



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Francisco Miguel Fernandes Oliveira

**Melhoria das práticas de gestão da manutenção e  
implementação de um software CMMS numa  
empresa do setor têxtil**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho realizado sob a orientação de

Professora Doutora Maria Leonilde Rocha Varela

Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro

fevereiro de 2022



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Francisco Miguel Fernandes Oliveira

**Melhorias das práticas de gestão da  
manutenção e implementação de um  
software CMMS numa empresa do setor  
têxtil**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação de

**Professora Doutora Maria Leonilde Rocha Varela**

e

**Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de  
Castro**

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## AGRADECIMENTOS

A conclusão desta etapa só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais gostaria de prestar o meu reconhecimento e sinceros agradecimentos por, de alguma forma, contribuírem para alcançar este objetivo pessoal.

Aos meus orientadores, a Professora Maria Leonilde Varela e o Professor Hélio Castro, pelo tempo dedicado a este trabalho, pelas sugestões de melhoria, pelos esclarecimentos e os conhecimentos transmitidos durante a realização da dissertação.

A todos os colaboradores da JFA, que possibilitaram a realização deste projeto, com especial agradecimento ao Dr. João Almeida, pela oportunidade e pela confiança depositada. Aproveito para agradecer ao Engenheiro Ricardo, à Bárbara e ao Paulo pela integração na empresa, pelo profissionalismo e por toda a simpatia demonstrada.

Um enorme reconhecimento ao meu pai que criou todas as condições possíveis para a concretização de uma meta, pelo seu esforço, pelas palavras de apoio, os conselhos e a paciência. Muito Obrigado!

À Diana pelo carinho, pelo apoio incondicional, por sempre acreditar nas minhas capacidades e pelo incentivo diário à conclusão deste projeto, o meu profundo obrigado!

A todos os meus amigos que me proporcionaram experiências enriquecedoras, confiaram em mim e me apoiaram, obrigado! Um particular agradecimento ao Ricardo, ao Alexandre e ao Diogo pelo companheirismo, pela ajuda e motivação.

Um enorme obrigado a todas as pessoas que me acompanharam ao longo de todo o percurso académico e que irei lembrar para sempre com as melhores recordações.

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

# Melhoria das práticas de gestão da manutenção e implementação de um software CMMS numa empresa do setor têxtil

## RESUMO

Nos mercados atuais, as boas práticas de manutenção desempenham um papel fundamental numa organização, a sua importância estratégica prende-se com elevados níveis de disponibilidade dos equipamentos produtivos e o aumento do ciclo de vida dos mesmos, impactando diretamente na estrutura de custos, produtividade e qualidade de uma empresa. Para tal, é necessário que as funções de gestão da manutenção sejam monitorizadas e regidas pelos melhores critérios, de forma a promover a eficiência, a eficácia e a otimização.

Esta dissertação tem como principal objetivo melhorar o desempenho do departamento de manutenção de uma empresa que atua no setor têxtil, realizando uma revisão de literatura para fundamentar e direcionar o trabalho e uma análise inicial à estrutura de funcionamento da manutenção na empresa, identificado os principais problemas e oportunidades. Posteriormente procede-se à implementação de várias ações de melhoria no âmbito da manutenção preventiva, da monitorização das diversas intervenções para criação de registos históricos, adoção e cálculo de indicadores de *performance* e otimização do fluxo de informação através de um *Computerized Maintenance Management Systems*.

A implementação das ações de melhoria visa tornar as atividades realizadas pelo departamento de manutenção otimizadas, eficientes e com um maior controlo e monitorização. Desta forma, é possível à empresa criar um sistema de gestão da manutenção estruturado e orientado pelas melhores práticas e introduzir técnicas de manutenção preventiva, sendo a quantificação das implementações refletida nos indicadores de *performance* adotados.

Neste projeto, também é apresentada uma técnica de manutenção preditiva baseada em algoritmos de *Machine Learning* e *Data Mining*, como uma sugestão para trabalhos futuros.

**Palavras-Chave:** Manutenção, CMMS, Indicadores de desempenho, Manutenção preditiva

# Improvement of maintenance management practices and implementation of a CMMS software in a textile company

## ABSTRACT

In today's markets, good maintenance practices play a fundamental role in an organization. Its strategic importance can be summed up by high levels of productive equipment's availability and increase of their life cycle having a direct impact on the cost structure, productivity, and quality of a company. To that end, it's necessary the maintenance management functions are monitored and governed by the best criteria as a way to promote efficiency, effectiveness and optimization.

This dissertation has as its primary objective the improvement of a company's maintenance department on the textile sector, by means of reviewing existing works as a source to better direct the work and initial analysis to the functioning of a company's maintenance structure, identifying its biggest problems and opportunities with the goal of implementing multiple preventive maintenance improvement actions in the monitoring of interventions for the creation of historical records, adoption and calculus of indicators of performance and optimization of the information flux through a Computerized Maintenance Management System.

The implementation of the improvement measures not only optimized the activities of the maintenance department but also provided added monitoring control and efficiency. Furthermore, it allowed the company to create a maintenance management system structured and oriented by the best practices and introduce prevention maintenance techniques with the quantification of implementation reflecting in the adopted performance indicators.

This project also presents a predictive maintenance technique based on Machine Learning and Data Mining algorithms as a suggestion for future projects.

**Keywords:** Maintenance, CMMS, Key Performance Indicators, Predictive Maintenance

# ÍNDICE

Agradecimentos .....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	x
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas .....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.3 Metodologia de Investigação.....	4
1.4 Estrutura da dissertação.....	5
2. Revisão Bibliográfica .....	6
2.1 Conceito de manutenção e seus objetivos.....	6
2.2 Evolução histórica .....	8
2.3 Gestão da manutenção .....	10
2.4 Tipos de Manutenção .....	12
2.4.1 Manutenção preventiva.....	13
2.4.2 Manutenção corretiva .....	16
2.4.3 Manutenção de melhoria.....	17
2.5 Indicadores de desempenho da manutenção .....	17
2.5.1 Manutibilidade.....	18
2.5.2 Fiabilidade.....	19
2.5.3 Disponibilidade.....	19
2.6 Manutenção na Indústria 4.0 .....	20
2.6.1 Manutenção Preditiva.....	21
2.6.2 <i>Machine Learning</i> .....	22
2.6.3 <i>Cyber-Physical Systems</i> .....	23
2.6.4 <i>Data Mining</i> .....	24



2.7	<i>Computerized Maintenance Management System</i> .....	25
2.7.1	Software de apoio à manutenção .....	25
2.7.2	Funcionalidades de um CMMS .....	25
2.7.3	Implementação de um CMMS .....	26
3.	Apresentação da empresa.....	28
3.1	Missão e Valores da JFA.....	29
3.2	Disposição dos diferentes núcleos.....	30
3.3	Processo produtivo da JFA .....	31
4.	Descrição da situação Inicial .....	33
4.1	Descrição do departamento de manutenção .....	33
4.2	Estudo de caso do departamento e atividades de manutenção .....	34
4.3	Parque industrial do setor de tinturaria de fio.....	36
5.	Implementação de ações de melhoria.....	39
5.1	Registo das atividades de manutenção.....	39
5.2	Monitorização de intervenções .....	40
5.3	Identificação dos equipamentos críticos .....	45
5.4	Indicadores de desempenho de equipamentos críticos .....	46
5.5	Implementação do CMMS - <i>Valuekeep</i> .....	48
5.5.1	Requisitos funcionais e configuração do sistema .....	49
5.5.2	Ordens de trabalho e ocorrências.....	50
5.5.3	Ordens de trabalho geradas por ocorrências .....	53
5.6	Planos de manutenção preventiva sistemática .....	54
6.	Sugestões de melhoria .....	58
6.1	Técnica de manutenção preditiva .....	58
6.1.1	Decision Tree .....	59
6.1.2	Construção e resultados do modelo .....	60
7.	Conclusões.....	64
	Bibliografia .....	66
	Apêndice I – Dados da análise abc .....	71
	Apêndice II – Dados para cálculo dos indicadores .....	72

Apêndice III – Base de dados gerada..... 74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CMMS – *Computarized Maintenance Management System*

CPS – *Cyber-Physical Systems*

DM – *Data Mining*

IC – *iCone*

JFA – Têxteis J. F. Almeida. S. A.

KPI – *Key Performance Indicator*

ML – *Machine Learning*

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTR – *Mean Time To Repair*

OT – Ordem de Trabalho

QR – *Quick Response*

TF – Tinturaria de Fio

TFA – Tinturaria de Felpo e Acabamentos

TPM – *Total Productive Maintenance*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fases do ciclo de vida de um equipamento (Adaptado de Hansen & Mowen, 2006). .....	6
Figura 2 Objetivos da manutenção (Adaptado de Muchiri et al., 2011). .....	7
Figura 3 Gerações da manutenção (Adaptado de Moubray, 1999). .....	9
Figura 4 Objetivos da gestão de manutenção (Adaptado de Wireman, 2005). .....	11
Figura 5 Classificação da manutenção (Adaptado de EN 13306:2017). .....	13
Figura 6 Níveis dos indicadores (Adaptado de NP EN15341:2009). .....	18
Figura 7 Visão geral da arquitetura CPS de manutenção preditiva (Adaptado de Dalzochio et al., 2020). .....	23
Figura 8 Diferentes núcleos da Têxteis J. F. Almeida. S. A. (Fonte: <a href="https://www.jfa.pt/pt/">https://www.jfa.pt/pt/</a> ).....	31
Figura 9 Fluxograma do processo produtivo da JFA (produtos internos). .....	32
Figura 10 Fluxograma inicial da manutenção em caso de avaria. ....	35
Figura 11 Autoclave de produção de grandes quantidades. ....	37
Figura 12 Autoclave de produção de pequenas quantidades. ....	37
Figura 13 Máquina de secar fio.....	38
Figura 14 Registo de avarias inicialmente implementado.....	40
Figura 15 Gráfico do somatório do número de horas em reparação por mês. ....	42
Figura 16 Gráfico do somatório do número de avarias por mês.....	42
Figura 17 Gráfico do somatório do número de horas em reparação por avaria.....	43
Figura 18 Diagrama Ishikawa da avaria do sensor de nível de água. ....	44
Figura 19 Gráfico da análise ABC do somatório do número de horas de reparação por equipamento. ....	45
Figura 20 Etiqueta identificativa do equipamento.....	50
Figura 21 Exemplo de árvore de localizações da JFA. ....	50
Figura 22 Configuração da app mobile para técnico de manutenção.....	51
Figura 23 Configuração da app mobile para requisitante de manutenção.....	51
Figura 24 Esquema de criação de OT a partir da criação de uma ocorrência. ....	54
Figura 25 Simbologia do plano de manutenção preventiva sistemática.....	55
Figura 26 Plano de manutenção preventivo sistemático de autoclaves. ....	56
Figura 27 Plano de manutenção preventiva sistemática de IC´s. ....	56
Figura 28 Plano de manutenção preventiva sistemática do secador de fio.....	57
Figura 29 Importação dos packages e leitura da base de dados. ....	60

Figura 30 Definição dos dados a prever .....	61
Figura 31 Limpeza dos dados e estatísticas sumárias. ....	61
Figura 32 Definição do modelo de previsão e resultados. ....	62
Figura 33 Cálculo da data da próxima avaria. ....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Capacidade produtiva das máquinas de tingimento de pequenas quantidades. ....	38
Tabela 2 Capacidade produtiva das máquinas.....	38
Tabela 3 Capacidade produtiva da máquina de secar fio.....	38
Tabela 4 Descrição de avarias e respetivas abreviaturas.....	41
Tabela 5 Cálculo do MTTR por mês. ....	43
Tabela 6 Cálculo dos indicadores dos equipamentos críticos.....	47
Tabela 7 Níveis de prioridade definidos na JFA. ....	50
Tabela 8 Transições de estado de uma OT na JFA.....	52
Tabela 9 Definição das variáveis e a sua descrição.....	58



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Em mercados cada vez mais competitivos e caracterizados por um clima de repetidas alterações, é fundamental para as empresas adotarem técnicas e tecnologias inovadoras que lhes permitam aumentar os níveis de produtividade, conceber produtos com a melhor qualidade, reduzir a sua estrutura de custos e aumentar o lucro, garantido deste modo a satisfação das necessidades, cada vez mais exigentes, dos seus clientes. Assim, as empresas procuram, constantemente, repensar e otimizar os seus sistemas de produção, com o objetivo de os tornar mais flexíveis, dinâmicos e eficientes.

É neste contexto que a gestão da manutenção se apresenta como uma alavanca que permite às empresas garantir a fiabilidade e a confiabilidade dos equipamentos, a qualidade dos seus produtos e uma redução nos custos suportados, através da formulação de estratégias que visem a rentabilização dos seus ativos físicos, adotando as abordagens e ferramentas mais adequadas à sua realidade (Wang et al., 2007; Söderholm et al., 2007). No caso concreto da indústria têxtil, a função de gestão da manutenção assume um papel importante, devendo ser alvo de estudos para a sua melhoria contínua (Chen & Liao, 2005).

Atualmente, a manutenção está a transitar de um mero serviço de reparação de equipamentos para um processo de negócio, com a função de garantir a capacidade produtiva do sistema de produção, constituindo, assim, um fator estratégico para a competitividade das organizações (Palmer, 2013; Wienker et al., 2016). Os procedimentos e técnicas de manutenção sofreram uma enorme evolução ao longo da história, passando de tarefas ingratas e desvantajosas para um fator fundamental para as empresas, sendo consideradas essenciais para as empresas alcançarem níveis competitivos de excelência. Para tal, é indispensável que a manutenção seja estudada, planeada e orientada por metodologias inovadoras, deixando de ser considerada como uma fonte de custos e passando a ser reconhecida como uma função geradora de lucro (Alsyouf, 2007).

No atual contexto industrial, recorrendo a equipamentos de monitorização sofisticados, com a capacidade de interpretação, armazenamento e respetivo processamento de variáveis complexas e diversas, nomeadamente os CPS e a inteligência artificial, é possível estimar o tempo de vida útil dos equipamentos e dos seus componentes com uma maior precisão, antecipar e prevenir possíveis falhas e evitar paragens inesperadas (Monostori et al., 2016). Neste âmbito, é de referir, a título exemplificativo,



que um sistema CMMS desempenha uma papel importante como uma ferramenta que permite a recolha de dados em tempo real e a posterior criação de um registo histórico, a sua análise e diagnóstico, fornecendo assim informações de apoio à decisão, sendo um elemento essencial nas várias tarefas que compõe a gestão da manutenção (Crespo Marquez & Gupta, 2006). A correta implementação de um CMMS, bem como a utilização plena de todos os seus requisitos funcionais, tem um impacto positivo na eficácia e eficiência da função de manutenção (Wienker et al., 2016).

Com a quantidade de dados, gerados por esses equipamentos, torna-se fundamental implementar indicadores de *performance* para medir o desempenho económico, técnico e organizacional de uma empresa. Assim, tem-se considerado que é importante uma correta definição e adoção destes KPI, que são imprescindíveis para o desenvolvimento de uma melhoria contínua e para medir os efeitos da estratégia adotada (Chompu-Inwai et al., 2013). No âmbito da gestão da manutenção, é frequente a utilização de KPI's, tais como o MTBF e MTTR, que devem ser adotados de acordo com os objetivos estratégicos da empresa e, de forma a proporcionarem uma visão integral da manutenção. A correta seleção e posterior implementação de um conjunto de indicadores alinhados com a estratégia organizacional, permite analisar criticamente os resultados e tomar decisões acertadas (Cabral, 2013; Muchiri et al., 2011).

Em suma, os mercados atuais exigem que as organizações encontrem metodologias que sejam capazes de responder aos diversos desafios colocados pelos clientes, permanecendo dinâmicas e ativas. Desta forma, as organizações que não estão dispostas à mudanças e transição para novos paradigmas são geralmente vistas como empresas indisciplinadas (Cameron & Quinn, 2011). É neste sentido que surge o projeto de dissertação, desenvolvido em paralelo com a realização de um estágio curricular na JFA, empresa que atua no ramo têxtil, e que sentiu a necessidade de adotar uma cultura de melhoria contínua no âmbito do seu departamento de manutenção, através da adoção de práticas de gestão da manutenção orientadas por um software CMMS, da implementação de KPI's para monitorizar a sua implementação, e, do melhor planeamento das atividades de manutenção a realizar, tendo como objetivo promover a eficiência do setor. Em resposta a esta necessidade, pretendeu-se assim identificar e colmatar os principais problemas deste setor.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal deste projeto consiste em melhorar o desempenho do departamento de manutenção da JFA que serve a secção de tinturaria de fio, recorrendo para isso à implementação de melhorias, tais como a monitorização de intervenções que permite criar um histórico das diferentes máquinas, a implementação de um software de apoio à gestão da manutenção, a adoção de indicadores de desempenho e a criação de planos de manutenção preventiva, que sirvam de alavanca para obter consideráveis ganhos de eficiência em todos os processos de manutenção. Desta forma, pretende-se solucionar um conjunto de problemas relacionados com a gestão da manutenção da empresa, designadamente a ausência de dados históricos, o tempo desperdiçado durante o processo de reporte de uma avaria e a inexistência de um planeamento estratégico de atividades de manutenção de cariz preventiva. Assim, pretende-se realizar as seguintes atividades:

- Avaliar o fluxo de trabalho e informação do departamento de manutenção simplificando-o de modo a evitar desperdícios de tempo;
- Criar uma base de dados que contenha informações sobre as diversas intervenções nos equipamentos, que sirva como suporte para a sua monitorização;
- Adotar indicadores de *performance* da manutenção com o objetivo de acompanhar o desempenho dos equipamentos considerados críticos;
- Implementar um software de gestão da manutenção para auxiliar o processo de tomada de decisão e melhorar o fluxo de trabalho do departamento;
- Introduzir planos de manutenção preventiva para facilitar o planeamento conjunto de produção e manutenção e prevenir avarias nos equipamentos e seus componentes.

Para tal, foi necessário realizar uma análise à estrutura de funcionamento do departamento de manutenção, com o intuito de perceber a sua dinâmica, a forma como é dada resposta às diferentes falhas, como e se são registadas as ocorrências, caracterizando as atividades realizadas pelo departamento.

Deste modo, pretende-se que, através da implementação de novas tecnologias e metodologias inovadoras de organização da manutenção, seja possível melhorar a eficiência dos equipamentos e a qualidade da produção, reduzindo as paragens inesperadas e aumentando o nível de produtividade dos equipamentos.

### 1.3 Metodologia de Investigação

No que respeita a metodologias de investigação, o projeto de dissertação desenvolvido na JFA, seguiu uma metodologia de Investigação-Ação, uma vez que há uma participação ativa e direta na análise do problema em questão, apresentando possíveis soluções para a sua resolução e estando envolvido na implementação das soluções propostas, colaborando em conjunto com os trabalhadores da JFA. A Investigação-Ação consiste numa metodologia de investigação que se caracteriza pela sua natureza iterativa no processo de diagnóstico, planeamento, ação e validação, sob a forma de uma espiral de ciclos subsequente, que é capaz de resolver questões operacionais na expectativa de obter melhores resultados e, simultaneamente, criar conhecimento resultante da investigação. Cada um destes ciclos é constituído por cinco etapas: Diagnóstico, Planeamento de Ações, Implementação de Ações, Avaliação e Aprendizagem, sendo que o conhecimento, fruto da investigação, suporta o planeamento e a implementação de ações que, por sua vez, gera novo conhecimento que poderá ser utilizado na repetição deste ciclo pelo próprio investigador (Saunders et al., 2009; Coutinho et al., 2009).

Assim, numa dissertação que consiste na sugestão e aplicação de alterações que contribuam para a melhoria contínua, demonstra-se essencial a adoção de uma metodologia Investigação-Ação, que se distingue pelo foco atribuído à ação, geralmente associado à implementação de alterações numa organização (Jensen, 2016). A primeira fase do trabalho assentou no diagnóstico da situação atual, com o objetivo de perceber o funcionamento do departamento de manutenção e proceder à recolha de dados através da observação e consulta de registos, identificando os principais problemas e as ações a serem implementadas. As sugestões de melhoria, para colmatar os problemas identificados, foram posteriormente discutidas com os elementos da empresa, de forma a aferir a sua viabilidade e efetuar o seu planeamento. Por último, é importante avaliar os benefícios que resultam da implementação das ações e perceber, de que forma representam ferramentas de melhoria no departamento de manutenção.

## 1.4 Estrutura da dissertação

Com o intuito de definir uma estrutura lógica, a presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos. O presente e primeiro capítulo, introduz o tema em estudo, fazendo o seu enquadramento, identificando os principais objetivos e metas a atingir, fazendo referência à metodologia adotada para conduzir o estudo e as suas fases de execução, bem como a organização e estrutura do documento.

O segundo capítulo estabelece o fundamento teórico que sustenta o projeto, efetua uma revisão de literatura sobre a manutenção, expõe a sua definição, gestão e evolução histórica, assim como as temáticas atuais que a caracterizam, que direcionam o trabalho e com o objetivo de integrar o leitor na temática.

No terceiro capítulo é apresentada a empresa na qual o trabalho foi desenvolvido, a JFA. Inicialmente, é realizada uma caracterização da empresa, a sua história e evolução como organização, contendo a sua missão e valores. Posteriormente, é apresentada a estrutura organizacional da empresa e a disposição entre os seus diferentes núcleos, bem como as funções desempenhadas por cada um deles e respetivas áreas produtivas, e ainda, a cadeia produtiva da empresa no seu cômputo geral.

Seguidamente, no quarto capítulo, faz-se uma descrição e análise crítica da situação atual, destacando-se a descrição e a composição do departamento de manutenção, as atividades de manutenção realizadas e o fluxo de trabalho, assim como, a constituição do parque industrial de tinturaria de fio, que é assistido pelo departamento. Neste capítulo, são também identificados os principais problemas e perdas identificadas que apresentam oportunidades de melhoria.

O capítulo cinco é constituído pelas ações de melhoria implementadas em conjunto com os colaboradores da JFA, nomeadamente a criação de um registo histórico, a implementação de um CMMS e a posterior adoção de indicadores e a sua monitorização, bem como a introdução de atividades de cariz preventivo.

No capítulo seis são abordadas sugestões de melhoria, para trabalhos futuros, no âmbito da aplicação de técnicas de manutenção preditiva, recorrendo a ferramentas de ML e recorrendo a uma arquitetura CPS, por último, no sétimo capítulo são apresentadas as considerações finais e principais conclusões e limitações do trabalho desenvolvido.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Conceito de manutenção e seus objetivos

O consumo de um ativo compreende o momento em que o mesmo é adquirido, até ao seu desmantelamento. O ciclo de vida de um ativo envolve várias fases que são distintas entre si, conforme as atividades executadas. Essas atividades vão desde a sua aquisição, utilização e operação, assim como a sua manutenção e o seu desmantelamento ou alienação (Hansen & Mowen, 2006). De acordo com a NP ISO 5500: 2016, a gestão de ativos é uma atividade coordenada numa organização para perceber e produzir valor a partir de ativos (Figura 1).

