quando uma falha ocorre?
- Qual a importância das consequências de cada falha?
- O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- O que fazer quando não é justificável uma política de manutenção preventiva?

A resposta às cinco primeiras questões é realizada com recurso ao método “Failure Mode and Effects Analysis” (FMEA). Para haver melhor percepção dos resultados, é necessário introduzir alguns conceitos como função, falhas funcionais, modos de falha, efeitos das falhas, bem como as consequências das falhas.

#### **4.2.1. Funções**

A primeira abordagem da metodologia passa por determinar as funções dos vários componentes do equipamento. A função de um componente mais não é do que os requisitos que o utilizador espera que o componente satisfaça.

As funções podem ser divididas em duas categorias:

- Funções primárias: definidas como sendo as funções principais presentes no componente, razão pela qual foi adquirido.

- Funções secundárias: designadas como funções necessárias para que o componente cumpra requisitos de segurança, controlo, eficiência energética e ambiente. [8]

#### **4.2.2. Falhas Funcionais**

Depois de abordadas as funções dos diferentes componentes, segue-se o estudo das falhas funcionais. Uma falha funcional pode ser de dois tipos:

- Com perdas totais de função: o componente é incapaz de realizar a sua função com um nível de performance aceitável, ou seja, considera-se avariado. Na análise de resultados está representado pela letra A.
- Com falhas parciais: o componente ainda é capaz de realizar a sua função mas com um nível de performance inaceitável. Na análise de resultados está representado pela letra B. [8]

#### **4.2.3. Modos de Falha**

Como resposta à terceira pergunta da metodologia e de acordo com o método “Failure Modes and Effects Analysis” (FMEA), o passo seguinte será identificar os modos de falha, ou seja, os acontecimentos que podem causar cada falha funcional. Estes modos de falha são normalmente erros humanos, desgaste ou rotura de componentes e falhas de projeto, sendo que podem ser identificados através do registo de avarias do equipamento. [8]

#### **4.2.4. Efeitos das Falhas**

Depois de identificados os modos de falha, está-se em condições de determinar os seus efeitos, ou seja, o que acontece quando cada modo de falha ocorre.

Os efeitos das falhas devem incluir o máximo de informações necessárias para apoiar a avaliação das consequências das falhas, tais como:

- Qual a evidência que demonstra que um dado modo de falha ocorreu;
- De que maneira é que a falha coloca em risco a segurança ou o ambiente;
- De que forma é que a falha afeta a produção;
- Existe dano físico causado pela falha;
- O que deve ser feito para reparar a falha. [8]

#### 4.2.5. Consequências das Falhas

O quinto passo da metodologia MCF II e último do método FMEA tem como principal objetivo perceber qual o tipo de consequência associada a cada modo de falha. As falhas de um dado componente podem ter implicações:

- Operacionais: relacionadas com o processo produtivo;
- Ambientais: pondo em risco o meio envolvente da fábrica;
- Segurança: pondo em risco a vida dos operadores e infraestruturas da fábrica, assim como neste estudo o consumidor;
- Não operacionais: não tem consequências diretas na segurança, ambiente ou no processo produtivo, tendo consequências exclusivamente económicas.

No diagrama de decisão da Figura 4.4, bem como na folha da decisão da Tabela 4.3, as consequências estão identificadas com as letras H, S, E e O que representam respetivamente:

- H: se um dado modo de falha causa uma falha de função clara para a equipa de manutenção;
- S: se a falha tem implicações de segurança;
- E: se a falha tem implicações ambientais;
- O: se a falha tem implicações operacionais.

A partir deste momento, está-se em condições de preencher a Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Exemplo de tabela com a descrição da função, falha funcional, modo de falha, efeito de falha e sua consequência.

F	FF	MF	Efeitos da Falha	Consequência

#### 4.2.6. Avaliação do índice de risco prioritário

Embora não esteja integrado na metodologia MCF II decidiu-se incorporar o cálculo do índice de risco prioritário no nosso estudo. O índice de risco prioritário P permite hierarquizar por ordem decrescente de importância as causas de falha do equipamento, permitindo concentrar os esforços de prevenção prioritariamente para as causas que apresentem os valores mais elevados de P. [9]

O cálculo do índice de risco prioritário compreende o estudo de vários índices, entre eles:

- Índice F: traduz a probabilidade de ocorrência de uma falha potencial durante a vida útil do componente. Pode ser calculado estimando a probabilidade de ocorrência da falha, seguindo-se a estimativa da probabilidade de, uma vez ocorrida a causa, esta conduza ao modo de falha potencial. É classificado no intervalo de 1 a 10, como demonstra a Figura 4.1.

Critério	Classifi.	Estimativa da proporção de ocorrências
Probabilidade remota de ocorrência. É pouco razoável esperar que a falha se venha a produzir.	1	0
Proporção de falhas muito baixa (de acordo com a experiência recolhida em projectos semelhantes, ocorre raramente).	2	1/20 000
	3	1/4 000
Proporção de falhas moderada (de acordo com a experiência recolhida em projectos semelhantes, ocorre esporadicamente).	4	1/1000
	5	1/400
	6	1/80
Proporção de falhas elevada (de acordo com a experiência recolhida em projectos semelhantes, causa problemas).	7	1/40
	8	1/20
Proporção de falhas muito elevada (a falha ocorrerá em grandes proporções, com grande probabilidade).	9	1/8
	10	1/2

Figura 4.1. Índice de frequência F. [9]

- Índice D: indica a probabilidade de deteção de uma falha potencial antes de chegar ao cliente. O valor a atribuir ao índice de deteção está interligado à eficácia do sistema de controlo da qualidade. Neste caso, como se trata de uma indústria farmacêutica com grandes implicações de saúde, é necessário um controlo de qualidade rigoroso a uma percentagem das unidades produzidas, resultando num baixo valor deste

índice. À semelhança do índice F, é classificado no intervalo de 1 a 10, como é representado na Figura 4.2.

<b>Critério</b>	<b>Classifi.</b>
Probabilidade remota de que o defeito chegue ao cliente. É pouco razoável admitir que o defeito não é detectado durante a inspeção, teste ou montagem.	1 2
Probabilidade baixa de que o defeito chegue ao cliente.	3 4
Probabilidade moderada de que o defeito chegue ao cliente.	5 6
Probabilidade elevada de que o defeito chegue ao cliente.	7 8
Probabilidade muito elevada de que o defeito chegue ao cliente.	9
Pode prever-se com toda a segurança que o defeito chegará ao cliente	10

**Figura 4.2.** Índice de deteção D. [9]

- Índice G: procura estudar a gravidade dos efeitos da falha sobre o cliente, quantificando o inconveniente que uma falha lhe possa causar. Ao contrário do que se passa no índice D, tendo em conta que é uma indústria farmacêutica com implicações de segurança, certamente iremos ter valores deste índice bastante elevados. Este índice também é classificado no intervalo de 1 a 10 sendo exposto na Figura 4.3.

<b>Critério</b>	<b>Classifi.</b>
É pouco razoável esperar que a natureza pouco significativa da causa possa provocar algum efeito notável no rendimento ou aspecto do produto. Provavelmente o cliente não será capaz de detectar a falha.	1
Classificação de baixa gravidade, devido à natureza pouco importante da falha, que apenas causará um ligeiro inconveniente ao cliente. O cliente não notará nenhuma deterioração no rendimento ou aspecto do produto.	2 3
Falha que causa um certo descontentamento ao cliente, fazendo-o experimentar algum incómodo ou irritação.	4 5 6
Alto nível de descontentamento do cliente devido à natureza da falha, que não envolve aspectos de segurança ou legais.	7 8
Classificação de alta gravidade, que será sobrecarregada quando a falha envolva problemas de segurança potencial. Incumprimento de requisitos legais.	9 10

**Figura 4.3.** Índice de gravidade G. [9]

Depois de classificados cada um dos índices, está-se em condições de calcular para cada modo de falha o índice P dado por:  $P = F \times D \times G$ .

De seguida procede-se à análise dos índices, sendo que devem ser respeitados os seguintes critérios:

- Devem ter prioridade as causas críticas, ou seja, causas que apresentem índices de gravidade G elevados (9 ou 10).
- Menos importante que o índice de gravidade G mas muito importante na hierarquização são as causas que apresentem valores mais elevados do índice P.

Sendo assim, serve de exemplo duas falhas distintas 1 e 2, se a falha 1 tiver um valor de P inferior ao de 2 mas com um valor de G de 9 ou 10 não acontecendo com a falha 2, a falha 1 tem prioridade.

Com as informações retiradas até aqui, está-se em condições de preencher os dados da Tabela 4.2 e assim em condições de avançar para o processo de decisão da técnica de manutenção indicada para um modo de falha.

**Tabela 4.2.** Exemplo de tabela com a descrição da função, falha funcional, modo de falha, efeito de falha e sua consequência com o cálculo do índice de risco prioritário P.

F	FF	MF	Efeitos da Falha	Consequência	F	D	G	P

#### 4.2.7. Sistema de decisão das técnicas de manutenção

A última fase da metodologia MCF II compreende a resposta às duas últimas perguntas, as quais pretendem determinar qual a técnica de manutenção mais adequada a cada modo de falha de um dado equipamento.

A seleção da técnica de manutenção a adotar é realizado através de um diagrama de decisão, ilustrado na Figura 4.4. De acordo com o diagrama de decisão, existem sete técnicas de manutenção possíveis de usar, sendo elas a manutenção preventiva condicionada (T1), sistemática de reparação e substituição (T2 e T3), corretiva (T4), deteção de falhas

(T6), combinação de técnicas de manutenção preventiva condicionada e sistemática (T7) e, paralelamente, a manutenção de melhoria (T5), quando exista um componente anormalmente frágil que determine a maioria das avarias do equipamento.

Na Tabela 4.3 está apresentada uma folha de decisão MCF II adaptada à indústria farmacêutica, mais concretamente à Farmalabor.

A partir desta fase é possível preencher as colunas H1/S1/O1/N1, H2/S2/O2/N2, H3/S3/O3/N3, H4/S4 e H5. A coluna H1/S1/O1/N1 determina se uma manutenção preventiva condicionada pode ser definida para antecipar um modo de falha. As colunas H2/S2/O2/N2 e H3/S3/O3/N3 tornam possível determinar se uma manutenção preventiva sistemática de reparação e substituição, respetivamente, podem ser utilizadas para antecipar um modo de falha. As colunas H4/S4 e H5 representam a necessidade de determinar se uma manutenção corretiva ou uma manutenção combinada ou mesmo uma manutenção de melhoria são a técnica mais adequada para abordar o modo de falha.

Na sequência do que foi referido anteriormente, as colunas que se seguem dizem respeito à adaptação da metodologia à Farmalabor. A primeira representa o material que é necessário adquirir para realizar a manutenção preventiva condicionada, abordada na secção 3.3.2.2.1. Em relação às duas colunas restantes, permitem identificar os modos de falha que obrigam ou não a paragem da máquina bem como se o operador de produção está ou não habilitado a realizar a tarefa ou, se por outro lado, é necessária uma intervenção da manutenção. Estas colunas tornam-se bastante importantes na reestruturação da manutenção da Farmalabor visto que, como foi dito anteriormente no trabalho, quando possível é importante beneficiar do tempo inevitável de paragem para higienização da máquina bem como efetuar manutenções quando o equipamento está em produção.

**Tabela 4.3.** Folha de decisão da metodologia adaptada à Farmalabor.

MCF II Folha de Decisão			Sistema		Data:										
			Subsistema												
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	-	-				
							N1	N2	N3	-	-				

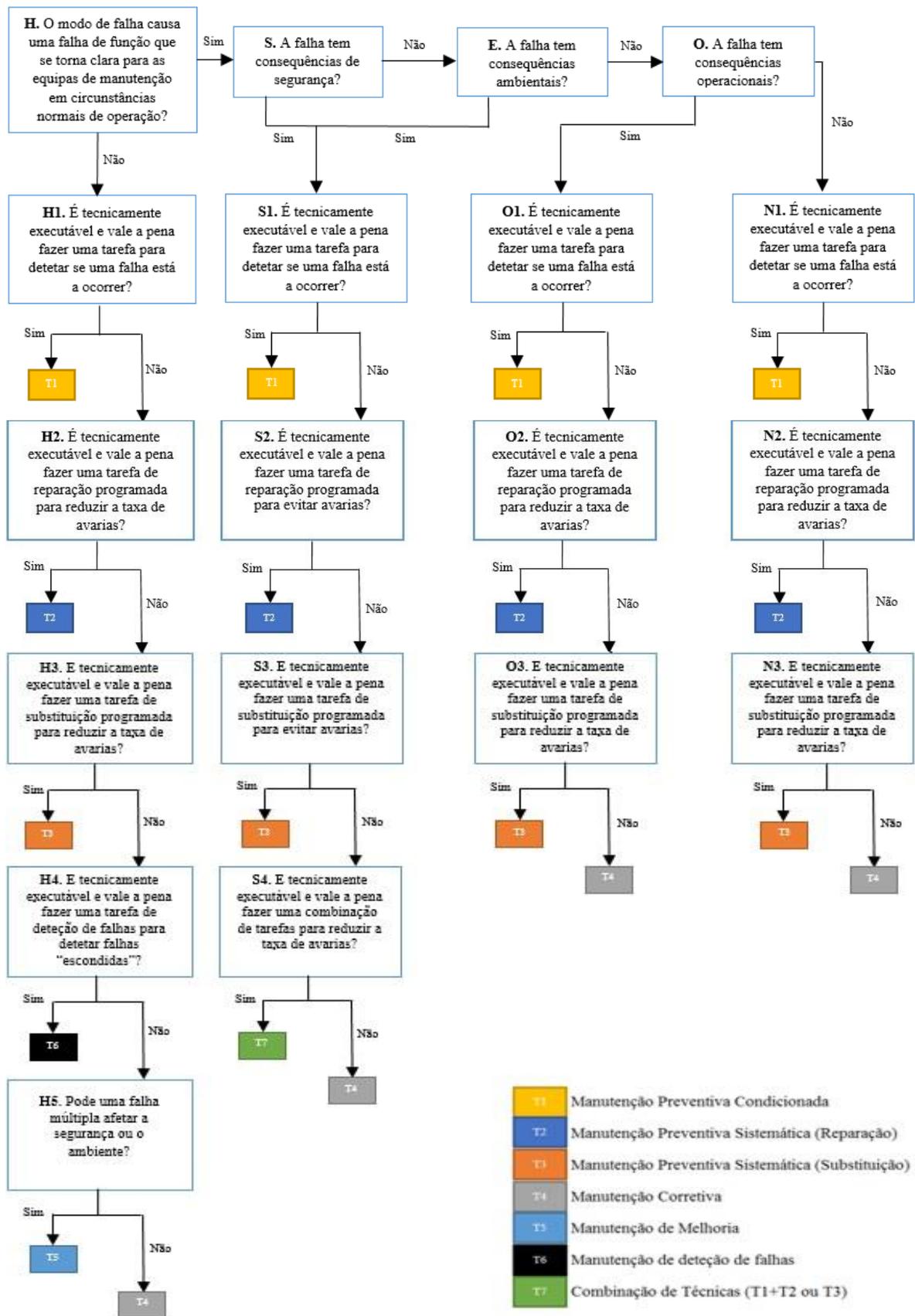


Figura 4.4. Diagrama de decisão “Manutenção Centrada na Fiabilidade II”. [8]

