



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Joana de Fátima Martins Dias

**Monitorização e Melhoria da Produtividade  
de Microscópios Eletrónicos de  
Transmissão numa empresa de análises  
laboratoriais**

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Eusébio Manuel Pinto Nunes

Outubro de 2019



## **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-CompartilhaIgual  
CC BY-NC-SA**

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



## AGRADECIMENTOS

Terminada mais uma etapa da minha vida, não poderia deixar de agradecer a algumas pessoas que o proporcionaram e que comigo se cruzaram, não só neste último ano, mas em todo o percurso até então.

Em primeiro lugar, queria agradecer aos meus pais e aos meus avós, por todo o apoio e paciência para me aturarem nos momentos de maior pressão, pois sem eles nada disto teria sido possível.

Em segundo lugar, queria agradecer a todos os colegas com quem partilhei este percurso, pois todos, de uma maneira ou de outra, deixaram a sua marca, fazendo-me observar a realidade de outras perspetivas, o que me fez crescer a todos os níveis.

Em terceiro lugar, queria agradecer aos meus orientadores, ao Professor Doutor Eusébio Nunes e à Engenheira Daniela Silva, pela disponibilidade, apoio e partilha de conhecimentos no decorrer deste último meio ano. Queria também agradecer a oportunidade que me foi dada de poder realizar o estágio curricular na empresa Eurofins Lab Environment Testing Portugal, não só à Engenheira Daniela Silva, mas também à Engenheira Helena Varela, pois foi, sem dúvida, de todas as experiências do meu percurso académico, uma das mais enriquecedoras.

Por último, queria agradecer, de um modo geral, a todos os colaboradores da empresa, a simpatia, a prontidão e disponibilidade para me ajudarem, em especial à Engenheira Vanessa Gouveia e ao Engenheiro Carlos Pinto.

*A mudança é a lei da vida. E aqueles que olham apenas para o passado e para o presente irão certamente perder o futuro.*

John F. Kennedy



## **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.



## RESUMO

O presente projeto, desenvolvido numa empresa de análises laboratoriais, teve como objetivo monitorizar e melhorar a produtividade dos Microscópios Eletrónicos de Transmissão (MET). Em concreto, pretendia-se estudar o indicador da Eficiência Global dos Equipamentos (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*). Sendo as avarias dos MET um fator crítico, o principal foco deste projeto prendeu-se com a monitorização dos modos de falha destes equipamentos.

Para isso, começou-se por elaborar um FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*). Daqui foi possível concluir quais os modos de falha mais críticos (com maior número de prioridade de risco), propor medidas para diminuir a sua criticidade (ex. sensibilização de técnicos através de cartazes), e definir as melhores estratégias de manutenção segundo RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Nesse sentido, optou-se por realizar um estudo de fiabilidade para um dos modos de falha mais críticos - Filamento partido, - tendo-se concluído que os seus tempos de vida podem ser modelados pela distribuição de Weibull ( $r^2 = 0,99$ ).

Posteriormente, desenvolveram-se duas aplicações em Microsoft Excel – uma que permite aos responsáveis pela manutenção registarem as intervenções corretivas dos MET de forma uniformizada e gerarem automaticamente um relatório que, periodicamente, fornece informação sobre indicadores relevantes, nomeadamente: custos, MDT (*Mean Down Time*), MTTR (*Mean Time to Repair*), MWT (*Mean Waiting Time*) e MTBF/MTTF (*Mean Time Between Failures/To Failure*); e outra que permite calcular o OEE. A primeira aplicação permite também registar as tarefas planeadas para todos os equipamentos, alocá-las aos técnicos equitativamente, gerir prioridades, e ainda obter um calendário mensal com as tarefas alocadas a cada dia. Daqui é gerado um relatório onde consta informação como o número de tarefas concluídas na data planeada, o número de tarefas concluídas com atraso, antes do tempo ou canceladas, e também os motivos de reagendamento e cancelamento de tarefas.

Concluindo, o trabalho desenvolvido permite à empresa ter uma melhor perceção da produtividade dos MET e do desempenho da manutenção, podendo tomar decisões mais informadas. No entanto, ainda é necessário fazer alguns ajustes a uma das aplicações em termos do cálculo de alguns dos indicadores do relatório de manutenção corretiva.

## PALAVRAS-CHAVE

Manutenção; RCM; FMEA; Análise de Weibull; OEE



## ABSTRACT

This project, developed in a laboratory analysis company, aimed to monitor and improve the productivity of Transmission Electron Microscopes (TEM). Specifically, it was intended to study the *Overall Equipment Effectiveness* indicator (OEE). Since TEM malfunctions are a critical factor, the main focus of this project was to monitor the failure modes of these equipments.

For this, we started by elaborating a FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). From this it was possible to conclude which failure modes are most critical (with highest risk priority number), to propose measures to reduce their criticality (eg awareness of technicians through posters), and to define the best maintenance strategies according to RCM (Reliability Centered Maintenance). In this sense, was chosen to do a reliability study for one of the most critical failure modes - Broken Filament, - and it was concluded that its failure times can be modeled by the Weibull distribution ( $r^2 = 0.99$ ).

Posteriorly, two applications were developed in Microsoft Excel - one that allows responsables for maintenance to record TEM corrective interventions in a uniform way and automatically generate a report that, periodically, provides information on relevant indicators, including: costs, MDT (Mean Down Time), MTTR (Mean Time to Repair), MWT (Mean Waiting Time) and MTBF / MTTF (Mean Time Between Failures / To Failure); and another that allows the calculation of the OEE. This first application also allows to record planned tasks for all equipment, allocate them to technicians equitably, manage priorities, and even obtain a monthly calendar with the tasks allocated to each day. This generates a report with information such as the number of tasks completed on the planned date, the number of tasks completed with late, ahead of time or canceled, and also the reasons for rescheduling and canceling tasks.

In conclusion, the work developed allows the company to have a better understanding of the TEM productivity and maintenance performance, and thus make more informed decisions. However, some adjustments to one of the applications still need to be made in terms of calculating some of the indicators in the corrective maintenance report.

## KEYWORDS

Maintenance; RCM; FMEA; Weibull Analysis; OEE



## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do projeto.....	1
1.2. Objetivos do projeto.....	2
1.3. Metodologia de Investigação.....	3
1.4. Estrutura da Dissertação.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. Fiabilidade.....	6
2.2. Manutenção.....	11
2.2.1. Tipos de Manutenção.....	12
2.2.2. Manutenção Preditiva e a Indústria 4.0.....	15
2.2.3. Manutenção Centrada na Fiabilidade.....	18
2.3. Indicadores de Desempenho.....	24
2.3.1. Eficiência Global do Equipamento.....	25
2.3.2. Tempo Médio até Falhar e Tempo Médio entre Falhas.....	28
2.3.3. Tempo Médio para Reparar, Tempo Médio de Indisponibilidade e Tempo Médio de Espera.....	28
3. Apresentação da Empresa.....	31
3.1. Clientes da empresa.....	31
3.2. Organização e Modo de Operação da Empresa.....	32
3.3. Processo Produtivo.....	33
3.3.1. Codificação.....	35
3.3.2. MOLP.....	36



3.3.3.	PREP .....	37
3.3.4.	MET .....	38
3.3.5.	Validação dos resultados .....	39
3.4.	Controlos de Qualidade .....	40
3.5.	Indicadores de Desempenho .....	41
3.6.	Serviços de Suporte .....	42
3.6.1.	Intervenções de Manutenção Corretiva.....	43
3.6.2.	Registos .....	43
4.	MET- Apresentação e Diagnóstico da Situação Atual da Empresa.....	47
4.1.	Microscópio Eletrónico de Transmissão .....	47
4.2.	Situação Atual na empresa .....	54
4.2.1.	Problema dos MET.....	55
4.2.2.	Manutenção dos MET .....	56
4.3.	Problemas identificados na Gestão da Manutenção .....	60
5.	Propostas de Melhoria e Desenvolvimento.....	61
5.1.	Definição das melhores estratégias de manutenção para os MET.....	61
5.1.1.	FMEA .....	61
5.1.2.	Decisão RCM.....	71
5.1.3.	Análise de Weibull.....	73
5.2.	Desenvolvimento de uma aplicação para gestão da manutenção .....	77
5.2.1.	Intervenções Corretivas.....	78
5.2.2.	Intervenções Planeadas .....	88
5.2.3.	Relatório de Manutenção .....	93
5.3.	Desenvolvimento duma aplicação em Excel para cálculo do OEE dos MET.....	95
6.	Conclusões e Recomendações para Trabalho Futuro .....	101
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	103
	Anexo I – Fluxograma do modo como se processam os Pedidos de Intervenção de Manutenção Corretiva e respetiva Resposta, para todos os equipamentos dos laboratórios .....	106
	Anexo II – Estrutura da Ficha de Vida de Equipamento – Separador do Histórico de Intervenções .....	107





Anexo III – Estrutura da Ficha de Vida de Equipamento – Separador da Folha de Rosto ....	108
Anexo IV - Excerto do Plano de Manutenção dos Equipamentos .....	109
Anexo V – Excerto do Breakdown do Laboratório 1 em 2019.....	110
Anexo VI – Definição e Classificação dos Índices do critério Impacto Operacional, Segurança e Ambiente .....	112
Anexo VII – Definição e Classificação dos Índices dos critérios Flexibilidade Operacional e Custos de Reparação .....	113
Anexo VIII – Definição e Classificação dos Índices dos fatores Ocorrência e capacidade de prevenção e deteção do modo de falha.....	114
Anexo IX – Forma como se Normalizou os Índices do Fator Severidade dos Efeitos .....	115
Anexo X – Data de Início de Atividade na empresa dos MET 1 a 13, à exceção do MET9 .	116
Anexo XI – FMEA dos MET elaborado .....	117
Anexo XII – Cartazes elaborados para sensibilizar os <i>metistas</i> acerca da importância da correta utilização dos equipamentos e da manutenção.....	128
Anexo XIII – Flash de Manutenção elaborado pela Equipa de Manutenção Especializada para o Laboratório 2.....	129
Anexo XIV - Tempos de Vida dos Filamentos usados para realizar a Análise de Weibull, respetivos tipos (falha ou não falha) e MET a que correspondem.....	130
Anexo XV – Separador da Aplicação desenvolvida para Gestão da Manutenção que se tem acesso através do botão “Atualizar Histórico dos MET”.....	131
Anexo XVI – Separador da Aplicação desenvolvida para Gestão da Manutenção que se tem acesso através do botão “Dados para FMEA” .....	132
Anexo XVII – Separador da Aplicação desenvolvida para Gestão da Manutenção que se tem acesso através do botão “Registar Bug/Melhoria” .....	133
Anexo XVIII – Página da Aplicação desenvolvida para Gestão da Manutenção que se tem acesso através do botão “Consultar/Atualizar Disponibilidade”.....	134
Anexo XIX – <i>UserForm</i> da Aplicação desenvolvida para Gestão da Manutenção que se tem acesso através do botão “Inserir Reparação” do <i>UserForm</i> “Tarefa concluída” .....	135
Anexo XX – Histórico de Tarefas Planeadas da Aplicação desenvolvida para Gestão da Manutenção .....	136
Anexo XXI – Separador da Aplicação desenvolvida para Gestão da Manutenção que se tem acesso através do botão “Atualizar dias de produção” .....	137