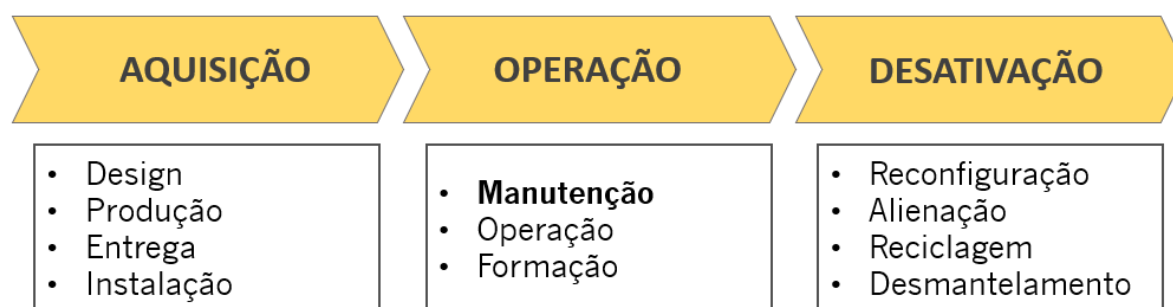


Figura 1 Fases do ciclo de vida de um equipamento (Adaptado de Hansen & Mowen, 2006).

Segundo a norma portuguesa NP EN 13306:2007 – Standard Europeu sobre a terminologia da manutenção, a manutenção é a “combinação de ações técnicas, administrativas e de gestão durante a vida de um bem, com o objetivo de reter ou repor um item num estado em que ele está apto a desempenhar a função para o qual é requerido”, sendo esse bem definido por “qualquer elemento, componente, aparelho, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistemas que pode ser considerado individualmente”. Para além disso, as ações de manutenção devem ser realizadas de acordo com as boas práticas técnicas e exigências legais, de modo a assegurar o bom estado de funcionamento dos equipamentos e instalações, evitando a sua perda de função e a redução do rendimento (Cabral, 2013).

Das definições supramencionadas, aferimos que o objetivo principal da manutenção é a obtenção de elevados níveis produtivos dos equipamentos, provenientes da sua maior disponibilidade. No entanto, os objetivos da manutenção vão mais além do que a sua vertente estritamente técnica, incorporando um

vasto conjunto de atividades que a tornam mais abrangente. Estas atividades estão relacionadas com a qualidade do produto, a preservação do meio ambiente, a certificação e a segurança, bem como as exigências legais e a sustentabilidade social. A organização deve ser capaz de demonstrar aos seus *stakeholders* que realiza as suas atividades de manutenção de acordo com práticas seguras, respeitadoras do ambiente e socialmente aceites (Cabral, 2013).

Os objetivos da manutenção (Figura 2) podem ser agrupados em cinco grandes grupos:

1) funcionalidade da instalação, de forma a assegurar elevados níveis de disponibilidade, fiabilidade e produtividade;

2) garantia que a instalação alcança o tempo de vida útil;

3) gestão eficiente dos custos de manutenção;

4) promoção da segurança das instalações e do ambiente;

5) utilização eficiente dos recursos disponíveis.

O alcance desses objetivos está diretamente dependente da estratégia de produção e, por sua vez, da estratégia organizacional (Muchiri et al., 2011).

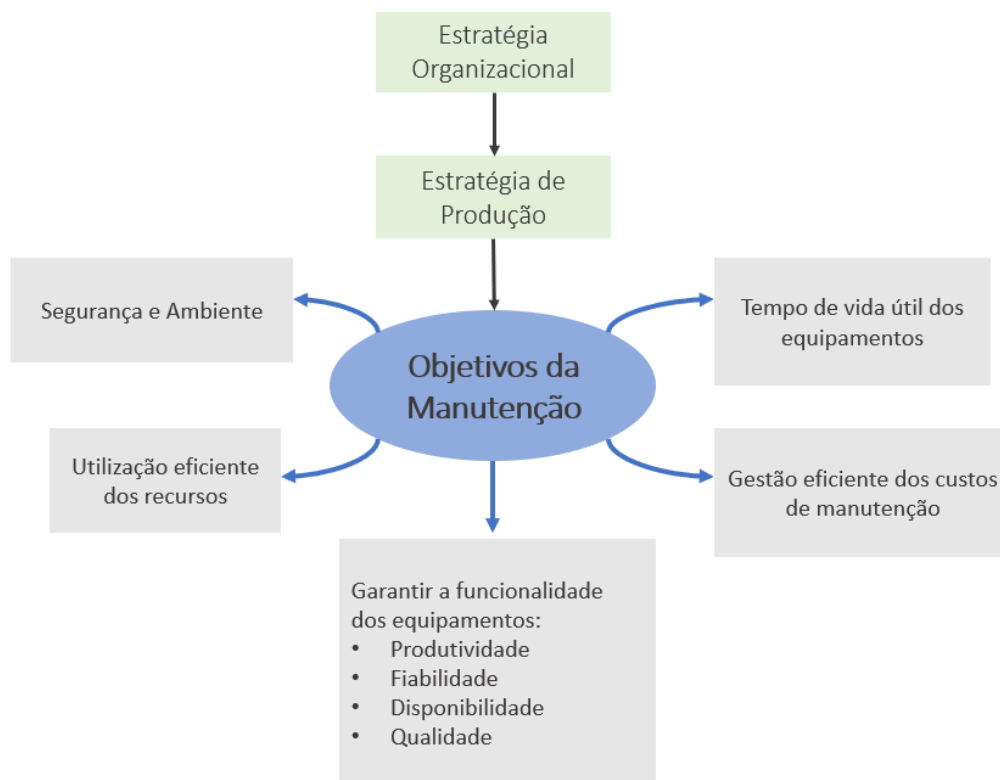


Figura 2 Objetivos da manutenção (Adaptado de Muchiri et al., 2011).

A constante alteração no panorama industrial, decorrente do crescente desenvolvimento tecnológico, das alterações nos ambientes operacionais e das alterações legais e regulamentares que versam sobre os mercados e os produtos, provocam constantes mudanças nas exigências que as partes interessadas têm em relação aos equipamentos produtivos. Desta forma, a manutenção tem como desafio a procura constante por uma melhoria contínua que permita atingir eficazmente os seus objetivos, de modo a cumprir os requisitos das partes interessadas, ao longo do ciclo de vida do ativo (Söderholm et al., 2007). Juntando isso ao atual perfil tecnológico dos equipamentos, a manutenção representa um setor com uma elevada responsabilidade em qualquer organização, sendo uma atividade de primeira linha com exigências de desempenho multidisciplinares (Cabral, 2013).

## 2.2 Evolução histórica

A manutenção, ao ter um considerável impacto direto na produtividade, na qualidade do produto e na eficiência energética, constitui uma das funções mais importantes em qualquer unidade de produção e, por essa razão, representa um setor que sofreu imensas reformulações nos últimos anos, comparativamente com outras áreas de gestão (Moubray, 1999). Estas mudanças surgem como resposta a projetos mais complexos ao nível das instalações e equipamentos, exigindo investimentos avultados e maior variedade dos mesmos, que se repercutem em novas técnicas de manutenção e uma mudança do paradigma relativamente às funções de gestão da manutenção, provocando o desenvolvimento dos departamentos de manutenção das empresas.

A perspetiva sobre o conceito de manutenção foi evoluindo, à medida que se levantaram questões relativas à forma como a falha num equipamento poderia afetar a segurança e o ambiente, por força de uma maior sensibilização relativamente à ligação da manutenção com a qualidade do produto e a elevada pressão para maximizar a disponibilidade das instalações e equipamentos, de forma a reduzir os custos associados (Moubray, 1999). Além disso, os padrões obsoletos, segundo os quais a manutenção é vista como um centro de custo da empresa, também têm vindo a sofrer alterações, à medida em que as metodologias de gestão da manutenção têm provado ser eficazes no cumprimento dos objetivos da manutenção (Söderholm et al., 2007).

O conceito de manutenção, bem como as suas finalidades, evoluíram em paralelo com o desenvolvimento industrial a nível mundial. Esta evolução da noção de manutenção vai desde o momento em que a manutenção apenas era realizada em caso de avaria, até ao conceito atual, em que a

manutenção está bastante focada na organização, no planeamento e na prevenção, sendo caracterizada por três gerações, como é possível observar na Figura 3.

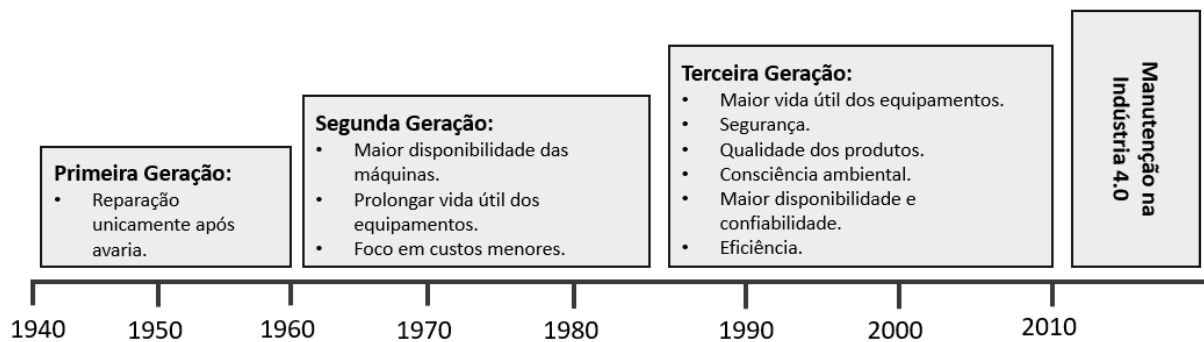


Figura 3 Gerações da manutenção (Adaptado de Moubray, 1999).

Até à década de 40 do século XX, apenas se recorria à manutenção quando não havia outra solução, limitando-se esta apenas à limpeza das máquinas e dos equipamentos, ou, à sua substituição perante a ocorrência de avarias (Pinto, 2002). O período temporal que se estende até à 2ª Guerra Mundial, representa a primeira geração, que se caracteriza por uma indústria pouco mecanizada, com a maioria das máquinas a possuir uma base construtiva bastante simples e bem projetada, que lhes atribuía confiança e facilidade na reparação. Desta forma, os períodos de inatividade dos equipamentos, decorrente de avarias, não tinham os impactos significativos que hoje se verificam e, conseqüentemente, a prevenção de falhas não era uma prioridade para a maioria dos gestores, predominando uma lógica de manutenção corretiva, em que a resposta à necessidade de reparar as máquinas, em caso de avaria, era deixada a cargo dos próprios operadores (Moubray, 1999).

Por volta da década de 50 do século XX, a indústria aumenta de forma gradual a sua dependência face a equipamentos produtivos, que se encontravam presentes em maior quantidade e se apresentavam cada vez mais complexos na sua arquitetura e funcionalidade, tendo esta crescente mecanização, conseqüentemente, aumentado significativamente os tempos de reparação, tornando assim o tempo de inatividade da maquinaria um dos focos da indústria, pois começou a tornar-se crítico para a eficiência produtiva das organizações. A ideia de que as falhas podem e devem ser prevenidas marca, assim, a segunda geração começando-se a investir em sistemas de planeamento e controlo de manutenção, introduzindo-se a manutenção preventiva dos equipamentos, que consistia apenas em revisões periódicas da maquinaria. Este esforço para aumentar a vida útil dos equipamentos surge pela reconsideração da ótica dos custos de manutenção, reforçado pelos juros elevados, decorrentes dos investimentos de capital nos ativos (Moubray, 1999).



O processo de mudança na indústria sofreu um maior impulso a partir de 1970, dado que até então a manutenção era vista de forma isolada, isto é, as funções de manutenção eram unicamente da responsabilidade do pessoal que integrava o respetivo departamento. Com a introdução do TPM, no Japão em 1971, evoluiu-se para uma estratégia de manutenção mais eficiente, sendo para isso fundamental o respeito por todos os indivíduos e a sua total participação, sendo este o principal marco da terceira geração. O incentivo a que os próprios operadores participassem também na realização de algumas das atividades de manutenção preventiva introduziu a preocupação com as consequências das falhas na segurança e no ambiente organizacional e com o aumento do tempo de vida útil dos equipamentos (Nakajima, 1988). As pesquisas desenvolvidas ao longo desta geração originaram novas perspectivas sobre o conceito de falha e o momento em que a mesma acontece, contribuindo para um crescimento de novas técnicas de manutenção com o intuito de tornar a sua gestão mais eficiente. Estas técnicas incluem ferramentas de suporte às decisões, tais como a Análise Modal de Falhas e seus Efeitos (FMEA), estratégias de Manutenção baseada na Condição CBM – *Condition Based Maintenance* e ainda o RCM – *Reliability-Centered Maintenance* que é um elemento que constitui esta geração. Além disso, uma forte mudança na filosofia empresarial, com ênfase no trabalho em equipa e na flexibilidade e nos projetos de equipamentos, focados numa maior confiabilidade e manutenibilidade, são outros elementos que suportam esta geração (Moubray, 1999).

É desta forma que a manutenção progride de uma ótica primária, em que o único propósito era a reparação de avarias, para a manutenção preventiva, organizando e planeando eventos preventivos e sistemáticos, com o objetivo de aumentar a disponibilidade das máquinas e o seu tempo de vida útil, esmorecendo a ideia de que as manutenções devem ser realizadas aquando da avaria (Kumar Sharma & Gopal Sharma, 2014).

## 2.3 Gestão da manutenção

A gestão da manutenção é a gestão de todos os ativos que representam propriedade de uma empresa, com o princípio de maximização do retorno efetuado no investimento do ativo (Wireman, 2005). De acordo com a norma portuguesa NP EN 13306:2017, a gestão da manutenção pode ser definida como o conjunto de atividades de gestão que estabelecem os objetivos, os pressupostos, a estratégia e as responsabilidades respeitantes à manutenção e que os realizam por diversos meios tais como o planeamento, o controlo e supervisão da manutenção e a melhoria de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos, criando desta forma condições para uma prática que permita obter maior

disponibilidade dos equipamentos produtivos, com um custo de ciclo de vida mínimo, aliando fatores de fiabilidade, segurança e preservação ambiental.

A existência da função de manutenção desprovida de gestão não é suficiente e pode resultar na redução do desempenho produtivo. A seleção de procedimentos e estratégias eficazes de gestão da manutenção é necessária quando se deseja obter altos níveis de *performance* (W. J. Chen & Liao, 2005). Ao estabelecer metas e objetivos a alcançar, por meio de modelos e condutas de trabalho, permite-se um melhor aproveitamento dos recursos humanos e materiais. As metas e objetivos poderão ser alcançados através das atividades de manutenção que passam pela identificação das tarefas a realizar, o respetivo planeamento assegurando-se os recursos necessários, a sua programação e o seu escalonamento, e, por fim, a realização das atividades, acompanhada por um registo que irá constituir o historial a ser posteriormente analisado, com o intuito de melhoria contínua.

Os principais objetivos da gestão da manutenção, apresentados na Figura 4, consistem em maximizar a produção com o menor custo, mantendo a qualidade desejável e respeitando os padrões de segurança exigíveis; identificar e reduzir custos nos diversos processos de manutenção; otimizar os recursos disponíveis para a manutenção (humanos e materiais); otimizar a vida útil do equipamento; minimizar o consumo de energia; e minimizar o stock de consumíveis (Wireman, 2005).

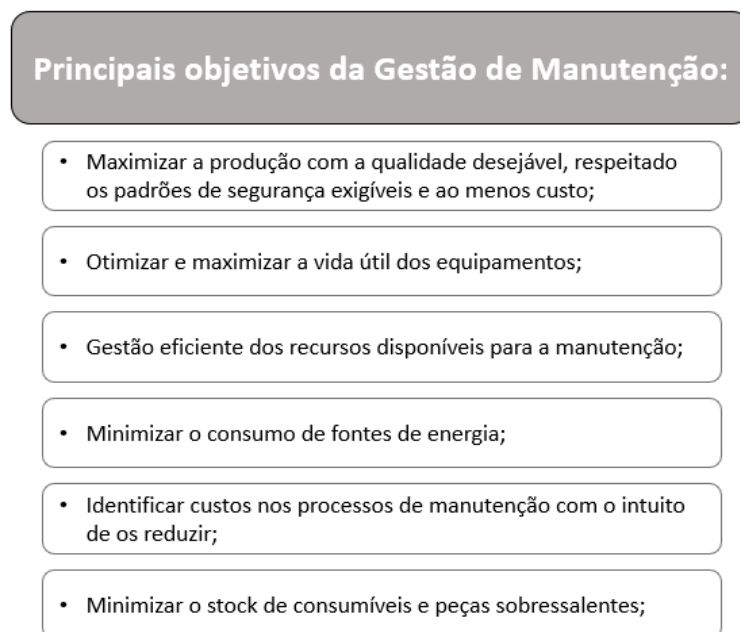


Figura 4 Objetivos da gestão de manutenção (Adaptado de Wireman, 2005).

Para garantir que os objetivos da gestão de manutenção são atingidos, o departamento de manutenção de uma organização deve assegurar as seguintes responsabilidades (Dhillon, 2002):

- Reparar os equipamentos e instalações, repondo-os no estado de funcionamento para o qual é requerido;
- Garantir níveis operacionais satisfatórios dos equipamentos através do desenvolvimento e implementação de planos de manutenção preventiva;
- Gestão de stocks assegurando a disponibilidade imediata dos materiais;
- Efetuar e manter registos dos equipamentos, das intervenções de manutenção, entre outros;
- Desenvolver abordagens eficazes e inovadoras para controlar e monitorizar as atividades de manutenção;
- Manter a produção, cargos de gestão e clientes informados em relação aos processos do departamento de manutenção;
- Investir na formação da equipa de manutenção de forma a aumentar as suas competências;
- Implementar métodos que promovam a segurança no trabalho;
- Estabelecer o cumprimento dos requisitos contratuais por parte dos prestadores de serviços de manutenção;
- Elaborar orçamentos realistas e detalhados;

Por consequente um sistema de gestão da manutenção tem que ter à sua disposição, recursos técnicos necessários para atingir os objetivos estabelecidos e, além disso, ferramentas de recolha de informação fiável que permita avaliar o desempenho, estabelecer metas e comparar os resultados (Cabral, 2013).

## 2.4 Tipos de Manutenção

As intervenções de manutenção são, em geral, classificadas em três tipos, a saber, podem ter um carácter preventivo, sendo aplicadas antes da falha ocorrer, apontando a substituição de componentes, lubrificação e limpeza, podem ter um carácter corretivo, sendo realizadas na sequência de uma avaria ou perda de função e implicando a substituição de equipamentos degradados, e intervenções de melhoria com o objetivo de introduzir melhorias nos atributos e características dos equipamentos.

Contudo, segundo a EN 13306:2017 sobre a terminologia da manutenção, as atividades de manutenção podem ser classificadas de diversas formas que estão dispostas na Figura 5.

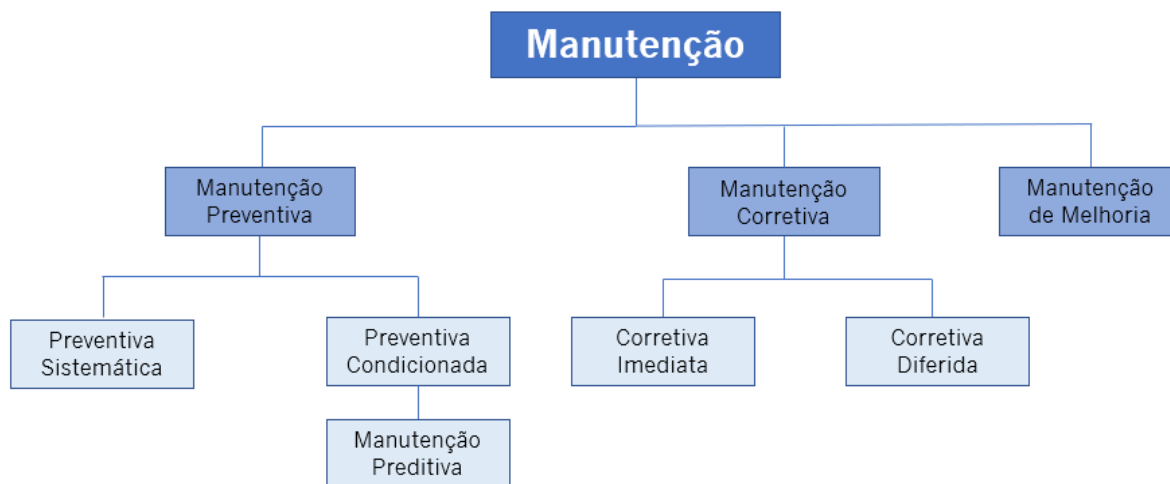


Figura 5 Classificação da manutenção (Adaptado de EN 13306:2017).

### 2.4.1 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva, segundo a EN 13306:2017, corresponde à manutenção que é realizada antes de uma avaria ocorrer, a intervalos de tempo pré-determinados, ou de acordo com critérios estabelecidos, com o intuito de mitigar a degradação dos componentes e dos equipamentos, reduzindo a probabilidade de verificação de falhas. Assim, este tipo de manutenção tem como objetivo principal evitar avarias, perdas ou reduções da função exigida, mantendo os equipamentos num estado funcional satisfatório. No entanto, esta pode desencadear ações corretivas desnecessárias levando assim a um aumento dos custos operacionais (Carvalho et al., 2019).

O desenvolvimento de um programa eficaz de manutenção preventiva exige a existência de registos históricos, manuais de instrução e recomendações do fabricante, nomeadamente relativas às condições ótimas de funcionamento e às periodicidades de limpeza e lubrificação, pessoal qualificado, dados históricos de equipamentos semelhantes que contenham informações de falhas, estudos de fiabilidade dos equipamentos e dos seus componentes, armazém de stock com disponibilidade de peças sobresselentes e consumíveis e, um suporte da gestão de topo em integração com o utilizador dos equipamentos (Dhillon, 2002;Pinto, 2002).

A adoção de um programa de manutenção preventiva que detenha as características supracitadas terá como consequência um aumento do tempo de vida dos equipamentos, uma redução no número de avarias e uma maior segurança do pessoal da manutenção. Além disso, promove uma maior integração entre os departamentos de manutenção e de produção, devido a um melhor planeamento e programação das atividades de manutenção, que minimizam as perdas de produção, provocadas por avarias e

intervalos de tempo dedicados a atividades de reparação, diminuindo desta forma os custos associados à indisponibilidade dos equipamentos (Dhillon, 2002).

Este tipo de manutenção pode ainda ser subdividido em dois subtipos, preventiva sistemática e preventiva condicionada, sendo que ambas são planeadas, diferindo em relação ao *trigger* com que são desencadeadas. No caso da manutenção sistemática, o planeamento é determinado de acordo com períodos de tempo fixo, enquanto que a manutenção condicionada pressupõe intermitências variáveis que advêm de uma avaliação da condição do equipamento (Cabral, 2006).

#### **a) Manutenção preventiva sistemática**

A manutenção preventiva sistemática, definida pela EN 13306:2017, consiste nas atividades de manutenção realizadas de acordo com intervalos de tempo, previamente estabelecidos, ou baseadas num número definido de unidades de uso do equipamento, porém sem uma investigação prévia das suas condições, sendo que os intervalos temporais ou o número de unidades de uso podem ser estabelecidos a partir do conhecimento dos mecanismos de falha do item. Constituem exemplos de atividades geralmente realizadas e que vão ao encontro destes critérios, a limpeza, as inspeções e as lubrificações calendarizadas, as substituição periódica de peças gastas e as revisões gerais (Cabral, 2013).