#### **4.2.8. Metodologia MCF e a Manutenção Produtiva Total (MPT)**

O modelo Manutenção Produtiva Total (MPT), em inglês Total Productive Maintenance (TPM), foi desenvolvido no Japão a partir dos anos 70 e teve rápida expansão nos anos que se seguiram. [10]

De acordo com Pinto, Carlos Varela, (1999), este modelo caracteriza-se basicamente pelos seguintes aspetos:

- Envolvimento e a participação nos objetivos de todo o pessoal da empresa, desde o topo da hierarquia à base;
- Envolvimento de toda a estrutura da empresa no processo, particularmente os departamentos que têm maior participação no ciclo de vida dos equipamentos nomeadamente a produção e a manutenção;
- Estabelecimento de programas de manutenção preventiva cobrindo o ciclo de vida dos equipamentos;
- Promoção do estudo e análise das avarias e procura de soluções para as evitar;
- Promoção da execução de operações de manutenção pelos operadores responsáveis pelos equipamentos.

Estes dois métodos complementares formam uma combinação poderosa com o objetivo de mudar a cultura organizacional e estabelecer um processo de melhoria continua. A MPT tem como base as pessoas e os processos, transformando a cultura e o modo como se vêem os equipamentos, já a MCF estabelece uma base sólida para garantir uma excelente estratégia de manutenção. [11]

#### **4.2.9. Vantagens e Desvantagens da Metodologia**

Sullivan, G.P. et al. (2002) referem que as principais vantagens da metodologia “Manutenção Centrada na Fiabilidade” são:

- Redução de custos, eliminando tarefas de manutenção desnecessárias;
- Redução da frequência de tarefas de manutenção;
- Redução da probabilidade de avaria inesperada nos equipamentos em produção;
- Permite o foco nos componentes mais críticos;
- Aumenta a fiabilidade dos componentes que constituem os equipamentos;
- Incorpora uma análise pormenorizada da causa raiz da falha. [12]

Os autores referem ainda que as desvantagens desta metodologia são:

- Elevado custo inicial associado à formação de pessoal e aquisição de equipamento;
- O retorno do investimento é realizado a médio/longo prazo o que por si só nem sempre é bem visto pela gerência.

Neste caso em concreto, com a introdução das três últimas colunas no estudo irão surgir mais duas vantagens, sendo elas:

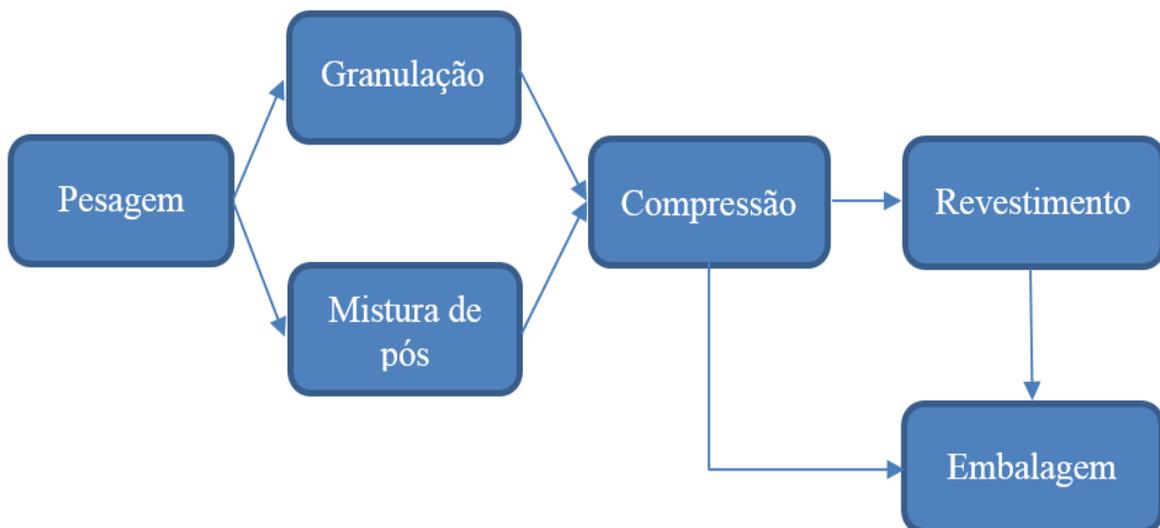
- Redução do tempo de paragem dos equipamentos para manutenção, com a introdução de tarefas de manutenção em período de higienização e produção;
- Aliviar algumas tarefas ao setor da manutenção, sendo que estas passarão a ser resolvidas diretamente pela produção.

## 5. “MANUTENÇÃO CENTRADA NA FIABILIDADE”: CASOS DE ESTUDO

Com o objetivo de verificar quais as principais avarias e por conseguinte melhorar/reduzir ou mesmo anular as mesmas, existe a necessidade de, com ajuda de metodologias de MCF, elaborar uma estratégia de trabalho.

Na indústria farmacêutica, a forma como está organizada a produção obriga a que exista uma interdependência das máquinas. Nesse sentido, em caso de falha de um equipamento, todo o processo realizado anteriormente é desperdiçado, comprometendo a entrega atempada do produto ao cliente final e causando custos desnecessários não esperados.

Assim sendo e após uma análise dos equipamentos instalados na fábrica, optou-se por realizar o estudo nos dois equipamentos mais críticos de uma das linhas do processo produtivo, estando estes posicionados no fim da linha de produção, como demonstra a Figura 5.1



**Figura 5.1.** Diagrama de manutenção de equipamentos ou bens .

Numa primeira fase, a metodologia irá ser aplicada num equipamento de revestimento e, posteriormente, será estendida a um equipamento de compressão ambos de uma linha de fabrico de comprimidos.

## 5.1. Equipamento de Revestimento

### 5.1.1. História da Tecnologia de Revestimento

“Panning” é a palavra original para o processo de adicionar revestimento num comprimido. Esta palavra era até agora um termo comum utilizado na indústria de doces. No passado, o revestimento era realizado utilizando um tambor rotativo apoiado numa estrutura e a solução do revestimento era adicionada enquanto a rotação do tambor distribuía a solução por todo o leito de comprimidos. A principal desvantagem desta tecnologia residia no tempo que a solução demorava a secar e o truque era fazer com que esta secasse uniformemente.

Com a chegada da tecnologia do revestimento de película, a solução é pulverizada sobre os comprimidos, representando assim 1-3% do seu peso total. Para diminuir o tempo do processo, é introduzido no tambor ar tratado permitindo assim que os comprimidos sequem mais rapidamente. Com a introdução de melhorias ao nível da secagem, deixou de se utilizar a solução à base de solvente, passando-se a utilizar uma solução à base de água.

O revestimento de sólidos farmacêuticos tem sido praticado há muitos séculos. De seguida é apresentado o desenvolvimento desta técnica ao longo das últimas décadas. [13]

Em 1970's, foi introduzida a insuflação lateral de ar no tambor de revestimento. Houve também uma evolução obrigatória, visto que foram introduzidos polímeros de revestimento com película aquosa na indústria farmacêutica. Nesta altura não eram cumpridas as GMP e a estrutura era em aço carbono com exceção do tambor, sendo esta estrutura maioritariamente composta por parafusos sem a presença de ligações soldadas.

No decorrer da década de 80, foram introduzidos sistemas fiáveis de controlo de processos com um microprocessador para garantir o controlo e a repetibilidade do processo. O design das agulhas de pulverização do revestimento foi melhorado, assim como os sistemas de insuflação do ar. Nesta altura a estrutura era toda ela construída em aço inox e começava-se a ter alguma preocupação na limpeza e em cumprir as GMP.

Em 1990's, houve um grande avanço na tecnologia de lavagem, na medida em que foi implementada a lavagem automática do equipamento (CIP-Coating in Place e WIP-Washing in Place). [13]

No início do milénio as preocupações, tal como nas restantes indústrias, residiram em automatizar os processos e controlar os seus parâmetros, nomeadamente no controlo do fluxo do ar, ponto de orvalho, etc.

### **5.1.2. Caracterização do Sistema de Revestimento**

O revestimento de comprimidos tem como objetivos:

- Disfarçar o sabor, cheiro ou a cor do fármaco;
- Conferir proteção física ou química ao fármaco;
- Controlar a liberação do fármaco no comprimido;
- Proteger o estômago, criando um revestimento gastro resistente;
- Melhorar o aspeto do fármaco numa perspetiva de marketing.

O processo de revestimento tem como variáveis:

- Propriedades dos comprimidos, na qual antes de serem revestidos deverão ter características físicas adequadas tais como: resistência à abrasão, capacidade para não lascar, possuir superfície lisa, ter forma adequada com faces arredondadas e superfícies convexas para assim reduzir a possibilidade de aderência. Para além destas características, os comprimidos não devem ter superfícies hidrofóbicas, ou seja, insolúveis em água.
- Próprio processo de revestimento, como o equipamento utilizado para o efeito, parâmetros do processo de revestimento, disponibilidade do equipamento e a automatização do processo. [13]

O princípio de revestimento é relativamente simples. A pulverização da solução de revestimento é feita no centro do tambor e na direção radial e é acompanhada pelo movimento dos comprimidos imposto pela rotação do tambor.

O equipamento em estudo combina vários componentes, entre eles: tambor de revestimento perfurado, sistema de pulverização, unidade de tratamento de ar, unidade de extração de ar, automatismos e controlo, como ilustram as Figura 5.2 e Figura 5.3.



Figura 5.2. Funcionamento do sistema de revestimento.

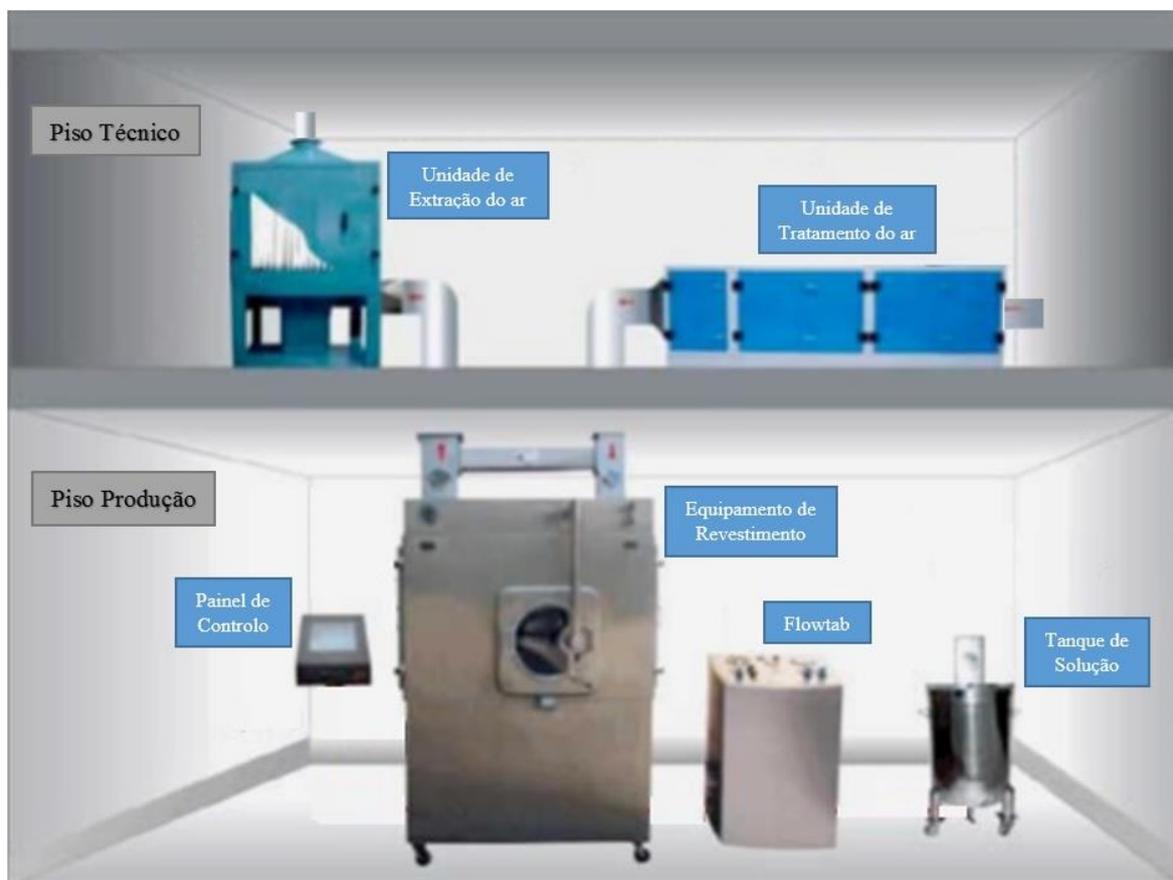


Figura 5.3. Vista geral do sistema de revestimento. [14]

O equipamento de revestimento é o órgão fulcral do sistema, pois é aqui que está situado o tambor onde é realizado o revestimento. Este componente, conjuntamente com o painel de controlo permitem controlar o fluxo, temperatura e pressão do ar. Para além destes fatores, é na unidade de controlo onde são avistados todos os alarmes do sistema. O conjunto está apresentado na Figura 5.4.