Anexo XXII – Parte dum Relatório de Manutenção Planeada, incluindo a parte relativa aos motivos de reagendamentos e cancelamentos das tarefas obtido da Aplicação desenvolvida para Gestão da Manutenção .....	138
Anexo XXIII – Parte da Estrutura do Relatório de Modos de Falha da Aplicação desenvolvida para Gestão da Manutenção .....	139
Anexo XXIV – Instruções de Uso da Aplicação desenvolvida para a parte da Manutenção Planeada acedidas através do botão “Ajuda” .....	140
Anexo XXV – Instruções de Uso da Aplicação desenvolvida para a parte da Manutenção Corretiva acedidas através do botão “Ajuda” .....	141
Anexo XXVI – Separador que contém os Dados de Produção para calcular o Fator de Qualidade e de Desempenho do OEE da Aplicação desenvolvida para o cálculo do OEE .....	142
Anexo XXVII – Separador onde se pode definir os Velocímetros dos OEE e seus Fatores acedido pelo botão “Alterar Critérios” da Aplicação desenvolvida para o cálculo do OEE .	143



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Formas da função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull em função do parâmetro de forma. (Nunes, 2012) .....	8
Figura 2 – Curva da banheira. (Adaptado de Nunes (2017)) .....	10
Figura 3 - Possibilidade de classificação dos tipos de manutenção. (desenvolvido pelo autor baseado em Chalifoux & Baird ( 1999)) .....	12
Figura 4 - Principais etapas da implementação de Machine Learning. (desenvolvido pelo autor baseado em Gama (2017) e Analide (2018)) .....	17
Figura 5 – Etapas do FMEA/FMECA. (Santos, 2018) .....	21
Figura 6 - Exemplo de formulário de FMEA/FMECA. (desenvolvido pelo autor baseado em Lopes (2011) e Santos (2018)) .....	21
Figura 7 - Árvore lógica de decisão de RCM. (Chalifoux & Baird, 1999).....	23
Figura 8 - Interpretação esquemática dos parâmetros que influenciam o OEE. (Lesaca et al., 2017).....	27
Figura 9 – Esquema das relações entre MTTF, MTBF e MDT. ....	29
Figura 10 – Estrutura hierárquica dos vários departamentos e BU da Eurofins Lab Environment Testing Portugal. ....	32
Figura 11 – Hierarquia dos Laboratórios 1 e 2.....	34
Figura 12 - Sala da empresa onde tem lugar a Codificação. ....	35
Figura 13 – Saco dossier constituído por duas amostras, já com as etiquetas atribuídas na Codificação da empresa. ....	36
Figura 14 - Análise de uma fibra de amianto no MET, a partir da qual se identificou crocidolite. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.) .....	39
Figura 15 - Quadro do Laboratório 2 a 18 de março de 2019.....	42
Figura 16 - JEM-1400Flash da JEOL. (“JEM-1400Flash Electron Microscope,” n.d.).....	48
Figura 17 - JEM-1400Plus da JEOL. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.).....	48
Figura 18 - Configuração da coluna dos JEM-1400. (“JEOL JEM-1400 TEM column poster,” 2019).....	49
Figura 19 - Esquema do processo de formação de imagem num MET. (Miquita, 2012).....	50
Figura 20 - Configuração do goniómetro dum MET . ....	51
Figura 21 - Configuração dum porta-amostras de 4 posições assim como dos objetos a ele associados para a sua boa utilização. (Adaptado de <sup>3</sup> ) .....	51



Figura 22 - Ponta onde se colocam as amostras dum porta-amostras de 4 posições. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.) .....	52
Figura 23 - Modo como se deve manusear a patilhas dos porta-amostras, aplicado ao caso do porta-amostras simples. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.) .....	52
Figura 24 - Modelo de um chiller, de um compressor de ar e de uma bomba rotativa, respetivamente. (Adaptado de <sup>3</sup> ) .....	53
Figura 25 - Comandos do JEM-1400Plus. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.).....	54
Figura 26 - Janela do software referente ao sistema de vácuo. (Adaptado de <sup>3</sup> ).....	55
Figura 27 – Gráfico de Pareto dos modos de falha com maiores valores de NPR.....	65
Figura 28 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o fator ocorrência dos modos de falha, pelos modos de falha. ....	66
Figura 29 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o fator capacidade de prevenção e deteção dos modos de falha, pelos modos de falha. ....	66
Figura 30 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o fator severidade dos efeitos, pelos modos de falha.....	67
Figura 31 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o critério flexibilidade operacional do fator severidade dos efeitos, pelos modos de falha. ....	67
Figura 32 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o critério custos de reparação do fator severidade dos efeitos, pelos modos de falha.....	67
Figura 33 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o critério impacto operacional, ambiente e segurança do fator severidade dos efeitos, pelos modos de falha. ....	68
Figura 34 – Resultados obtidos no Minitab para o ajuste dos tempos de vida dos filamentos à Distribuição de Weibull. ....	74
Figura 35 – Formas das funções fiabilidade (R(t)) e in fiabilidade (F(t)) dos filamentos dos MET da empresa, sendo t o tempo de vida deste. ....	75
Figura 36 – Variação da taxa de falhas com o tempo de vida dos filamentos dos MET da empresa ( $\lambda(t)$ ) e evolução gráfica da função densidade de probabilidade de falhas (f(t)). ....	76
Figura 37 – Página Inicial da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção, em particular dos MET.....	78
Figura 38 – Página acedida quando se clica no botão “Intervenções Corretivas” da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção, em particular dos MET. ....	79



Figura 39 – UserForm que deve ser preenchido para inserir um novo registo de intervenções corretivas realizadas nos MET da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção. ....	81
Figura 40 – UserForm para indicar a(s) falha(s)/anomalia(s) verificadas num MET da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.....	81
Figura 41 - UserForm para inserir novas falhas dos MET que não se enquadram em nenhum dos sistemas/componentes já definidos na aplicação de gestão da manutenção. ....	82
Figura 42 – UserForm para especificar alguns parâmetros relativos ao modo operacional “Produção mais lenta” do MET na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção. ....	83
Figura 43 – UserForm que se obtém do botão “Inserir Reparação” na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.....	83
Figura 44 – UserForm que deve ser preenchido quando a equipa de manutenção externa intervém na reparação. ....	84
Figura 45 - UserForm “Substituição de equipamento” da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.....	84
Figura 46 - UserForm para inserir um custo/poupança geral na aplicação de gestão da manutenção.....	85
Figura 47 - UserForm para inserir situações de falta de material na aplicação de gestão da manutenção.....	85
Figura 48 – Tabela da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção com informação das substituições de equipamentos realizadas nos MET. ....	86
Figura 49 – Mensagem exibida na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção quando há campos obrigatórios que não estão preenchidos. ....	86
Figura 50 – UserForm para adicionar novos MET e respetivos equipamentos na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.....	87
Figura 51 - UserForm para eliminar MET e respetivos equipamentos na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.....	87
Figura 52 – UserForm para eliminar membros das equipas de manutenção na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.....	88
Figura 53 - UserForm para adicionar novos membros às equipas de manutenção na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.....	88
Figura 54 - Página acedida quando se clica no botão “Intervenções Planeadas” da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.....	88



Figura 55 - Mensagem que indica o número de horas de manutenções preventivas que o técnico selecionado tem atribuídas para o dia em causa.....	90
Figura 56 - Mensagem que indica que o técnico selecionado está indisponível naquele dia. .	90
Figura 57 – Agenda do mês de agosto das tarefas de manutenção planeadas dos MET gerada automaticamente pela aplicação desenvolvida para gestão da manutenção. ....	91
Figura 58 - UserForm que se obtém do botão “concluído”.....	91
Figura 59 - UserForm que se obtém do botão “nova data”.....	91
Figura 60 - UserForm que se obtém do botão “cancelado”. ....	92
Figura 61 – UserForm aberto quando se altera a data de realização do UserForm “Tarefa concluída”.....	92
Figura 62 – Parte do relatório de manutenção corretiva da semana 13.....	95
Figura 63 - Página Inicial da aplicação desenvolvida para cálculo do OEE dos MET.....	96
Figura 64 – Página onde se pode calcular o valor do OEE, mostrando o OEE do Laboratório 1 no mês de maio.....	96
Figura 65 – Mensagem exibida pela aplicação quando não há informação suficiente para calcular o OEE. ....	98
Figura 66 – Mensagem exibida pela aplicação para assegurar que o histórico dos MET está atualizado para calcular o OEE geral ou por BU. ....	98



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fórmulas de cálculo dos fatores do OEE segundo Nakajma (1988) e De Groot (1995) (Adaptado de Muñoz-Villamizar et al (2018)).....	26
Tabela 2 - Fórmulas de cálculo dos fatores de disponibilidade, desempenho e qualidade e do OEE numa perspetiva global segundo Lesaca et al. (2017).....	26
Tabela 3 – Horário de cada turno em cada um dos laboratórios da Eurofins Lab Environment Testing Portugal .....	33
Tabela 4 – Controlos de Qualidade implementados na Eurofins Lab Environment Testing Portugal .....	40
Tabela 5 – Tarefas de manutenção preventiva e respetiva periodicidade e equipa de manutenção responsável, realizadas nos MET da empresa.....	58
Tabela 6 – Critérios considerados para definir os índices (valores da escala) dos fatores severidade dos efeitos (S), ocorrência dos modos de falha (O) e capacidade de prevenção e deteção dos modos de falha (D) .....	62
Tabela 7 - Critérios considerados para definir os índices dos critérios impacto operacional, ambiente e segurança; flexibilidade operacional e custos de reparação e, por sua vez, avaliar a severidade dos efeitos dos modos de falha.....	63
Tabela 8 – Modo como se classificaram os NPR inicialmente .....	64
Tabela 9 – Modo final como se classificaram os NPR .....	64
Tabela 10 – Distribuição da criticidade dos modos de falha de acordo com a classificação definida na Tabela 9 .....	64
Tabela 11 – Modos de falha dos MET e ações recomendadas para reduzir a sua criticidade, em função das causas potenciais da ocorrência dos modos de falha .....	70
Tabela 12 – Indicadores de desempenho da manutenção que constam em cada parte do relatório de manutenção.....	93
Tabela 13 – Abordagem de cálculo usada para calcular o OEE .....	97