Apesar de se apresentar como um plano em que a gestão financeira é simplificada, pois o custo de cada operação de manutenção é predeterminado e as paragens são programadas de acordo com a produção, ao longo dos últimos anos verifica-se um decréscimo na adoção de planos de manutenção preventiva sistemática por parte da gestão de topo das organizações. Ta situação verifica-se, dado que o fator custo é um elemento decisivo e que a este tipo de programas de manutenção estão associados custos elevados, não só devido à periodicidade de cada operação, como também à mão de obra, atendendo a que, de um modo geral, estas intervenções são realizadas aos fins de semana. Assim, para usufruir das vantagens destes programas, estes devem ser criteriosamente projetados, de forma a que sejam eficientes e economicamente viáveis, permitindo à organização um horizonte de redução dos custos que sustente a sua implementação (Dhillon, 2002; Pinto, 2013).

Em certos contextos, é preferível substituir um componente que não falhou em determinado período de tempo, do que esperar pela falha que poderá trazer consequências desastrosas. No entanto, a maior dificuldade neste tipo de manutenção consiste em calcular a periodicidade que melhor permite maximizar o tempo de vida útil de um equipamento, evitando a substituição de peças provocada por excesso de precaução e que, pela multiplicidade de operações aumentam o risco de novas avarias.

Todavia, estabelecer uma periodicidade fixa pressupõe que as falhas dos equipamentos e componentes acontecem de uma forma previsível, o que nem sempre se verifica (Pinto, 2002).

**b) Manutenção preventiva condicionada:**

Este tipo de manutenção, segundo a EN 13306:2017, ocorre quando as ações de manutenção são determinadas a partir da avaliação das condições físicas, de sintomas detetados na monitorização da condição de funcionamento de um equipamento e de parâmetros significativos desse funcionamento que vão revelar o estado de degradação de um determinado equipamento (Cabral, 2009). Geralmente, este tipo de manutenção é aplicado a máquinas consideradas vitais para a produção, equipamentos críticos, com avarias caras e frequentes, que podem comprometer a segurança do ambiente e dos operadores. Se estamos perante uma máquina em que a tolerância para a falha é nula então é aplicada a manutenção preventiva condicionada (Garg & Deshmukh, 2006).

Também designada de CBM, a intervenção é realizada após cada inspeção e está dependente do estado de funcionamento do sistema (D. Chen & Trivedi, 2002), sendo que os parâmetros de inspeção mais comuns são o controlo de ruídos e vibrações, a análise de óleos e ultra sons, termografia e a observação do operador, conduzida de acordo com uma programação, a pedido ou contínua. Uma técnica CBM, quando devidamente estabelecida e implementada, pode reduzir significativamente o custo de manutenção, ao recomendar intervenções antes de ter ocorrido a perda de função, reduzindo assim o número de ações corretivas e preventivas sistemáticas (Jardine et al., 2006). Para além disso, as vantagens deste tipo de estratégia relacionam-se com um aumento do nível de qualidade dos produtos, intervalos de manutenção dinâmicos que se adaptam ao tempo planeado para a produção, um menor número de ruturas e um aumento da segurança para os operadores. No entanto, é necessário a compreensão dos mecanismos de falha, a utilização de aparelhos e tecnologias de medição adequadas e a aplicação de várias ferramentas de análise (Ben-Daya et al., 2016).

A manutenção preventiva condicionada, apresentada na EN 13306:2017, também é composta por estratégias de manutenção preditiva, baseadas na condição e realizadas após uma previsão extrapolada de análises repetidas, características conhecidas e avaliação dos parâmetros significativos da degradação do ativo. A manutenção preditiva utiliza ferramentas preditivas com o objetivo de determinar o momento em que ações de manutenção são necessárias, baseando-se em dados históricos de uma máquina ou de um processo, permitindo a deteção precoce de falhas (Carvalho et al., 2019).

## 2.4.2 Manutenção corretiva

As intervenções no âmbito da manutenção corretiva, definidas na EN 13306:2017, são executadas no seguimento da deteção de uma avaria, ou da perda de função num bem, e têm o objetivo de reestabelecer as condições que lhe permitem realizar as funções requeridas (Cabral, 2013). Atualmente, com o aumento da complexidade arquitetónica e tecnológica dos equipamentos produtivos, a adoção exclusiva de uma estratégia de manutenção corretiva pode representar um risco pois, uma falha pode culminar em consequências irreparáveis ao nível da produção, qualidade e segurança, provocando um aumento nos custos organizacionais. Sem prejuízo destas consequências, as vantagens da manutenção corretiva refletem-se quando esta é empregue em equipamentos de baixa criticidade e cujos custos associados à reparação são inferiores aos custos de acompanhamento por inspeção ou de aplicação de tarefas de manutenção preventiva, sendo que as consequências de insucesso são insignificantes, não se verificando que nenhum risco de insegurança seja imediato e, constatando-se que a identificação e a reparação da avaria é rapidamente resolvida (Starr, 1997). Desta forma, é necessário adequar as tarefas preventivas e corretivas à realidade do parque industrial da organização de modo a reduzir os custos totais de manutenção, evitando ações de manutenção que não sejam estritamente necessárias (Moubrey, 1999).

Quando este tipo de manutenção não é adotado como uma estratégia, apenas sendo realizada pelo facto de não existir atividades preventivas, as organizações atrasam as ações de manutenção e assumem o risco de indisponibilidade dos seus ativos, sendo várias as desvantagens, nomeadamente, as perdas de produção associadas a tempos de inoperação de máquinas, altos custos de mão de obra e de peças, podendo causar acidentes e, assim, comprometendo a segurança e o meio ambiente (Carvalho et al., 2019).

A EN 13306:2017 faz ainda a distinção entre manutenção corretiva diferida e manutenção corretiva imediata. Relativamente à primeira, esta é definida como sendo a manutenção que não é executada imediatamente após a deteção da falha, mas é atrasada de acordo com regras e critérios especificados, acontecendo quando a avaria não é crítica e não precisa de atenção imediata ou pode ser adiada para um momento mais conveniente. As avarias cujas reparações nunca serão executadas, seja por obsolescência do equipamento ou por motivos financeiros, são também consideradas como diferidas (Cruzan, 2020). A manutenção corretiva imediata é aplicada com urgência após a deteção de uma falha, de modo a evitar consequências inaceitáveis ou no caso de a avaria ocorrer em equipamentos vitais para a produção (Ben-Daya et al., 2016).

### 2.4.3 Manutenção de melhoria

Ainda se pode considerar a manutenção de melhoria, que segundo a EN 13306:2017 consiste num tipo de manutenção que visa implementar melhorias nos equipamentos que se alargam para além dos atributos inicialmente planeados e melhorar as características do bem no contexto da sua função. Este tipo de manutenção tem como objetivos melhorar o desempenho do equipamento, o seu consumo energético, a sua fiabilidade, a sua manutenibilidade e segurança sem alterar a sua função original. É um tipo de manutenção cada vez mais utilizado com o intuito de reduzir a frequência de outros tipos de manutenção, constituindo alguns exemplos a instalação de equipamentos adicionais de monitorização, os acessos para facilitar a manutenção e a melhoria para evitar o uso indevido na sua operação.

## 2.5 Indicadores de desempenho da manutenção

Definidos os objetivos da manutenção, torna-se imprescindível criar instrumentos que possibilitem avaliar o seu cumprimento. Assim, os indicadores de desempenho ou KPI são ferramentas que possibilitam a quantificação daquilo que foi realizado, estabelecer objetivos a alcançar e verificar o seu cumprimento. Os KPI de manutenção, quando corretamente definidos, permitem transparecer a sua *performance*, ilustrar a *performance* desejada, identificar facilmente possíveis falhas em alguma variável e definir estratégias de melhoria. Pelo exposto, podemos afirmar que os KPI retratam a situação da empresa de forma resumida e objetiva, normalmente expressos em forma numérica (Muchiri et al., 2011).

Para Cabral (2009) o facto de se implementarem indicadores de desempenho para avaliar o comportamento da manutenção, estimula uma gestão da manutenção segundo as boas práticas, de forma a atingir metas ambiciosas. Para além disso, os KPI representam o ponto de partida para se efetuarem comparações (*benchmarking*) internas e externas e para definir objetivos de melhoria quantificáveis e ambiciosos. Como tal, devem ser escolhidos KPI simples, transparentes e de fácil compreensão para o utilizador, sendo importante a sua atualização com frequência, idealmente até que estejam disponíveis em tempo real.

A NP EN 15341:2009 estabelece um conjunto de indicadores para medir o desempenho da manutenção, tendo estes como objetivo quantificar e avaliar a eficiência e eficácia da manutenção. Os indicadores são influenciados por diversos fatores de origem interna e externa e, estão divididos em três grupos, sendo estes económicos, técnicos e organizacionais, tal como podemos observar na Figura 6. A sua classificação em níveis tem por objetivo obter uma análise mais detalhada e profunda, à medida que



são implementados, na organização, indicadores de níveis mais elevados, de modo a que as conclusões obtidas através dessa análise permitam a melhoria contínua da manutenção. A mesma norma, sustenta que estes indicadores são cruciais para a tomada de decisão, e devem estar diretamente relacionados com a variável que se pretende analisar.

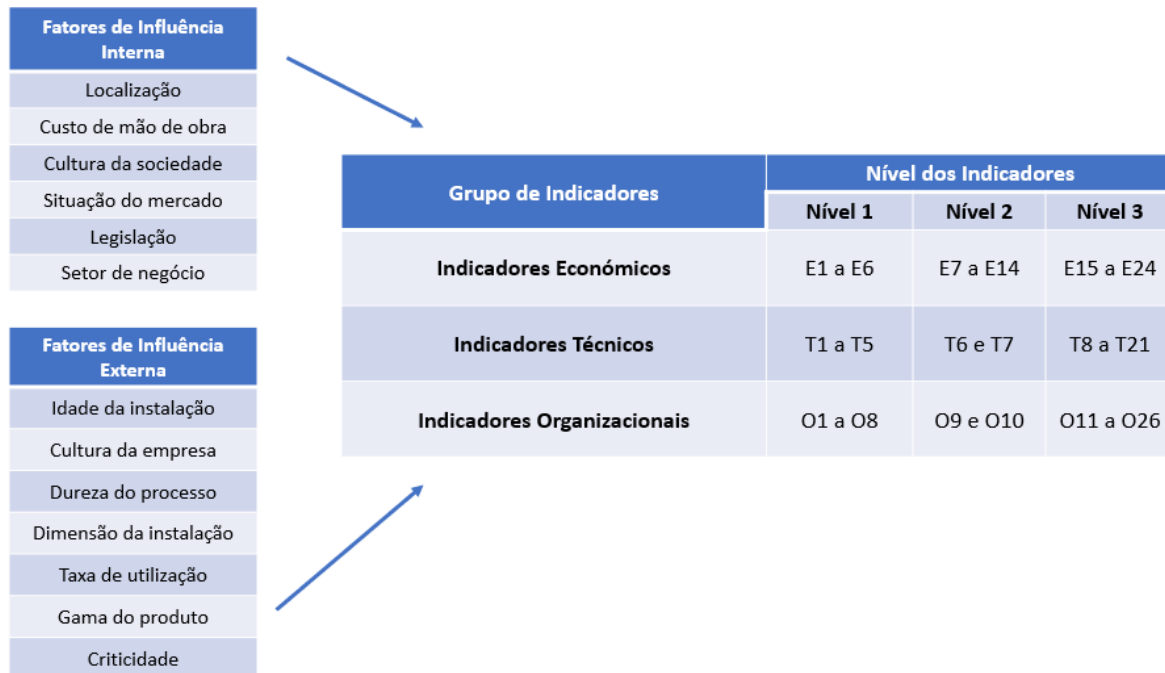


Figura 6 Níveis dos indicadores (Adaptado de NP EN15341:2009).

### 2.5.1 Manutibilidade

O conceito de manutibilidade é definido pela norma portuguesa NP EN 15341:2009 como a capacidade de um bem, perante condições de utilização definidas, em ser mantido ou repostado num estado em que possa cumprir a função pretendida, após ser alvo de manutenção e utilizando os procedimentos e meios prescritos. Assim, a manutibilidade depende, fundamentalmente, da arquitetura mecânica dos equipamentos e, adicionalmente, da experiência da equipa de manutenção, sendo que um equipamento com um bom nível de manutibilidade expõe menores tempos de reparação, menores custos na manutenção e uma maior facilidade no diagnóstico e na intervenção (Pinto, 2013). Em suma, o conceito traduz a facilidade com que um equipamento pode voltar a cumprir a sua função após uma avaria, sendo medida através do indicador MTTR. Assim, o tempo médio de reparação compreende o tempo desde que o equipamento avaria até que volta a funcionar, podendo ser calculado pela seguinte equação, sendo expressa em unidades de tempo.

$$MTTR = \frac{\sum_1^n TTR_i}{n}$$

Em que,

$TTR_i$  – Tempo Técnico de Reparação;

n – Número de avarias;

### 2.5.2 Fiabilidade

Segundo a norma portuguesa NP EN 15341:2009, a fiabilidade ou confiabilidade, consiste na aptidão de um bem em realizar a função pedida, sujeito a determinadas condições e durante um determinado intervalo de tempo, constituindo um dos indicadores mais importantes. Quando se analisa a fiabilidade da manutenção, a variável de maior interesse é, geralmente, o tempo que decorre até o equipamento se encontrar avariado. Desta forma, a confiabilidade é medida pelo indicador MTBF. O tempo médio entre falhas exprime, em média, o tempo que decorre entre duas avarias consecutivas, sendo obtido a partir da seguinte equação.

$$MTBF = \sum_1^n \frac{TFB_i}{n}$$

Em que,

$TFB_i$  – Tempo de bom funcionamento entre falhas;

n – número de avarias;

### 2.5.3 Disponibilidade

Tal como o nome indica, este indicador reflete o tempo durante o qual um equipamento está disponível para trabalhar. Segundo a norma portuguesa NP EN 15341:2009, a disponibilidade é definida como a capacidade de um equipamento para cumprir a função para o qual foi requerido, sob determinadas condições e num determinado período de tempo, assumindo que todos os meios externos necessários são fornecidos. Assim, a disponibilidade consiste na probabilidade de um equipamento em cumprir com a sua função durante um período de tempo (Cabral, 2006).

A disponibilidade representa o principal e mais importante objetivo da manutenção, estando dependente dos conceitos de fiabilidade e manutibilidade (Pinto, 2013). Em suma, a disponibilidade conjuga assim os dois indicadores vistos anteriormente e relaciona-os, sendo a equação seguinte a utilizado para calcular este indicador.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Em que,

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTR – *Mean Time To Repair*

## 2.6 Manutenção na Indústria 4.0

As revoluções industriais anteriores tiveram como principal pilar a melhoria dos processos físicos de produção, inicialmente recorrendo a energias adicionais, como por exemplo máquinas e energia a vapor, para ampliar a força humana nesses processos, mais tarde com a introdução de linhas de montagem para uma produção em massa e, na Terceira Revolução Industrial introduzindo a automação e eletrônica resultando na produção automatizada.

Atualmente, o setor industrial atravessa a fase que os especialistas chamam de “Quarta Revolução Industrial”, também designada por Indústria 4.0, em que as novas tecnologias integram pessoas, máquinas, produtos e processos permitindo uma troca de informações rápida e direcionada (Rauch et al., 2020). Esta Revolução está marcada pelo surgimento de novas tecnologias, tais como a Inteligência Artificial, a Análise de Dados, a Robótica, *Internet of Things (IoT)*, *Internet of Services (IoS)* e CPS que marcam uma tendência da indústria em direção à Automação e Troca de Dados em Tecnologias de Produção, e ainda o surgimento de novos conceitos, tais como a manutenção preditiva (Kagermann et al., 2013).

A Quarta Revolução Industrial surge como uma força impulsionadora da indústria através da integração de sistemas inteligentes e conectados entre si, que possibilitam uma rápida troca de informações e contribuem para sistemas de produção evolutivos onde os problemas são antecipadamente detetados (Samir et al., 2018). Esta integração entre sistemas físicos e digitais dos ambientes de produção possibilita recolher uma grande quantidade de dados de diferentes equipamentos, localizados nos diversos setores da organização, sendo que esta enorme quantidade de dados, gerados pelos sistemas industriais, contêm informações sobre processos que ocorrem ao longo da linha de produção que, quando processados e analisados, podem conter informações e conhecimentos valiosos relativamente às dinâmicas do sistema produtivo (Borgi et al., 2017). Desta forma, ao aplicar abordagens analíticas a estes conjuntos de dados, é possível encontrar resultados interpretativos que auxiliam o processo de tomada de decisão, proporcionando vantagens como a

redução do custo de manutenção através da melhor previsão de falhas e consequentemente redução dos números de paragens e reparações. Assim, as vantagens adjacentes às novas tecnologias caracterizadoras da Indústria 4.0 têm uma forte relação com os procedimentos de manutenção, sendo responsáveis pelo desenvolvimento e evolução do conceito de manutenção preditiva (Sezer et al., 2018).

### 2.6.1 Manutenção Preditiva

A otimização da manutenção é uma prioridade para as empresas industriais, uma vez que uma manutenção eficaz e otimizada pode resultar numa redução dos seus custos até 60% (Dhillon, 2002). As diferentes técnicas de manutenção preditiva permitem realizar uma manutenção otimizada através da maximização da vida útil dos equipamentos e dos seus componentes, reduzindo o tempo de inatividade das máquinas e os custos de substituição de peças antes da ocorrência da falha. Este tipo de manutenção é o que apresenta uma melhor relação custo benefício, dado o seu potencial para atingir um *OEE – Overall Equipment Effectiveness* superior a 90%, antecipando os requisitos de manutenção (Serradilla et al., 2020).

A manutenção preditiva analisa uma grande quantidade de dados e processos relacionados com a monitorização da condição dos equipamentos, sendo posteriormente esses dados analisados de acordo com três abordagens: baseadas num modelo físico, orientadas por dados, ou, híbrida (Liao & Köttig, 2016). Os métodos baseados num modelo físico são construídos utilizando o conhecimento dos sistemas para construir uma relação matemática da sua degradação, sendo aplicados em situações em que é fácil entender o seu significado e a sua relação física, porém difícil de implementar em sistemas complexos (Li et al., 2017). Os modelos construídos a partir de dados elaboram uma previsão sobre o estado dos equipamentos, através de dados históricos provenientes da monitorização da sua condição. Estes modelos são constituídos por processos estatísticos e métodos de inteligência artificial, tais como o ML, sendo adequados para sistemas complexos, uma vez que não necessitam de entender o seu funcionamento (Yuan et al., 2016). Por último, uma abordagem híbrida combina os dois métodos supramencionados (Liao & Köttig, 2016).

As soluções de manutenção preditiva têm que ser capazes de lidar com a peculiaridade dos dados industriais, sendo que tais dados apresentam um desafio, atendendo aos seus comportamentos e à sua variabilidade. Para além disso, a recolha de dados de qualidade, o seu pré-processamento correto e a necessidade de recursos, tais como sensores, para obter um conjunto de dados representativos do problema, consistem em desafios relevantes para a construção destas estratégias (Serradilla et al., 2020).

Assim, a manutenção preditiva é baseada em métodos avançados, tais como o ML e DM, por forma a ser capaz de definir dinamicamente quando um equipamento deve ser alvo de manutenção, encontrando evidências de mau funcionamento difíceis de encontrar de outra maneira, contribuindo para uma tomada de decisão ótima e eficaz no planeamento estratégico a manutenção (Sakib & Wuest, 2018).

### **2.6.2 Machine Learning**

Atualmente, e potencializado pelo Indústria 4.0, as organizações recolhem uma grande e variada quantidade de dados, e, de forma a que esses dados se revistam de valor para a empresa, torna-se imprescindível analisá-los de forma a extrapolar perceções e comportamentos. Desta maneira, o ML tem como principal objetivo a extração de conhecimentos a partir dos dados, apresentando uma forte integração entre estatística, inteligência artificial e ciência da computação (Richert, 2013).

Assim, o ML refere-se a um conjunto de algoritmos concebidos para analisar e processar conjuntos de dados, com o intuito de elaborar uma classificação, *clustering*, e previsão dos mesmos (Hofmann et al., 2008). As técnicas de ML têm como objetivo apreender relações complexas presentes na base de dados que, de outro modo, seriam difíceis de observar, para desta forma detetar com antecedência as necessidades de manutenção e determinar com uma maior precisão a vida útil remanescente dos equipamentos (Wagner et al., 2016).

O ML surgiu como uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento de algoritmos preditivos inteligentes com aplicações variadas. As diferentes abordagens de ML possuem a capacidade de trabalhar com dados altamente dimensionais e multivariados, provenientes de ambientes complexos e dinâmicos, tais como ambientes industriais, extraindo relacionamentos ocultos dentro desses dados. Assim, o ML fornece abordagens preditivas completas para aplicações em técnicas de manutenção preditiva, mas o desempenho dessas técnicas está dependente de uma escolha adequada do algoritmo de ML (Wuest et al., 2016).

O *framework* para o desenvolvimento de um modelo de ML envolve algumas etapas, que são nomeadamente: i) seleção de dados históricos; ii) pré-processamento de dados; iii) seleção do modelo; iv) teste e validação do modelo; v) manutenção do modelo. A primeira etapa identifica a forma como os dados são colecionados e armazenados, sendo essencial para que o design do modelo de ML contenha dados valiosos. No caso de um modelo aplicado a manutenção preditiva, é importante reunir dados que contenham informações sobre a saúde do sistema. Por outro lado, o pré-processamento de dados tem o objetivo de os transformar, para que possam ser processados com eficiência pelo modelo. As etapas seguintes de seleção, teste e validação do modelo têm como objetivo identificar o modelo adequado e o

seu desenvolvimento, avaliando se o modelo pode representar o sistema subjacente. Por último, a manutenção do modelo visa dar resposta às mudanças nas aplicações industriais, evitando que estas alterações conduzam à degradação do desempenho do modelo (Soares, 2015).

### 2.6.3 Cyber-Physical Systems

A Indústria 4.0 tem como um dos seus objetivos a criação de fábricas digitais, isto é, uma representação digital das operações físicas, também designados por CPS, onde o mundo físico e o virtual se fundem para desta forma melhor compreenderem esses processos físicos. A convergência entre o físico e o digital possibilita a construção de sistemas produtivos virtuais, podendo desta maneira prever resultados a partir de simulações (Monostori et al., 2016).

A Figura 7 apresenta uma visão geral de uma arquitetura de um CPS programado para fornecer um sistema de manutenção que permite a deteção de uma falha antecipadamente. O design é composto por dois níveis, sendo o primeiro representativo dos sistemas físicos, onde os sensores presentes nos equipamentos recolhem dados e monitorizam o seu comportamento. Esses dados devem passar por uma etapa de pré processamento antes de serem transferidos e armazenados no nível *Cyber* da arquitetura, onde serão a base para alimentar técnicas de ML e DM. Da aplicação dessas técnicas, surgem relatórios que fornecem informações sobre a condição atual das máquinas e dos seus componentes, que permitem assim elaborar prognósticos sobre a deteção de falhas e a estimativa de vida útil. Para além disso, pode estar presente um sistema de apoio à decisão, tal como um CMMS, que de acordo com os resultados provenientes da análise de dados, auxilia na programação de manutenções futuras (Dalzochio et al., 2020).