**Figura 5.4.** Conjunto do equipamento de revestimento e a unidade de controlo. [14]

Outro órgão do sistema é o sistema de pulverização, designado por flowtab. Este é constituído por três pistolas de pulverização montadas sobre um braço, uma bomba peristáltica, um tanque de fornecimento, um misturador e uma alimentação de ar comprimido. Este sistema está ilustrado na Figura 5.5.



**Figura 5.5.** Sistema de pulverização. [14]

A unidade de tratamento de ar, também designada UTA, é outro subsistema da máquina sendo este responsável por tratar o ar insuflado no tambor utilizado para secar o revestimento dos comprimidos. Esta unidade localizada no piso técnico está acoplada ao

tambor através de uma conduta, designada por conduta de insuflação de ar. A unidade está ilustrada na Figura 5.6.



**Figura 5.6.** Unidade de tratamento de ar (UTA). [14]

Não menos importante no processo, especialmente por questões ambientais, está a unidade de extração do ar, que integra um despoeirador. A regulação sincronizada da insuflação e da extração de ar é feita de forma a criar uma pressão negativa dentro do tambor e assim reter o pó proveniente dele, não o libertando para o exterior. Este subsistema, também ele localizado no piso técnico, está representado na Figura 5.7.

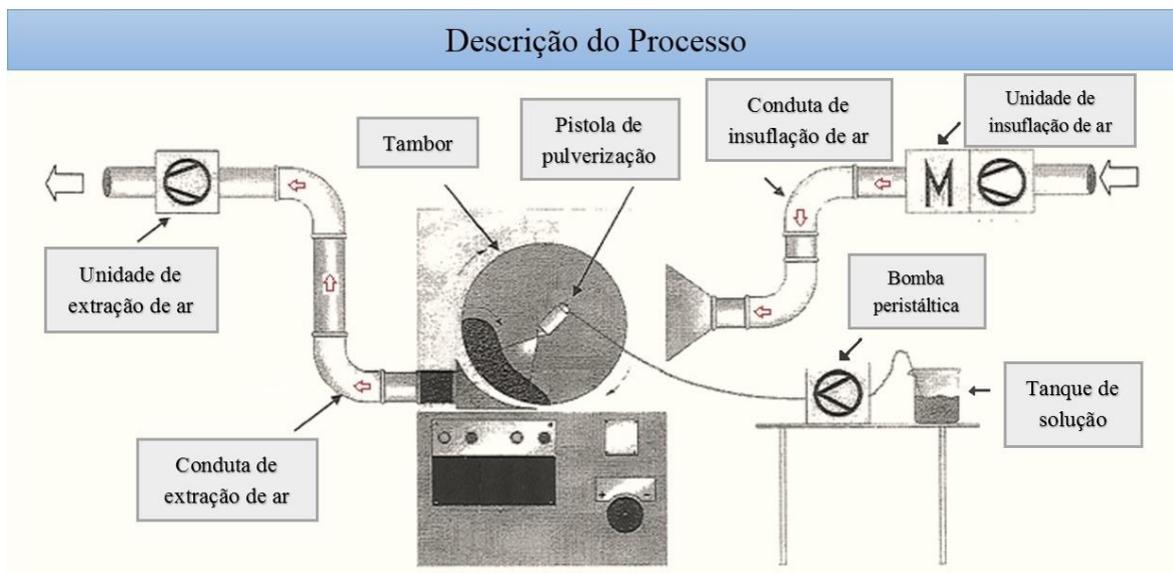


**Figura 5.7.** Unidade de extração de ar. [14]

No processo de revestimento estão envolvidas várias operações simultaneamente, tais como a pulverização, distribuição de revestimento e a secagem, tornando assim este procedimento dinâmico e complexo.

Muitos dos problemas que ocorrem no revestimento são consequência do não controlo dos principais parâmetros do processo como a temperatura, pressão do tambor, taxa de pulverização e a pressão de atomização. [15]

Devido à complexidade do processo, ilustrado na Figura 5.8, nem sempre é possível atribuir a causa de problema a uma só variável.



**Figura 5.8.** Descrição do processo de revestimento de comprimidos.

Na Tabela 5.1, estão identificados os principais defeitos e causas no processo de revestimento.

**Tabela 5.1.** Principais defeitos e causas no processo de revestimento retirado do manual do equipamento.

<b>Defeito</b>	<b>Efeito</b>	<b>Causa</b>	<b>Imagem</b>
Quebra	Pequenos buracos aparecem na superfície	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taxa de pulverização alta</li> <li>• Condições de secagem inadequadas</li> <li>• Velocidade do tambor baixa</li> <li>• Posição incorreta das pistolas</li> <li>• Solução de revestimento muito viscosa</li> </ul>	
Rugosidade / efeito casca de laranja	Pequena rugosidade na superfície dando um efeito casca de laranja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solução de revestimento muito viscosa</li> <li>• Pouca pressão do líquido de atomização</li> <li>• Condições de secagem inadequadas</li> </ul>	
Erosão do Núcleo	Pequenos defeitos no núcleo do comprimido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidade do tambor excessiva</li> <li>• Taxa de pulverização insuficiente</li> </ul>	
Comprimidos lascados	Pequenos defeitos nas margens, nomeadamente falta de produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidade do tambor excessiva</li> <li>• Taxa de pulverização insuficiente</li> <li>• Arestas difíceis de alcançar</li> </ul>	

<p>Distribuição de cor não uniforme</p>	<p>Comprimidos com zonas com diferente coloração</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantidade de revestimento aplicado insuficiente</li> <li>• Taxa de pulverização excessiva</li> <li>• Circulação inadequada de comprimidos no tambor.</li> <li>• Número ou posição das pistolas inadequado</li> </ul>	
<p>Comprimidos Gémeos</p>	<p>Vários comprimidos colados</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma inapropriada do comprimido</li> <li>• Velocidade do tambor demasiado baixa</li> <li>• Taxa de pulverização excessiva</li> </ul>	

No diagrama causa efeito da Figura 5.9, é agora possível organizar os modos de falha e suas causas, o que permite ajudar na determinação e associação dos defeitos no revestimento.

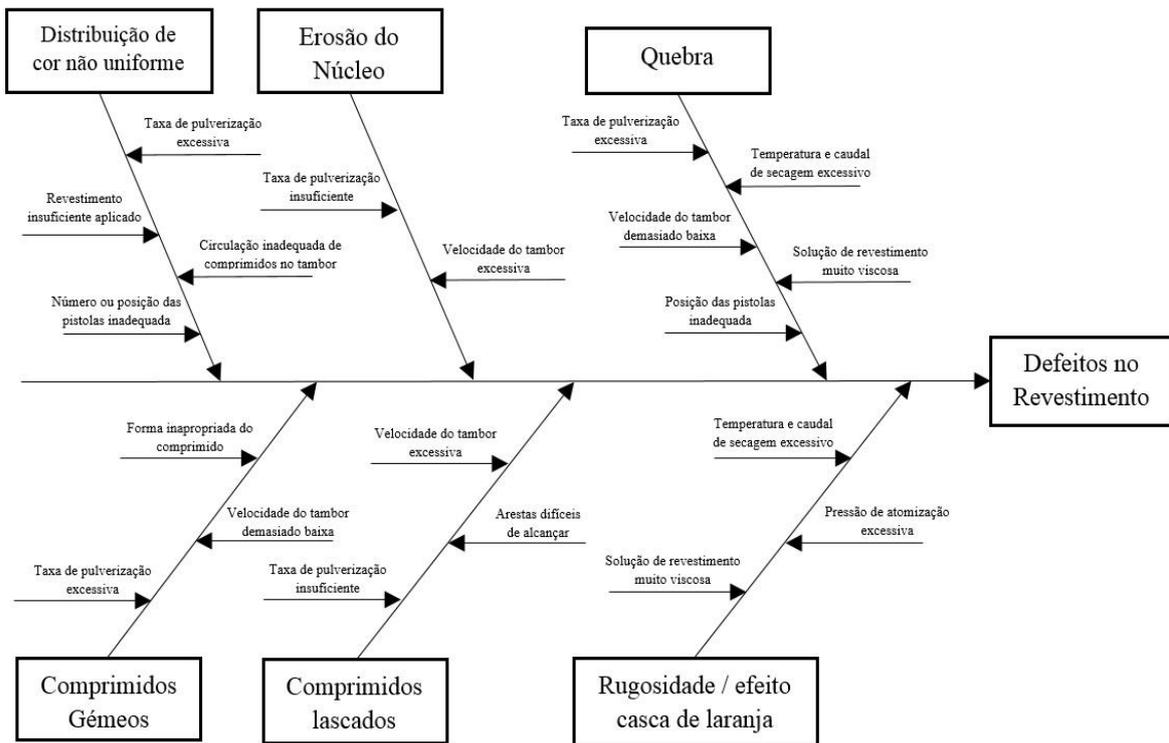


Figura 5.9. Diagrama de causa efeito da máquina de revestimento.

## **5.2. Equipamento de Compressão**

### **5.2.1. História da Tecnologia de Compressão de Comprimidos**

O mercado da tecnologia de compressão de comprimidos e as demandas colocadas aos fabricantes dos equipamentos têm mudado significativamente nos últimos anos, o que se deve a determinados fatores. Em primeiro lugar, a indústria farmacêutica tem observado um significativo aumento de investimento em equipamentos para produção de comprimidos sólidos, com o objetivo de aumentar a produtividade, flexibilidade e o rendimento dos processos. Em segundo lugar, à semelhança de praticamente todas as indústrias, registou-se um crescimento meteórico de novos mercados farmacêuticos no Médio e Extremo Oriente (Índia, China, Coreia do Sul), nos quais houve um investimento superior aquele praticado na Europa e América do Norte, o que levou a que houvesse grande competitividade de preços dos equipamentos, resultando na deslocação das empresas, nomeadamente os setores de design, produção e montagem dos equipamentos para a Ásia. Finalmente, existe uma necessidade crescente de melhorar a proteção do operador contra os póis e substâncias provenientes do processo produtivo dos produtos farmacêuticos.

Embora o princípio do projeto e design de compressoras rotativas de comprimidos não tenha mudado durante décadas, têm sido desenvolvidas por vários fabricantes melhorias ao nível do design com o objetivo de reduzir custos e tempos de espera, conseguindo assim aumentar a produtividade, flexibilidade e segurança.

Inicialmente, a inovação passava pela redução de tempo necessário para a limpeza da máquina e troca de produto. A primeira mudança significativa introduzida pelo fabricante “Fette” no início da década de 90, estando agora disponível por quase todos os fabricantes, foi a possibilidade de retirar o rotor da restante máquina. Para além desta característica, a máquina ainda oferecia grande flexibilidade no que diz respeito ao tipo de ferramentas que podiam ser usados. A principal desvantagem residia no tempo despendido na limpeza e montagem, visto que após a remoção do rotor, a restante máquina teria de ser limpa. Assim sendo, durante os anos que se seguiram, a prioridade foi melhorar a acessibilidade da máquina, nomeadamente a sua abertura. Com uma abordagem diferente surgiu o fabricante IMA, ao apresentar um design revolucionário, sem possibilidade de remoção do rotor mas com matrizes de enchimento e com a opção “Clean-in-Place”. Já no

início do milénio, a empresa GEA Courtoy, introduziu a opção de troca do módulo de compressão, conceito este que tornou possível uma mais rápida mudança de produto graças à possibilidade de limpeza deste módulo fora da máquina. Para além deste conceito, foram ainda feitas melhorias ao nível da retenção do lixo proveniente da máquina.

Nos anos seguintes, vários melhoramentos foram feitos nas compressoras, nomeadamente ao nível da eficiência dos alimentadores de produto, necessários para garantir um enchimento uniforme da matriz e, conseqüentemente, a estabilidade do peso do comprimido. O passo seguinte foi aumentar o número de punções e / ou aumentar a velocidade de rotação do rotor. Quando esta velocidade aumenta, o tempo de compressão de cada comprimido diminui, podendo resultar falhas ao nível da dureza dos mesmos. Nesta altura as principais preocupações estavam em arranjar métodos que tivessem como objetivo manter longo o tempo de compressão de cada comprimido por forma a incluir compensação de ar, maiores rolos de compressão e punções com um desenho de cabeça especial.

Nos últimos 10 anos tem havido um esforço significativo para projetar linhas de produção capazes de lidar com drogas altamente tóxicas. Como se está a lidar com produtos altamente controlados, tornou-se imperativo integrar equipamentos periféricos para controlar o produto final. A título de exemplos temos o detetor de metais, aspirador e o analisador de comprimidos. Neste momento, a tendência de projeto é permitir a lavagem fora da máquina, visto que possibilita que o equipamento seja mais pequeno, mais fácil de instalar e operar a preços mais reduzidos.

No futuro, o objetivo passará por reduzir custos e continuar a aumentar a eficiência dos processos, o que pode ser conseguido através de maiores velocidades do rotor, limpezas mais rápidas acompanhadas por mudanças rápidas de produto e o completo automatismo da operação.