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

**ASM** – *Analytical Service Manager*

**BU** – *Business Unit*

**BUMA** - *Business Unit Manager*

**CDR** - Combustível Derivado de Resíduos

**CM** - *Condition Monitoring*

**CQF** - Controlo de Qualidade Final

**EDS** – *Energy Dispersive Spectroscopy*

**FMEA** – *Failure Modes and Effects Analysis*

**FMECA** – *Failure Modes Effects and Criticality Analysis*

**IoT** - *Internet of Things*

**KPI** - *Key Performance Indicator*

**MBU** – *Manager Business Unit*

**MDT** - *Mean Down Time*

**MET** – Microscópio Eletrónico de Transmissão

**MOLP** – Microscópio Ótico de Luz Polarizada

**MTBF** - *Mean Time Between Failures*

**MTTF** - *Mean Time To Failure*

**MTTR** - *Mean Time To Repair*

**MWT** - *Mean Waiting Time*

**NPR** – Número de Prioridade de Risco

**OEE** – *Overall Equipment Effectiveness*

**PA** – Porta-Amostras

**PM** - *Preventive Maintenance*

**PREP** – Preparação

**RCFA** - *Root Cause Failure Analysis*

**RCM** - *Reliability Centered Maintenance*

**REDROP** – Retrabalho da Deposição

**REMOLP** – Retrabalho do MOLP

**RP** – Responsável de produção

**TAT** – *Turn Around Time*





**TEM** - *Transmission Electron Microscope*

**TPS** - Testemunho de Preparação Sólida

**VBA** - *Visual Basic for Applications*



## 1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo pretende dar a conhecer ao leitor as temáticas abordadas neste documento. Nesse sentido, na secção 1.1 apresenta-se o enquadramento do projeto e na secção 1.2 enumeram-se os seus objetivos. A metodologia de investigação seguida para atingir tais objetivos é apresentada na secção 1.3. Por fim, na secção 1.4 descreve-se o modo como se estruturou o presente documento, fazendo referência ao conteúdo de cada um dos seus capítulos.

### 1.1. Enquadramento do projeto

Amianto é um termo genérico que designa um grupo de seis silicatos naturais de magnésio e/ou ferro que apresentam formas fibrosas: actinolite, crisótilo, crocidolite, antofilite, amosite e tremolite, os chamados tipos de amianto, sendo o crisótilo o mais utilizado mundialmente (*Amianto - Perguntas mais frequentes*, n.d.). Dadas as suas propriedades como elasticidade, fraca condutibilidade térmica e resistência a altas temperaturas, o amianto teve no passado numerosas aplicações, nomeadamente, na indústria da construção, encontrando-se presente, por exemplo, em telhas de fibrocimento, tintas, vedantes e em pavimentos. No entanto, ao longo dos anos, os materiais com amianto vão-se degradando e vão libertando pequenas fibras de amianto para o ar que, quando inaladas durante um longo período de tempo, podem provocar graves problemas de saúde, como cancro do pulmão (*Amianto - Perguntas mais frequentes*, n.d.; Ferreira, 2016). Por esse motivo, o uso de amianto foi interdito em Portugal a partir de 1 de janeiro de 2005 (“Eurofins Lab Environment Testing Portugal,” 2019).

É neste contexto que opera a Eurofins Lab Environment Testing Portugal, empresa onde se realizou o estágio curricular no qual se enquadra esta dissertação, com vista à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Sistemas pela Universidade do Minho.

A Eurofins Lab Environment Testing Portugal, uma das empresas do Grupo Internacional Eurofins Scientific, presta serviços analíticos de deteção de fibras de amianto em materiais sólidos e quantificação de fibras totais e/ou amianto em amostras de ar, dando resposta às solicitações, não só do mercado nacional, como também do estrangeiro. Além disso, graças à tecnologia informática e à elevada capacidade logística, a empresa disponibiliza uma panóplia de análises de outros laboratórios do Grupo em diversas matrizes, como águas e solos. Os



clientes da empresa são maioritariamente laboratórios franceses do Grupo, que subcontratam os seus serviços (“Eurofins Lab Environment Testing Portugal,” 2019).

O processo produtivo principal da empresa pode ser dividido em 5 etapas: Codificação, Microscópio Ótico de Luz Polarizada (MOLP), Preparação (PREP), Microscópio Eletrónico de Transmissão (MET) e Validação dos resultados. No entanto, note-se que, nem todas as amostras precisam de ser analisadas no MET e, conseqüentemente, também não passam pela PREP, pois esta é apenas uma etapa preparatória das amostras para poderem ser analisadas no MET.

É especificamente o equipamento que dá nome à penúltima etapa do processo produtivo – o MET – que motivou o presente projeto. Pois, os MET por serem equipamentos muito sensíveis, apresentam avarias com frequência, sendo muitas delas responsáveis pela indisponibilidade dos equipamentos, impactando a produção, podendo também representar elevados custos.

A empresa, que tem vindo a crescer desde a sua fundação, encontra-se organizada em vários departamentos e unidades de negócio, sendo estes equipamentos utilizados nas duas unidades de negócio da empresa - Asbestos Testing Paredes 1 e 2, comumente designados por Laboratório 1 e 2 – onde se analisam as amostras de materiais sólidos, mas também numa outra unidade – Preparação de Grelhas, também designada por Nichos – para validação dos banhos de grelhas que aqui se produzem, não só para consumo interno nos MET, mas também para venda para alguns dos laboratórios do Grupo. Além disso, os Nichos estão também encarregues de analisar amostras de ar, não só de clientes externos, mas também do ar interior dos laboratórios da empresa para efeitos de controlo do ar. Os três laboratórios laboram de segunda a sexta-feira e, excecionalmente, aos sábados e feriados, 24 horas por dia, distribuídas por 3 turnos. Do ponto de vista da produtividade, os MET são considerados equipamentos críticos, uma vez que constituem a etapa do processo produtivo onde reside o gargalo da produção.

## 1.2. Objetivos do projeto

O presente projeto tem como objetivo principal monitorizar e melhorar a produtividade dos MET, nomeadamente, através do estudo do indicador da Eficiência Global dos Equipamentos (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*).

Na sequência desse objetivo principal, outros objetivos surgem. São eles:

- Estudar os principais modos de falha dos MET e respetivas causas;
- Propor medidas de eliminação/redução das causas e/ou mitigação dos efeitos;
- Propor melhorias para a gestão da manutenção dos MET.



### **1.3. Metodologia de Investigação**

Para atingir os objetivos, a natureza da investigação consistiu em estudos explicativos, usando uma abordagem essencialmente quantitativa. Em termos de horizonte temporal, o estudo foi longitudinal, pois decorreu diariamente ao longo dos 6 meses de estágio, o que permitiu o estudo da mudança e do desenvolvimento.

No que toca à estratégia de investigação, foi usada Investigação-Ação, pois, além da participação ativa e direta do investigador na empresa, apresentando possíveis melhorias para os problemas investigados e induzindo “mudanças” vantajosas para esta, houve o envolvimento dos colaboradores da mesma, através de um processo iterativo de diagnóstico, planeamento, ação e avaliação, nomeadamente em relação ao objetivo “Propor melhorias para a gestão da manutenção dos MET”.

Ao longo do projeto foram usados vários métodos, como observação participativa e entrevistas presenciais não estruturadas para conhecer a dinâmica da empresa com foco nos MET. As atividades foram observadas e a entidade de investigador foi revelada, assim como os objetivos do projeto foram explicados a todos os colaboradores da empresa com os quais se conversou informalmente, em especial com um técnico de laboratório de cada etapa do processo produtivo, assim como com os técnicos responsáveis pela manutenção interna da empresa, no sentido de estabelecer a confiança necessária para melhor conhecer os processos.

Além disso, também se analisaram os registos de manutenção dos MET do último ano, isto é, dados secundários do tipo documental escrito.

### **1.4. Estrutura da Dissertação**

Para inteirar o leitor do trabalho desenvolvido, o restante documento foi organizado em 5 capítulos. O capítulo 2 corresponde à revisão bibliográfica, no qual se introduzem os principais conceitos inerentes ao projeto, como manutenção, fiabilidade e indicadores de desempenho, em especial o OEE.

No terceiro e no quarto capítulos, apresenta-se a empresa onde decorreu o estágio curricular - a Eurofins Lab Environment Testing Portugal – em especial, o seu processo produtivo (capítulo 3), e a situação da empresa relativamente aos MET (capítulo 4). No capítulo 4 é também feita uma breve introdução a este equipamento e são apresentadas algumas situações que podem ser melhoradas na empresa relativamente à gestão de manutenção dos MET.



No capítulo 5 são apresentadas as propostas de melhoria que se planearam implementar na empresa, tendo em conta os objetivos do projeto e as oportunidades de melhoria identificadas, e é explicado em detalhe o trabalho que foi desenvolvido nesse sentido.

Por fim, no capítulo “Conclusões e Recomendações para Trabalho Futuro” apresentam-se as principais conclusões retiradas no decorrer deste projeto e sugestões para trabalho futuro.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A globalização dos mercados e a competitividade cada vez mais severa entre as organizações faz com que estas tenham necessidade de se tornarem cada vez mais eficazes e eficientes ao longo do tempo, tomando medidas para reduzir custos e aumentar a sua produtividade (Vinha & Mota, n.d.; Desiombra, 2014). Nesse sentido, as empresas procuram uma utilização eficiente de todos os seus recursos, nomeadamente dos seus equipamentos (Vinha & Mota, n.d.). Segundo Silva (2013), “o desempenho dos equipamentos determina diretamente a produtividade dos processos produtivos, influencia a eficiência da mão-de-obra, contribui para o nível de qualidade dos produtos e para a satisfação dos clientes”.

Até à introdução das invenções a vapor de Watt, de uma maneira geral, a produção de produtos era realizada quase exclusivamente por artesões, o que se refletia em produtos acabados altamente heterogêneos e de produção demorada. Desde o final do século XVIII, o uso de máquinas para a realização de tarefas, muitas delas anteriormente realizadas pelo Homem a um velocidade muito menor, tem sido crescente (Vinha & Mota, n.d.).

Apesar da utilização de máquinas e da evolução tecnológica terem trazido vantagens a muitos setores de atividade, também é verdade que os expuseram a novas vulnerabilidades – a imprevisibilidade de avarias. Não há máquinas 100% fiáveis, pelo que deve admitir-se a possibilidade de ocorrerem avarias (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007). A fiabilidade pode ser definida como a probabilidade que um sistema ou equipamento tem de cumprir a sua função sob determinadas condições operacionais, durante um período de tempo específico (Nunes, 2017). A baixa fiabilidade pode dever-se essencialmente a três fatores:

1. a uma deficiente conceção das máquinas;
2. à forma como a máquina é utilizada – questões como se a máquina é adequada para o fim a que se destina e se está adaptada ao meio onde vai funcionar;
3. à forma como a manutenção de uma máquina é realizada.