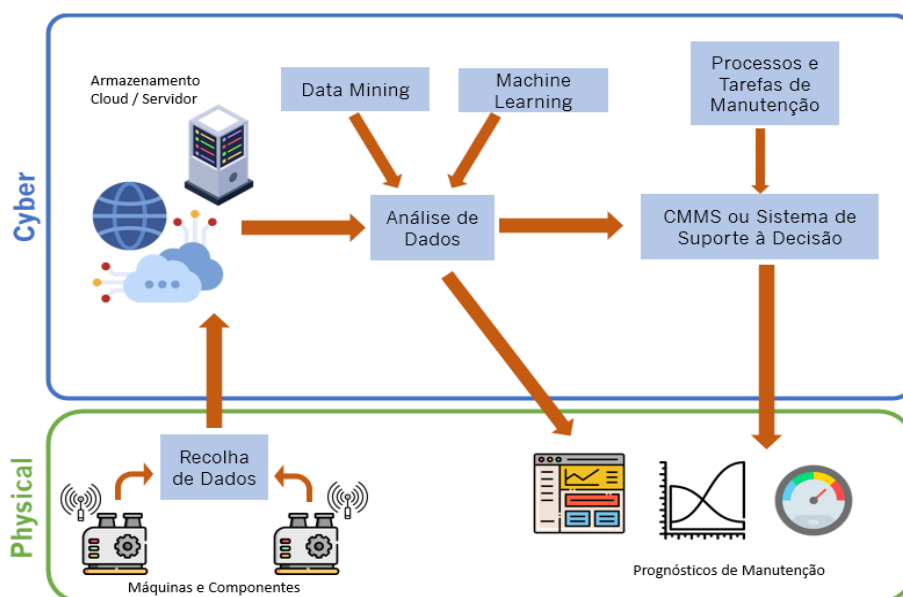


Figura 7 Visão geral da arquitetura CPS de manutenção preditiva (Adaptado de Dalzochio et al., 2020).

#### 2.6.4 Data Mining

Atualmente, derivado da enorme quantidade de dados que as organizações geram, provenientes dos seus processos de negócios, a compreensão humana sobre esses conjuntos de dados tende a diminuir. Assim, o DM surge como uma ferramenta que trata e analisa os dados de vários tipos, facilitando a sua compreensão, extraindo informação útil e conhecimento a partir dos mesmos.

Assim, o DM consiste num processo de análise contínua e tratamento de um conjunto de dados, previamente recolhidos, com o objetivo de encontrar relações desconhecidas e sintetizar dados, de forma a permitir o acesso a informação útil e compreensível. Do ponto de vista técnico, o DM utiliza técnicas de inteligência artificial, ML e estatística para extrair informações a partir de grandes volumes de dados (Han et al., 2012).

De uma forma mais ampla, o DM é designado por *Knowledge-Discovery in Databases* (KDD), ou seja, descoberta de conhecimento em bases de dados. O processo de KDD consiste na extração não trivial de informações anteriormente desconhecidas e potencialmente úteis, a partir da aplicação de modelos e técnicas de mineração de dados. O seu principal objetivo é transformar uma grande quantidade de dados em conhecimento através da identificação de padrões interessantes para os *stake holders* (Han et al., 2012).

Os objetivos principais da aplicação de algoritmos de DM são a previsão ou descrição de dados (Fayyad et al., 1996), dado que os algoritmos de previsão têm como intuito definir valores futuros de uma determinada variável de interesse, que ainda não são conhecidos, tentando descobrir padrões e tendências nos dados atuais. Por outro lado, os algoritmos descritivos consistem na identificação de classes, determinando as características das variáveis pertencentes a um conjunto de dados, isto é, concentra-se no agrupamento de dados que compartilham certas características (Gorunescu, 2011).

De entre os diferentes algoritmos que constituem o DM, cumpre realçar a regressão que consiste num algoritmo de DM utilizado para efetuar a previsão do valor de uma variável contínua, tendo em conta os valores de outras variáveis e assumindo uma dependência linear ou não linear. Tem como objetivo encontrar uma função para a previsão do comportamento de uma variável o mais aproximado possível (Azevedo & Santos, 2005). Assim, a modelação preditiva pretende obter um modelo que possibilite a previsão do valor de uma variável, com base no valor conhecido de outras variáveis.

## 2.7 *Computerized Maintenance Management System*

### 2.7.1 Software de apoio à manutenção

Atualmente, e decorrentemente do fenómeno da Indústria 4.0, verifica-se que as empresas possuem parques industriais cada vez mais modernos e complexos, nos quais são produzidos diariamente uma enorme quantidade de dados. Assim, tornou-se cada vez mais difícil para as organizações desempenhar funções de gestão da manutenção sem recorrer a um sistema de informação especializado. Ora, os sistemas de informação orientados para dar apoio à função de manutenção são referidos como *Computerized Maintenance Management Systems*.

A implementação de um CMMS contribui para uma comunicação rápida e eficaz, permitindo que as decisões e as atividades de manutenção sejam baseadas em informação de qualidade e contribuindo para um melhor planeamento e programação das mesmas (Wienker et al., 2016). Para além disso, o CMMS desempenha um papel importante no suporte à organização da base de dados, possibilitando um fácil acesso a dados históricos, através da criação de relatórios que permitem controlar e reduzir os custos das intervenções de manutenção, monitorizando os seus objetivos (Cabral, 2009). A utilização de um CMMS permite obter uma visão completa de toda a atividade de manutenção e facilita, através da sua utilização, a implementação das melhores práticas de manutenção (Abdalaal & Shukri, 2020). Em termos práticos, os resultados esperados da implementação de um CMMS, associados a uma correta gestão da manutenção, consistem num aumento da eficácia de 50% para 85%, resultado do aumento de disponibilidade dos equipamentos e ainda, a fiabilidade, calculada através do MTBF, pode aumentar cerca de 20% (O'Hanlon, 2005).

Assim, um CMMS pode ser definido como um sistema de informação que suporta a estratégia de manutenção de uma organização, possuindo um conjunto de funcionalidades relacionadas com o processamento de indicadores de desempenho, que sustentam a tomada de decisão (Lopes et al., 2016).

### 2.7.2 Funcionalidades de um CMMS

As funcionalidade de um software CMMS têm como objetivo dar suporte à gestão da manutenção e podem ser agrupadas em diferentes módulos de gestão (Cato & Mobley, 2002; Zhang et al., 2006), nomeadamente a gestão de ativos e de instalações, a gestão de ordens de trabalho, a gestão da manutenção preventiva, a gestão de stock e a gestão de indicadores de desempenho.



Assim, a gestão de ativos e instalações consiste na definição, codificação e registo de todas as informações relativas aos ativos, permitindo a criação de fichas com as respetivas características técnicas, manuais do fabricante, localização, planos de manutenção e lista de peças sobresselentes, mantendo um registo histórico das atividades de manutenção a que os ativos foram sujeitos.

Por seu lado, a gestão de ordens trabalho traduz-se na criação e atribuição de OT's aos técnicos de manutenção, desencadeadas por pedidos de reparação ou de acordo com o plano de manutenção preventiva estabelecido. Consta-se que a recolha de informações relativas a uma OT inclui, entre outras, o nome do colaborador que solicitou o pedido de manutenção, a identificação do equipamento, as tarefas a executar e o nível de urgência. Para além destas informações, quando executada a OT, a duração na medida horas-homem, o tempo de indisponibilidade do equipamento, assim como as peças utilizadas e respetivos custos, sendo que esta recolha de informações irá alimentar o histórico de manutenção.

Relativamente à gestão da manutenção preventiva, esta permite o planeamento e controlo dos eventos de manutenção preventiva, enquanto a gestão de stock visa armazenar informações relativas aos materiais utilizados nas tarefas de manutenção, presentes no armazém ou que plausivelmente serão necessários, possibilitando a definição de stock mínimo e controlando as saídas e entradas de forma a monitorizar os níveis de stock. Para além disso, verifica-se que esta gestão permite viabilizar a criação de uma lista de fornecedores com os respetivos tempos de logística e o histórico de encomendas com a respetiva faturação.

Por fim, a gestão de indicadores de desempenho expressa-se no processamento dos dados para posterior produção de relatórios de desempenho.

A conjugação destes diferentes módulos de gestão faz com que o CMMS facilite e agilize o cálculo e a consulta de indicadores, permitindo a necessária avaliação do estado corrente da manutenção, servindo como base para o processo de tomada de decisão.

### **2.7.3 Implementação de um CMMS**

O desenvolvimento de um CMMS próprio é na maioria das situações desaconselhado, sendo que a melhor opção e a mais completa será a utilização de uma aplicação comercial, derivado aos custos e à complexidade associada a este género de programas (Cabral, 2013). Embora um CMMS desempenhe um papel fundamental na gestão da manutenção, a sua taxa de implementação com sucesso é admiravelmente baixa, dado que somente 25 a 40% das organizações conseguem ter êxito na sua implementação, e, apenas 6 a 15% de todos os usuários do software tiram partido da sua capacidade

de uma forma total (Wienker et al., 2016). No mesmo sentido, Evans (2003) demonstrou que as taxas de insucesso na implementação de um CMMS podem chegar a 70%.

As elevadas taxas de falha na sua implementação, estão geralmente relacionadas com a falta de esforço e de um bom estudo de mercado no processo de seleção do CMMS, a falta de capacidade em demonstrar os benefícios para a gestão de topo, resultando no não envolvimento da mesma, e ainda, na falta de formação sobre como utilizar o software (Wienker et al., 2016).

Assim, uma implementação bem-sucedida de um CMMS não depende apenas da sua componente tecnológica e das ferramentas que dispõe, sendo necessário e fundamental uma coordenação de processos e pessoas num mesmo sentido, para que os benefícios para a empresa sejam tangíveis. Como tal, a formação dos colaboradores é essencial, para que estes saibam tirar partido dele e, desta maneira, se ajuste às necessidades da organização (Cabral, 2013). O processo de formação não se pode focar apenas nas funcionalidades e no interface do sistema, tendo que abordar o conteúdo relativo aos vários tópicos da manutenção (Wienker et al., 2016).

### 3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa Têxteis J. F. Almeida. S.A. foi fundada em 1979 pelo seu atual *Chief Executive Officer*, Joaquim Ferreira de Almeida, tendo sido inicialmente constituída como uma sociedade por quotas, que passou em 1997 a assumir a forma de sociedade anónima. A JFA está localizada no Vale do Ave e, sendo este um local tradicionalmente associado à indústria têxtil de algodão, a empresa atua no setor têxtil, dedicando-se maioritariamente à produção de felpo e outros artigos da gama têxteis lar, tais como roupa de banho, toalhas, roupões, toalhas de mesa e panos.

Atualmente conta com uma equipa superior a 670 profissionais qualificados e com um moderno parque industrial, que lhe permite assegurar uma resposta rápida às solicitações dos clientes, representado assim uma empresa de referência no setor têxtil para o lar. Apesar de operar num setor tradicional da economia portuguesa, é no mercado externo que realiza grande parte das suas transações comerciais, orientando cerca de 80% da sua produção para o estrangeiro, nomeadamente para países europeus como a França, Holanda, Espanha, Alemanha, Polónia, Finlândia e ilhas britânicas, registando atualmente um aumento de encomendas provenientes da zona norte do continente americano. Tais níveis de internacionalização são consequência da sua capacidade de exportação que advêm de constantes investimentos em tecnologia e equipamentos, na qualificação dos seus profissionais e da qualidade do seu produto final e do seu design atrativo e contemporâneo.

Por outro lado, a presença assídua em diversas feiras internacionais, tais como a *Heimtextil* em Frankfurt, que representa a mais conceituada feira do setor têxtil lar a nível mundial, permite à empresa marcar a sua posição em mercados cada vez mais competitivos, divulgando desta forma o seu catálogo de produtos a potenciais clientes. As boas prestações decorrentes da presença nestas plataformas de negócios internacionais permitem alcançar níveis mais altos de produção e faturação através da conquista de novos clientes e mercados.

A matriz interna de investimento ao nível da investigação e desenvolvimento, a nível tecnológico e em recursos humanos reflete-se no crescimento do volume de negócios nos últimos anos, tendo, inclusive no ano de 2018 obtido um volume de negócios de 41,7 milhões de euros, fazendo da Têxteis J. F. Almeida. S. A. uma das principais empresas do setor têxtil a nível nacional (Direção Geral das Atividades Económicas, 2018).

### 3.1 Missão e Valores da JFA

A orientação para o mercado e para o cliente, reunindo esforços para garantir a constante inovação de produtos e serviços, assumindo a aposta na conquista de novos mercados, constituem os pilares que sustentam a visão da JFA. A sua principal missão reside no propósito da satisfação das necessidades dos seus clientes e colaboradores através do cumprimento dos requisitos de qualidade do produto e a melhoria contínua e a sensibilização dos colaboradores para adoção das melhores práticas do mercado.

Os valores assumidos pela JFA, tais como a Ambição, Transparência, Cooperação, Inovação e Consciência Social e Ambiental, apresentam-se como a base dos princípios orientadores da empresa no âmbito da sua atividade e comportamento no mercado. A constante procura na melhoria contínua dos seus produtos e processos, e, na obtenção de certificações na esfera da qualidade e a nível ambiental, são exemplos da materialização desses valores por parte da empresa.

A JFA é uma empresa caracterizada pela vontade e dedicação dos seus colaboradores, que são desafiados diariamente através da definição de metas ambiciosas. O entendimento de que a qualidade, a inovação e o conhecimento constituem um dos pilares da boa gestão empresarial faz com que a JFA invista fortemente na formação dos seus colaboradores, de forma a que o produto final se revista de qualidade e corresponda às expectativas e às necessidades dos seus clientes.

Para além disso, a empresa defende que alcançar uma vantagem competitiva é crucial para obter sucesso, e que a mesma depende da capacidade de encontrar soluções inovadoras e criativas como forma de ultrapassar adversidades e de ir ao encontro das necessidades dos seus clientes mantendo-se fiéis aos seus princípios e valores, trabalhando com a maior ética profissional. Baseiam as suas relações com os diversos agentes na transparência, humildade e respeito trabalhando em prol da consciencialização dos seus colaboradores e parceiros, do apoio às comunidades locais e na atenuação do impacto ambiental que provocam.

## 3.2 Disposição dos diferentes núcleos

A principal vantagem competitiva da JFA reside no facto da sua atividade estar totalmente integrada verticalmente, possuindo todos os processos produtivos desde a chegada da matéria-prima ou produto semiacabado até ao produto final, sendo que esta verticalidade é distribuída por quatro núcleos que distam cerca de dois quilómetros entre si, e que podem ser observados na Figura 8.

Os serviços de gestão e administração concentram-se na sede da empresa, isto é, no Núcleo A, tal como é designado internamente que, para além destas funções possui o departamento técnico, os processos de preparação das fibras e tecelagem, com uma capacidade de produção aproximada de 450 toneladas mensais.

O núcleo B é constituído essencialmente pelos serviços de tingimento e acabamentos de felpos e fios, incluindo um cais de expedição, laboratório, departamento de manutenção e respetivos armazéns. Este núcleo é constituído por um sofisticado parque de equipamentos, operacional 24 horas por dia possuindo assim uma capacidade de tingimento de cerca de 1100 toneladas, podendo assim considerar-se uma das maiores tinturarias da Europa. É neste núcleo, especificamente no setor de Tinturaria de Fio, que o projeto de dissertação será desenvolvido.

O núcleo C concentra os processos de fiação, representando desta forma o ponto de partida para o fabrico dos produtos e o local onde são produzidos cerca de 850 toneladas de diversos tipos de fio por mês, o que permite à empresa dispor de um stock diversificado e contínuo, respondendo, desta forma, a um leque variado de encomendas.

O polo logístico, designado por núcleo D, foi inaugurado em janeiro de 2016, sendo que a construção desta nova infraestrutura tem como objetivo o aumento da capacidade de armazenagem, desempenhando a importante função de ajudar na resposta aos clientes e no cumprimento dos prazos estabelecidos para a entrega de encomendas. Com este polo, a empresa aumentou a sua capacidade de armazenagem para 4400 paletes.

Assim, concluímos que a Têxteis J. F. Almeida. S. A. possui um monopólio produtivo no que diz respeito a artigos têxteis lar. Tendo a capacidade de receber a matéria-prima e transformá-la em produto final e acabado sem ter a necessidade de recorrer a terceiros para a conclusão da encomenda.

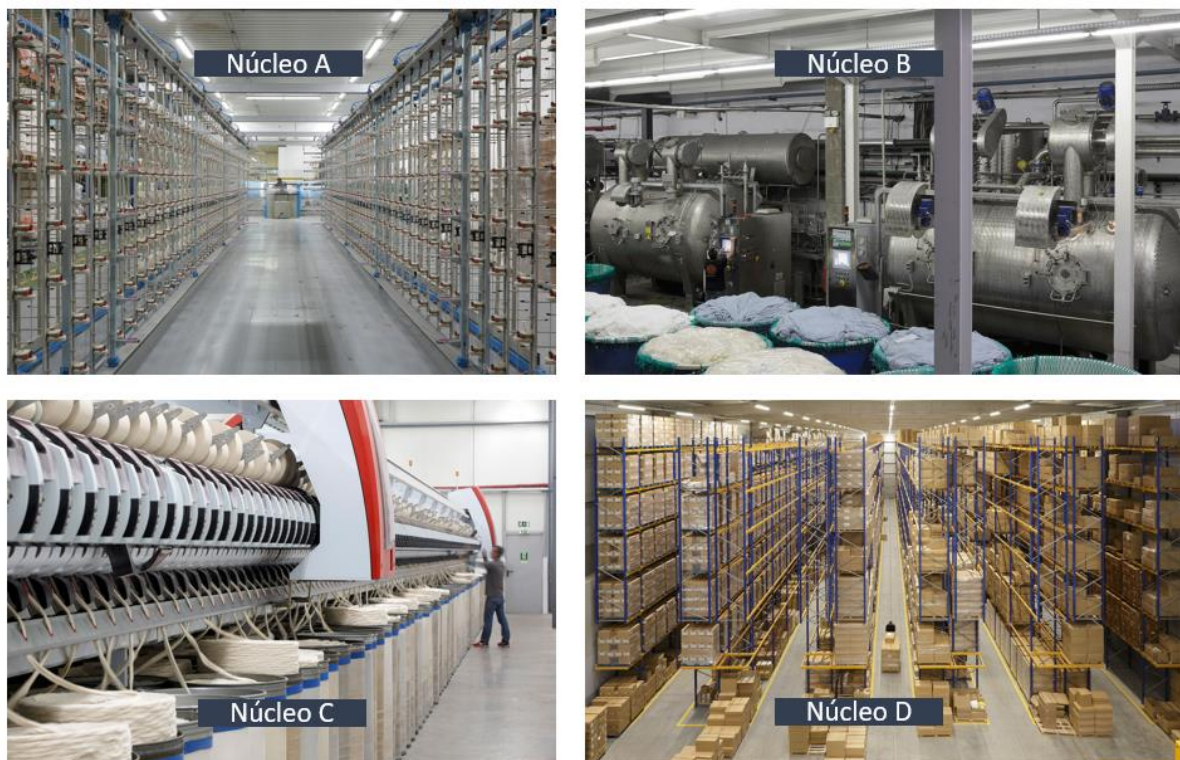


Figura 8 Diferentes núcleos da Têxteis J. F. Almeida. S. A. (Fonte: <https://www.jfa.pt/pt/>).

### 3.3 Processo produtivo da JFA

A cadeia produtiva da JFA, apresentada na Figura 9, inicia-se com a preparação das fibras no setor de fição, de onde resulta um fio com um tratamento específico para resistir a ações mecânicas que, posteriormente, irá passar, caso seja necessário para responder às especificações do cliente, para a fase de tinturaria de fio, ou, na eventualidade de tal não ser necessário, diretamente para a fase de tecelagem. Após percorrer os teares e originar o tecido, segue para a tinturaria de felpo e acabamentos, adquirindo a cor e as características necessárias, que são comprovadas recorrendo a várias testagens conduzidas pelo laboratório interno da JFA, nomeadamente, testes espectrofotómetros, resistência à lavagem e resistência ao suor, seguindo e terminando com o processo de confeção do produto e o seu embalamento para posterior entrega ao cliente. A empresa pode ainda recorrer ao seu polo logístico, no caso de a encomenda estar finalizada antes da data prevista de entrega, de forma a desocupar o espaço destinado à chegada de novas encomendas e assegurando que a encomenda é armazenada em segurança e qualidade até chegar ao cliente.

Tendo em conta a elevada capacidade produtiva da empresa e a rapidez na resposta às encomendas, importa referir que, para além de trabalhar com encomendas internas, que percorrem todas as fases do processo produtivo da empresa até à obtenção do produto final e encomendado,

trabalha também como prestadora de serviços efetuando apenas a fase do processo produtivo requisitada pelo cliente.

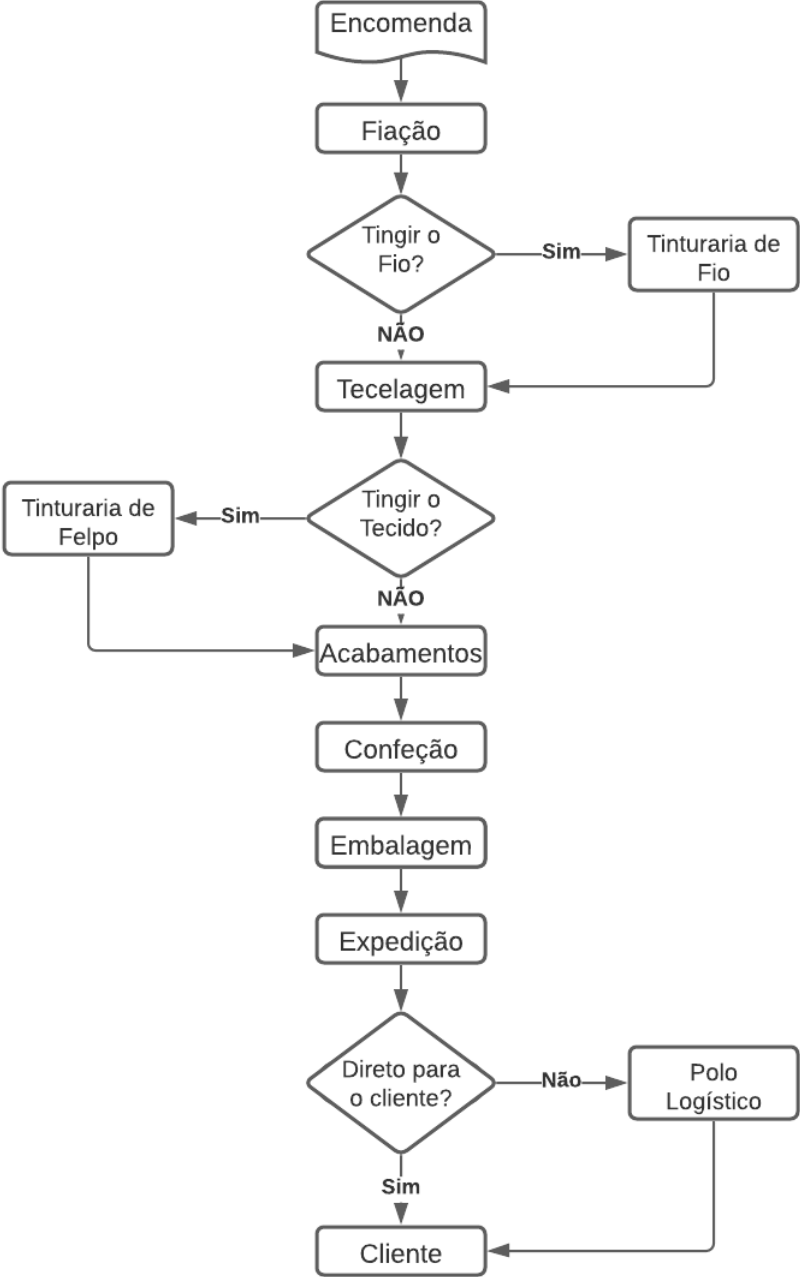


Figura 9 Fluxograma do processo produtivo da JFA (produtos internos).