A flexibilidade também irá ser desenvolvida assim como o aumento da complexidade dos comprimidos, com o surgimento de comprimidos especiais, tais como os comprimidos de múltiplas camadas e os comprimidos revestidos. Para além disso, os futuros desenvolvimentos irão focar-se em avançados processos de controlo para garantir o aumento e constante qualidade do comprimido. Este é um dos requisitos básicos para ajudar a realizar dois importantes novos conceitos de produção de comprimidos sólidos: o processamento contínuo e a liberação em tempo real. A implementação de novas estratégias de controlo e

novos tipos de sensores nas compressoras vão ser vitais para a concretização destes conceitos. [16]

### **5.2.2. Caracterização do sistema de compressão de comprimidos**

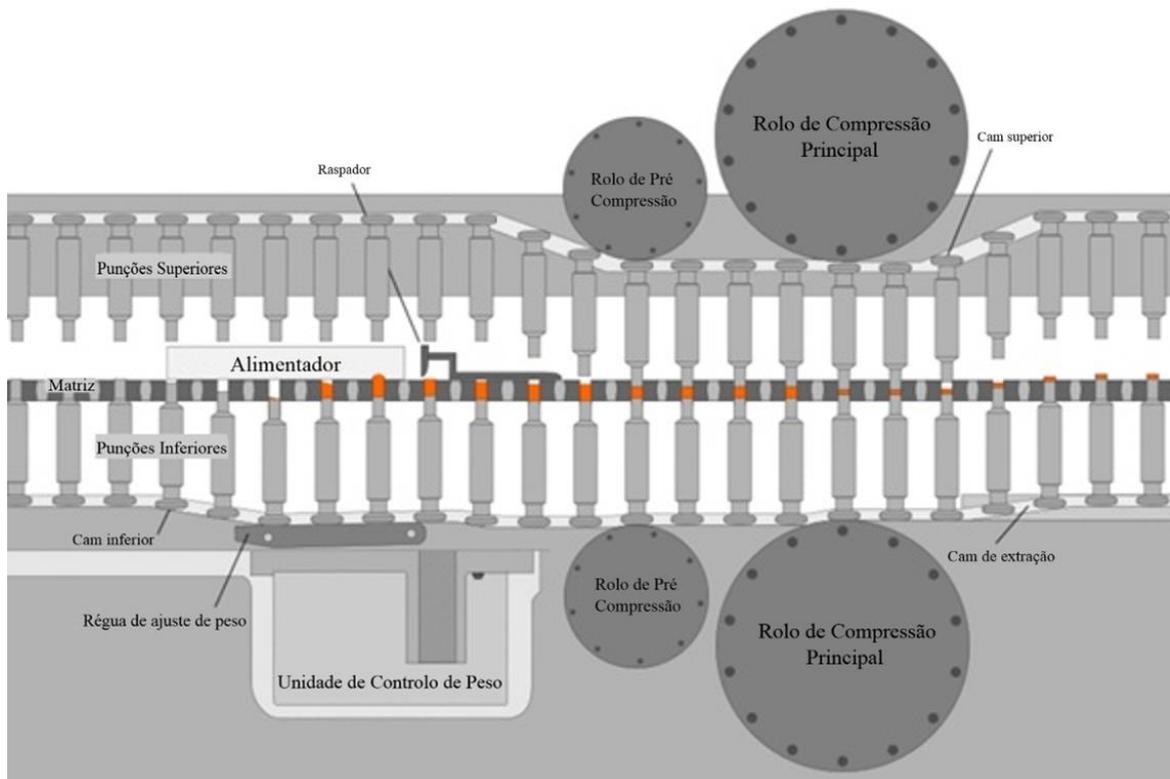
As compressoras de comprimidos são equipamentos que operam através de compressão para tornar compactos diversos tipos de produtos em pó. Através de um sistema criado para tornar material granulado em pequenas porções de qualquer formato, os produtos devem possuir o peso e dimensão calculado e pré-definido.

Um dos principais benefícios oferecidos pela modernização das compressoras é a agilidade de produção, realizando o processo de forma mais rápida sem interferir com o resultado final do produto.

Este processo tem como variáveis:

- Propriedades do granulado, na qual antes de estar apto à compressão tem de estar em conformidade com o pré-definido, nomeadamente no que toca a características como a humidade e composição do granulado.
- Próprio processo de compressão, como o equipamento utilizado para o efeito, parâmetros do processo de compressão (velocidade do rotor, força de pré compressão e compressão principal, etc), disponibilidade do equipamento e a automatização do processo.

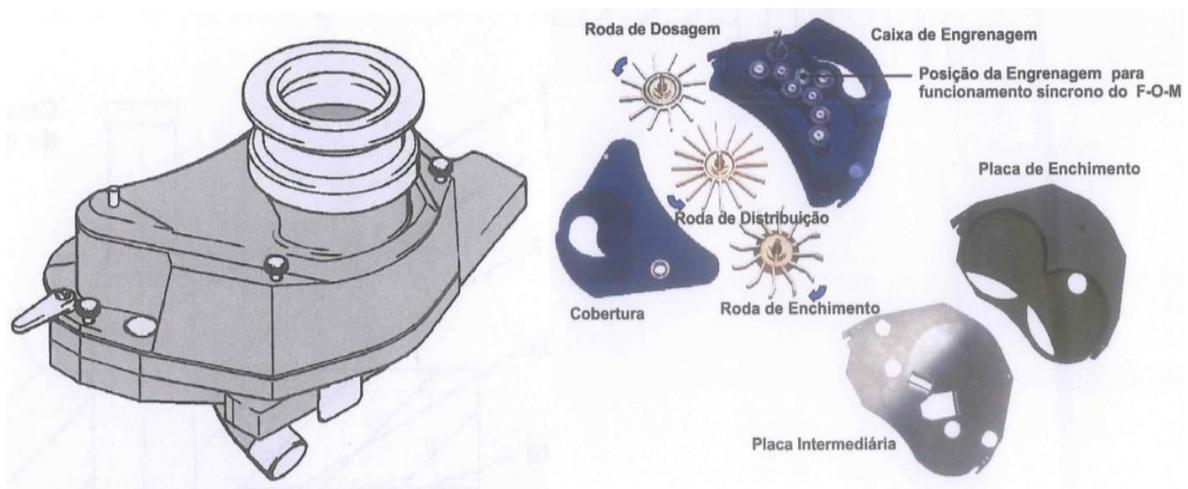
O princípio de compressão compreende várias etapas como ilustra a Figura 5.10. O processo inicia-se com a colocação manual do granulado no alimentador que, em conjunto com as guias de enchimento, distribui automaticamente o produto pelas matrizes. Seguidamente e depois de passar no raspador que expulsa o excesso de material, ocorre a pré compressão do produto. Posteriormente surge a compressão principal que dá forma e propriedades ao comprimido. Para finalizar o processo, o comprimido é expulso para fora da matriz, sendo encaminhado por outro raspador para uma calha de saída. Nesta fase alguns equipamentos periféricos, como o desempoeirador, detetor de metais e unidade de extração de pó garantem a qualidade dos comprimidos.



**Figura 5.10.** Princípio de funcionamento de uma máquina de compressão.

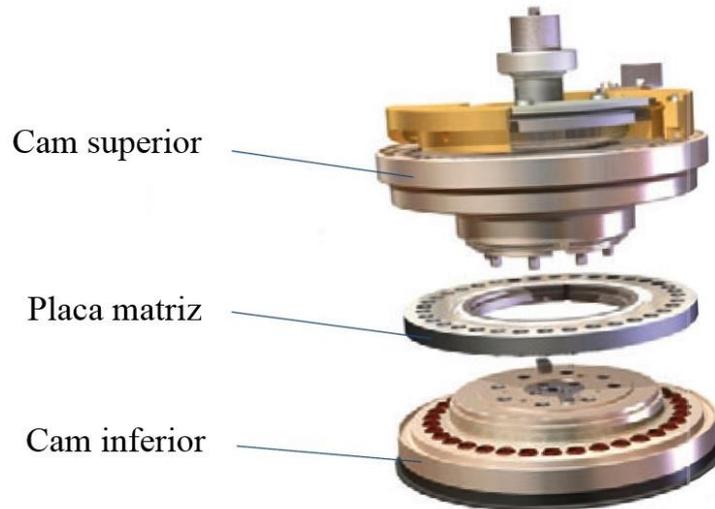
O equipamento de compressão combina vários componentes, entre eles: sistema de alimentação, rotor e sistema de extração.

O sistema de alimentação é o elemento por onde se inicia o processo. Este possui uma carcaça na qual a roda de dosagem, roda de distribuição e a roda de enchimento são acionadas por engrenagem e, cuja alimentação é realizada pelo orifício superior, como é mostrado na Figura 5.11.



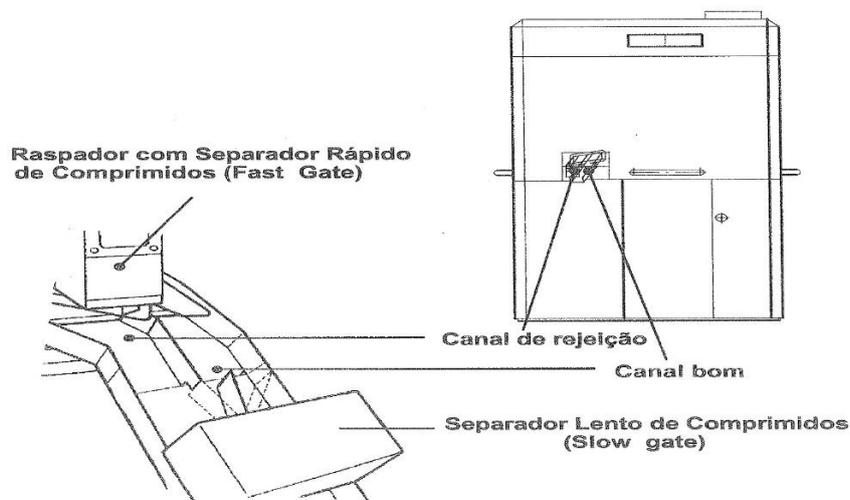
**Figura 5.11.** Sistema de alimentação da máquina de compressão. (manual do equipamento)

Outro órgão do sistema é o rotor, representado na Figura 5.12. Este é considerado o órgão fulcral do sistema, visto que é nele que são desenroladas as etapas de enchimento, dosagem e compressão, essenciais no processo produtivo. O rotor consiste num conjunto de elementos acoplados entre si, tais como: cam superior e inferior, punções superiores e inferiores, placa das matrizes e outros componentes.



**Figura 5.12.** Rotor da máquina da compressão.

Por fim, o sistema de extração exibido na Figura 5.13 é composto por um raspador com separador rápido e lento de comprimidos, os quais estão encarregues de fazer a separação dos comprimidos cuja força de compressão e peso individuais estejam ou não de acordo com os limites pré estabelecidos.



**Figura 5.13.** Sistema de extração de comprimidos da máquina de compressão. (manual do equipamento)

Posteriormente e por um processo automático, os comprimidos passam por um detetor de metais e um desempoeirador auxiliados por uma unidade de extração de pó. Seguidamente, são analisados numa estação de verificação e carregamento garantindo a qualidade dos comprimidos. Os equipamentos auxiliares usados na garantia de qualidade estão apresentados na Figura 5.14.



Figura 5.14. Equipamentos da garantia de qualidade da máquina de compressão. (manual do equipamento)

Na Tabela 5.2, estão identificados os principais defeitos e causas no processo de compressão.

Tabela 5.2. Principais defeitos e causas no processo de compressão. [17]

Defeito	Efeito	Causa	Imagem
Ligeiros socalcos	Pequenos buracos aparecem na superfície	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa humidade do granulado</li> <li>• Lubrificação inadequada ou insuficiente dos punções</li> <li>• Força de compressão insuficiente ou espessura de pré compressão excessiva</li> </ul>	
Quebra horizontal	Quebra a meio do comprimido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidade de rotação excessiva</li> <li>• Ajustamento incorreto do raspador de excesso de material</li> <li>• Demasiada humidade do granulado</li> <li>• Temperatura do granulado incorreta</li> </ul>	

<p>Margens lascadas</p>	<p>Pequenos defeitos nas margens</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demasiada humidade do granulado</li> <li>• Granulado demasiado abrasivo</li> <li>• Pobre acabamento das matrizes</li> <li>• Matrizes com folgas muito pequenas</li> <li>• Lubrificação inadequada ou insuficiente</li> </ul>	
<p>Impressão</p>	<p>Impressão defeituosa</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Punções com superfícies ásperas</li> </ul>	

No diagrama causa efeito da Figura 5.15, é agora possível organizar os modos de falha e suas causas, o que permite ajudar na determinação e associação dos defeitos na compressão de comprimidos.