De forma a evitar o primeiro fator, convém no momento do investimento inicial exigir garantias aos fornecedores. Porém, uma vez adquiridas as máquinas, é necessário melhorar os seus pontos fracos e implementar sistemas de afinação e de vigilância (Courtois et al., 2007).



Dependendo do setor de atividade, as avarias das máquinas podem ser catastróficas – imagine-se a avaria de um motor dum avião em movimento ou de um equipamento de suporte de vida durante uma cirurgia. Também ao nível de produção industrial, as avarias das máquinas podem ter consequências graves – podem representar tempos de paragem das máquinas longos com custos avultados, não só diretos como indiretos. Pois, quando não há alternativas produtivas, as avarias podem levar a atrasos na produção e, conseqüentemente, ao não cumprimento de prazos e insatisfação de clientes (Courtois et al., 2007).

Uma das principais causas de tempos de paragem de produção longos devido a avarias das máquinas é a manutibilidade insuficiente (Courtois et al., 2007). Por manutibilidade entende-se a probabilidade de repor um sistema em condições operacionais num dado tempo de paragem ou de indisponibilidade, sob determinadas condições de manutenção. Por outras palavras, a manutibilidade traduz a apetência do sistema para a manutenção (Nunes, 2017).

Questões de fiabilidade e de manutenção são assim essenciais para o bom desempenho dos equipamentos e, por sua vez, dos processos produtivos. De acordo com Cigolini, Fedele, Garetti, & Macchi (2008), uma manutenção inadequada e ineficiente pode reduzir a rentabilidade dum negócio e até mesmo comprometer a sobrevivência duma organização. É precisamente sobre estas duas temáticas (fiabilidade e manutenção) que se focam as secções do presente capítulo.

## 2.1. Fiabilidade

É grande o potencial de melhoria proporcionado pelo uso de técnicas de fiabilidade, nas mais variadas aplicações. Da sua aplicação pode obter-se respostas para questões como:

- Qual é o tempo de vida previsto de um sistema?
- Qual é o custo total de um sistema durante todo o seu ciclo de vida?
- Onde estão a maioria das falhas críticas de um sistema?
- O que se pode fazer para prevenir falhas de um sistema?

Existem muitas técnicas de fiabilidade, como é o caso das Árvores de Falhas, da Análise do Custo do Ciclo de Vida e da Análise de Weibull e ainda, do FMEA e do RCM referidos mais à frente (Nunes, 2017).

### *Análise de Weibull*

A Análise de Weibull diz respeito a um método de análise de dados de vida de um sistema que, a partir de uma amostra representativa, pode ser utilizado para estimar características deste



sistema, tais como a fiabilidade num período específico (Silveira, n.d.; “Weibull Analysis,” 2015). A realização de uma análise Weibull pode ser dividida em três etapas principais:

1. Recolha de dados de vida do sistema em estudo;
2. Escolha da distribuição que melhor se ajusta aos dados, estimando os respetivos parâmetros;
3. Gerar gráficos que estimem as características do sistema pretendidas (“Weibull Analysis,” 2015).

Quanto aos dados de vida, note-se que, dependendo do contexto, a vida de um sistema pode ser expressa em diferentes escalas como escala de tempo e de distância. No entanto, note-se também que, independentemente da escala usada, estes dados são vulgarmente referidos como “tempos de vida”. Existem várias distribuições de tempos de vida entre as quais a Distribuição de Weibull para populações de sistemas não-reparáveis - distribuição bastante flexível que permite aproximações muito boas a outras distribuições como a normal (Nunes, 2012).

### Distribuição de Weibull

Desenvolvida pelo físico sueco Waloddi Weibull em estudos relacionados com o tempo de falha devido a fadiga de metais, a distribuição de Weibull tem 3 parâmetros – parâmetro de forma  $\beta$ , parâmetro de escala  $\eta$  e parâmetro de posição  $\gamma$  - o que facilita a obtenção de um bom ajuste aos dados (“Distribuição Weibull,” n.d.; “Weibull: uma função flexível,” 2017; Nunes, 2012). Para uma variável aleatória contínua  $t$  distribuída segundo uma distribuição de Weibull, as funções Fiabilidade ( $R(t)$  - probabilidade de sobrevivência/funcionamento sem falha para uma missão de duração  $t$ ) e Infiabilidade ( $F(t)$  - probabilidade de ocorrência de uma falha antes de  $t$  (entre os instantes 0 e  $t$ )) são dadas, respetivamente, pelas Equações 1 e 2.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Equação 1})$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Equação 2})$$

Já a função risco ( $\lambda(t)$  – taxa instantânea de falhas ou avarias) e a função densidade de probabilidade de falhas ( $f(t) = m(t)$ ), ou seja, as probabilidades de falha em  $[t, t+dt]$ , respetivamente, condicionadas e não condicionadas pela sobrevivência até  $t$ , são dadas pelas Equações 3 e 4, respetivamente.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{Equação 3})$$





$$f(t) = \begin{cases} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} & \text{para } t \geq \gamma \\ 0 & \text{para } t < \gamma \end{cases} \quad (\text{Equação 4})$$

O parâmetro de posição da distribuição ou também designado por vida mínima controla a posição da curva da distribuição sobre o eixo das abcissas, significando  $\gamma = 0$  que a curva tem o seu início no ponto de coordenadas (0,0) (Nunes, 2012; “Weibull: uma função flexível,” 2017). Quando  $\gamma > 0$  significa que há um período de tempo ( $\gamma$ ) em que o sistema em estudo é isento de falhas. Já quando o valor de  $\gamma$  é negativo significa que o sistema em estudo já tinha “idade”, ou seja, já estava em operação quando se iniciou o teste em  $t = 0$ , não tendo esse período sido contabilizado (Nunes, 2012). Também conhecido como vida característica, o parâmetro de escala controla as dimensões que a curva da distribuição assume, dada uma forma constante – à medida que  $\eta$  aumenta a curva tende a se tornar mais dispersa (Nunes, 2012; “Weibull: uma função flexível,” 2017). Em termos de significado, este parâmetro corresponde ao tempo para o qual já só restam 36,78% de sobreviventes no ensaio, ou seja, para o qual falham 63,21% dos equipamentos em estudo (Nunes, 2012). Adimensional e positivo ( $\beta > 0$ ), o parâmetro de forma controla as formas que a distribuição pode assumir (ver Figura 1):

- Se  $\beta \leq 1$  a distribuição apresenta a forma de “J-invertido”, sendo igual à distribuição exponencial negativa para  $\beta=1$  e  $\gamma = 0$ ;
- Se  $1 < \beta \leq 3.6$  a distribuição é assimétrica à direita, sendo idêntica à distribuição de Rayleigh para  $\beta = 2$  e  $\gamma = 0$  na qual apresenta uma taxa de falhas linear com o tempo. Para  $\beta \approx 3.5$  e para  $\gamma = 0$  a distribuição fornece uma aproximação muito boa à distribuição normal;
- Se  $\beta > 3.6$  a distribuição é assimétrica à esquerda (Nunes, 2012; “Weibull: uma função flexível,” 2017).

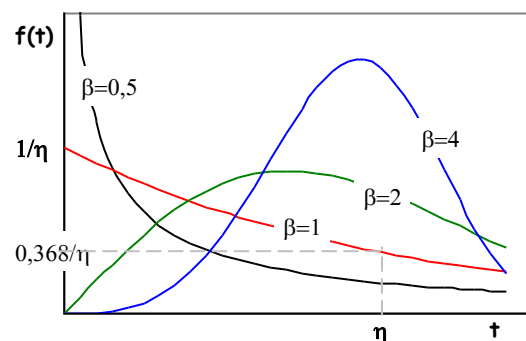


Figura 1 - Formas da função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull em função do parâmetro de forma. (Nunes, 2012)



Para estimar os valores destes parâmetros há vários métodos, entre os quais o Gráfico de probabilidades, o Método de Máxima Verossimilhança e a Estimação Linear. Sendo que todos eles são trabalhosos, exigindo muitos cálculos. Atualmente com a capacidade das folhas de cálculo como o Excel, a aplicação destes métodos está mais facilitada, podendo ser feita de forma mais rápida e mais precisa. No entanto, ainda implica algum trabalho, podendo, dependendo do método, englobar os seguintes passos:

1. linearização dos dados através de escala logarítmica;
2. obtenção da reta que melhor se ajusta aos dados;
3. obtenção das estimativas dos valores dos parâmetros - o valor de  $\beta$  pode ser estimado pelo valor do declive da reta que melhor se ajusta aos dados ( $\beta = \text{declive}$ ) e o valor de  $\eta$  pode ser estimado através da ordenada da origem da mesma reta ( $y_0$ ) segundo a Equação 5.

$$\eta = e^{\frac{-y_0}{\beta}} \quad (\text{Equação 5})$$

Note-se que, este processo é normalmente realizado assumindo que  $\gamma = 0$ . No entanto, quando essa suposição não é adequada, tem de se fazer uma mudança de variável de  $t$  para  $t-\gamma$ , sendo necessário estimar o valor de  $\gamma$  (Nunes, 2012). *Softwares* como o Minitab permitem estimar os valores dos parâmetros da distribuição de Weibull de forma menos trabalhosa e mais precisa do que o Excel.

O valor esperado de  $t$  e o desvio padrão podem ser obtidos, respetivamente, através das Equações 6 e 7, em que  $A$  e  $B$  são constantes da distribuição de Weibull cujos valores podem ser obtidos de uma tabela em função do valor de  $\beta$ .

$$E(t) = \gamma + A\eta \quad (\text{Equação 6})$$

$$\sigma(t) = B\eta \quad (\text{Equação 7})$$

Note-se que, no caso da distribuição de probabilidade de falhas, o valor esperado de  $t$  corresponde ao valor do MTTF (*Mean Time To Failure*), indicador de fiabilidade que se explica mais à frente, que é também o valor médio desta distribuição (Nunes, 2017).

A distribuição de Weibull pode adaptar-se às três fases de vida de um equipamento, – fase infantil, fase de vida útil e fase de velhice, obsolescência ou desgaste – cobrindo os casos de taxas de falhas decrescentes, constantes e crescentes. Esse padrão típico da variação da taxa de



falhas  $\lambda(t)$  com a idade ou tempo de operação, comum em equipamentos mecânicos/eletromecânicos, é conhecido como a curva da banheira (Nunes, 2017).