## 4. DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO INICIAL

O presente capítulo tem como objetivo caracterizar e analisar os vários aspetos da gestão da manutenção da empresa, encontrados aquando do início do projeto de dissertação, por forma a identificar os principais problemas a solucionar, contribuindo, posteriormente, para uma melhoria da eficiência no setor da manutenção. Assim, este capítulo inicia com uma descrição do departamento de manutenção da JFA e as atividades por este realizadas, os equipamentos que constituem o parque industrial da tinturaria de fio, bem como os processos produtivos a que estão sujeitos e as suas principais funções.

### 4.1 Descrição do departamento de manutenção

O departamento de manutenção, presente no núcleo B da JFA, assume a função de gestão dos equipamentos de produção ao nível da manutenção, assegurando o seu normal funcionamento e, conseqüentemente, prestando um apoio essencial à produção do núcleo B, tendo em conta a intensidade produtiva deste núcleo. Este departamento está disponível 24 horas por dia, de modo a ir ao encontro do horário de produção, sendo constituído por um administrador, um Engenheiro Eletromecânico e quinze colaboradores que se distribuem pelas seguintes secções:

- a) Oficina Elétrica: é responsável pela manutenção de toda a parte elétrica da empresa, seja ao nível de equipamentos de produção, equipamentos auxiliares aos processos produtivos e instalações, e é constituída por quatro eletricitas;
- b) Oficina Mecânica: encarrega-se da manutenção a nível mecânico dos equipamentos das várias secções presentes no núcleo, desde a tinturaria de fio e felpe até aos acabamentos e embalagem, excluindo o setor da confeção. Este gabinete compõe-se por quatro mecânicos;
- c) Oficina de Mecânica de Confeção: neste gabinete encontram-se quatro mecânicos especializados responsáveis pela manutenção dos equipamentos produtivos que fazem parte da confeção;
- d) Oficina de Mecânica de Bobinagem: o único mecânico que constitui esta secção assume as tarefas de manutenção dos equipamentos presentes no setor de bobinagem, sendo auxiliado quando necessário pelos restantes mecânicos;
- e) Construção e Obras: dois colaboradores são responsáveis pela manutenção ao nível das instalações, certificando-se assim que as infraestruturas se encontram seguras.



Os técnicos que constituem este departamento desempenham, também, tarefas de recuperação de peças, reparando-as para que possam ser posteriormente armazenadas como peças sobresselentes e utilizadas no serviço de manutenção. Perante as necessidades, este departamento recorre à subcontratação de serviços de manutenção externa para efetuarem trabalhos de melhoria das infraestruturas, manutenção de equipamentos ou alterações às redes de fluidos.

Para além de todo o pessoal efetivo encarregue pela reparação e manutenção da maquinaria, está presente neste núcleo o armazém de peças sobresselentes, de modo a que a resposta a possíveis anomalias seja feita de forma mais rápida através de consumos internos, não expondo assim o processo aos tempos de entrega dos fornecedores.

Todos estes setores, desde as oficinas até ao armazém de peças têm como objetivo primordial garantir o normal funcionamento de todos os equipamentos e infraestruturas da empresa de modo a que se reduzam possíveis anomalias e, conseqüentemente, os tempos de paragem.

Importa salientar que, a análise e as implementações de melhoria efetuadas, bem como as sugestões, no âmbito do desenvolvimento do projeto de dissertação são direcionadas, à oficina elétrica e à oficina mecânica.

## **4.2 Estudo de caso do departamento e atividades de manutenção**

Neste subcapítulo irão ser abordados temas relacionados com os fluxos e as atividades do departamento de manutenção que servem as secções de TF, TFA e Laboratório e que constituem problemas identificados na gestão da manutenção na JFA.

De entre os problemas identificados, constata-se que as estruturas de funcionamento dos departamentos de produção e manutenção não possuem qualquer tipo de comunicação ou de planeamento coordenado. Esta ausência de planeamento conjunto faz com que os responsáveis pelo departamento de manutenção priorizarem as ações de manutenção corretiva que consideram mais urgentes, podendo os critérios utilizados na tomada de decisão não coincidir com os critérios do departamento de produção, originando tempos de inutilização elevados nos equipamentos essenciais para a produção. Tal problema advém, ainda, do facto de o departamento de manutenção não efetuar ações com o objetivo de antecipar avarias e identificar padrões de comportamento dos equipamentos, de forma a permitir a elaboração de um planeamento e de uma programação integrada da produção e manutenção sem imprevistos.

Para além disso, foi identificada a inexistência de planos de manutenção preventiva sistemática, extrapolados do conhecimento e experiência dos técnicos ou através da consulta dos manuais de instruções dos equipamentos, constituindo assim um entrave ao planeamento de eventos enquadrados nesta tipologia de manutenção, que, no caso da JFA, são realizados anualmente no período de férias (15 a 31 de agosto), resumindo-se a ações de inspeção geral, não seguindo as recomendações de manutenção, propostas pelo fabricante, para as várias componentes do equipamentos.

Na Figura 10 está representado o fluxograma, inicialmente, implementado na empresa em caso de avaria, onde é possível observar a forma como é feito um reporte de uma avaria nos diferentes turnos e nas diferentes secções que constituem a JFA.

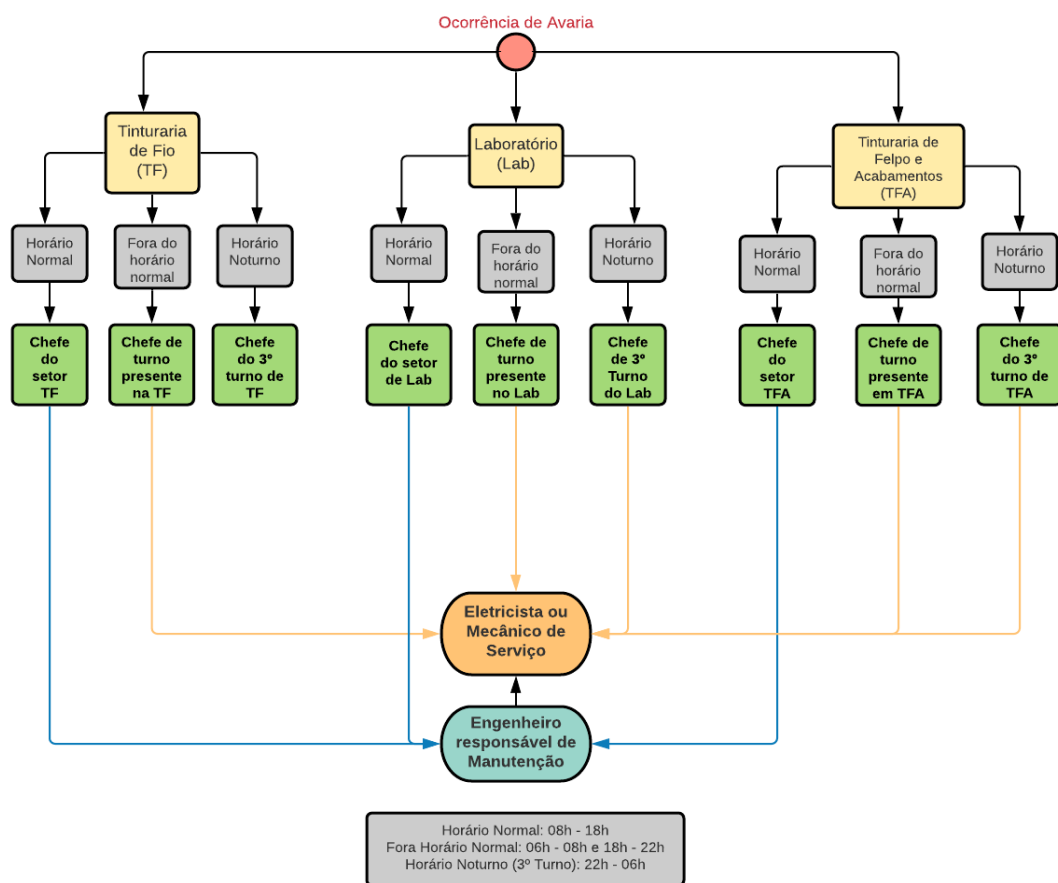


Figura 10 Fluxograma inicial da manutenção em caso de avaria.

Assim, podemos destacar que a ordem de reparação é transmitida de forma informal, dado que todas as comunicações são realizadas via telefónica, o que dificulta, em certos casos, a efetivação de uma descrição da avaria por parte do trabalhador. Esta falta de logística implica que o técnico necessite de se deslocar ao equipamento para realizar um diagnóstico inicial e, posteriormente, se desloque à oficina para reunir as ferramentas e utensílios essenciais para a resolução do problema. Para além disso,

apenas os responsáveis máximos de cada seção podem comunicar diretamente com o Engenheiro responsável pelo departamento de manutenção, que, por sua vez, atribui o trabalho de acordo com o diagnóstico realizado, não existindo uma estratégia de atribuição de tarefas específicas a diferentes técnicos.

Outro dos problemas identificados, está relacionado com o facto de não se efetuar um registo das diversas intervenções com a finalidade de apoiar o processo de manutenção e reunir um registo histórico das diferentes avarias nos diversos equipamentos. A inexistência de um historial dos equipamentos, que contenha informações sobre o seu funcionamento, as suas avarias e respetivas intervenções com os componentes substituídos, representa um desperdício de recursos e de eficiência da manutenção. Desta forma, o electricista ou mecânico que presta o serviço de reparação do equipamento, não possui qualquer tipo de registo para posterior arquivo.

Por último, verificou-se que o departamento não possui ferramentas para a manutenção preditiva, tais como a análise de vibrações, análise de ruídos e termografia, nem as utiliza de forma subcontratada, dificultando a deteção de anomalias em rolamentos, em motores, nas instalações elétricas e de possíveis fugas nas tubagens. Em suma, o departamento de manutenção carecia de boas práticas e, de critérios rígidos orientadores da gestão da manutenção.

### **4.3 Parque industrial do setor de tinturaria de fio**

De todos os processos produtivos que constituem a cadeia de valor da empresa, o caso de estudo aborda os processos de tinturaria de fio. A empresa recorre a este conjunto de processos para satisfazer encomendas internas e para prestar, exclusivamente, este serviço a clientes. Desta forma, recebe no armazém o fio cru, enrolado em bobines, proveniente da sua fição interna ou de outros clientes, que irão posteriormente ser colocadas em porta bobines, de modo a serem inseridas nas autoclaves e onde o fio irá ser submetido a diferentes tipos de tingimento com durações variáveis, de acordo com a cor e outras características pretendidas. Para além disso, a empresa dispõe do equipamento necessário para realizar o tingimento de uma pequena quantidade de fio, de modo a entregar ao cliente essas amostras que irá avaliar a cor e efetuar posteriormente a encomenda.

Assim, a título exemplificativo, podemos observar na Figura 11 uma autoclave de grande produção e, na Figura 12 uma autoclave de pequena produção, sendo notória a diferença em termos de capacidade produtiva entre ambos os equipamentos.



*Figura 11 Autoclave de produção de grandes quantidades.*



*Figura 12 Autoclave de produção de pequenas quantidades.*

Por último, é transferido para o único secador disponível, demonstrado na Figura 13, de modo a ficar com a percentagem de humidade requerida e, finalmente, é colocado em paletes para o cliente, ou, dando seguimento para o cumprimento da encomenda interna, segue para a tecelagem. Tendo em

conta que todas as produções, realizadas pelas autoclaves, têm necessariamente que passar pelo processo produtivo efetuado por esta máquina, a sua capacidade de carregamento máximo, em quilogramas, é a maior de todo o parque industrial de tinturaria de fio.



Figura 13 Máquina de secar fio.

Estas operações são realizadas recorrendo ao equipamento produtivo representado na Tabela 1, 2 e 3.

Máquinas de tingimento em grandes quantidades	
Máquina	Capacidade (kg/h)
Autoclave 2	14
Autoclave 5	10
Autoclave 6	6
Autoclave 8	22
Autoclave 9	36
Autoclave 10	90
Autoclave 11	6
Autoclave 15	12
Autoclave 17	7
Autoclave 18	5
Autoclave 20	9
Autoclave IC1	38
Autoclave IC2	49
Autoclave IC3	61
Autoclave IC4	74
Autoclave IC5	103
Autoclave IC6	103

Tabela 2 Capacidade produtiva das máquinas de tingimento de grandes quantidades.

Máquinas de tingimento em pequenas quantidades	
Máquina	Capacidade (kg/h)
Autoclave Amostras 1	0,7
Autoclave Amostras 2	0,7
Autoclave Amostras 3	0,7
Autoclave Amostras 4	0,7
Autoclave Amostras 5	0,7
Autoclave Amostras 6	0,7
Autoclave Amostras 7	0,7
Autoclave Amostras 8	0,7

Tabela 1 Capacidade produtiva das máquinas de tingimento de pequenas quantidades.

Máquinas de secar	
Máquina	Capacidade (kg/h)
Secador 1	196

Tabela 3 Capacidade produtiva da máquina de secar fio.


## 5. IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES DE MELHORIA

Após o estudo realizado aos principais problemas e ao modelo de organização da manutenção da empresa, os dados apontam para soluções que permitam à JFA a obtenção de um histórico capaz de funcionar como base para a melhoria contínua do serviço de manutenção e do desempenho dos equipamentos produtivos. O ponto de partida para essas melhorias passou pela criação de um historial de equipamentos e avarias para, desta forma, ser possível a monitorização de intervenções e tornar possível a identificação de alguns padrões de comportamento dos equipamentos e avarias, passando, posteriormente, para uma identificação dos equipamentos críticos. A melhoria dos processos passou também pela implementação de um software de gestão da manutenção, que permitisse, conjuntamente, com a criação de um registo histórico, a transição para um novo fluxo de trabalho, introduzindo novos procedimentos de manutenção preventiva e corretiva.

### 5.1 Registo das atividades de manutenção

Tendo como objetivo a criação de um histórico referente aos vários aspetos relacionados com máquinas e avarias, foi implementada, numa fase inicial e, antes de ocorrer a transição para o registo em formato digital no software CMMS, uma folha de registo formal e standerizada, presente na Figura 14, para que fossem guardadas as informações relativas aos serviços de reparação, tais como o número de horas que a avaria durou, a identificação de um possível motivo ou sintoma de falha, as tarefas realizadas para restabelecer o equipamento no estado em que possa desempenhar a sua função e, se for o caso, as peças utilizadas na reparação. Para além disso, ao consultar este histórico, os técnicos de manutenção identificam prontamente os procedimentos realizados anteriormente em avarias complexas, tornando mais fácil o seu diagnóstico e a reparação futura, servindo como uma ferramenta de análise técnica das avarias.

Constituí um documento com informações importantes para a criação de um histórico de cada máquina, criando condições para a obtenção de indicadores importantes que possibilitem aferir acerca das condições do parque de máquinas e, dessa forma, ser possível adotar medidas com o intuito de melhorar a função de manutenção, adotando melhores critérios para a sua gestão.



## Registo de Avarias

Data: \_\_/\_\_/\_\_\_\_ Hora início: \_\_\_\_\_ Hora fim: \_\_\_\_\_ Tipo de Ocorrência: \_\_\_\_\_  
 Secção: \_\_\_\_\_ Máquina: \_\_\_\_\_ Local \_\_\_\_\_ Ocorrência: \_\_\_\_\_

Avaria(s):

Peças	Qtd.

Motivo(s):

Tarefas:

Rubrica \_\_\_\_\_

Figura 14 Registo de avarias inicialmente implementado.

## 5.2 Monitorização de intervenções

O projeto de dissertação teve incidência no setor de tinturaria de fio, pelo que serão apresentadas as análises efetuadas ao comportamento de indicadores relativos ao funcionamento dos equipamentos que constituem este setor e as conclusões obtidas através dessa análise. No processo de tinturaria de fio, que é realizado inteiramente por máquinas em que a mão de obra apenas garante a alimentação e o funcionamento dos equipamentos, a manutenção demonstra-se fulcral. Assim, e através do registo de avarias implementado e anteriormente explicado, foi possível reunir dados das diversas avarias nos vários equipamentos produtivos do departamento de tinturaria de fio.

Os dados apresentados reúnem informações compreendidas entre o mês de janeiro de 2021 e junho de 2021 e são relativos às avarias mais frequentes e de reparação complexa, as quais se encontram descritas na Tabela 4. Esta monitorização serve como base para compreender a dinâmica do processo de manutenção e para efetuar uma posterior classificação de equipamentos críticos e os meses mais intensos ao nível de atividade de manutenção, identificando os tempos de resposta e os níveis de serviço.

<b>Descrição</b>	<b>Abreviatura</b>
Avaria na Bomba de Circulação	ABC
Avaria na Bomba Doseadora	ABD
Avaria na Caixa <i>Telecemanique</i>	ACT
Avaria na Mangueira de Ar	AMA
Avaria no Motor de Circulação	AMC
Avaria no Motor do Mexedor	AMM
Avaria no Pressostato	AP
Avaria nos Rolamentos	AR
Avaria no Sensor de Nível	ASN
Avaria Sensor da Temperatura	AST
Avaria na Tampa	AT
Avaria na Válvula de Água	AVA
Avaria na Válvula de Ar Comprimido	AVAC
Avaria na Válvula de Esgoto	AVE
Avaria na Válvula de Transferência	AVT
Avaria na Válvula de Vapor	AVV
Botão Danificado	BD

*Tabela 4 Descrição de avarias e respetivas abreviaturas.*

A Figura 15 fornece informações acerca do número total de horas despendidas em reparações ao longo dos meses de janeiro a junho, sendo que a medida de horas de reparação compreende o tempo a partir do momento em que a máquina falha, abrangendo o tempo de diagnóstico e de reparação, até ao momento em que volta novamente a estar disponível e operacional. Podemos realçar, de entre os dados apresentados, que os meses de janeiro e abril representam os meses em que esse somatório assume valores mais elevados. No mês de janeiro, parte desse valor pode ser explicado pelo arranque dos equipamentos produtivos após as paragens para férias de Natal e de final de ano, e pela intensidade produtiva registada nesse mês. Já os valores de abril, coincidem com a fase de teste e implementação do CMMS, sendo o momento a partir do qual os dados passam a ser inseridos através do software, podendo, por este facto, incorporar algumas imprecisões, derivadas de uma possível utilização incorreta que origine duplicação de valores.

Cruzando a informação com a Figura 16, é facilmente identificada uma proporção do número de avarias por mês relativamente ao somatório de horas mensais gastas em reparação. Assim, os meses de janeiro e de abril continuam a constituir os meses que, em número total de avarias, distam dos restantes meses com valores mais elevados. Apesar disso, podemos destacar que, apesar de o mês de abril corresponder ao mês com o maior número de avarias, não é o mês com o maior número de horas gastas em reparações, pelo que é possível constatar o resultado do software de apoio à manutenção no aumento da capacidade de resposta aos pedidos de manutenção. Observamos que o tempo de resposta



às avarias melhorou nos meses de abril, maio e junho relativamente aos três primeiros meses, consequência do novo fluxo de trabalho e processos da JFA, introduzido a partir do mês de abril.

De modo a comprovar o efeito do CMMS na redução do tempo de resposta, derivado de uma comunicação mais eficaz e formal, e ainda de uma redução do tempo de diagnóstico, foi calculado o indicador MTTR para os vários meses, e que estão apresentados na Tabela 5.

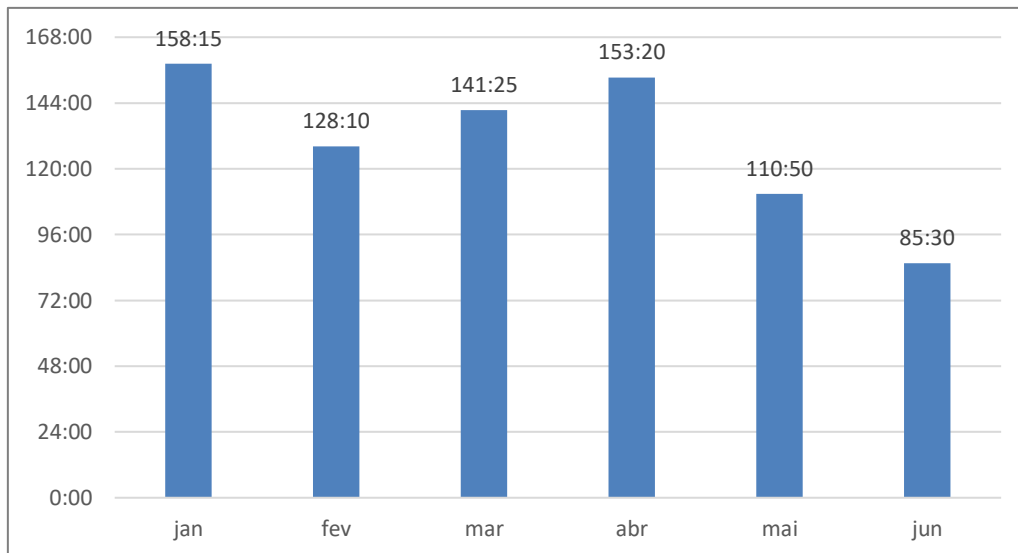


Figura 15 Gráfico do somatório do número de horas em reparação por mês.

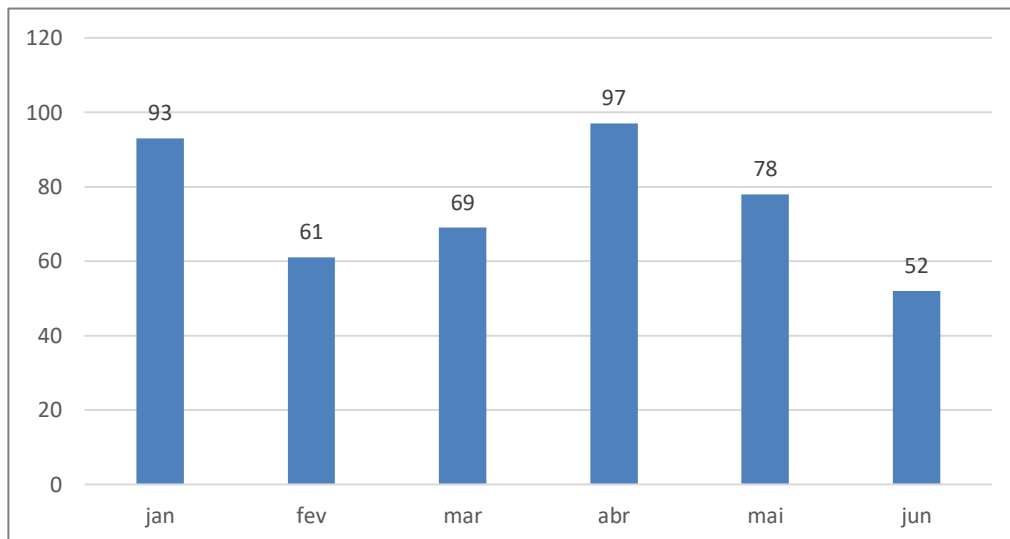


Figura 16 Gráfico do somatório do número de avarias por mês.