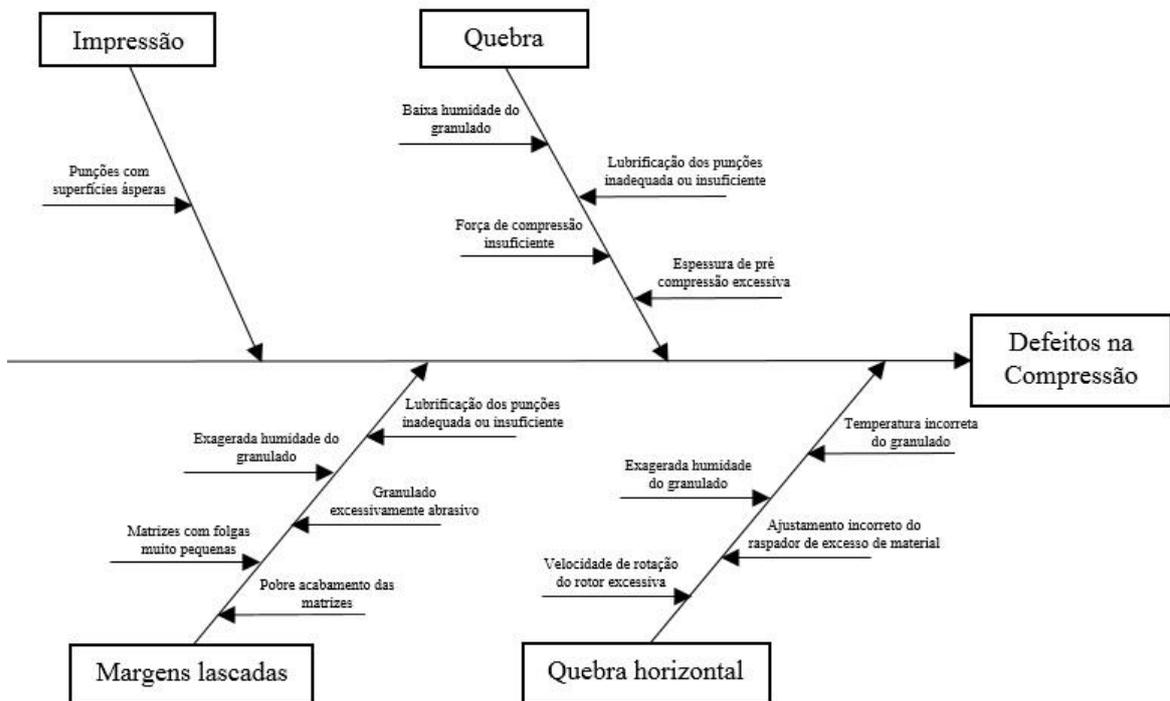


Figura 5.15. Diagrama de causa efeito da máquina de compressão de comprimidos.

## 6. CASOS DE ESTUDO: ANÁLISE DE RESULTADOS

### 6.1. Equipamento de Revestimento

Como já foi introduzido no capítulo 4, a metodologia MCF II consiste numa análise de um conjunto de sete questões, com a finalidade de selecionar a técnica de manutenção mais vantajosa a cada modo de falha e, assim, reduzir custos de produção.

Assim sendo, para uma melhor percepção das funções de cada equipamento, bem como dos modos de falha e seus efeitos, a máquina será dividida por setores de acordo com a Figura 6.1.



Figura 6.1. Setores da máquina de revestimento.

A aplicação da metodologia MCF II ao equipamento envolveu a análise a 17 funções distribuídas pelos vários setores, sendo identificados 22 modos de falha distintos. Sendo assim, nesta secção apenas serão apresentados os resultados do primeiro setor referido ao tambor de revestimento, sendo que os restantes estão disponíveis para consulta no ANEXO A. Foi escolhido este setor em particular, visto ser o órgão fulcral do sistema onde é realizado o revestimento dos comprimidos.

Inicialmente começa-se por estudar as funções de cada componente integrado no sistema. Na Tabela 6.1 são identificadas as funções de cada componente do tambor de revestimento.

**Tabela 6.1.** Descrição das funções dos componentes que compõem o tambor de revestimento.**TAMBOR DE REVESTIMENTO**

COMPONENTE	Função (F)	
<b>TAMBOR</b>	1	Suporte dos comprimidos
<b>PEÇAS TEFLON DAS CONDUTAS DE LIGAÇÃO UTA/ TAMBOR</b>	2	Permite a aceção do ar de insuflação e extração na ligação UTA/ Tambor
<b>SONDA DE TEMPERATURA DA EXTRAÇÃO</b>	3	Lê e transmite a temperatura da extração do ar
<b>MOTOR PRINCIPAL</b>	4	Permite a rotação do tambor
<b>CAIXA REDUTORA</b>	5	Permitir a redução de velocidade do motor
<b>FILTRO DE AR COMPRIMIDO</b>	6	Retenção de impurezas

Após descrição das funções de cada componente do tambor de revestimento, procede-se à determinação das suas falhas funcionais, apresentadas na Tabela 6.2. Como foi exposto em pormenor no capítulo quatro, existem dois tipos de falhas funcionais. A falha funcional com perda total de função, representada com a letra A e a falha funcional com perda parcial de função exibida com a letra B.

**Tabela 6.2.** Falhas funcionais das funções dos componentes que compõem o tambor de revestimento.**TAMBOR DE REVESTIMENTO**

FUNÇÃO (F)	Falha Funcional (FF)	
<b>1</b>	B	O tambor ainda suporta os comprimidos, mas com performance de rotação inaceitável
<b>2</b>	A	Em caso de falha nas peças de teflon, existe perda total de função
<b>3</b>	A	Em caso de falha na sonda, existe perda total de função
<b>4</b>	B	O tambor ainda roda, mas com movimento de rotação inaceitável
<b>5</b>	B	O tambor ainda roda, mas com performance de rotação inaceitável
<b>6</b>	B	Ainda filtra partículas, mas com um nível de performance inaceitável

De seguida, conhecendo as falhas funcionais dos principais componentes que compõem o tambor, segue-se o estudo dos seus modos de falha. Estes são definidos como as ocorrências que podem causar cada falha funcional e são apresentados na Tabela 6.3.

**Tabela 6.3.** Modos de Falha das funções dos componentes que compõem o tambor de revestimento.**TAMBOR DE REVESTIMENTO**

F	FF	Modo de Falha (MF)	
1	B	1	Dano na correia de transmissão
		2	Desgaste dos roletes de apoio do tambor
		3	Desgaste dos rolamentos do eixo principal
		4	Insuficiente lubrificação da corrente de transmissão
2	A	1	Peças de Teflon com desgaste
3	A	1	Sujidade na zona de leitura da sonda
4	B	1	Dano no motor
5	B	1	Desgaste nas engrenagens da caixa redutora
6	B	1	Entupimento do filtro de ar comprimido

Passa-se agora ao estudo dos efeitos e consequências das falhas apresentadas anteriormente. A informação está disponível na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4.** Efeitos e consequências dos modos de falha que existem no tambor de revestimento.**TAMBOR DE REVESTIMENTO**

F	FF	MF	Efeitos da Falha	Consequência
1	B	1	Forte ruído e velocidade de rotação inconstante	Operacional
		2	Forte ruído e trepidação do tambor	Operacional
		3	Forte ruído e trepidação do tambor	Operacional
		4	Forte ruído	Operacional
2	A	1	Não há aceção entre as condutas e o tambor	Segurança
3	A	1	Falta de informação de temperatura à saída do tambor	Operacional
4	B	1	Tambor com velocidade de rotação inconstante	Operacional
5	B	1	Tambor com velocidade de rotação inconstante	Operacional
6	B	1	Incapacidade de filtragem	Segurança

Com os efeitos e consequências das falhas, tem-se cinco das sete questões da metodologia resolvidas, faltando neste caso apresentar os resultados do índice de risco prioritário dos efeitos das falhas para completar a Tabela 6.5.

**Tabela 6.5.** Tabela completa com índice de risco prioritário do modo de falha.

<b>TAMBOR DE REVESTIMENTO</b>								
F	FF	MF	Efeitos da Falha	Consequência	F	D	G	P
1	B	1	Forte ruído e velocidade de rotação inconstante	Operacional	2	2	1	4
		2	Forte ruído e trepidação do tambor	Operacional	2	2	2	8
		3	Forte ruído e trepidação do tambor	Operacional	2	2	2	8
		4	Forte ruído	Operacional	2	2	1	4
2	A	1	Não há aceção entre as condutas e o tambor	Segurança	3	1	9	27
3	A	1	Falta de informação de temperatura à saída do tambor	Operacional	5	2	2	20
4	B	1	Tambor com velocidade de rotação inconstante	Operacional	2	2	3	12
5	B	1	Tambor com velocidade de rotação inconstante	Operacional	4	2	3	24
6	B	1	Incapacidade de filtragem	Segurança	5	2	8	80

Para completar o estudo, resta apenas determinar as técnicas de manutenção mais adequadas aos modos de falha. Para tal, é necessário conjugar todas as informações recolhidas até então com o diagrama de decisão representado na Figura 4.4. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.6.

**Tabela 6.6.** Folha de decisão do tambor de revestimento.

MCF II Folha de Decisão			Sistema		Sólidos					Data: 13/04/2015					
			Subsistema		Tambor da Máquina de Revestimento										
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	-	-				
1	B	1	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de tensão de correias	S	Manutenção
		2	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de Vibrações	S	Manutenção
		3	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de Vibrações / Câmara Termográfica	S	Manutenção
		4	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	T2	-	S
2	A	1	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Produção
3	A	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	T2	-	N	Manutenção
4	B	1	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Câmara Termográfica	S	Manutenção
5	B	1	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de Vibrações / Câmara Termográfica / Medidor de propriedades do óleo	S	Manutenção
6	B	1	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção

Ainda a respeito da Tabela 6.6, é de salientar a necessidade de aquisição de três equipamentos de auxílio à manutenção condicionada, nomeadamente um medidor de vibrações, uma câmara termográfica e um medidor de propriedades do óleo. É de salientar

também que, dos nove modos de falha existentes, três deles não obrigam a paragem da máquina, sendo que um cabe à produção resolver a situação.

Passando agora à análise do equipamento como um todo, na Figura 6.2 estão apresentadas as diferentes consequências das falhas presentes na máquina de revestimento. Do gráfico podemos retirar que 63,64% das falhas têm consequências de segurança, o que torna extremamente importante a prevenção dos mesmos. Em contrapartida não há motivos para alarme para o cliente, visto que existe um departamento posicionado posteriormente à produção responsável pela garantia da qualidade, onde é verificado se o produto está ou não em conformidade para ser comercializado.

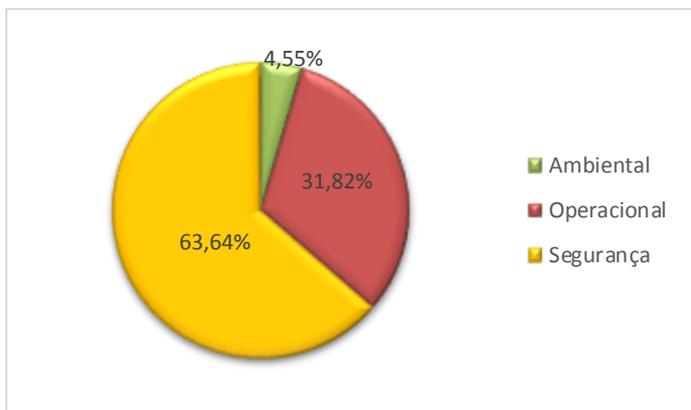


Figura 6.2. Consequências das falhas da máquina de revestimento.

Como título de comparação para os modos de falha presentes, foi feita a comparação da tarefa proposta com a tarefa implementada até à realização do estudo. Os resultados estão apresentados nos gráficos da Figura 6.3.

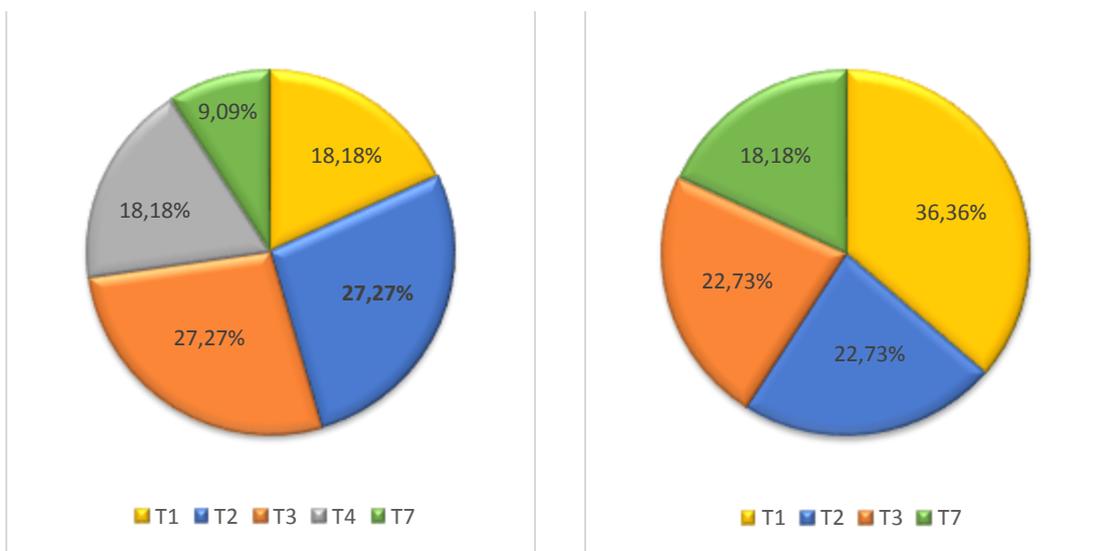


Figura 6.3. Distribuição das técnicas de manutenção implementadas (gráfico da esquerda) e propostas (gráfico da direita) para a máquina de revestimento.

Com a implementação da metodologia “Manutenção Centrada na Fiabilidade” e através dos gráficos anteriores podemos retirar vários resultados, de entre os quais:

- Passou-se de 18,18% de tarefas de manutenção corretiva (T4) para a sua inexistência;
- Houve um aumento significativo de tarefas de manutenção preventiva condicionada (T1) e manutenção com combinação de técnicas (T7);
- Houve um ligeiro decréscimo de tarefas de manutenção preventiva sistemática de reparação (T2) e substituição (T3), consequência da maior utilização da manutenção preventiva condicionada (T1).

Outra conclusão pertinente será a redução do número de paragens para manutenção beneficiando do tempo de paragem da máquina para higienização e das operações de manutenção que podem ser executadas em produção, não consideradas até então. Assim sendo, na Tabela 6.7 está representada a comparação do número de paragens da máquina antes e após a realização do estudo.