### Curva da Banheira

Segundo esta curva, a taxa de falhas varia com o tempo da forma ilustrada na Figura 2.

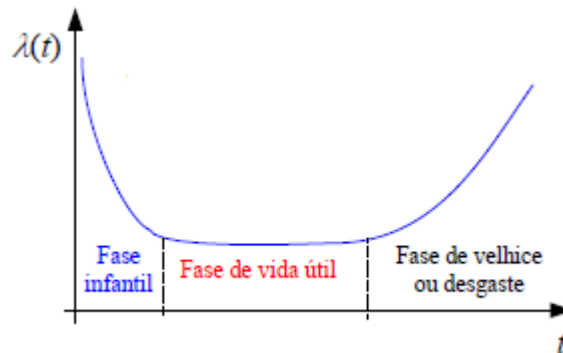


Figura 2 – Curva da banheira. (Adaptado de Nunes (2017))

Durante a fase infantil a taxa de falhas decresce com o tempo à medida que os componentes (*substandard*) com defeito saem de funcionamento e são substituídos por componentes mais fiáveis. Já na fase de vida útil a taxa de falhas é constante, devendo-se a ocorrência das falhas a acidentes sobretudo relacionados com falhas de projeto. Por fim, na fase de velhice, obsolescência ou desgaste a taxa de falhas aumenta com o tempo à medida que o *stress* se alastra a todo o equipamento (Nunes, 2017).

Através do valor de  $\beta$  é possível prever (com uma boa margem de erro) em que fase da vida um equipamento se encontra, sendo este parâmetro também um auxiliar do diagnóstico do modo de falha. Sabe-se que, se:

- $\beta < 1$ :  $\lambda(t)$  é decrescente – corresponde à fase infantil (falhas ou avarias precoces);
- $\beta = 1$ :  $\lambda(t)$  é constante – corresponde à fase de vida útil de um equipamento, sendo o modo de falha aleatório e independente do tempo;
- $\beta > 1$ :  $\lambda(t)$  é crescente – corresponde à fase de desgaste, obsolescência ou velhice de um equipamento (Nunes, 2017).

No entanto, note-se que, com a evolução tecnológica e o aumento da complexidade de muitos sistemas, surgiram novos padrões de falha, alguns deles não relacionados com o tempo de vida dos sistemas, pelo que a distribuição de Weibull não é adequada a muitas situações (Santos, 2018). Ainda assim, a distribuição de Weibull é uma das distribuições mais comumente usadas para modelar dados não-normais. O seu sucesso justifica-se, não só pela sua eficácia,



mas também por ser capaz de fazer previsões razoáveis mesmo com poucos dados. O campo de aplicações desta distribuição é vasto, abrangendo, para além da Engenharia de Fiabilidade, áreas como a física, a ambiental e a biológica (“Distribuição de Weibull,” 2019). Em especial, na área da Engenharia de Fiabilidade através da utilização desta distribuição é possível responder a questões como:

- Quantas falhas se preveem que ocorram num determinado período?
- Qual o intervalo entre o qual se deve realizar determinada tarefa de manutenção preventiva de modo a obter a melhor relação custo-benefício?
- Quantas peças de substituição devem ser mantidas em *stock* de modo a se garantir com determinado nível de certeza que serão suficientes? (Silveira, n.d.)

A distribuição de Weibull permite assim tomar melhores decisões a vários níveis, não só ao nível da manutenção dos equipamentos como também da sua comercialização ao permitir, por exemplo, estabelecer para os equipamentos os períodos de garantia que impliquem os menores custos possíveis para as empresas (“Weibull Analysis,” 2015).

## 2.2. Manutenção

Apesar de atualmente a maioria das organizações reconhecerem a importância das atividades de manutenção dos equipamentos, nem sempre foi assim. No passado, era normal esperar que um equipamento avariasse para o reparar, o que tinha geralmente como consequência, na melhor das hipóteses, um tempo de paragem da produção longo e, na pior das hipóteses, outras avarias (Courtois et al., 2007). Apesar dos progressos, em muitas organizações os programas de manutenção ainda têm uma baixa prioridade na sua estratégia operacional e os atuais gestores/supervisores de manutenção, frequentemente, encontram obstáculos ao seu trabalho. Pois, como em comparação com outros departamentos, os departamentos de manutenção não têm um “produto” real e como tal não produzem receita, pelo menos diretamente, muitas vezes, estes profissionais veem o seu trabalho excessivamente reduzido pelos gestores financeiros, que procuram reduzir ao máximo o orçamento de manutenção, enquanto esperam que o desempenho dos sistemas produtivos se mantenha o mesmo (Chalifoux & Baird, 1999).

Segundo a Norma Portuguesa NP EN 13306:2007 e Castro (2013) a manutenção pode ser definida como um conjunto de ações técnico-administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado específico de conservação ou no qual ele possa desempenhar a função requerida, tendo em atenção questões como segurança e



ambiente. Essas ações podem ser desempenhadas nos bens segundo diferentes estratégias – tipos de manutenção - que, também foram evoluindo nas organizações à medida que estas foram tomando consciência da importância das atividades de manutenção e a par com a evolução tecnológica (Daniewski, Kosicka, & Mazurkiewicz, 2018).

### 2.2.1. Tipos de Manutenção

Entre os autores da área existem diferenças no modo como classificam os tipos de manutenção, no entanto parece haver consenso nos conceitos principais (Chalifoux & Baird, 1999; Daniewski et al., 2018; Courtois et al., 2007; Gama, 2017). Na Figura 3 esquematiza-se um dos modos como os tipos de manutenção são classificados.



Figura 3 - Possibilidade de classificação dos tipos de manutenção. (desenvolvido pelo autor baseado em Chalifoux & Baird (1999))

#### **Manutenção Reativa**

A manutenção reativa ou também denominada de corretiva, curativa ou *run-to-failure*, entre outras designações, corresponde à estratégia de manutenção mais primitiva (Gama, 2017; Chalifoux & Baird, 1999; Courtois et al., 2007). Tal como o próprio nome indica, segundo esta estratégia um bem apenas recebe intervenções de manutenção (reparações, substituições de peças...) após falhar (Chalifoux & Baird, 1999). Por falha entenda-se toda a perda de função ou de desempenho de um bem (Lopes, 2011). Este tipo de manutenção ignora as oportunidades de influenciar a fiabilidade de um bem, porque nenhuma ação, por mínima que seja, é tomada para controlar ou prevenir as falhas (Chalifoux & Baird, 1999).

Dadas as características deste tipo de manutenção são várias as desvantagens que se lhe podem apontar. Entre elas, o tempo de inatividade inesperado e não programado do bem que pode ser bem longo, dependendo da falha e se os recursos necessários para a sua reparação estão disponíveis. Por exemplo, se um bem falhar e se as peças necessárias para a sua reparação não estiverem disponíveis, é ainda necessário aguardar que estas sejam encomendadas e, posteriormente, entregues. Assim, para minimizar o tempo de inatividade dos bens cuja estratégia de manutenção aplicada é reativa, as organizações devem ter altos níveis de *stock* dos



materiais necessários para as reparações, incluindo de peças de substituição, já que o seu uso não é planeado. No entanto, tal representa para as organizações elevados custos – custos de transporte, custos de armazenagem... (Chalifoux & Baird, 1999).

Em suma, as principais desvantagens deste tipo de manutenção são a baixa fiabilidade dos bens que se pode refletir na paralisação destes por longos períodos de tempo e, por sua vez, na baixa disponibilidade de produção, uma vez que pode gerar danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis, e os elevados custos (trabalho extra, *stocks*...) (Chalifoux & Baird, 1999; Gama, 2017).

### ***Manutenção Preventiva***

Ao contrário da manutenção reativa, a manutenção preventiva (PM - *Preventive Maintenance*) é realizada nos bens antes que estes falhem, ou seja, enquanto estão a operar nas condições requeridas (Gama, 2017). Entre as tarefas de manutenção preventiva estão inspeções para verificar se há algum sinal revelador de falha, ajustes, limpezas, lubrificações, calibrações e substituição de equipamentos ou componentes (Chalifoux & Baird, 1999). Segundo a Norma Portuguesa NP EN 13306:2007 e Mohamed, Sassi, & Harrath (2011), as tarefas de manutenção preventiva são efetuadas em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios prescritivos, de modo a evitar a ocorrência de falhas e paragens inesperadas dos equipamentos, sendo projetada para preservar e melhorar a fiabilidade dos equipamentos. Por exemplo, independentemente se o motor dum carro apresenta problemas, este pode ser afinado de 15 000 em 15 000 Km (Courtois et al., 2007). Outra possibilidade é realizar manutenção preventiva dirigida pelo tempo, existindo duas variações principais: manutenção preventiva com base no calendário e manutenção preventiva com base no tempo de operação do equipamento. A diferença entre estas duas variações reside no facto de, na manutenção preventiva com base no calendário, as tarefas de manutenção são realizadas após um determinado período de tempo decorrido desde a última realização que, ao contrário da manutenção preventiva com base no tempo de operação, não contabiliza apenas o tempo em que o equipamento esteve a operar, mas todo o tempo do calendário, que pode incluir períodos em que o equipamento não foi usado.

Embora a manutenção preventiva com base no tempo de operação, na maior parte das situações, seja melhor do que a com base no calendário (como de um modo geral é a operação real dum equipamento que o desgasta, faz sentido fazer a manutenção do equipamento apenas depois de este ter funcionado durante um período de tempo suficiente para incorrer em algum desgaste), este tipo de manutenção tem alguns pontos fracos.



A manutenção preventiva dirigida pelo tempo baseia-se no princípio de que existe uma forte correlação entre fiabilidade e o tempo de vida do equipamento ou componente, o que é falso para a maioria dos equipamentos. Pois, na maioria dos equipamentos na fase de vida útil, as falhas são igualmente prováveis de ocorrer em momentos aleatórios, pelo que determinar o intervalo entre o qual as tarefas de manutenção devem ser executadas num componente com um padrão de falha aleatório é no mínimo difícil. Além disso, as organizações nem sempre dispõem de dados para efetuar estes estudos estatísticos (Chalifoux & Baird, 1999). No entanto, mesmo que seja conhecida a relação entre fiabilidade e o tempo de vida do equipamento ou componente e que haja uma correlação forte entre ambos, o intervalo determinado para realizar as tarefas de manutenção preventiva pode levar a que ocorram as seguintes situações:

- a manutenção do equipamento ser realizada mais frequentemente e antes do necessário, tendo como consequência o uso ineficiente dos recursos, como a ocupação desnecessária de recursos humanos qualificados que poderiam estar a fazer outras tarefas, e eventuais paragens dos equipamentos desnecessárias;
- o equipamento falhar, pois normalmente o intervalo determinado é apenas uma estimativa baseada no que aconteceu no passado (histórico de falhas e experiência pessoal), tendo uma incerteza associada (Chalifoux & Baird, 1999; Gama, 2017).