Mês	MTTR
janeiro	01:42
fevereiro	02:06
março	02:02
abril	01:34
maio	01:25
junho	01:38

Tabela 5 Cálculo do MTTR por mês.

Efetuada uma análise relacionada com a tipificação de avarias definida e o número de horas que cada uma consome, para que o seu diagnóstico e reparação seja concluída, podemos observar pelo Figura 17 que, a avaria no sensor de nível (ASN) é a que concentra um dispêndio maior de número de horas. Por esta razão, foi elaborado um diagrama *Ishikawa* (Figura 18) de forma a tentar perceber as possíveis razões que provocam a avaria no sensor de medição do nível de água presente na máquina. Esta ferramenta permite analisar as potenciais causas de um problema, principalmente em situações em que as razões de avaria não são claras, possibilitando efetuar a interligação das causas potenciais de um determinado efeito (Montgomery, 2020).

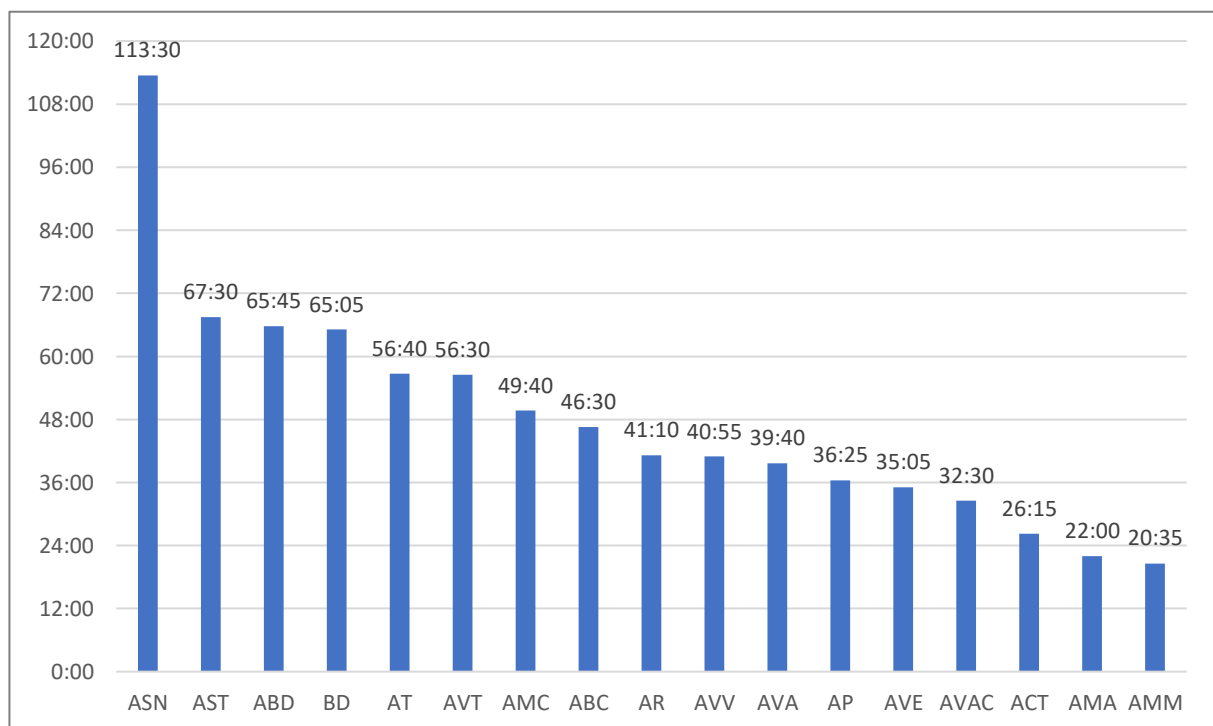


Figura 17 Gráfico do somatório do número de horas em reparação por avaria.

Assim, pelo diagrama causa-efeito, podemos aferir sobre as possíveis causas que provocam problemas no sensor de nível de água, começando por aspetos relacionados com a manutenção, mais concretamente pela ausência de ferramentas que permitam efetuar técnicas de manutenção preditiva, percebendo desta forma, às temperaturas a que o sensor é sujeito. Além disso, a falta de inspeções e tarefas preventivas, que permitam acompanhar o estado de funcionamento do sensor, e a compra de sensores sobresselente a fornecedores que não se encontram na lista de recomendações do fabricante. Relativamente à máquina, outras componentes podem afetar o bom funcionamento do sensor, nomeadamente o termómetro, que, fornecendo valores errados, expõe o sensor a temperaturas excessivas, a bomba doseadora que, sendo capaz de bombear uma quantidade de água superior ao estipulado para o programa produtivo, pode submergir o sensor. O meio ambiente, responsável por temperaturas mais elevadas, pode afetar o sensor de nível através do aquecimento das águas bombeadas para as máquinas. Os operadores de chão de fábrica podem também provocar a avaria no sensor, através de uma má operação e sujeitando a máquina e o seu interior a ações ríspidas, que podem danificar a componente. Além disso, a escolha pela utilização de corantes, responsáveis pelo tingimento do fio, de qualidade inferior e a preços mais acessíveis, podem causar um desgaste maior do sensor pelas suas propriedades químicas e, ainda, no caso de o operador efetuar um carregamento superior ao recomendado, põe em causa o bom funcionamento do sensor pela sua submersão.

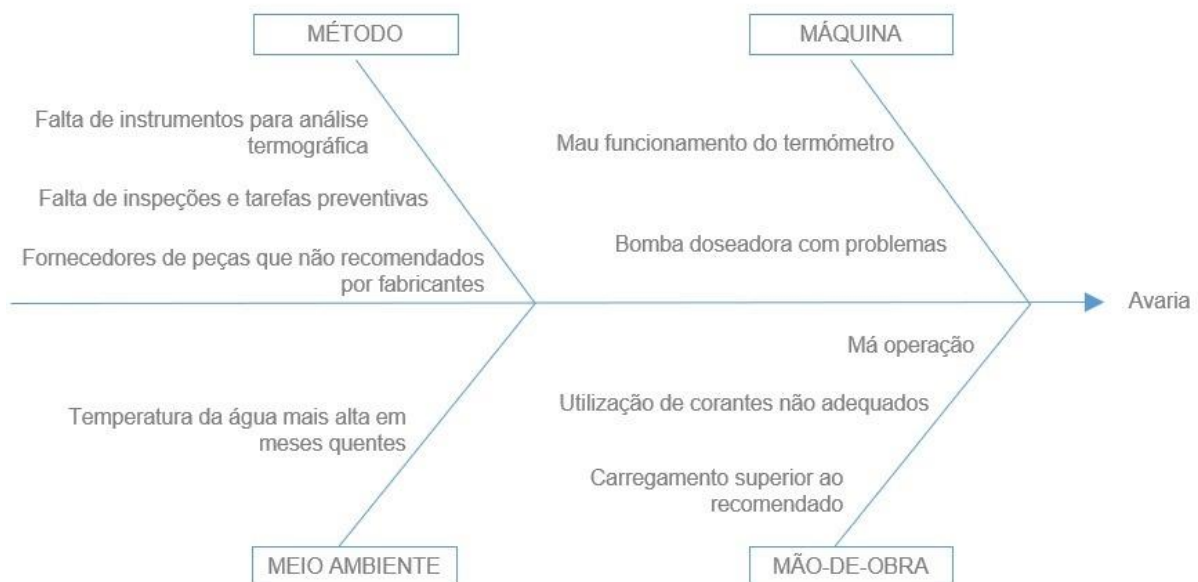


Figura 18 Diagrama Ishikawa da avaria do sensor de nível de água.

### 5.3 Identificação dos equipamentos críticos

O objetivo da presente secção é expor a forma como foi elaborada a análise e a escolha dos equipamentos mais críticos. Assim, considerou-se importante analisar indicadores dos equipamentos que consomem um elevado número de horas em reparação, efetuando-se, para isso, uma análise ABC. A análise ABC é um método que possibilita a classificação de um conjunto de equipamentos, neste caso em concreto, todos os equipamentos que constituem o parque industrial da tinturaria de fio, em três classes: classe A, classe B e classe C. Os equipamentos que pertencem à classe A correspondem aos equipamentos de maior importância, a classe B contém as máquinas de relevância intermédia e, por último, a classe C é constituída pelos equipamentos menos relevantes. O critério utilizado para medir a importância que o equipamento tem, difere de acordo com o setor de atividade e aquilo que se pretende alcançar com os resultados da análise ABC (Pinto, 2002).

A classificação ABC, presente na Figura 19, foi realizada de acordo com o somatório do número de horas em reparação de cada equipamento, sendo considerada, para o efeito, a classe A como os ativos que detêm uma percentagem acumulada de 50% do somatório das horas em reparação, a classe B com 30% do total e, finalmente, a classe C com um percentual acumulado superior de 20%. Como podemos observar pela Figura 19, cinco equipamentos são responsáveis por 50% do total do número de horas despendidas em reparações. Desta forma, estes equipamentos críticos, que pertencem então à classe A, a saber, a Autoclave 9, Autoclave 10, Autoclave IC4, Autoclave IC3 e Autoclave 8, consistem nos ativos que necessitam de mais atenção, devendo ser alvos de uma monitorização constante de indicadores que reflitam sobre o seu funcionamento, nomeadamente o MTBF, MTRR e Disponibilidade.

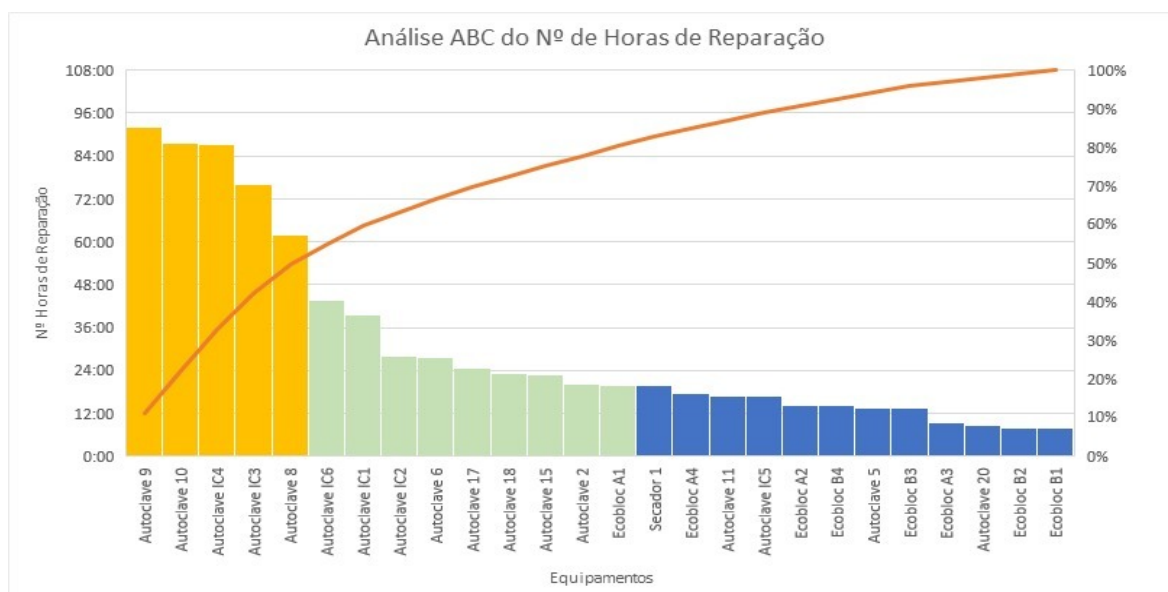


Figura 19 Gráfico da análise ABC do somatório do número de horas de reparação por equipamento.

## 5.4 Indicadores de desempenho de equipamentos críticos

O cálculo dos indicadores de desempenho nos equipamentos mais críticos fornece uma visão geral sobre a *performance* da manutenção aplicada a essa classe, permitindo perceber facilmente melhorias a efetuar no fluxo e nos processos de manutenção. Os KPI calculados, nomeadamente o MTBF, MTTR e Disponibilidade, refletem, respetivamente, o estado das máquinas quanto à manutibilidade, fiabilidade e disponibilidade em termos de manutenção. Desta forma, ao obtermos o valor de MTBF, obtemos reveladores da confiabilidade da máquina, em que a variável de maior relevância é, geralmente, o tempo que decorre até ao equipamento se encontrar avariado, exprimindo assim o tempo médio, que decorre entre duas avarias consecutivas. A sua importância é sustentada pela norma portuguesa NP EN 15341:2009, que o apresenta como um dos indicadores mais importantes em termos de manutenção.

Além disso, a obtenção de valores referentes ao MTTR, permite aferir sobre a qualidade da arquitetura mecânica dos equipamentos e da experiência e conhecimentos técnicos da equipa de manutenção, medindo o tempo médio de reparação, que se estende desde que o equipamento avaria até que volte à sua função requerida. Uma máquina com um bom nível de manutibilidade reflete uma maior facilidade no processo de diagnóstico e posterior reparação e, conseqüentemente, menores tempos de reparação e menores custos.

Por último e pela obtenção dos dois indicadores apresentados anteriormente, foi determinado o valor de Disponibilidade, em termos de manutenção, com o objetivo de perceber o tempo durante o qual um equipamento está disponível para trabalhar. O cálculo deste KPI combina os valores de MTBF e MTTR, sendo a obtenção de valores elevados neste indicador o principal objetivo no processo de gestão de manutenção (Pinto, 2013).

Conseqüentemente, é apresentado na Tabela 6 os valores obtidos a partir do cálculo desses indicadores para os equipamentos que se constituem como críticos. Os valores presentes na Tabela 6, podem ser consultados no Apêndice II, que possui os dados detalhados de onde partiram estes cálculos.

<b>Autoclave 9</b>						
	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>
<b>MTBF</b>	50:05	86:42	103:42	105:55	114:08	297:52
<b>MTTR</b>	2:24	3:18	2:32	1:35	2:31	2:07
<b>Disponibilidade</b>	95%	96%	98%	99%	98%	99%
<b>Autoclave IC4</b>						
	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>
<b>MTBF</b>	66:26	137:08	109:46	67:06	57:13	106:06
<b>MTTR</b>	2:18	2:51	2:43	1:38	1:51	2:13
<b>Disponibilidade</b>	97%	98%	98%	98%	97%	98%
<b>Autoclave 8</b>						
	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>
<b>MTBF</b>	105:42	207:32	110:16	100:10	108:27	85:00
<b>MTTR</b>	2:18	2:27	2:13	1:30	1:33	2:29
<b>Disponibilidade</b>	98%	99%	98%	99%	99%	97%
<b>Autoclave 10</b>						
	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>
<b>MTBF</b>	54:25	205:56	265:45	97:23	238:36	237:48
<b>MTTR</b>	1:55	4:03	4:15	2:36	1:23	2:11
<b>Disponibilidade</b>	97%	98%	98%	97%	99%	99%
<b>Autoclave IC3</b>						
	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>
<b>MTBF</b>	127:22	151:40	74:47	97:23	142:26	175:52
<b>MTTR</b>	2:38	3:20	2:58	2:36	1:34	1:37
<b>Disponibilidade</b>	98%	98%	96%	97%	99%	99%

*Tabela 6 Cálculo dos indicadores dos equipamentos críticos.*

Efetuada uma análise aos indicadores dos equipamentos mais críticos, podemos destacar os valores de MTBF para os equipamentos Autoclave 9, Autoclave IC4, Autoclave 10 e Autoclave IC3 que aumentaram consideravelmente o tempo médio entre duas avarias consecutivas, sendo reflexo da introdução de planos de manutenção preventivas nestes equipamentos. Segundo a EN 13306:2017, a realização de ações de manutenção preventiva permite evitar avarias através da redução da probabilidade de verificação de falhas, incentivando, por sua vez, a monitorização da condição das máquinas e dos seus componentes, permitindo identificar e antecipar avarias. Relativamente ao indicador MTTR, é facilmente identificada uma notável redução do seu valor em todos os equipamentos, consequência da utilização do software de gestão da manutenção. A sua implementação resultou numa melhoria do fluxo de comunicação e dos processos de manutenção na JFA, permitindo, assim, ao requisitante de manutenção criar uma ocorrência com informações detalhadas que, possibilitam um fácil diagnóstico da

avaria e, além disso, a consulta dos procedimentos realizados anteriormente em situações semelhantes. Desta forma, e sendo o MTTR um indicador que compreende o tempo que decorre entre o acontecimento da avaria, o seu diagnóstico e a posterior resolução, sendo que a sua redução está associada à diminuição dos tempos de reporte da avaria e dos tempos de diagnóstico e reparação.

Relativamente aos valores de Disponibilidade, podemos denotar um aumento, de uma forma geral, dos seus valores entre janeiro e junho. Este aumento, é justificado pela melhoria dos indicadores de MTBF e MTTR, uma vez que o cálculo deste indicador é obtido com base nesses valores, refletindo deste modo os efeitos da introdução do plano de manutenção preventiva e da transição das atividades para o CMMS.

## 5.5 Implementação do CMMS - *Valuekeep*

A operacionalidade dos ativos é o principal impulsionador da competitividade de um negócio, pelo que a manutenção assume uma função importante em assegurar que estes estão disponíveis para operar. No entanto, a manutenção tem que ser orientada por critérios rígidos e supervisionada no seu cômputo geral para que seja realizada com eficiência e eficácia. Tendo em conta a dimensão, variedade e especificidades que caracterizam o parque industrial da JFA, afigura-se necessário um sistema de informação que permita garantir a rastreabilidade das atividades e dos ciclos de manutenção, e a gestão dos elementos técnicos, meios humanos e materiais. Desta forma, a solução CMMS foi implementada em todo o parque industrial da tinturaria de fio da JFA.

O *Valuekeep*, comercializado pela Primavera BSS, surge assim como resposta aos critérios rígidos e requisitos da manutenção, constituindo uma solução orientada para simplificar as tarefas de gestão da manutenção, através do fornecimento de informação de gestão adequada e pela melhor organização da informação que irá permitir. Desta forma, todos os dados relacionados com as diferentes atividades que os usuários do software realizam são armazenados em formato digital, permitindo aos técnicos de manutenção priorizar corretamente as suas tarefas, garantindo que tudo é organizado e preparado para que as operações sejam concluídas com sucesso. Assim, a solução CMMS proporciona aos técnicos a liberdade de se focarem mais nas tarefas práticas e menos em questões burocráticas.

Sendo a gestão da manutenção a função essencial de uma solução CMMS, o software de gestão da manutenção *Valuekeep* foi projetado para prover os seus usuários de uma visão imediata do estado das suas necessidades de manutenção, tais como o agendamento de ordens de trabalho, a resposta às ocorrências do quotidiano empresarial e ainda o acesso a relatórios completos e importantes, que

capacitam os responsáveis com informações para que possam tomar decisões o mais informadas e eficientes possíveis.

O recurso *Valuekeep* consiste numa solução *Cloud Native*, desenvolvido de raiz na web e podendo ser acessado a partir de dispositivos móveis, proporcionando assim, a partir de um browser de ligação à internet, a facilidade de acesso a esta solução.

### 5.5.1 Requisitos funcionais e configuração do sistema

As principais aplicações que o software *Valuekeep* pretende proporcionar à empresa e aos seus utilizadores consistem em ferramentas direcionadas para a maximização do tempo de vida útil dos ativos e instalações, à operacionalidade duradoura dos equipamentos produtivos, ao alcance de níveis ideais de qualidade e *performance*, à segurança das suas equipas técnicas de trabalho e, ainda, a rentabilização do investimento. Assim, em termos de tarefas e serviços, o *Valuekeep* foi capaz de fornecer à JFA, entre outras, as seguintes funcionalidades:

- Construção de uma árvore com todos os ativos da organização, associados às suas respetivas localizações;
- Codificação de cada ativo e localização no sistema;
- Associação dos ativos às várias localizações e centros de trabalho;
- Registo e facilidade na obtenção de indicadores;
- Criação e registo de avarias;
- Tipificação de avarias;
- Criação de histórico de ações de manutenção a que o ativo foi sujeito;
- Planeamento e registo de manutenção preventiva;
- Incorporação do plano de manutenção recomendado pelo fabricante;
- Registo de custos referentes a serviços de manutenção associadas a uma ordem de trabalho;
- Identificação dos recursos materiais e humanos envolvidos na manutenção de ativos;
- Reporte das horas utilizadas nas várias ordens de trabalho.

Para que a empresa pudesse tirar partido das funcionalidades apresentadas e dar resposta aos seus objetivos, foi necessário efetuar uma configuração geral do CMMS para que, desta forma, se adaptasse aos processos de manutenção realizados pela oficina elétrica e pela oficina mecânica. Deste modo, foi construída a árvore de ativos e localizações presentes no parque industrial de tinturaria de fio, sendo, simultaneamente, acompanhada pela criação de códigos QR, que permitissem uma leitura e



identificação única dos equipamentos, evitando incongruências e duplicação de dados, tal como demonstrado na Figura 20 e na Figura 21.



Figura 21 Exemplo de árvore de localizações da JFA.



Figura 20 Etiqueta identificativa do equipamento.

Por conseguinte, foram criados os níveis de prioridade do *Valuekeep* que caracterizam a urgência ou a preferência com que devem ser tratadas as ordens de trabalho geradas no software, desempenhando um papel importante no apuramento do cumprimento dos níveis de serviço, percebendo desta forma se o tempo de resposta a uma ocorrência se situa dentro do inicialmente estipulado. Desta maneira, foi identificada a necessidade de criação de cinco níveis de prioridade, presentes na Tabela 7, para assim uniformizar os critérios na tomada de decisão, tanto pelo requisitante como pelo técnico responsável pela manutenção.

Níveis de Prioridade	Tempo de Resposta
1 – Não Grave	1 mês
2 – Pouco Grave	2 semanas
3 – Grave	72 horas
4 – Muito Grave	5 horas
5 – Extremamente Grave	1 horas

Tabela 7 Níveis de prioridade definidos na JFA.

### 5.5.2 Ordens de trabalho e ocorrências

A ordem de trabalho corresponde, resumidamente, à identificação do trabalho de manutenção a executar e do ativo ou localização alvo dessas tarefas. Para que melhor se saiba o que é necessário fazer e aquilo que foi realizado, são criadas OT's que consistem no motor do sistema de gestão da

manutenção. É através de uma OT que é transferida, para a manutenção, a necessidade de execução de um trabalho, designada por ocorrência, e onde devem constar as informações necessárias que permitam a sua realização e auxiliando, posteriormente, no registo de tarefas que efetivamente foram efetuadas. Assim, através de um registo detalhado de OT's é possível a criação de um histórico de intervenções completo (Cabral, 2006).