De referir que as paragens para manutenção foram estabelecidas em função de algumas variáveis, entre as quais:

- Recomendações dos fabricantes dos equipamentos e dos componentes que os compõem; [18]
- Histórico de avarias dos componentes, quando existem, conjugado com uma pequena aplicação em Excel que tem como objetivo gerar a fiabilidade de um dado componente pela lei de distribuição de probabilidade de Weibull, com a finalidade de agendar a sua reparação ou substituição;
- Resultados da metodologia “Manutenção Centrada na Fiabilidade II”.

**Tabela 6.7.** Comparação do plano de manutenção da máquina de revestimento antes e após o estudo.

Antes do estudo				Após o estudo			
Horas de funcionamento	Paragem	Higienização	Produção	Horas de funcionamento	Paragem	Higienização	Produção
200	✓			150		✓	
400	✓			200			✓
1000	✓			500	✓		
2000	✓			600		✓	
6000	✓			1000	✓		
				2000		✓	

Tendo em conta que, em média, a máquina labora 1000 horas/ano e o tempo médio de paragem é cerca de 8 horas, pode-se concluir que antes do estudo, num ano o equipamento pára 5 vezes, dando cerca de 40 horas de paragem para manutenção. Isto deixa de acontecer com a implementação do estudo, o que leva a que o equipamento vá parar 2 vezes, ou seja 16 horas, obtendo-se ganhos de tempo na ordem de 24 horas/ano.

## 6.2. Equipamento de compressão

No caso do equipamento de compressão de comprimidos, é composto pela própria máquina de compressão e por um conjunto de equipamentos auxiliares que não podem ser desprezados na análise, como é representado na Figura 6.4. Posto isto e tal como aconteceu com o equipamento de revestimento, é necessário dividir a máquina por setores para se ter uma melhor perceção das funções que cada componente tem no sistema, assim como os modos de falha e seus efeitos.

A implementação da metodologia MCF II ao equipamento de compressão envolveu a análise a vinte funções, distribuídas entre a máquina de compressão e pelo conjunto de equipamentos auxiliares, sendo identificados vinte e dois modos de falha distintos. Sendo assim, nesta secção apenas serão apresentados alguns resultados da máquina de compressão conjuntamente com a extração de pó, visto serem o órgão central do equipamento. Os restantes resultados podem ser vistos no ANEXO B.

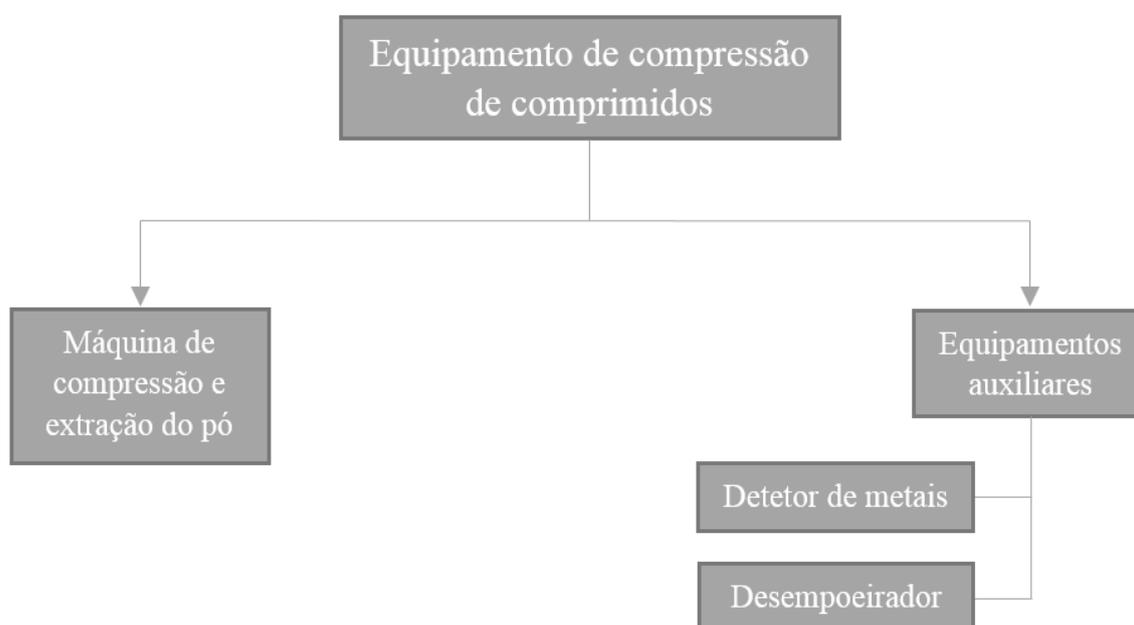


Figura 6.4. Setores da máquina de compressão de comprimidos.

Inicialmente, começa-se por estudar as funções de cada componente integrado no sistema. Na Tabela 6.8 são identificadas as funções de alguns dos componentes da máquina de compressão.

**Tabela 6.8.** Descrição das funções dos componentes que compõem a máquina de compressão.

### MÁQUINA DE COMPRESSÃO E UNIDADE DE EXTRAÇÃO DE PÓ

COMPONENTE	Função (F)	
CAM SUPERIOR	1	Suporte dos punções superiores
FILTRO DO ASPIRADOR	3	Retenção de impurezas
ROLO DE COMPRESSÃO SUPERIOR	5	Permite o movimento de compressão dos punções superiores
RETENTOR SILICONE DOS PUNÇÕES SUPERIORES	10	Retenção do óleo dos punções superiores
SOLENÓIDE DE DESCARGA DE COMPRIMIDOS	12	Separação dos comprimidos com peso incorreto
CORREIA DE TRANSMISSÃO	14	Transmissão de potência
ALIMENTADOR DE PÓ	15	Alimentar o pó às matrizes

Após a descrição das funções de cada componente da máquina de compressão segue-se a determinação das suas falhas funcionais, apresentadas na Tabela 6.9.

**Tabela 6.9.** Falhas funcionais das funções dos componentes que compõem a máquina de compressão.

### MÁQUINA DE COMPRESSÃO E UNIDADE DE EXTRAÇÃO DE PÓ

FUNÇÃO (F)	Falha Funcional (FF)	
1	B	A Cam ainda suporta os punções mas apresenta desgaste criando atrito
3	B	Ainda filtra partículas mas com um nível de performance inaceitável
5	B	Ainda realiza a compressão mas com falhas e algumas matrizes
10	A	Em caso de falha no retentor, existe perda total de função
12	A	Em caso de falha no solenoide, existe perda total de função
14	A	Em caso de quebra, existe perda total de função
	B	A correia ainda realiza a sua função mas com bastante ruído
15	B	O alimentador de pó ainda introduz o pó nas matrizes mas em quantidade insuficiente ou com enorme ruído

No seguimento do estudo, conhecendo as falhas funcionais dos principais componentes que compõem a máquina de compressão segue-se o estudo dos seus modos de falha. Estes são apresentados na Tabela 6.10.

**Tabela 6.10.** Modos de falha das funções dos componentes que compõem a máquina de compressão.

<b>MÁQUINA DE COMPRESSÃO E UNIDADE DE EXTRAÇÃO DE PÓ</b>			
F	FF	Modo de Falha (MF)	
1	B	1	Dano da Cam o que leva a movimentação irregular dos punções
3	B	1	Perde a capacidade de filtragem
5	B	1	Danos no rolo de compressão superior
10	A	1	Desgaste dos retentores
12	A	1	Desgaste ou sujidade da superfície onde atua o solenoide
14	A	1	Dano na correia de transmissão
	B	2	Tensão não adequada
15	B	1	Desgaste dos rolamentos
		2	Desgaste das rodas do alimentador

Conhecendo os modos de falha, o estudo prossegue com o estudo dos efeitos e consequências das falhas apresentadas anteriormente e com o índice de risco prioritário das mesmas. A informação está disponível na Tabela 6.11.

**Tabela 6.11.** Efeitos e consequências das falhas que existem na máquina de compressão de comprimidos. Índice de risco prioritário do modo de falha.

<b>MÁQUINA DE COMPRESSÃO E UNIDADE DE EXTRAÇÃO DE PÓ</b>								
F	FF	MF	Efeitos da Falha	Consequência	F	D	G	P
1	B	1	Comprimidos rejeitados com peso irregular	Operacional	3	2	1	6
3	B	1	Operador fica mais exposto aos pós	Segurança	8	2	9	144
5	B	1	Comprimidos rejeitados com peso irregular	Operacional	2	2	1	4
10	A	1	Comprimidos Defeituosos	Segurança	4	2	10	80
12	A	1	Não há separação dos comprimidos defeituosos	Segurança	5	3	10	150
14	A	1	Ruído	Operacional	1	2	6	12
	B	2	Velocidade de rotação inconstante	Operacional	2	2	2	8
15	B	1	Ruído	Operacional	3	2	2	12
		2	Comprimidos com peso insuficiente	Operacional	3	2	2	12

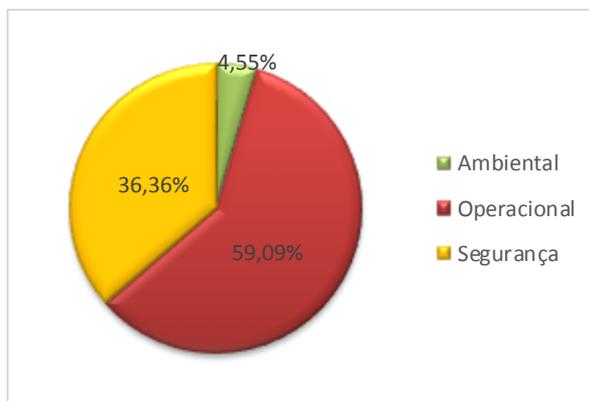
Da tabela anterior podemos concluir que os efeitos das falhas com um índice de risco prioritário mais elevado são aqueles cujas consequências das falhas são ao nível da segurança do consumidor. Para finalizar o estudo, fica a faltar apenas determinar as técnicas de manutenção mais adequadas aos modos de falha. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.12.

**Tabela 6.12.** Folha de decisão da máquina de compressão.

MCF II Folha de Decisão			Sistema		Sólidos					Data: 27/04/2015					
			Subsistema		Máquina de Compressão										
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
							O1	O2	O3	-	-				
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	-	-				
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
3	B	1	S	S	-	-	S	-	-	-	-	T1	-	N	Produção
5	B	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
10	A	1	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Produção
12	A	1	S	S	-	-	N	S	-	-	-	T2	-	N	Produção
14	A	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	S	Manutenção
	B	2	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de tensão de correias	S	Manutenção
15	B	1	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de vibrações	S	Manutenção
		2	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	S	Manutenção

Aqui é de salientar a necessidade de aquisição de dois equipamentos de auxílio à manutenção condicionada, nomeadamente um medidor de vibrações e um medidor de tensão de correias. É de salientar também que, dos nove modos de falha da Tabela 6.12, apenas quatro obrigam a paragem da máquina, sendo que três cabem à produção resolver a situação.

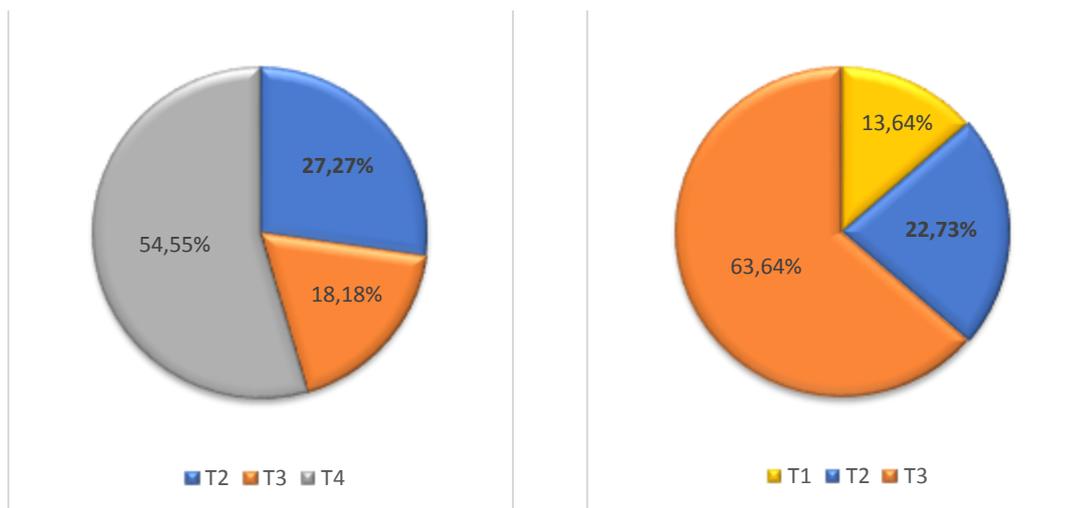
Passando agora a análise do equipamento como um todo, na Figura 6.5 estão apresentadas as diferentes consequências das falhas presentes na máquina de compressão de comprimidos.



**Figura 6.5.** Consequências das falhas da máquina de compressão de comprimidos.

Ao contrário do que acontece com o equipamento de revestimento, neste caso apenas 36,36% das falhas têm consequências de segurança, sendo que para o equipamento de compressão estão em superioridade as falhas com consequências operacionais.

Como título de comparação para os modos de falha presentes, foi feita a comparação da tarefa proposta com a tarefa implementada até à realização do estudo. Os resultados estão apresentados nos gráficos da Figura 6.6.



**Figura 6.6.** Distribuição das técnicas de manutenção implementadas (gráfico da esquerda) e propostas (gráfico da direita) para a máquina de compressão.