Além disso, a manutenção preventiva considera que intervenções como a substituição de peças restauram o equipamento para uma condição semelhante a nova (os novos componentes têm menos probabilidade de falhar do que os componentes antigos do mesmo tipo), sem efeitos colaterais prejudiciais (Chalifoux & Baird, 1999). No entanto, tarefas como o desmontar dos equipamentos e manipulação de peças, muitas vezes afetam negativamente os equipamentos, pelo que devem ser realizadas apenas quando necessário, caso contrário poder-se-á aumentar a ocorrência de falhas contrariamente ao desejado (Chalifoux & Baird, 1999; Gama, 2017).

Embora uma organização que implemente um programa de manutenção preventiva possa ter um aumento significativo do número de tarefas de manutenção realizadas relativamente à implementação de uma estratégia de manutenção reativa, com todos os custos que isso possa implicar (mão-de-obra, materiais,...), tal deve reduzir a gravidade e a frequência de falhas não planeadas dos equipamentos (Chalifoux & Baird, 1999), sendo que, tudo o que é planeado tende a ficar mais barato, mais seguro e mais rápido (Gama, 2017).

Ainda que a implementação de um programa de manutenção preventiva se mostre mais prudente do que a implementação de uma estratégia de manutenção reativa, os seus pontos



fracos fazem com que a sua aplicação não seja a mais adequada em muitos equipamentos. Pois, tal como já fora referido, as tarefas de manutenção preventiva são realizadas regularmente segundo um determinado critério definido com base na experiência de pessoal qualificado e em estatísticas das falhas anteriores do equipamento que, em muitos casos, não fornecem a informação necessária para obter previsões credíveis sobre quando ocorrerá a próxima falha no equipamento (Chalifoux & Baird, 1999; Courtois et al., 2007). Note-se que, em muitas situações, a condição real do equipamento não é considerada, levando a que, por exemplo, componentes sejam substituídos quando se encontram em bom estado (Chalifoux & Baird, 1999). É de modo a evitar situações como essa que a estratégia de manutenção preditiva é implementada pelas organizações (Courtois et al., 2007).

### ***Manutenção Preditiva***

A manutenção preditiva, também conhecida como manutenção baseada em condição (CM - *Condition Monitoring*), monitoriza permanentemente o funcionamento dos equipamentos com vista a identificar indícios de falha, como desgaste, e a corrigi-los antes que a falha aconteça (Gama, 2017; Courtois et al., 2007). Assim, ao contrário da manutenção preventiva, a manutenção preditiva realiza tarefas de manutenção (ajustes, substituições de peças...) somente quando necessário, isto é, quando a condição do equipamento o justifica (Gama, 2017). Para isso, é necessário perceber quais os parâmetros críticos que refletem a condição de um componente ou sistema do equipamento, como temperatura, pressão e vibração, e os limites desses parâmetros dentro dos quais é aceitável o funcionamento do componente ou sistema do equipamento monitorizado. Ao monitorizar constantemente esses parâmetros, rapidamente são identificadas e corrigidas situações em que estes se encontrem fora dos limites, evitando deste modo falhas dos equipamentos.

No entanto, nem sempre é fácil definir os parâmetros críticos que devem ser monitorizados e os seus limites aceitáveis, nem mesmo pelo pessoal de manutenção mais experiente (Chalifoux & Baird, 1999). As tecnologias potenciadoras da Indústria 4.0 vieram, não só facilitar como também permitir realizar de forma mais eficaz esta e outras tarefas (Gama, 2017).

#### 2.2.2. Manutenção Preditiva e a Indústria 4.0

A Indústria 4.0, termo pelo qual é designada a quarta revolução industrial, pode ser caracterizada por uma fusão entre a tecnologia e o meio de aplicação na qual os componentes desse meio comunicam constantemente (Gama, 2017). Este novo modelo de indústria fundamenta que a interligação/troca de informação entre as pessoas, equipamentos e processos torna as





organizações capazes de criar redes inteligentes ao longo de toda a sua cadeia de valor, e assim, controlar e comandar os processos de forma mais eficaz e eficiente (Gama, 2017; Pinheiro, 2016). Se quando surgiu o conceito da Indústria 4.0 era algo futurista, atualmente é bem real. Tal foi possível graças à evolução e ao surgimento de tecnologias e conceitos como *Internet of Things* (IoT), Computação em nuvem, *Data warehouse*, *Machine Learning* e *Data Mining*, que vieram permitir recolher, armazenar e analisar grandes quantidades de dados mais eficazmente e eficientemente e, por sua vez tomar decisões com mais precisão e confiança (Gama, 2017; Pinheiro, 2016; Yin, Stecke, & Li, 2018). São assim muitas as oportunidades de melhoria potenciadas pela Indústria 4.0 nas mais diversas áreas. Uma dessas áreas é a da manutenção, em especial a da manutenção preditiva (Gama, 2017).

Através de dispositivos como sensores colocados nos equipamentos é possível obter dados como temperatura e pressão a que os componentes dos equipamentos estão sujeitos. A análise deste tipo de dados, juntamente com outros como histórico de falhas (se houve falha na medição correspondente...) e de manutenção (substituição de componentes...), através de tecnologias como *Machine Learning* e *Data Mining*, permite identificar eventuais padrões e tendências de falha (Chalifoux & Baird, 1999; Gama, 2017).

Em particular, em algumas organizações, o uso de *Machine Learning* mostrou ser um método válido e promissor para prever a ocorrência de falhas (Gama, 2017). Tal como o próprio nome indica, *Machine Learning* (“Aprendizado de máquina”) diz respeito a um paradigma de computação cuja característica essencial do sistema é a capacidade de aprender de modo autónomo e independente. Pois, sem ser necessário codificar a solução dum problema, um algoritmo de *Machine Learning* tem a capacidade de aprender a partir de um conjunto de dados. Através de ferramentas existentes no mercado como a plataforma analítica KNIME, de acesso gratuito, é possível implementar *Machine Learning* sem grandes conhecimentos, pois, em ferramentas como o KNIME os componentes necessários para criar os modelos estão disponíveis em módulos, com algoritmos por trás dos mesmos, que podem ser utilizados de forma intuitiva (Analide, 2018). De um modo geral, a implementação de *Machine Learning* engloba cinco etapas principais, como se pode ver na Figura 4 (Gama, 2017).

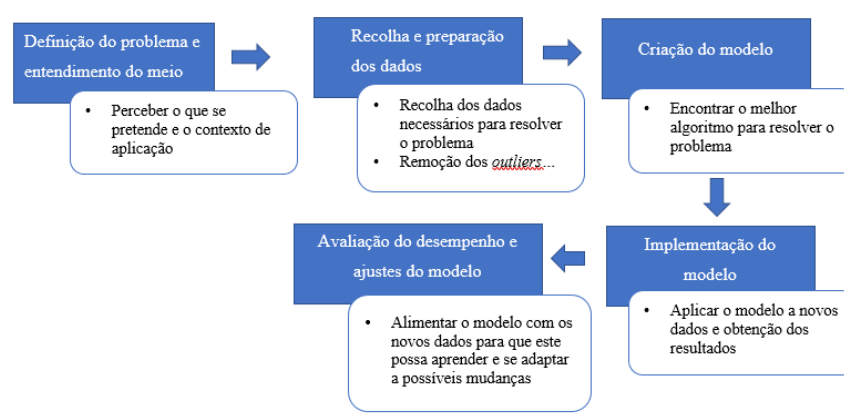


Figura 4 - Principais etapas da implementação de Machine Learning. (desenvolvido pelo autor baseado em Gama (2017) e Analide (2018))

Dependendo do conjunto de dados usados para criar o modelo, o modelo criado pode ser capaz de prever se uma falha acontecerá num futuro próximo ou quando acontecerá dado um novo conjunto de dados, necessitando esta segunda opção de mais dados como dados de tempo (data e hora). Quanto maior for a dimensão do histórico de dados mais preciso será o modelo (Gama, 2017). Estando tudo conectado, é possível alimentar o modelo de *Machine Learning* com os dados recolhidos dos equipamentos a cada momento, nomeadamente dados dos parâmetros críticos que refletem a condição do equipamento, e assim determinar em tempo real se um equipamento requer manutenção, podendo serem gerados avisos ou alarmes para que o equipamento seja intervencionado antes que a falha ocorra (Chalifoux & Baird, 1999; Gama, 2017).

Segundo Gama (2017) estima-se que, até 2025, os processos relacionados com a Indústria 4.0 poderão reduzir os custos de manutenção de equipamentos entre 10% e 40%, reduzir o consumo de energia entre 10% e 20% e aumentar a eficiência do trabalho entre 10% e 25%. Segundo o mesmo autor ao otimizar as ferramentas e processos de produção, implementando manutenção preditiva, também é possível reduzir o tempo de paragem involuntária dos equipamentos em 50% e reduzir o investimento de equipamentos em 3 a 5%, ao estender a sua vida.

Em suma, são muitas as vantagens da implementação de manutenção preditiva relativamente à implementação dos restantes tipos de manutenção. Pois, a capacidade de um programa de manutenção preditiva de prever a ocorrência de falhas, permite planear atempadamente determinadas atividades de manutenção, providenciando todos os recursos necessários (peças de substituição...) e fazendo os necessários arranjos logísticos, notificando as partes envolvidas do eventual tempo de indisponibilidade do equipamento antes que a manutenção seja executada e que a falha aconteça (Chalifoux & Baird, 1999). Dada a dimensão de prevenção de falhas,



muitos autores classificam a manutenção preditiva como uma variante da preventiva – Manutenção Preventiva Preditiva (Courtois et al., 2007).

No entanto, a manutenção preditiva nem sempre pode ser implementada e pode também não ser o tipo de manutenção mais adequado para implementar nas organizações. Pois, os sistemas de recolha, armazenamento e análise de dados têm custos, não só para instalar como também para operar e manter, pelo que este tipo de manutenção nem sempre é o mais eficiente. Além disso, existem desvantagens em tirar o “Homem da máquina”, ao substituir as inspeções de rotina dos equipamentos realizadas pelo pessoal de manutenção por CM – o Homem pode detetar alguma anomalia que não é controlada pelo programa de CM (Chalifoux & Baird, 1999).

A definição da melhor política de manutenção a implementar numa organização pode assim revelar-se numa tarefa complicada (Chalifoux & Baird, 1999). Além de que, quando não é a mais adequada pode representar elevados custos para as organizações (Daniewski et al., 2018). Estudos mundiais indicam que em muitas indústrias de diferentes setores de atividade, o uso de técnicas de fiabilidade tem permitido reduzir os custos de manutenção até 50%, sendo a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM - *Reliability Centered Maintenance*) uma metodologia usada nesse sentido (Silveira, n.d.). Note-se que, neste contexto, por fiabilidade entende-se a ciência dirigida para prever, analisar, prevenir e mitigar falhas ao longo do tempo (Nunes, 2017).