O CMMS *Valuekeep* facilita e suporta a criação de uma base de dados, identificando em que fase do processo de manutenção existe a necessidade de efetuar um registo, o responsável pela mesma e quais as informações que devem constar na tarefa de registo. Deste modo, a Figura 23 apresenta a configuração de registo disponível na *app mobile*, na perspetiva do requisitante de manutenção, e a Figura 22 mostra a configuração disponível para o técnico de manutenção. Tal como podemos observar através das mesmas, aos operadores de máquinas são solicitadas informações relativamente ao tipo de ocorrência que se trata, uma breve descrição da mesma, o ativo ou localização que necessita de uma intervenção assim como, o grau de prioridade atribuído pelo requisitante. Analogamente, também são solicitadas ao técnico de manutenção informações relativas ao trabalho realizado, com o objetivo de gerar relatórios, que descrevam os custos suportados em mão de obra e em consumo de peças sobresselentes, identifiquem a avaria, os sintomas da mesma e os procedimentos realizados para resolver o problema.

Detalhes	Campos de Utilizador	Observações
<b>Data</b> 2021-04-26 14:43:44		
<b>Tipo de Ocorrência *</b>		
<b>Descrição *</b>		
<b>Localização</b>		
<b>Ativo</b>		
<b>Prioridade *</b> NAO GRAVE - Não Grave		

Figura 23 Configuração da *app mobile* para requisitante de manutenção.

Detalhes	Tarefas	Campos de
<b>Opções</b>		
Mão de obra		
Consumo		
Outros Custos		
Leituras do Contador		
Valores do Controlo de Condição		
Avarias		
Pedido Interno		
Tempo de Indisponibilidade		
Imprimir		
Histórico		

Figura 22 Configuração da *app mobile* para técnico de manutenção.

No entanto, podem existir vários tipos de ordem de trabalho, sendo que para dar resposta às necessidades da JFA, procedeu-se à criação de dois tipos de OT's, sendo elas, corretivas ou preventivas. O primeiro tipo está associado a trabalhos de manutenção corretiva, em caso de falha inesperada do equipamento, e o segundo tipo para a realização de trabalhos e serviços relacionados com o plano de manutenção preventiva dos equipamentos. Essas ordens de trabalho podem transitar entre diferentes estados, de modo a que seja facilmente perceptível para o utilizador do software o seu ponto de situação. Assim, são apresentados na Tabela 8 as várias transições de estado que ficaram formuladas na JFA, sendo que os vários interessados pelo processo são notificados logo que uma OT transita de estado.

<b>Estado Atual</b>	<b>Próximo Estado</b>	<b>Responsável pela Transição</b>
Aguarda Aprovação	Aprovado	Responsável Manutenção
	Cancelado	Responsável Manutenção
Aprovado	Em Curso	Técnico de Manutenção
	Cancelado	Técnico de Manutenção
Em Curso	Executado	Técnico de Manutenção
	Suspenso	Técnico de Manutenção
	Cancelado	Técnico de Manutenção
Suspenso	Em Curso	Técnico de Manutenção
Executado	Em Curso	Técnico ou Responsável
	Fechado	Responsável Manutenção
Cancelado	-	-
Fechado	-	-

*Tabela 8 Transições de estado de uma OT na JFA.*

### 5.5.3 Ordens de trabalho geradas por ocorrências

É através da criação de ocorrências que os funcionários de uma organização podem remeter pedidos de intervenção ao departamento de manutenção, relativos a ativos ou a localizações. Estes pedidos de intervenção permitem às equipas de manutenção responder às várias solicitações, através da criação de ordens de trabalho. Assim, na JFA foi identificada a necessidade da criação de um tipo de ocorrências, designado por ocorrências corretivas, que pode também transitar, da mesma forma que uma OT, entre os diferentes estados, assumindo a forma de OT a partir do momento em que o Engenheiro responsável de manutenção aprova o pedido de manutenção, gerando desta forma uma ordem de trabalho para dar resposta à ocorrência criada.

Na JFA as ocorrências podem ser criadas através do *BackOffice* ou da *app mobile*, sendo que a sua criação permite, ao requisitante de manutenção, fornecer informações detalhadas e completas acerca da avaria, mediante o preenchimento de campos obrigatórios, sendo possível ainda a anexação de imagens para uma fácil análise pelos responsáveis de manutenção. Esses pedidos são posteriormente analisados pelo gestor da manutenção que diagnostica a necessidade de emissão de uma ordem de trabalho, bem como a verificação do nível de prioridade solicitado pelo requisitante e, caso se justifique, a atribuição de uma prioridade diferente, dirigindo a OT ao técnico habilitado para executar a tarefa. Posteriormente, os técnicos executam o trabalho, fazendo todos os registos necessários e dando a OT como executada no final de todo o processo, sendo que o estado da mesma apenas transita para “fechada” após uma supervisão do Engenheiro responsável de manutenção. O processo de criação de OT's a partir de ocorrências está ilustrado na Figura 24, que representa também a transição para um novo e diferente fluxo de trabalho na JFA. Este novo fluxo de trabalho permite informar os utilizadores sobre os processos que estão a ser alvo de manutenção, simplificando o reporte de uma falha ou a avaria num equipamento, sendo desta forma mais fácil para os operadores de máquinas, chefes de turno e responsáveis de secção perceber o estado em que se encontra o pedido de manutenção efetuado, introduzindo transparência em todo o processo e promovendo a informação necessária a todos os interessados. Esta transição permite, simultaneamente, reunir informações acerca das várias tarefas executadas no âmbito da manutenção, com dados que refletem a realidade empresarial, permitindo criar um histórico completo de intervenções, alimentado de forma automática e possibilitando à empresa implementar critérios rígidos e de qualidade para monitorizar a manutenção.

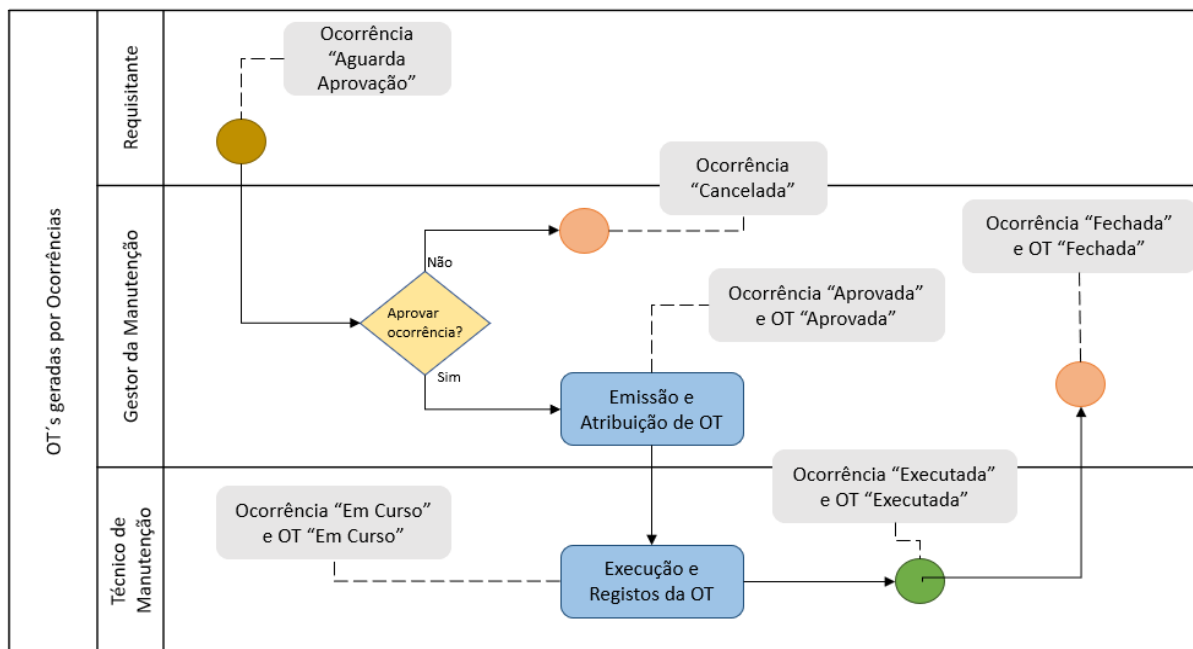


Figura 24 Esquema de criação de OT a partir da criação de uma ocorrência.

## 5.6 Planos de manutenção preventiva sistemática

O ponto de partida para um planeamento conjunto entre os departamentos de produção e manutenção consiste na elaboração de planos de manutenção preventiva sistemática, cujo acesso esteja disponibilizado também aos responsáveis pela organização da produção e o qual contenha informações sobre as paragens planeadas nas máquinas para ações de manutenção, permitindo otimizar a programação e o planeamento da produção, alocando as produções aos equipamentos disponíveis e não comprometendo o cumprimento dos prazos de entrega estipulados. Desta forma será possível criar a necessária interdependência entre as ações de planeamento e programação da produção e as ações de manutenção (Budai et al., 2008).

Os planos de manutenção elaborados, tiveram como alvo as autoclaves (Figura 26), a linha de autoclaves IC's (Figura 27) e ainda o secador de fio (Figura 28), e consistem num conjunto organizado por tarefas, que inclui o seu responsável, os respetivos procedimentos e recursos materiais, bem como a periodicidade com que a tarefa deve ser executada. Assim, foi construída uma simbologia, constante da Figura 25, para que, deste modo, fosse mais fácil e intuitivo perceber a tarefa a realizar e o procedimento a ser adotado. A sua criação foi acompanhada pelos técnicos de manutenção, para que o plano incorporasse a sua experiência e os seus conhecimentos e, simultaneamente, recorrendo à consulta das recomendações do fabricante.

<b>Controlo Visual</b>	
<b>Controlo Manual</b>	
<b>Controlo Auditivo</b>	
<b>Lubrificação</b>	
<b>Limpeza</b>	

*Figura 25 Simbologia do plano de manutenção preventiva sistemática.*

O seu objetivo está relacionado com a mitigação da degradação dos componentes e dos equipamentos, reduzindo a sua probabilidade de falha ou de reduções da função exigida, aumentando consequentemente o seu tempo de vida útil, reduzindo os custos incorridos em manutenção corretiva, e melhorar a segurança do pessoal da manutenção (Pinto, 2002). Para além disso, visa a resolução de problemas relativos à qualidade dos produtos e uma maior integração entre os departamentos de produção e manutenção, derivado de um melhor planeamento e programação das atividades de manutenção que minimizam as perdas de produção, causadas pelas avarias (Budai et al., 2008; Dhillon, 2002).

**ÁREA: TINTURARIA DE FIO****EQUIPAMENTO: AUTOCLAVES**





Periodicidade	Operação	Responsável	Ação
Mensal	Lubrificação e inspeção do garcês	Mecânicos	 (Massa de Alta Temperatura + Massa Humidade)
	Lubrificação da cavilha e rótulo do cilindro de inversão do sentido de banho	Mecânicos	 (Massa Lubrificante ESSO Beacon EP2 PO/DA/NB RO394)
	Limpeza dos filtros e purgadores da rede de ar comprimido da máquina	Mecânicos	 (Pano Húmido)
Trimestral	Verificar o manómetro de indicação de pressão da máquina	Mecânicos	

Figura 26 Plano de manutenção preventivo sistemático de autoclaves.

**ÁREA: TINTURARIA DE FIO****EQUIPAMENTO: IC'S**






Periodicidade	Operação	Responsável	Ação
Mensal	Verificar a condensação no regulador do filtro e acionar o parafuso de drenagem do condensado	Mecânicos	
	Limpar a quantidade de sujeira nos elementos filtrantes	Mecânicos	
	Lubricar pontos de rolamento gracês, tampa e motor.	Equipa de Manutenção	 (Massa lubrificante + Spray lubrificador)
Semestral	Verificar manualmente o funcionamento da válvula e da selagem de chumbo	Mecânicos	
Anual	Revisão geral	Equipa de Manutenção	

Figura 27 Plano de manutenção preventiva sistemática de IC's.

**ÁREA: TINTURARIA FIO****EQUIPAMENTO: Secador 1**












Periodicidade	Operação	Responsável	Ação
Semanal	Inspeccionar a unidade de manutenção do sistema pneumático	Mecânicos	
Mensal	Lubrificação e inspeção do garcês da bomba de circulação	Mecânicos ou Equipa de Manutenção?	  (Massa alta temperatura + Massa de humidade)
Semestral	Limpar a unidade de tratamento de ar comprimido	Mecânicos	 (Pano Húmido)
Semestral	Limpeza e inspeção do quadro elétrico	Eletricistas	 
Semestral	Lubrificação e inspeção do circuito do ar comprimido	Mecânicos	 
Anual	Substituir, se necessário, a válvula borboleta	Mecânicos	
	Inspeção geral	Equipa de manutenção	 

Figura 28 Plano de manutenção preventiva sistemática do secador de fio.



## 6. SUGESTÕES DE MELHORIA

### 6.1 Técnica de manutenção preditiva

A presente técnica de manutenção preditiva analisa uma grande quantidade de dados relacionados com a monitorização dos equipamentos, sendo que no caso em concreto analisa dados relativos à monitorização da máquina de produção Autoclave 10 e o comportamento da avaria ASN (Tabela 4), constituindo uma abordagem orientada por dados (Liao & Köttig, 2016). O modelo apresentado elabora uma previsão acerca do estado da componente “sensor de nível de água”, recorrendo a dados históricos provenientes da sua condição, sendo, deste modo, constituído por processos estatísticos e métodos de ML e DM (Yuan et al., 2016). A vantagem da sua utilização reside no facto de não ser necessário um conhecimento profundo da sua arquitetura de funcionamento. Assim, a técnica de manutenção preditiva é capaz de estimar, dinamicamente, quando o equipamento, em particular a componente “sensor de nível de água”, pode ser alvo de uma falha e, desta forma, antecipar uma intervenção de manutenção, encontrando relações entre variáveis que evidenciem um possível mau funcionamento e contribuam para uma tomada de decisão ótima e eficaz (Sakib & Wuest, 2018).

Deste modo e tendo em conta, por um lado, a necessidade de um vasto conjunto de dados históricos sobre a monitorização da condição de um equipamento, e, por outro lado, a ausência de registos aquando do início da dissertação, foi gerada uma base de dados que, elaborada de acordo com as características da JFA, pode ser facilmente por esta implementada, e que contém informações sobre o volume de produção compreendido entre dois momentos de avarias do “sensor de nível de água”, expresso em quilogramas, o número de dias que decorreu entre duas avarias consecutivas e o número de minutos necessários para resolver a avaria, que pode ser consultada no Anexo III. O objetivo da sua construção está relacionado com a previsão do número de dias até à próxima avaria, utilizando esta data como referência para realizar uma intervenção de manutenção, constando na Tabela 9 as variáveis que constituem a base de dados.

Variável	Descrição
mins_repair	Número de minutos despendidos para resolver a avaria
Kg_prod	Quantidade de fio tingido, em quilogramas, entre dois momentos de avaria consecutivos
n_dias	Número de dias que decorreu entre duas avarias consecutivas

Tabela 9 Definição das variáveis e a sua descrição.

### 6.1.1 Decision Tree

Para construir uma técnica de manutenção preditiva baseada em algoritmos de ML e DM, é necessário recolher dados que contenham informações sobre a saúde do sistema produtivo para, a partir da análise e processamento desses dados, extrair conhecimentos e padrões de comportamento que permitam detetar, atempadamente, as necessidades de manutenção. De entre os vários algoritmos utilizados em técnicas de manutenção preditiva, podemos destacar a regressão que permite efetuar a previsão do valor de uma variável contínua, com base no valor conhecido de outras variáveis e assumido uma dependência linear ou não linear. Assim, é utilizado o modelo *Decision Tree* com o objetivo de realizar a previsão do número de dias até à próxima falha, sabendo a data da última avaria na componente “sensor de nível da água”.

Deste modo, utilizou-se a linguagem de programação *Python* na sua versão 3.8.8 e o IDE (*Integrated Development Environment*) *Visual Studio Code* na versão 1.63 para construir um modelo *Decision Tree* que pode ser aplicado na JFA, não só para prever uma avaria no “sensor de nível de água” na Autoclave 10, como em várias avarias para as diversas máquinas, sendo necessário adaptações para corresponder às suas características produtivas. O modelo construído é uma ferramenta de tomada de decisão incluída na categoria de ML supervisionado, sendo aplicado a uma base de dados e em que o resultado de uma previsão consiste numa variável de interesse. A regressão do modelo *Decision Tree* observa os atributos de um objeto e treina um modelo na estrutura de uma árvore para prever dados, produzindo uma variável de saída contínua, e permitindo dividir os dados em várias divisões, sendo que o algoritmo decide o número ideal de divisões desses dados. A escolha deste modelo tem como base a sua capacidade de lidar com grandes quantidades de dados e fazer previsões num curto espaço de tempo.

## 6.1.2 Construção e resultados do modelo

Assim, foi então construído um modelo de previsão de avarias cujo objetivo consiste em prever a avaria na componente “sensor de nível de água” na máquina de tingir fio Autoclave 10, podemos observar a sua construção inicial através da Figura 29.

### Modelo de previsão de avarias

**Objetivo:** prever a avaria ASN na Autoclave 10 (AC10)

```
import pandas as pd
from sklearn.tree import DecisionTreeRegressor
from datetime import datetime
from datetime import date
from datetime import timedelta
```

### Leitura da base de dados gerada para o efeito

```
file_path = "Base de dados gerada.xlsx"
data = pd.read_excel(file_path)
colunas = ["mins_repair", "kg _prod", "n_dias"]
print("BASE DE DADOS")
print("")
print(data[colunas])
```

BASE DE DADOS

	mins_repair	kg _prod	n_dias
0	93	76215	37
1	96	78778	40
2	96	79747	40
3	92	68805	34
4	111	60346	30
..	...	...	...
200	321	59752	28
201	100	59808	28
202	130	59920	28
203	196	60368	28
204	310	60480	28

[205 rows x 3 columns]

Figura 29 Importação dos packages e leitura da base de dados.

Após importada a base de dados e os *packages* necessários para a construção do modelo, é necessário definir os valores a prever, sendo neste caso o número de dias até à próxima falha no componente “sensor de nível de água”, tal como consta na Figura 30. Assim, a variável de interesse a prever consiste no número de dias até à próxima falha, sendo fornecido ao modelo a data da última avaria, que consta no ficheiro “*prever.xlsx*”, tendo sido criado para registar constantemente as previsões de interesse.

## Dados a prever

```
prever = pd.read_excel("prever.xlsx")  
print("DADOS A PREVER")  
print(prever)
```

```
DADOS A PREVER  
  mins_repair  kg _prod  data_ultima_averia  
0           100     67000          2021-12-17
```

Como podemos observar, a última avaria assume-se que ocorreu a 17 de Dezembro de 2021, com um volume de produção de 67000kg e sendo necessários 100 minutos para a sua reparação.

Figura 30 Definição dos dados a prever.

Posteriormente é realizada uma limpeza dos dados e análise das estatísticas sumárias das variáveis de “mins\_repair” e “kg\_prod”, tal como podemos observar na Figura 31. Podemos constatar que existem 205 entradas de instâncias de avarias ocorridas na máquina, em que o tempo mínimo de reparação foi de 90 minutos e o máximo de 321 minutos, constando de uma média de 137,05 minutos, e um desvio padrão de 45 minutos. Quanto à variável referente ao volume de produção, esta apresenta um mínimo de 52 500 quilogramas, um máximo de 137 636 quilogramas, com uma média de 86 317 quilogramas e um desvio padrão de 18 664,72 quilogramas.

## Limpeza dos dados e estatísticas sumárias das variáveis

```
y = data.n_dias  
features = ["mins_repair", "kg _prod"]  
x = data[features]  
x.describe()
```

	mins_repair	kg _prod
<b>count</b>	205.000000	205.000000
<b>mean</b>	137.058537	86317.712195
<b>std</b>	45.421733	18664.723662
<b>min</b>	90.000000	52500.000000
<b>25%</b>	105.000000	74732.000000
<b>50%</b>	123.000000	84831.000000
<b>75%</b>	150.000000	97421.000000
<b>max</b>	321.000000	137636.000000

Figura 31 Limpeza dos dados e estatísticas sumárias.

Após a fase inicial de tratamento de dados constados na base de dados, foi definido o modelo para efetuar a previsão, tal como podemos observar na Figura 32.

### Definição do modelo

Tal como referido anteriormente, o modelo construído consiste numa *Decision Tree* regressiva.

```
data_model = DecisionTreeRegressor(random_state=1)
data_model.fit(x, y)
```

DecisionTreeRegressor(random\_state=1)

### Previsão

```
previsao = data_model.predict(prever[features])
print("Previsão de intervalo de dias entre avarias:",int(previsao[0]))
n_dias = previsao[0]
```

Previsão de intervalo de dias entre avarias: 33

A previsão obtida aponta para 33 dias entre duas ocorrências de avarias, podendo depois ser calculado a data aproximada da próxima avaria.

Figura 32 Definição do modelo de previsão e resultados.

Com o intuito de facilitar a compreensão da previsão, foi convertido o número de dias em data para, desta forma, ser facilmente interpretado o dia do calendário para o qual está previsto uma falha no “sensor de nível de água” na Autoclave 10, apresentada na Figura 33, permitindo aos técnicos de manutenção planear, com antecedência, uma intervenção de manutenção no componente, com o objetivo de evitar a falha ou de minimizar as suas consequências, implementado desta forma conceitos de manutenção preditiva na empresa que alavancam a transição para um sistema de organização e gestão da manutenção eficiente e otimizado.

## Cálculo da data da próxima avaria

```
hoje = date.today()
lista_av = (prever["data_ultima_avaria"])
data_ult_av = lista_av[0]
data_ult_av = datetime.date(data_ult_av)

def diff_dates(date1, date2):
    return abs(date2-date1).days

def prev_prox_av(ult_av,td):
    dif_dias = diff_dates(ult_av,td)
    resto = n_dias - dif_dias
    data_prox_av = td + timedelta(days=resto)
    return data_prox_av

print("Data da última avaria:", data_ult_av)
print("Data estimada da próxima avaria:",prev_prox_av(data_ult_av,hoje))
```

```
Data da última avaria: 2021-12-17
Data estimada da próxima avaria: 2022-01-19
```

Figura 33 Cálculo da data da próxima avaria.

Desta forma, e com a continuação da criação de registos históricos das diferentes máquinas, facilitada pela implementação do CMMS, a JFA tem a possibilidade de reunir dados relevantes sobre o estado de funcionamento dos vários equipamentos e partir para a construção de modelos preditivos que permitam detetar, antecipadamente, falhas nos equipamentos e possibilitem uma redução do número de intervenções corretivas e uma redução do MTTR das diferentes avarias, que se reflitam numa redução de custos relacionados com a manutenção. Para além disso, a JFA pode utilizar o CMMS implementado para alavancar a adoção de uma arquitetura CPS, instalando sensores nas diversas máquinas para efeitos de análise de vibrações e ruídos, monitorização de temperatura, medição do nível de óleo, entre outros, que permitam recolher dados e representar digitalmente os processos físicos realizados no chão da fábrica. Esses dados são posteriormente transferidos e analisados na camada *Cyber* do CPS e constituirão a base para a construção de algoritmos preditivos baseados em ML e DM, fornecendo informações em tempo real sobre a condição dos equipamentos, permitindo elaborar prognósticos de previsão de falhas e o seu tempo de vida útil.