Com a implementação da metodologia MCF II e através dos gráficos anteriores podemos retirar vários resultados, entre os quais:

- Passou-se de 54,55% de tarefas de manutenção corretiva (T4) para a sua inexistência que muito dependerá do sucesso das formas de deteção utilizadas na manutenção condicionada (T1). Existe também um aumento da utilização da manutenção preventiva sistemática de substituição (T3);
- Houve um manter da utilização da manutenção preventiva sistemática de reparação (T2);
- Houve a necessidade de implementação da manutenção preventiva condicionada (T1).

Neste equipamento houve também redução do número de paragens para manutenção beneficiando do tempo de paragem da máquina para operações de higienização e das operações de manutenção que podem ser executadas em produção. Posto isto, na

Tabela 6.13 está representada a comparação do número de paragens da máquina antes e após a realização do estudo.

**Tabela 6.13.** Comparação do plano de manutenção da máquina de compressão antes e após o estudo.

Antes do estudo				Após o estudo			
Horas de funcionamento	Paragem	Higienização	Produção	Horas de funcionamento	Paragem	Higienização	Produção
150	✓			150		✓	
450	✓			200			✓
900	✓			400	✓		
6000	✓			450		✓	
				900		✓	
				6000	✓		

Tendo em conta que, em média, a máquina labora 600 horas/ano e o tempo médio de paragem é cerca de 3 horas, pode-se concluir que antes do estudo, num ano o equipamento para 4 vezes, dando cerca de 12 horas de paragem para manutenção. Ao invés, após o estudo o equipamento vai parar 1 vez, ou seja 3 horas, obtendo-se ganhos de tempo por ano na ordem das 9 horas/ano.

## 7. CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido ao longo da dissertação permitiu conhecer e aprofundar a metodologia MCF II, aplicando-o em dois equipamentos distintos de uma indústria farmacêutica, mais especificamente a Farmalabor – Grupo Medinfar.

Assim sendo, a implementação da metodologia MCF II permitiu não só aperfeiçoar os planos de manutenção associados aos dois equipamentos, como também identificar alguns modos de falha não reconhecidos até então, bem como alguns riscos associados a esses modos de falha. Este estudo foi também importante para o incentivo do trabalho de equipa, na medida em que para o sucesso da metodologia, é necessário que haja empenho de todos os intervenientes. Este trabalho permitiu também aos operadores de manutenção ter uma maior perceção da finalidade de todas as tarefas de manutenção presentes no plano e, assim, realizar as manutenções de forma exímia. Isto foi conseguido através da ajuda na compreensão da linguagem presente nas tarefas, bem como na criação de anexos com fotografias associadas a essas mesmas tarefas. Para além disso, os operadores de manutenção perceberam agora a importância de um bom registo de avarias para o sucesso do trabalho do sector da manutenção.

O estudo sobre a aplicação da metodologia MCF II em ambiente fabril permitiu ainda perceber que um bom plano de manutenção, assim como uma boa interação entre setores, permitem obter uma grande redução de custos que se refletem nos lucros da empresa. Este trabalho permitiu ainda compreender que neste caso apenas a implementação da metodologia não é suficiente para obter uma manutenção de excelência, sendo que para a complementar será importante implementar uma das duas soluções:

- Solução mais económica: instalar sensores em cada equipamento para medir vibrações e temperaturas dos componentes críticos e, posteriormente, fazer a sua leitura e registo por rotina com o equipamento em produção;
- Solução mais adequada: instalar sensores em cada equipamento para medir vibrações e temperaturas dos componentes críticos e fazer a leitura em tempo real auxiliado com um sistema de aquisição de dados. Esta

solução requer um maior investimento mas não necessita de medições junto à máquina, não interferindo com a zona limpa.

Para além das recomendações apresentadas anteriormente, será extremamente importante que o serviço de manutenção continue com a capacidade de inovação e modernização, tendo sempre presente o conceito de melhoria contínua.

A sugestão de trabalho futuro reside em abranger a aplicação da metodologia MCF II complementada com uma das soluções apresentadas a todos os equipamentos, começando pelos equipamentos mais críticos e com maiores paragens devido a avaria. Para além disso é importante complementar a metodologia com o método MPT, fomentando o envolvimento de todo o pessoal, particularmente os que têm maior participação no ciclo de vida dos equipamentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gangi,S., Ingaramo,R., Sastre,J., Pontelli,D., “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: Ejemplo de Aplicación en una Industria Farmacéutica” – [www.fces.unsl.edu.ar](http://www.fces.unsl.edu.ar)
- [2] Cabral, José Paulo Saraiva, (2004), “Organização e Gestão da Manutenção”, LIDEL, Lisboa.
- [3] NP EN 13306 (2007). “Terminologia da Manutenção”. Instituto Português da Qualidade.
- [4] Pinto, Alan Kardec, e Júlio Nascif. (2001) “Manutenção - Função estratégica”, Qualitymark Editora Ltda., Rio de Janeiro.
- [5] Pereira, Carlos B., “Manutenção dos Sistemas de Produção”, Faculdade Campo Real
- [6] Ferreira, Luís António de Andrade, “Uma Introdução à Manutenção”, Publíndústria: Porto, 1998, ISBN: 972-95794-4-X
- [7] Bezerra, A.G. (2014), “Manutenção Corretiva”. Acedido a 14 de Abril 2015, em: <https://manutencaoeficaz.wordpress.com/portal-do-conhecimento/manutencao-corretiva/>.
- [8] Moubray, John, (1997), “Reliability centered maintenance”, Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam.
- [9] Silva, C. e Magalhães, J.M., “Gestão da Qualidade: Apontamentos da disciplina”, DEM, Universidade de Coimbra
- [10] Pinto, Carlos Varela, “Organização e Gestão da Manutenção”, Lisboa: Monitor, 1999, ISBN: 972-9413-39-8
- [11] Trainor, Michael J., “TPM with RCM forms a powerful combination”. Acedido a 6 de Junho 2015 em: <http://www.reliableplant.com/Read/16572/tpm-rcm>
- [12] Sullivan, G.P., Pugh, R., Melendez, A.P., Hunt, W.D.(2002), “Operations & Maintenance Best Practises – A Guide to Achieving Operational Efficiency”
- [13] Gupta Ankit et al., “Tablet Coating Techniques: Concepts and Recent Trends”, International Reserch Journal of Pharmacy
- [14] Rowley, Fred A., “Engineering for Success: The Aqueous Film Coating Process”, Engineering Pharmaceutical Innovation
- [15] Tousey, M. (2013), “Tablet Coating Basics”, CSC Publishing. Tablets & Capsules – Acedido em 05/05/2015

- [16] Vogeleer, Jan, “Tablet compression changing trends, more demands.”, Pharmaceutical Technology Europe
- [17] Knopp, Matthew, “Tabletting: resolving tablet defects”, Tablets & Capsules, [www.tabletcapsules.com](http://www.tabletcapsules.com)
- [18] Collins, Wayne, “Preventive maintenance strategies for the pharmaceutical industry”, Pharmaceutical Technology Europe Volume 19, Issue 11

## **ANEXO A**

Resultados da Aplicação da Metodologia MCF II ao Equipamento de Revestimento

**Análise Modal de Falhas e Efeitos**

**Descrição do Equipamento**

Modelo Ano/Equipamento: Equipamento de Revestimento  
 Data: 1980

**Instructions**

F - Índice de Frequência  
 D - Probabilidade do defeito chegar ao cliente  
 G - Gravidade da falha para o equipamento  
 P - Índice de risco prioritário (F x G x D)  
  
 A - Perdas Totais de Função  
 B - Falhas Parciais



Item: Máquina de Revestimento  
 Modelo: \_\_\_\_\_  
 Responsável: Miguel Costa (Manutenção)

Miguel Costa 999  
 13/04/2015

1 of 1  
 Rev: 1

Nº	Componente	Função	Falha Funcional (A/B)	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequência	Índices				
							F	D	G	P	
1	Tambor	Suporte dos comprimidos	B O tambor ainda suporta os comprimidos, mas com performance de rotação inaceitável	1	Dano na correia de transmissão	Forte ruído e velocidade de rotação inconstante	Operacional	2	2	1	4
				2	Desgaste dos roletes de apoio do tambor	Forte ruído e trepidação do tambor	Operacional	2	2	2	8
				3	Desgaste dos rolamentos do eixo principal	Forte ruído e trepidação do tambor	Operacional	2	2	2	8
				4	Falta de lubrificação da corrente de transmissão	Forte ruído	Operacional	2	2	1	4
2	Peças Teflon das Conduatas de ligação UTA/ Tambor	Permite a aceção do ar de insuflação e extração na ligação UTA/ Tambor	A Em caso de falha nas peças de teflon, existe perda total de função	1	Peças de Teflon com desgaste	Não há aceção entre as conduatas e o tambor	Segurança	3	1	9	27

3	Sonda de Temperatura da Extração	Lê e transmite a temperatura da extração do ar	A	Em caso de falha na sonda, existe perda total de função	1	Sujidade na zona de leitura da sonda	Falta de informação de temperatura à saída do tambor	Operacional	5	2	2	20
4	Motor principal	Permite a rotação do tambor	B	O tambor ainda roda, mas com movimento de rotação inaceitável	1	Dano no motor	Tambor com velocidade de rotação inconstante	Operacional	2	2	3	12
5	Caixa Redutora	Permitir a redução de velocidade do motor	B	O tambor ainda roda, mas com movimento de rotação inaceitável	1	Desgaste nas engrenagens da caixa redutora	Tambor com velocidade de rotação inconstante	Operacional	4	2	3	24
6	Filtro de ar comprimido	Retenção de impurezas	B	Ainda filtra partículas, mas com um nível de performance inaceitável	1	Entupimento do filtro de ar comprimido	Incapacidade de filtragem	Segurança	5	2	8	80

MCF II FOLHA DE DECISÃO			Sistema				Sólidos					Data: 13/04/2015			
			Subsistema				Tambor da Máquina de Revestimento								
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	-	-				
1	B	1	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de tensão de correias	S	Manutenção
		2	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de Vibrações	S	Manutenção
		3	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de Vibrações / Câmara Termográfica	S	Manutenção
		4	S	N	N	S	N	S	-	-	-	T2	-	S	Manutenção
2	A	5	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Produção
3	A	6	S	N	N	S	N	S	-	-	-	T2	-	N	Manutenção
4	B	8	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Câmara Termográfica	S	Manutenção
5	B	9	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de Vibrações / Câmara Termográfica / Medidor de propriedades do óleo	S	Manutenção
6	B	10	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção

S	Sim
N	Não

T1	Manutenção Preventiva Condicionada
T2	Manutenção Preventiva Sistemática (Reparação)
T3	Manutenção Preventiva Sistemática (Substituição)



**Análise Modal de Falhas e Efeitos**

**Descrição do Equipamento**

Modelo Ano/Equipamento: Equipamento de Revestimento  
 Data: 1980

**Instructions**

F - Índice de Frequência  
 D - Probabilidade do  
 G - Gravidade da falha para o equipamento  
 P - Índice de risco prioritário (F x G x D)

A - Perdas Totais de  
 B - Falhas Parciais

Item: Despoeirador Miguel Costa 999 1 of 1  
 Modelo: \_\_\_\_\_  
 Responsável: Miguel Costa (Manutenção) 10/04/2015 Rev: 1

Nº	Componente	Função	Falha Funcional (A/B)		Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequência	Índices				
								F	D	G	P	
1	Mangas Filtrantes	Filtrarem do ar para retenção de impurezas antes de ir para o exterior	B	Ainda filtram partículas mas com um nível de performance reduzido	1	Entupimento das mangas filtrantes	Alarme de mangas filtrantes colmatadas	Ambiental	5	2	9	90
2	Painel de Explosão	Em caso de explosão do despoeirador, explodir por uma zona segura	A	Em caso de falha no painel de explosão, existe perda total de função	2	Explosão em todas as direções	Explosão em todas as direções	Segurança	1	1	10	10
3	Ligações à terra	Proteção de choques elétricos	A	Em caso de falha nas ligações à terra, existe perda total de função	3	Perder a ligação	Choque elétrico quando a pele entra em contacto com o despoeirador	Segurança	5	2	4	40

MCF II FOLHA DE DECISÃO			Sistema				Sólidos					Data: 10/04/2015			
			Subsistema				Despoeirador Máquina de Revestimento								
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
							O1	O2	O3	-	-				
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	-	-				
1	B	1	S	N	S	-	S	S	S	S	-	T7	-	N	Manutenção
2	A	2	S	S	-	-	N	S	-	-	-	T2	-	N	Manutenção
3	A	3	S	S	-	-	N	S	-	-	-	T2	-	N	Manutenção

S	Sim
N	Não

T2	Manutenção Preventiva Sistemática (Reparação)
T7	Combinação de Manutenções (T1+T2 ou T3)



**Análise Modal de Falhas e Efeitos**

**Descrição do Equipamento**

Modelo Ano/Equipamento: Equipamento de Revestimento  
 Data: 1980

**Instructions**

F - Índice de Frequência  
 D - Probabilidade do defeito chegar ao cliente  
 G - Gravidade da falha para o equipamento  
 P - Índice de risco prioritário (F x G x D)

A - Perdas Totais de Função  
 B - Falhas Parciais

Item: Sistema de Pulverização Miguel Costa 999  
 Modelo: \_\_\_\_\_  
 Responsável: Miguel Costa (Manutenção) 17/04/2015 Rev: 1 1 of 1

N°	Componente	Função	Falha Funcional (A/B)	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequência	Índices				
							F	D	G	P	
1	Pistola de Pulverização	Permite realizar a pulverização do revestimento nos comprimidos	B As pistolas ainda pulverizam, mas com defeitos nos comprimidos	1	Desgaste dos o'rings das pistolas	Comprimidos visivelmente defeituosos	Segurança	6	2	8	96
				2	Empenamento das agulhas das pistolas	Comprimidos visivelmente defeituosos	Segurança	6	2	8	96
2	Bombas peristálticas	Permite a circulação da solução de revestimento para as pistolas	B As bombas ainda funcionam, mas com movimentos incorretos	1	Desgaste das mangueiras marprene	Comprimidos visivelmente defeituosos	Segurança	2	2	8	32
				2	Desgaste dos roletes das bombas	Comprimidos visivelmente defeituosos	Segurança	4	2	8	64