### 2.2.3. Manutenção Centrada na Fiabilidade

A RCM tem como objetivo determinar as melhores estratégias de manutenção (preventiva, preditiva e/ou corretiva), que devem ser aplicadas aos equipamentos com base em critérios de fiabilidade que decorrem da análise sistemática das falhas, com vista a assegurar que estes cumprem com as especificações que foram designadas, com a fiabilidade e disponibilidade definidas, ao custo mínimo (Moubray, 1997; Silveira, n.d.).

Nesse sentido, segundo Moubray (1997) devem ser feitas as seguintes questões sobre o ativo ou sistema em estudo:

- Quais são as suas funções e padrões de desempenho possíveis e desejados no seu contexto operacional atual?
- De que formas não cumpre as suas funções?
- O que causa cada falha?
- O que acontece quando cada falha ocorre?



- Quais são as consequências da ocorrência de cada falha?
- O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- O que deve ser feito caso não se encontre uma tarefa de manutenção preventiva adequada?

Para responder às primeiras questões pode-se recorrer a técnicas, como a Análise de modos de falha e efeitos (FMEA - *Failure Modes and Effects Analysis*) (Afehy, 2010).

### **FMEA**

O FMEA é uma técnica que procura, por meio da análise de falhas potenciais, identificar ações que possam ser implementadas com o intuito de evitar a ocorrência dessas falhas ou, pelo menos mitigar os seus efeitos (Lopes, 2011). Apesar de existirem vários tipos de FMEA, – FMEA de produto ou de projeto, FMEA de sistema e FMEA de processo – que diferem no alvo da análise (produto, sistema ou processo), os princípios da análise são os mesmos (Lopes, 2011). Esta deve contemplar os seguintes pontos:

- **Funções** de cada sistema, subsistema ou componente considerado na análise – finalidade do sistema/subsistema/componente na organização;
- **Modos potenciais de falha** de cada sistema, subsistema ou componente – eventos que podem causar estados de falha, como é o caso da deterioração de componentes;
- **Efeitos potenciais** de cada modo de falha – descrição do que acontece quando ocorre cada modo de falha, isto é, o impacto do modo de falha no desempenho do sistema, tanto a nível local como global;
- **Causas potenciais** de cada modo de falha – segundo a Norma Portuguesa NP EN 13306:2007 correspondem aos motivos que levam à ocorrência de cada modo de falha, como dimensionamento incorreto do material, corrosão e má utilização;
- **Controlos atuais** de cada modo de falha – métodos atualmente implementados pela organização para prevenir e/ou detetar cada modo de falha;
- **Ações recomendadas** para evitar a ocorrência de cada modo de falha – essas ações podem atuar ao nível das causas, tentando combatê-las, ao nível da prevenção e deteção dos modos de falha, propondo novos métodos, ou pelo menos atuar ao nível dos efeitos, tentando preveni-los ou reduzir o seu impacto (Lopes, 2011; Moubrey, 1997).

Para estudar a criticidade dos modos de falha, surgiu uma extensão do FMEA – o FMECA (*Failure Modes Effects and Criticality Analysis* - Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falha). Esta extensão, denominada por muitos autores de apenas FMEA, veio introduzir na



abordagem qualitativa de análise de falhas referida anteriormente uma dimensão quantitativa, sendo atualmente a versão de FMEA mais utilizada (Santos, 2018). O objetivo é identificar os modos de falha para os quais a implementação de ações de melhoria teria maior impacto, ajudando deste modo a definir prioridades de investimento (Pedrosa, 2014; Vieira, 2016).

Existem vários métodos para avaliar a criticidade, sendo o NPR (Número de Prioridade de Risco) um dos mais frequentemente utilizados (Raio, 2018). Segundo o NPR, a criticidade de cada modo de falha pode ser avaliada tendo em conta três fatores:

- **severidade dos efeitos** do modo de falha – gravidade das consequências da ocorrência do modo de falha, tendo em conta o impacto em áreas como segurança, ambiente, financeira e satisfação do cliente;
- **ocorrência** do modo de falha – frequência ou probabilidade de ocorrência do modo de falha, decorrente de uma causa específica;
- **detetabilidade** do modo de falha – facilidade/probabilidade de detetar o modo de falha antes da sua ocorrência ou, pelo menos antes do impacto dos seus efeitos ser sentido.

Estes três fatores, por sua vez, são avaliados de acordo com índices, previamente definidos segundo normalmente uma escala de 1 a 10, que deve ser tanto quanto possível, quantitativa e detalhada (Santos, 2018). A definição dos índices pode ter em conta vários critérios, como impacto na produção, no caso do índice de severidade, e índices de capacidade de máquina no caso do índice de ocorrência num FMEA de processo, o importante é que esteja de acordo com a organização e com o alvo da análise (equipamento...) (Lopes, 2011; Santos, 2018).

Pela multiplicação dos três índices, - índice de severidade, índice de ocorrência e índice de deteção – obtém-se o NPR para cada modo de falha.

Identificados os modos de falha mais críticos (modos de falha com maiores NPR), deve-se dar prioridade à implementação de ações que permitam reduzir a criticidade desses modos de falha. Após implementar ações de melhoria é necessário avaliar o seu resultado, voltando a avaliar a criticidade de cada modo de falha (Raio, 2018).

Em suma, o FMEA/FMECA é uma técnica qualitativa de melhoria contínua que pode ser dividida nas etapas que constam na Figura 5.

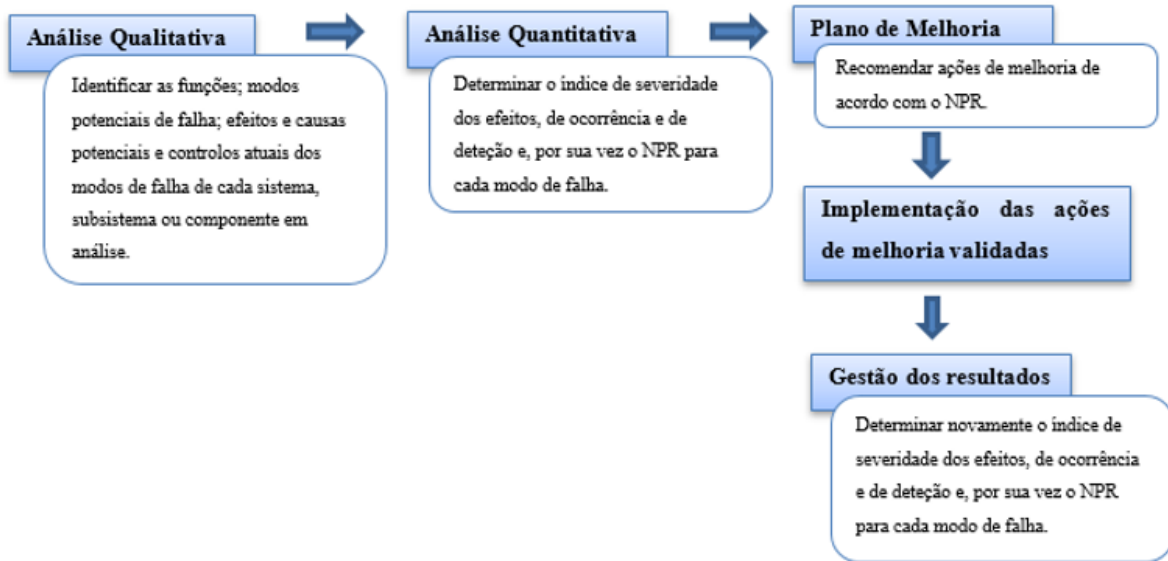


Figura 5 – Etapas do FMEA/FMECA. (Santos, 2018)

Para documentar todo este processo pode-se usar um formulário como o da Figura 6. Apesar de não existir um modelo único, note-se que o formato utilizado deve conter os pontos anteriormente referidos e estar de acordo com as necessidades da organização. Pois, dependendo do contexto em que o FMEA seja aplicado pode haver necessidade de incluir outro tipo de informação na análise, como os modos operacionais (ex. avariado, *standby*, em funcionamento) de cada componente (Lopes, 2011; Santos, 2018).

Dado o conhecimento necessário para elaborar um FMEA, este deve ser elaborado por uma equipa multidisciplinar cujo conhecimento e criatividade são importantes para o sucesso da aplicação desta técnica (Lopes, 2011; Pedrosa, 2014). A elaboração dum FMEA é normalmente um processo exaustivo, que requer o investimento de muito tempo, pelo que esta técnica apenas deve ser aplicada a sistemas/processos/produtos com grandes potenciais de melhoria (Pedrosa, 2014).

Sistema		Grupo de trabalho			Número de folha														
					Data original	Data de revisão													
		Organização/Departamento(s)																	
Componente	Função	Modo Potencial de Falha	Efeitos Potenciais da Falha	Índice de Severidade (S)	Causas potenciais da falha	Índice de ocorrência (O)	Controlos Atuais	Índice de deteção (D)	NPR	Ações recomendadas	Resultados								
											Ações implementadas	S	O	D	NPR				

Figura 6 - Exemplo de formulário de FMEA/FMECA. (desenvolvido pelo autor baseado em Lopes (2011) e Santos (2018))



Além disso, note-se que nem todos os modos de falha devem ser registados, pois tal implicaria o investimento de muito tempo. Assim, apenas devem ser registados os modos de falha razoavelmente prováveis de causar estados de falha, como:

- Modos de falha que ocorreram anteriormente no sistema em estudo ou em sistemas iguais ou semelhantes operando no mesmo contexto;
- Modos de falha que são alvo de ações de manutenção preventiva e teriam lugar caso estas ações não acontecessem;
- Modos de falha que ainda não ocorreram, mas que têm probabilidades reais de ocorrência no contexto em questão (Moubray, 1997).

Apesar desta técnica ter sido alvo de críticas por parte da comunidade científica, entre as quais o facto de considerar que os fatores de severidade, ocorrência e deteção têm a mesma importância no cálculo do NPR, o que nem sempre corresponde à realidade, a utilização desta técnica pelas organizações pode proporcionar:

- uma forma ordenada de catalogar informações sobre as falhas dos bens ou processos em estudo;
- melhor conhecimento dos problemas dos bens ou processos em estudo;
- ações de melhoria no projeto dos bens ou processos em estudo, baseadas em dados e devidamente monitorizadas;
- diminuição de custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas;
- o benefício de incorporar dentro da organização a atitude de prevenção de falhas e de trabalho em equipa, e a preocupação com a satisfação dos clientes (Lopes, 2011; Pedrosa, 2014).