## 7. CONCLUSÕES

Atualmente, as empresas sentem a necessidade de atingir patamares de excelência a nível operacional, pelo que, neste sentido, a manutenção desempenha um papel essencial nas organizações, especialmente em empresas do ramo industrial. Neste âmbito, a presente dissertação abordou a organização e a gestão da manutenção numa empresa do setor têxtil, com o objetivo de procurar os pontos de melhoria no seu sistema de funcionamento que possibilitem melhorar o seu desempenho e eficiência, contribuindo para uma maior disponibilidade e para melhores níveis de indicadores dos equipamentos. Como podemos constatar, grande parte da informação que auxilia nos processos de tomada de decisão técnica e económica é retirada do registo histórico que, na área da manutenção, constitui um aspeto fundamental e permite avaliar a evolução e a melhoria dos equipamentos através dos seus indicadores.

Contudo, a empresa alvo do estudo de caso não possuía um sistema de registo de intervenções que permitisse o controlo e planeamento de ações de manutenção, o que constituiu um obstáculo para a implementação de ferramentas de gestão da manutenção. Desta forma, não era possível consultar um historial das diversas máquinas, estimar a vida útil dos vários componentes e obter indicadores que refletissem o desempenho dos equipamentos e do departamento de manutenção. Para além disso, o fluxo de informação relacionado com os processos de manutenção era obsoleto e não era alvo de registos pelos vários intervenientes, à medida que transitava de fases. Por último, as atividades de manutenção realizadas enquadravam-se unicamente no âmbito de uma manutenção corretiva, não sendo realizados quaisquer esforços para antecipar e prevenir avarias nas várias máquinas, situados num contexto de manutenção preventiva ou preditiva. Esta análise inicial, constituiu um contributo importante para o desenvolvimento de soluções que procurassem resolver os problemas identificados.

Assim, as implementações de folhas para registo e monitorização de intervenções, bem como do software *Valuekeep* tiveram como objetivo dar resposta às necessidades de existência de um historial de equipamentos para posterior obtenção de indicadores e inculir uma filosofia de recolha sistemática de dados, que permitisse simultaneamente contribuir para o *know-how* do serviço de manutenção que, através da consulta do registo histórico, sintetiza os processos necessários para a reparação de uma máquina através dos procedimentos anteriormente realizados, provendo o técnico de instruções de trabalho. Para além disso, a introdução do CMMS nos processos de manutenção permite uma melhoria no fluxo de comunicação e informação no que compete às atividades de manutenção, evitando a duplicação de tarefas e incongruências. Por último, a adoção de planos de manutenção preventiva

sistemática, permitiu elaborar um planeamento conjunto dos departamentos de manutenção e produção, evitando assim paragens inesperadas e otimizando a capacidade produtiva de cada equipamento.

A análise dos registos de intervenções, implementados no início do projeto de dissertação, permitiu definir alguns tipos de falhas recorrentes, assim como equipamentos com maior número de intervenções e de tempos despendido em reparações, sendo identificados os equipamentos críticos. Os resultados obtidos serviram como base para a implementação e cálculo de KPI 's que permitissem perceber o estado atual dos equipamentos e do nível de serviço do departamento de manutenção. Os indicadores técnicos de manutenção propostos e implementados, nomeadamente que aferem sobre a fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade, são cruciais para uma boa gestão da manutenção.

Por último, um dos aspetos cruciais no domínio da manutenção corresponde à adoção de técnicas de manutenção preditiva, com o intuito de antecipar avarias nos equipamentos e componentes. A importância desta tipologia de manutenção deve-se ao facto de ter um impacto direto na estrutura de custos do departamento, possibilitando a prevenção de falhas que se podem revelar catastróficas e com efeitos nefastos. Assim, é sugerida para trabalhos futuros uma técnica de manutenção preditiva, baseada em algoritmos de ML e DM, com o intuito de prever uma determinada avaria numa máquina específica, permitindo aos técnicos de manutenção realizar inspeções atempadas por forma a assegurar-se do bom estado de funcionamento da componente ou da máquina.

Com a conclusão do projeto e apesar das várias adversidades encontradas, nomeadamente, a ausência de disponibilidade dos colaboradores para realizar atividades de *brainstorming* e a necessidade de incentivar os técnicos para transferirem o seu trabalho para o CMMS, sensibilizando-os a efetuar a recolha de dados consistentes e credíveis para fundamentar os processos de tomada de decisão, alcançou-se os objetivos inicialmente propostos, no âmbito da adoção de melhores práticas orientadoras de um sistema de gestão da manutenção organizado e documentado e da implementação de um CMMS, no departamento de manutenção da JFA.



## BIBLIOGRAFIA

- Abdalaal, O., & Shukri, M. I. (2020). IMPLEMENTATION OF COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM IN MAINTENANCE WORKSHOP. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 04, 100–103. <https://doi.org/10.33564/IJEAST.2020.v04i09.010>
- Alsyouf, I. (2007). The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 70–78.
- Azevedo, M. C., & Santos, M. F. (2005). *Data Mining Descoberta de Conhecimento em Base de Dados*. FCA.
- Ben-Daya, M., Kumar, U., & Murthy, D. N. P. (2016). *Introduction to maintenance engineering: modelling, optimization and management*. John Wiley & Sons.
- Borgi, T., Hidri, A., Neef, B., & Naceur, M. S. (2017). Data analytics for predictive maintenance of industrial robots. *Proceedings of International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies, IC\_ASET 2017*, 412–417. <https://doi.org/10.1109/ASET.2017.7983729>
- Budai, G., Dekker, R., & Nicolai, R. P. (2008). Maintenance and production: a review of planning models. *Complex System Maintenance Handbook*, 321–344.
- Cabral, J. P. S. (2009). Gestão da manutenção de equipamentos, instalações e edifícios. *Biblioteca Industria & Serviços, LIDEL, April*.
- Cabral, J. P. S. (2013). *Gestão da Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios (3ª edição)*.
- Cabral, J. S. (2006). *Organização e gestão da manutenção: dos conceitos à prática...*
- Cameron, K. S., & Quinn, R. E. (2011). *Diagnosing and changing organizational culture: Based on the competing values framework*. John Wiley & Sons.
- Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. M. N., Vita, R., Francisco, R. da P., Basto, J. P., & Alcalá, S. G. S. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers and Industrial Engineering*, 137(August), 106024. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>
- Cato, W. W., & Mobley, R. K. (2002). *Computer-managed maintenance systems : a step-by-step guide to effective management of maintenance, labor, and inventory*. 180.
- Chen, D., & Trivedi, K. S. (2002). Closed-form analytical results for condition-based maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, 76(1), 43–51. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(01\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(01)00141-7)

- Chen, W. J., & Liao, C. J. (2005). Scheduling with different maintenance policies in a textile company. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 11(1), 43–52. <https://doi.org/10.1108/13552510510589361>
- Chompu-Inwai, R., Diaotrakun, R., & Thaiupathump, T. (2013). Key indicators for maintenance performance measurement: The aircraft galley and associated equipment manufacturer case study. *2013 10th International Conference on Service Systems and Service Management*, 844–849.
- Coutinho, C. P., Sousa, A., Dias, A., Fátima, B., Ferreira, M. J., & Vieira, S. (2009). *Investigação-Ação: Metodologia preferencial nas práticas educativas*.
- Crespo Marquez, A., & Gupta, J. N. D. (2006). Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars. *Omega*, 34(3), 313–326. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2004.11.003>
- Cruzan, R. (2020). *Manager's guide to preventive building maintenance*. River Publishers.
- Dalzochio, J., Kunst, R., Pignaton, E., Binotto, A., Sanyal, S., Favilla, J., & Barbosa, J. (2020). Machine learning and reasoning for predictive maintenance in Industry 4.0: Current status and challenges. *Computers in Industry*, 123, 103298. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103298>
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering maintenance: a modern approach*. cRc press.
- Direção Geral das Atividades Económicas. (2018). *Indústria Têxtil e Vestuário*. 26. <https://www.dgae.gov.pt/gestao-de-ficheiros-externos-dgae-ano-2019/sinopse-textil-vestuario-17-04-2019-pdf.aspx>
- Evans, R. D. (2003). Too small for a CMMS? Think again. *MAINTENANCE TECHNOLOGY*, 16(3), 17–21.
- EN 13306 (2017). Maintenance Terminology Trilingual version.
- Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). Knowledge Discovery and Data Mining: Towards a Unifying Framework. *KDD*, 96, 82–88.
- Garg, A., & Deshmukh, S. G. (2006). Maintenance management: Literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 205–238. <https://doi.org/10.1108/13552510610685075>
- Gorunescu, F. (2011). *Data Mining: Concepts, models and techniques* (Vol. 12). Springer Science & Business Media.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). DATA MINING: Concepts and Techniques. In J. Han, M. Kamber, & J. B. T.-D. M. (Third E. Pei (Eds.), *The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems* (3rd ed., pp. 1–38). Morgan Kaufmann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381479-1.00001-0>

- Hansen, D. R., & Mowen, M. M. (2006). Cost Management Accounting & Control. In *Manager*.
- Hofmann, T., Schölkopf, B., & Smola, A. J. (2008). Kernel methods in machine learning. *The Annals of Statistics*, *36*(3), 1171–1220.
- Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *20*(7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>
- Jensen, C. D. (2016). Action research to support development of engineering for sustainable development degree programs, part I: collaborative community action research vignettes. *Journal of Cleaner Production*, *122*, 164–175.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, April*, 1–84.
- Kumar Sharma, R., & Gopal Sharma, R. (2014). Integrating Six Sigma Culture and TPM Framework to Improve Manufacturing Performance in SMEs. *Quality and Reliability Engineering International*, *30*(5), 745–765. <https://doi.org/10.1002/qre.1525>
- Li, L., Liu, M., Shen, W., & Cheng, G. (2017). An expert knowledge-based dynamic maintenance task assignment model using discrete stress–strength interference theory. *Knowledge-Based Systems*, *131*, 135–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.06.008>
- Liao, L., & Köttig, F. (2016). A hybrid framework combining data-driven and model-based methods for system remaining useful life prediction. *Applied Soft Computing*, *44*, 191–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.03.013>
- Lopes, I., Senra, P., Vilarinho, S., Sá, V., Teixeira, C., Lopes, J., Alves, A., Oliveira, J. A., & Figueiredo, M. (2016). Requirements specification of a computerized maintenance management system—a case study. *Procedia Cirp*, *52*, 268–273.
- Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., Sauer, O., Schuh, G., Sihn, W., & Ueda, K. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*, *65*(2), 621–641. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.005>
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & Sons.
- Moubray, J. (1999). *Reliability-Centered Maintenance* (2nd Ed).
- Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, *131*(1), 295–302. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2010.04.039>

- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*.
- NP EN 13306 (2007). Norma Portuguesa Para a Terminologia Da Manutenção, 1-37.
- NP EN 15341. (2009). Norma Portuguesa Para Indicadores de Desempenho Da Manutenção (KPI). Costa da Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade
- NP EN 55000. (2016). Gestão de ativos - Visão geral, princípios e terminologia. Costa da Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade.
- O'Hanlon, T. (2005). Computerized maintenance management and enterprise asset management best practices. *Reliabilityweb. Com Asset Management White Paper Series, NetexpressUSA Inc.*
- Palmer, R. D. (2013). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook, Third Edition* (3rd ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071784115>
- Pinto, C. V. (2002). *Organização e gestão da manutenção*.
- Pinto, J. P. (2013). *Manutenção Lean*. Lisboa: Lidel, Edições Técnicas.
- Rauch, E., Linder, C., & Dallasega, P. (2020). Anthropocentric perspective of production before and within Industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105644. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2019.01.018>
- Richert, W. (2013). *Building machine learning systems with Python*. Packt Publishing Ltd.
- Sakib, N., & Wuest, T. (2018). Challenges and Opportunities of Condition-based Predictive Maintenance: A Review. *Procedia CIRP*, 78, 267–272. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.318>
- Samir, K., Khabbazi, M. R., Maffei, A., & Onori, M. A. (2018). Key Performance Indicators in Cyber-Physical Production Systems. *Procedia CIRP*, 72, 498–502. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.036>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students*.
- Serradilla, O., Zugasti, E., & Zurutuza, U. (2020). *Deep learning models for predictive maintenance: a survey, comparison, challenges and prospect*. <http://arxiv.org/abs/2010.03207>
- Sezer, E., Romero, D., Guedea, F., MacChi, M., & Emmanouilidis, C. (2018). An Industry 4.0-Enabled Low Cost Predictive Maintenance Approach for SMEs. *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436307>
- Soares, S. G. (2015). *Ensemble learning methodologies for soft sensor development in industrial processes*.
- Söderholm, P., Holmgren, M., & Klefsjö, B. (2007). A process view of maintenance and its stakeholders.

*Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(1), 19–32.  
<https://doi.org/10.1108/13552510710735096>

- Starr, A. G. (1997). *A structured approach to the selection of condition based maintenance*.
- Wagner, C., Saalman, P., & Hellingrath, B. (2016). An Overview of Useful Data and Analyzing Techniques for Improved Multivariate Diagnostics and Prognostics in Condition-Based Maintenance. *Annual Conference of the PHM Society*, 8(1).
- Wang, L., Chu, J., & Wu, J. (2007). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 151–163.
- Wienker, M., Henderson, K., & Volkerts, J. (2016). The Computerized Maintenance Management System an Essential Tool for World Class Maintenance. *Procedia Engineering*, 138, 413–420.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.100>
- Wireman, T. (2005). *Developing performance indicators for managing maintenance*. Industrial Press Inc.
- Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., & Thoben, K.-D. (2016). Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications. *Production & Manufacturing Research*, 4(1), 23–45.  
<https://doi.org/10.1080/21693277.2016.1192517>
- Yuan, M., Wu, Y., & Lin, L. (2016). Fault diagnosis and remaining useful life estimation of aero engine using LSTM neural network. *2016 IEEE International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS)*, 135–140. <https://doi.org/10.1109/AUS.2016.7748035>
- Zhang, Z., Li, Z., & Huo, Z. (2006). CMMS and its application in power system. *International Journal of Power and Energy Systems*, 26(1), 75

## APÊNDICE I – DADOS DA ANÁLISE ABC

Máquina	Horas Totais em Reparação	%	% acumulado	Classe
Autoclave 9	92:00	11%	11%	A
Autoclave 10	87:45	11%	22%	A
Autoclave IC4	87:10	11%	33%	A
Autoclave IC3	76:05	9%	42%	A
Autoclave 8	62:00	8%	50%	A
Autoclave IC6	43:45	5%	55%	B
Autoclave IC1	39:30	5%	60%	B
Autoclave IC2	27:50	3%	63%	B
Autoclave 6	27:30	3%	67%	B
Autoclave 17	24:45	3%	70%	B
Autoclave 18	23:20	3%	73%	B
Autoclave 15	22:50	3%	75%	B
Autoclave 2	20:10	2%	78%	B
Ecobloc A1	20:00	2%	80%	B
Secador 1	19:55	2%	83%	C
Ecobloc A4	17:45	2%	85%	C
Autoclave 11	17:00	2%	87%	C
Autoclave IC5	16:50	2%	89%	C
Ecobloc A2	14:20	2%	91%	C
Ecobloc B4	14:15	2%	93%	C
Autoclave 5	13:40	2%	94%	C
Ecobloc B3	13:35	2%	96%	C
Ecobloc A3	9:30	1%	97%	C
Autoclave 20	8:40	1%	98%	C
Ecobloc B2	7:50	1%	99%	C
Ecobloc B1	7:45	1%	100%	C

## APÊNDICE II – DADOS PARA CÁLCULO DOS INDICADORES

### MTBF - Autoclave 9

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Horas em Produção	525:00	450:00	425:00	645:00	700:00	600:00	557:30
Total de Horas Corretivas	24:05	16:30	10:10	9:30	15:10	4:15	13:16
Tempo de Bom Funcionamento	500:55	433:30	414:50	635:30	684:50	595:45	544:13
Nº Total de Quebras	10	5	4	6	6	2	5,5
MTBF	50:05	86:42	103:42	105:55	114:08	297:52	126:24

### MTTR - Autoclave 9

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Total de Horas Corretivas	24:05	16:30	10:10	9:30	15:10	4:15	13:16
Nº Total de Quebras	10	5	4	6	6	2	5,5
MTTR	2:24	3:18	2:32	1:35	2:31	2:07	2:24

Disponibilidade	95%	96%	98%	99%	98%	99%	98%
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

### MTBF - Autoclave IC4

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Horas em Produção	550:00	420:00	450:00	550:00	650:00	650:00	545:00
Total de Horas Corretivas	18:30	8:35	10:55	13:10	20:30	13:20	14:10
Tempo de Bom Funcionamento	531:30	411:25	439:05	536:50	629:30	636:40	530:50
Nº Total de Quebras	8	3	4	8	11	6	6,7
MTBF	66:26	137:08	109:46	67:06	57:13	106:06	90:37

### MTTR - Autoclave IC4

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Total de Horas Corretivas	18:30	8:35	10:55	13:10	20:30	13:20	14:10
Nº Total de Quebras	8	3	4	8	11	6	6,7
MTTR	2:18	2:51	2:43	1:38	1:51	2:13	2:16

Disponibilidade	97%	98%	98%	98%	97%	98%	98%
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

### MTBF - Autoclave 8

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Horas em Produção	540:00	420:00	450:00	610:00	550:00	700:00	545:00
Total de Horas Corretivas	11:30	4:55	8:55	9:00	7:45	19:55	10:20
Tempo de Bom Funcionamento	528:30	415:05	441:05	601:00	542:15	680:05	534:40
Nº Total de Quebras	5	2	4	6	5	8	5,0
MTBF	105:42	207:32	110:16	100:10	108:27	85:00	119:31

### MTTR - Autoclave 8

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Total de Horas Corretivas	11:30	4:55	8:55	9:00	7:45	19:55	10:20
Nº Total de Quebras	5	2	4	6	5	8	5,0
MTTR	2:18	2:27	2:13	1:30	1:33	2:29	2:05

Disponibilidade	98%	99%	98%	99%	99%	97%	98%
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**MTBF - Autoclave 10**

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Horas em Produção	620:00	630:00	540:00	700:00	720:00	720:00	655:00
Total de Horas Corretivas	21:15	12:10	8:30	18:15	4:10	6:35	11:49
Tempo de Bom Funcionamento	598:45	617:50	531:30	681:45	715:50	713:25	643:10
Nº Total de Quebras	11	3	2	7	3	3	4,8
MTBF	54:25	205:56	265:45	97:23	238:36	237:48	183:19

**MTTR - Autoclave 10**

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Total de Horas Corretivas	21:15	12:10	8:30	18:15	4:10	6:35	11:49
Nº Total de Quebras	11	3	2	7	3	3	4,8
MTTR	1:55	4:03	4:15	2:36	1:23	2:11	2:44

Disponibilidade	97%	98%	98%	97%	99%	99%	99%
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**MTBF - Autoclave IC3**

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Horas em Produção	650:00	620:00	700:00	700:00	720:00	710:00	683:20
Total de Horas Corretivas	13:10	13:20	26:50	18:15	7:50	6:30	14:19
Tempo de Bom Funcionamento	636:50	606:40	673:10	681:45	712:10	703:30	669:00
Nº Total de Quebras	5	4	9	7	5	4	5,7
MTBF	127:22	151:40	74:47	97:23	142:26	175:52	128:15

**MTTR - Autoclave IC3**

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Média
Total de Horas Corretivas	13:10	13:20	26:50	18:15	7:50	6:30	14:19
Nº Total de Quebras	5	4	9	7	5	4	5,7
MTTR	2:38	3:20	2:58	2:36	1:34	1:37	2:27

Disponibilidade	98%	98%	96%	97%	99%	99%	98%
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



## APÊNDICE III – BASE DE DADOS GERADA

mins_repair	kg_prod	n_dias
93	76215	37
96	78778	40
96	79747	40
92	68805	34
111	60346	30
102	79031	40
108	77916	39
105	73423	35
95	73501	35
112	77252	38
115	75057	35
116	60077	30
111	60154	30
113	60288	30
96	60345	30
97	60695	30
93	60772	30
112	61035	30
119	61101	30
117	61407	30
101	61416	31
108	61554	31
103	61757	31
96	61864	32
91	61900	32
108	62253	32
97	62375	32
102	63371	32
119	65918	32
116	66044	32
97	66060	32
92	66060	32
91	66168	33
103	66323	33
94	66441	33
112	66487	33
116	66823	33
113	66941	33
96	67227	33
91	67848	33
104	68753	34
91	68996	34
117	69959	34
95	70379	35
114	71339	35
93	71933	35
102	73155	35
118	73848	35
115	74732	35

100	75696	36
114	75877	36
95	76102	36
119	76111	36
97	76145	37
101	76558	37
120	76609	37
115	76682	37
109	76815	37
102	76820	38
114	76913	38
104	76941	38
109	77049	38
116	77723	38
105	77882	39
92	78045	39
90	78321	39
97	78333	39
119	78422	39
113	78630	39
104	78976	40
120	79643	40
97	79797	40
105	79853	40
127	76033	38
115	77204	38
132	78000	38
131	78514	39
103	78625	39
142	79586	39
148	79685	40
101	80436	40
116	80469	40
128	80666	40
115	85005	41
131	85325	42
106	85507	42
101	86082	42
105	86177	42
139	86570	43
141	86920	43
118	87631	43
139	88853	43
109	89037	44
101	89758	44
103	89861	44
138	89992	44
136	90156	44
149	91716	45
145	92310	45

101	92567	45
141	93291	46
109	93434	47
150	94585	47
109	95093	47
137	95270	48
114	95509	48
141	95633	48
117	96037	49
118	96531	50
133	96770	50
115	97694	50
120	97784	50
149	97871	50
143	98935	51
135	99369	51
129	99751	52
150	100629	52
137	101716	52
135	102279	52
138	102340	52
128	103930	52
102	104315	53
127	104638	53
137	105709	54
103	105926	55
130	106316	55
125	107185	56
140	107995	56
128	108852	56
119	109113	56
141	109955	57
118	111160	57
129	112268	57
140	112695	57
127	113907	58
115	115725	58
104	116141	59
118	116288	60
133	116570	60
123	118316	60
100	118361	60
148	118549	60
151	81204	40
148	81751	40
171	81864	40
153	82081	40
172	82254	40
159	82627	40
176	83717	40

153	84113	41
140	84225	41
156	84831	41
177	85833	42
163	86510	42
145	87142	43
166	87385	43
159	88526	43
167	88700	44
141	88830	44
158	89138	44
146	90058	44
165	91114	45
173	91264	45
149	91325	45
176	91558	45
164	91918	45
140	92158	45
149	92927	46
179	92943	46
172	93617	47
167	93694	47
180	94088	47
161	94244	48
178	94353	49
147	94743	49
152	97421	50
151	97671	50
180	98448	50
171	98492	50
146	99471	50
152	99641	50
171	99696	50
209	120229	60
225	120542	64
209	122518	64
207	123298	64
223	124705	67
241	127738	67
192	127827	67
244	128727	68
200	129312	68
206	131385	69
225	131486	69
197	131520	70
198	137636	70
287	52500	25
296	54808	26
305	55146	26
309	57591	27
321	59752	28
100	59808	28
130	59920	28
196	60368	28
310	60480	28