MCF II FOLHA DE DECISÃO			Sistema				Sólidos					Data: 17/04/2015			
			Subsistema				Flowtab Máquina de Revestimento								
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	-	-				
1	B	1	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
		2	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Produção
2	B	3	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
		4	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Produção

S	Sim
N	Não

T3	Manutenção Preventiva Sistemática (Substituição)
----	--



**Análise Modal de Falhas e Efeitos**

**Descrição do Equipamento**

Modelo Ano/Equipamento: Equipamento de Revestimento  
 Data: 1980

**Instructions**

F - Índice de Frequência  
 D - Probabilidade do  
 G - Gravidade da falha para o equipamento  
 P - Índice de risco prioritário (F x G x D)

A - Perdas Totais de  
 B - Falhas Parciais

Item: UTA Miguel Costa 999 1 of 1  
 Modelo: \_\_\_\_\_  
 Responsável: Miguel Costa (Manutenção) 06/04/2015 Rev: 1

Nº	Componente	Função	Falha Funcional (A/B)		Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequência	Índices			
								F	D	G	P
1	Pré Filtro	1ª estação de filtragem do ar para retenção de impurezas	B	O filtro ainda filtra partículas, mas com um nível de performance reduzido	1 Entupimento do filtro	Alarme de filtro colmatado	Segurança	8	2	8	128
2	Filtro Alta Eficiência	2ª estação de filtragem do ar para retenção de impurezas	B	O filtro ainda filtra partículas, mas com um nível de performance reduzido	2 Entupimento do filtro	Alarme de filtro colmatado	Segurança	3	2	9	54
3	Filtro Absoluto Hepa	Última estação de filtragem do ar para retenção de impurezas	B	O filtro ainda filtra partículas, mas com um nível de performance reduzido	3 Entupimento do filtro	Alarme de filtro colmatado	Segurança	3	2	10	60
4	Elemento de controlo da Bateria de Arrefecimento	Controlo do arrefecimento da água na bateria	B	Permite controlar o arrefecimento da água, mas com um nível de performance reduzido	4 Válvula reguladora presa numa posição com a impossibilidade de mudar de posição	Temperatura da água da bateria de arrefecimento incorreto	Segurança	6	1	8	48
5	Elemento de controlo da Bateria de Aquecimento	Controlo do aquecimento do vapor que circula na bateria	B	Permite controlar o aquecimento do vapor, mas com um nível de performance reduzido	5 Válvula reguladora presa numa posição com a impossibilidade de mudar de posição	Temperatura do vapor da bateria de aquecimento incorreto	Segurança	6	1	8	48
6	Ventilador de Insuflação	Permite a circulação do ar dentro da UTA	B	Permite a circulação do ar na UTA mas com um nível de performance inaceitável	6 Ventilador não insufla o caudal que lhe é pedido	Caudal de ar insuflado incorreto	Segurança	1	2	8	16

MCF II FOLHA DE DECISÃO			Sistema				Sólidos					Data: 06/04/2015			
			Subsistema				UTA Máquina de Revestimento								
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
O1	O2	O3	-	-											
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	-	-				
1	B	1	S	S	-	-	N	N	N	S	-	T7	-	N	Manutenção
2	B	2	S	S	-	-	N	N	S	S	-	T7	-	N	Manutenção
3	B	3	S	S	-	-	S	N	N	S	-	T7	-	N	Manutenção
4	B	4	S	S	-	-	S	-	-	-	-	T1	-	N	Manutenção
5	B	5	S	S	-	-	S	-	-	-	-	T1	-	N	Manutenção
6	B	6	S	S	-	-	S	-	-	-	-	T1	-	N	Manutenção

S	Sim
N	Não

T1	Manutenção Preventiva Condicionada
T7	Combinação de Manutenções (T1+T2 ou T3)

## **ANEXO B**

Resultados da Aplicação da Metodologia MCF II ao Equipamento de Compressão



**Análise Modal de Falhas e Efeitos**

**Descrição do Equipamento**

Modelo Ano/Equipamento: Equipamento de Compressão de Comprimidos  
 Data:

**Instructions**

F - Índice de Frequência  
 D - Probabilidade do defeito chegar ao cliente  
 G - Gravidade da falha para o equipamento  
 P - Índice de risco prioritário (F x G x D)

A - Perdas Totais de Função  
 B - Falhas Parciais

Item: Máquina de Compressão de Comprimidos  
 Modelo:  
 Responsável: Miguel Costa (Manutenção)

Miguel Costa 999  
 27/04/2015

1 of 1  
 Rev: 1

Nº	Componente	Função	Falha Funcional (A/B)	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequência	Índices			
							F	D	G	P
1	Cam superior	Suporte dos punções superiores	B A Cam ainda suporta os punções, mas apresenta desgaste criando atrito	1 Dano da Cam o que leva a movimentação irregular dos punções	Comprimidos rejeitados com peso irregular	Operacional	3	2	1	6
2	Cam inferior	Suporte dos punções inferiores	B A Cam ainda suporta os punções, mas apresenta desgaste criando atrito	1 Dano da Cam o que leva a movimentação irregular dos punções	Comprimidos rejeitados com peso irregular	Operacional	3	2	1	6
3	Filtro do Aspirador	Retenção de impurezas	B Ainda filtra partículas, mas com um nível de performance inaceitável	1 Perde a capacidade de filtragem	Operador fica mais exposto aos pós	Segurança	8	2	9	144
4	Rolo de Pré Compressão Superior	Permite o movimento de pré compressão dos punções superiores	B Ainda realiza a pré compressão mas com falhas em algumas matrizes	1 Danos no rolo de pré compressão superior	Comprimidos rejeitados com peso irregular	Operacional	2	2	1	4
5	Rolo de Compressão Superior	Permite o movimento de compressão dos punções superiores	B Ainda realiza a compressão mas com falhas em algumas matrizes	1 Danos do rolo de compressão superior	Comprimidos rejeitados com peso irregular	Operacional	2	2	1	4

6	Rolo de Pré Compressão Inferior	Permite o movimento de pré compressão dos punções inferiores	B	Ainda realiza a pré compressão mas com falhas em algumas matrizes	1	Danos no rolo de pré compressão inferior	Comprimidos rejeitados com peso irregular	Operacional	2	2	1	4
7	Rolo de Compressão Inferior	Permite o movimento de compressão dos punções inferiores	B	Ainda realiza a compressão mas com falhas em algumas matrizes	1	Danos no rolo de compressão inferior	Comprimidos rejeitados com peso irregular	Operacional	2	2	1	4
8	Retentores Passagem Punções superiores	Retenção do óleo dos punções	A	Em caso de falha no retentor, existe perda total de função	1	Desgaste dos retentores	Comprimidos Defeituosos	Segurança	6	2	10	120
9	Retentor Passagem Punções inferiores	Retenção do óleo dos punções	A	Em caso de falha no retentor, existe perda total de função	1	Desgaste dos retentores	Comprimidos Defeituosos	Segurança	4	2	10	80
10	Retentor Silicone Punção F EU19	Retenção do óleo dos punções	A	Em caso de falha no retentor, existe perda total de função	1	Desgaste dos retentores	Comprimidos Defeituosos	Segurança	4	2	10	80
11	Retentor Silicone Punção F EU19	Retenção do óleo dos punções	A	Em caso de falha no retentor, existe perda total de função	1	Desgaste dos retentores	Comprimidos Defeituosos	Segurança	4	2	10	80
12	Solenóide de descarga dos comprimidos	Separação dos comprimidos com peso incorreto	A	Em caso de falha no solenóide, existe perda total de função	1	Desgaste ou sujidade da superfície onde atua o solenóide	Não há separação dos comprimidos defeituosos	Segurança	5	3	10	150
13	Filtros de ventilação do quadro elétrico	Retenção de impurezas	B	Ainda filtra partículas, mas com um nível de performance inaceitável	1	Perde a capacidade de filtragem	Danos na máquina	Operacional	5	2	1	10
14	Correia de Transmissão	Transmissão de Potência	A	Em caso de quebra, existe perda total de função	1	Dano na correia de transmissão	Ruído	Operacional	1	2	6	12
			B	A correia ainda realiza a sua função mas com bastante ruído	2	Tensão não adequada	Velocidade de rotação inconstante	Operacional	2	2	2	8

15	Alimentador de pó	Alimentar o pó às matrizes	B	O alimentador ainda realiza a sua função mas com um enorme ruído	1	Desgaste dos rolamentos	Ruído	Operacional	3	2	2	12
				O alimentador de pó ainda introduz o pó nas matrizes mas em quantidade insuficiente	2	Desgaste das rodas do alimentador	Comprimidos com peso insuficiente	Operacional	3	2	2	12
16	Tubos de Lubrificação	Deslocação do óleo	A	Em caso de falha nos tubos, existe perda total de função	1	Desgaste ou rotura dos tubos	Danos na máquina e sujidade da sala	Ambiental	4	2	3	24

MCF II FOLHA DE DECISÃO			Sistema				Sólidos					Data: 27/04/2015			
			Subsistema				Máquina de Compressão de Comprimidos								
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	-	-				
			N1	N2	N3	-	-								
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
2	B	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
3	B	1	S	S	-	-	S	-	-	-	-	T1	-	N	Produção
4	B	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
5	B	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
6	B	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
7	B	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção
8	A	1	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Produção
9	A	1	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Produção
10	A	1	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Produção
11	A	1	S	S	-	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Produção
12	A	1	S	S	-	-	N	S	-	-	-	T2	-	N	Produção
13	B	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção

14	A	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	S	Manutenção
	B	2	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de tensão de correias	S	Manutenção
15	B	1	S	N	N	S	S	-	-	-	-	T1	Medidor de vibrações	S	Manutenção
		2	S	N	N	S	N	N	S	-	-	T3	-	S	Manutenção
16	A	1	S	N	S	-	N	N	S	-	-	T3	-	N	Manutenção

S	Sim
N	Não

T1	Manutenção Preventiva Condicionada
T2	Manutenção Preventiva Sistemática (Reparação)
T3	Manutenção Preventiva Sistemática (Substituição)



**Análise Modal de Falhas e Efeitos**

**Descrição do Equipamento**

Modelo Ano/Equipamento: Equipamento de Compressão de Comprimidos  
 Data:

**Instructions**

F - Índice de Frequência  
 D - Probabilidade do defeito chegar ao cliente  
 G - Gravidade da falha para o equipamento  
 P - Índice de risco prioritário (F x G x D)

A - Perdas Totais de Função  
 B - Falhas Parciais

Item: Detetor de Metais  
 Modelo:  
 Responsável: Miguel Costa (Manutenção)

Miguel Costa 999  
 04/05/2015

1 of 1  
 Rev: 1

Nº	Componente	Função	Falha Funcional (A/B)		Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequência	Índices				
								F	D	G	P	
1	Cabos elétricos	Ligação de 1 ou mais componentes	A	Em caso de falha nos cabos elétricos, existe perda total de função	1	Não há energia	Danos na máquina	Operacional	4	2	4	32
2	Mecanismo de rejeição	Rejeitar produtos com alguma partícula metálica	A	Em caso de falha no mecanismo de rejeição, existe perda total de função	1	Não rejeita produtos com partículas metálicas	Comprimidos Defeituosos	Segurança	2	2	9	36

MCF II FOLHA DE DECISÃO			Sistema				Sólidos					Data: 04/05/2015			
			Subsistema				Detetor de Metais da Máquina de Compressão de Comprimidos								
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	-	-				
1	A	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	T2	-	N	Manutenção
2	A	2	S	S	-	-	-	S	-	-	-	T2	-	N	Manutenção

S	Sim
N	Não

T2	Manutenção Preventiva Sistemática (Reparação)
----	---



**Análise Modal de Falhas e Efeitos**

**Descrição do Equipamento**

Modelo Ano/Equipamento: Equipamento de Compressão de Comprimidos  
 Data:

**Instructions**

F - Índice de Frequência  
 D - Probabilidade do defeito chegar ao cliente  
 G - Gravidade da falha para o equipamento  
 P - Índice de risco prioritário (F x G x D)

A - Perdas Totais de Função  
 B - Falhas Parciais

Item: Desempoeirador  
 Modelo:  
 Responsável: Miguel Costa (Manutenção)

Miguel Costa 999  
 11/05/2015

1 of 1  
 Rev: 1

N°	Componente	Função	Falha Funcional (A/B)	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Consequência	Índices				
							F	D	G	P	
1	Cabos elétricos	Ligação de 1 ou mais componentes	A Em caso de falha nos cabos elétricos, existe perda total de função	1	Má ligação não passa energia	Danos na máquina	Operacional	4	2	4	32
2	Molas e Tensores	Provocar um movimento vibratório	B Ainda realiza o movimento vibratório mas com um nível de performance inaceitável	1	Desgaste das molas e tensores provocando um movimento vibratório deficiente	Comprimidos defeituosos	Segurança	4	2	9	72

MCF II FOLHA DE DECISÃO			Sistema				Sólidos					Data: 11/05/2015			
			Subsistema				Desempoeirador da Máquina de Compressão de Comprimidos								
Informação			Avaliação da consequência				H1	H2	H3	H4	H5	Tarefa proposta	Equipamento a adquirir	Manutenção obriga a paragem da máquina?	Operador
							S1	S2	S3	S4	-				
							O1	O2	O3	-	-				
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	-	-				
1	A	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	T2	-	N	Manutenção
2	B	2	S	S	-	-	N	S	-	-	-	T2	-	N	Manutenção

S	Sim
N	Não

T2	Manutenção Preventiva Sistemática (Reparação)
----	---