Dadas as suas vantagens, o FMEA é uma das técnicas de fiabilidade mais utilizadas na indústria, sendo aplicada nos mais diversos setores de atividade, como saúde, análises ambientais e desenvolvimento de *software* (Santos, 2018). Além de que, a implementação de FMEA nas organizações é exigida para cumprir com alguns dos requisitos impostos por normas como a ISO 9001 e a ISO TS 16949 (norma do ramo automóvel) (Lopes, 2011; Santos, 2018). Em particular, a norma ISO TS 16949 especifica o FMEA como um dos documentos necessários para um fornecedor poder submeter um produto à aprovação da empresa de montagem (Lopes, 2011).

Tal como já fora referido, uma das aplicações do FMEA é na área da manutenção de ativos, auxiliando a aplicação do RCM. Respondidas as primeiras questões sobre o ativo ou sistema



em estudo, o passo seguinte é determinar a(s) estratégia(s) de manutenção mais apropriada(s) para o ativo ou sistema em estudo, ou para cada parte deste, comparando o risco de falha com o custo da manutenção necessária para mitigar esse risco e com o custo da falha. Para isso, pode ser usada uma árvore lógica de decisão, como a da Figura 7, que orienta esse processo e permite responder às duas últimas questões (Chalifoux & Baird, 1999).

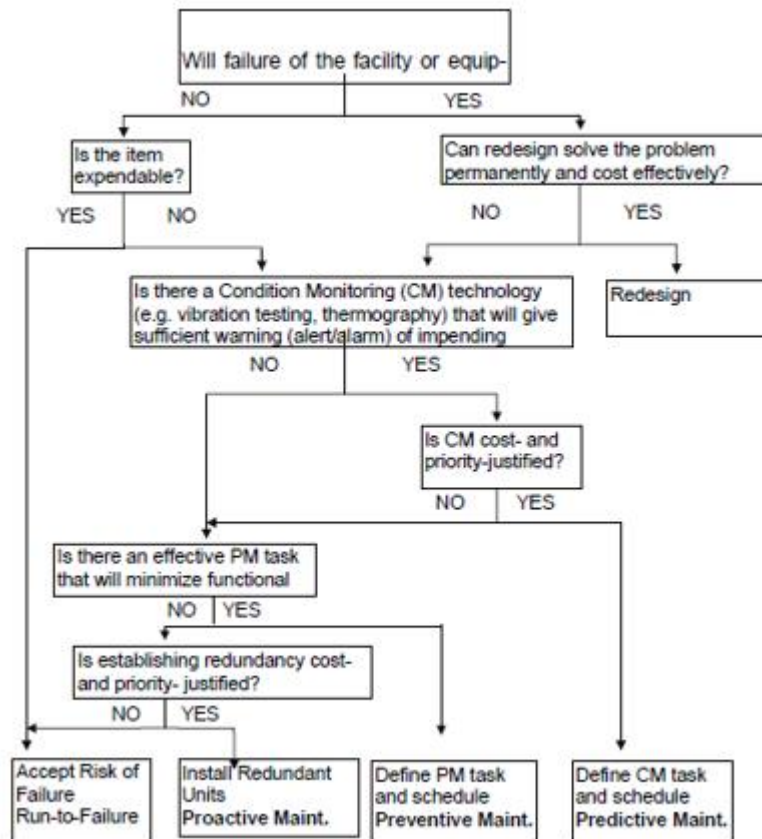


Figura 7 - Árvore lógica de decisão de RCM. (Chalifoux & Baird, 1999)

Segundo a Norma Portuguesa NP EN 13306:2007, por redundância entende-se a existência de mais do que um meio num dado instante para cumprir uma função requerida. Apesar da redundância de um ativo melhorar a fiabilidade, note-se também que aumenta o custo do ciclo de vida do sistema, pelo que a decisão de instalação de equipamentos redundantes deve ser ponderada (Chalifoux & Baird, 1999).

Considerada um elemento essencial da metodologia RCM, a **manutenção proativa** procura melhorar a manutenção com base no que se aprendeu da experiência de manutenção anterior, melhorando o *design*, os procedimentos de manutenção, entre outros. Nesse sentido, incentiva atitudes como troca de *feedback* entre técnicos de manutenção, engenheiros e *designers* dos ativos, na tentativa de garantir que os erros de *design* cometidos no passado não sejam repetidos em *designs* futuros, e reavaliação constante dos procedimentos de manutenção estabelecidos





para garantir que estes estejam a ser aplicados na combinação adequada. Para prolongar a vida útil dos ativos este tipo de manutenção usa técnicas como análise de causas raiz de falhas - RCFA (*Root Cause Failure Analysis*) (Chalifoux & Baird, 1999).

Mas serão as decisões tomadas de facto (as mais) adequadas, tendo em conta o pretendido? A resposta a esta pergunta normalmente só pode ser obtida através da avaliação dos resultados obtidos. Nesse sentido, é importante as organizações definirem indicadores de desempenho (KPI - *Key Performance Indicator*) (Daniewski et al., 2018).

### 2.3. Indicadores de Desempenho

Um indicador de desempenho pode ser definido como um “dato quantificado que mede a eficácia da totalidade ou parte de um processo ou sistema em relação a uma norma, um plano ou um objetivo que deverá ser determinado e aceite, no quadro de uma estratégia global”. Sendo que, medir por medir não tem grande interesse, pelo que a medição deve servir para tomar decisões, no sentido de melhorar a situação atual. Um KPI deve assim permitir saber onde estamos e criar a motivação para ir mais longe (Courtois et al., 2007).

A definição dos indicadores de desempenho é assim essencial antes da sua implementação. Além de estarem de acordo com os objetivos das organizações, os KPI devem ser definidos de forma a que sejam perceptíveis por toda a gente visada de forma unânime. Nesse sentido, deve-se:

- definir um nome curto e inequívoco para o indicador;
- descrever o indicador – descrever a informação por ele fornecida;
- definir o valor que se pretende atingir e valores limite para o indicador;
- definir a fórmula de cálculo do indicador, incluindo uma descrição clara dos componentes envolvidos no cálculo (Daniewski et al., 2018).

Além disso, é também importante definir as partes interessadas (utilizadores da informação) e as partes responsáveis pela medição e avaliação do valor do KPI, assim como a periodicidade de controlo, que deve estar de acordo com a capacidade de melhoria (Courtois et al., 2007; Daniewski et al., 2018).

Assim, a implementação de um sistema de indicadores de desempenho coerente e pertinente é crucial para a gestão de qualquer organização, pois sem medições não é possível ter informação real sobre os processos (Courtois et al., 2007; Lesaca et al., 2017). Dependendo das



necessidades das organizações, estas podem ter de criar os seus próprios KPI e/ou usar, e se necessário adaptar à realidade da organização em questão, alguns dos KPI que são referidos pela literatura. Por exemplo, segundo Daniewski et al. (2018), os KPI mais utilizados para avaliar a eficácia das ações de manutenção executadas e a forma como essas ações são desempenhadas são: o MTTR (*Mean Time To Repair*), o MTTF (*Mean Time To Failure*), o MTBF (*Mean Time Between Failures*) e o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Além destes, note-se que para o mesmo fim também podem ser usados indicadores como o MDT (*Mean Down Time*) e o MWT (*Mean Waiting Time*) (Hilt, Járó, & Bakos, 2016).

### 2.3.1. Eficiência Global do Equipamento

Baseado na ideia de que o potencial de operação ideal de um equipamento não é atingido devido a várias perdas, o OEE permite avaliar a eficiência de operação de um equipamento face à que seria obtida em condições operacionais ideais (Lesaca et al., 2017; Muñoz-Villamizar, Santos, Montoya-Torres, & Jaca, 2018). Segundo Nakajima (1988) as “seis grandes perdas” que afetam a eficiência dum equipamento agrupam-se em três categorias – tempo de inatividade (*downtime*), perdas de velocidade e defeitos – correspondendo, respetivamente, a:

- falhas/avarias do equipamento e a *setup* e ajustes (troca de ferramentas...);
- pequenas interrupções, devido, por exemplo, a operação anormal de sensores, e velocidade reduzida relativamente à velocidade de *design* do equipamento;
- defeitos do processo (produtos defeituosos, retrabalho) e rendimento reduzido durante o arranque do equipamento.

Através do OEE é possível obter informação acerca destas perdas (Desiombra, 2014), conhecimento que, segundo Nakajima (1988) é necessário para melhorar as condições de operação de um equipamento. Este indicador é obtido pela multiplicação de três fatores – disponibilidade, desempenho e qualidade - que se relacionam, respetivamente, com as perdas referidas anteriormente (Daniewski et al., 2018; Muñoz-Villamizar et al., 2018).

Embora o OEE tenha originalmente sido desenvolvido na área da manutenção em contexto de produção, este indicador tem sido aplicado a muitos outros contextos e adaptado às diferentes realidades de cada organização, tendo assim surgido diferentes abordagens para calcular os três fatores do OEE (Lesaca et al., 2017; Muñoz-Villamizar et al., 2018). Além disso, note-se que, mesmo em aplicações idênticas, parece não haver um consenso entre os autores quanto à forma de cálculo destes fatores (Muñoz-Villamizar et al., 2018). Na Tabela 1 apresentam-se as



fórmulas de cálculo destes três fatores segundo dois autores - Nakajima (1988), autor que definiu originalmente o OEE, e De Groot (1995) (Muñoz-Villamizar et al., 2018).

Tabela 1 - Fórmulas de cálculo dos fatores do OEE segundo Nakajima (1988) e De Groot (1995) (Adaptado de Muñoz-Villamizar et al (2018))

	Nakajima (1988)	De Groot (1995)
Quality (Q)	$\frac{\text{Input} - \text{volume of quality defects}}{\text{Loading time}}$	$\frac{\text{Actual amount of production} - \text{non accepted amount}}{\text{Actual amount of production}}$
Performance (P)	$\frac{\text{Ideal cycle time} * \text{output}}{\text{Operating time}}$	$\frac{\text{Actual amount of production}}{\text{Planned amount of production}}$
Availability (A)	$\frac{\text{Loading time} - \text{downtime}}{\text{Loading time}}$	$\frac{\text{Planned production time} - \text{unplanned downtime}}{\text{Planned production time}}$

Daniewski et al. (2018) sugerem uma abordagem um pouco diferente da de De Groot (1995), referindo que o fator de desempenho pode ser calculado através do rácio entre o número de produtos produzidos pelo equipamento e o número de produtos que se pretendia produzir ou que poderiam ser produzidos à velocidade de operação máxima do equipamento. Em relação ao fator qualidade, esclarece que este pode ser obtido pelo rácio entre o número de produtos produzidos que atendem aos requisitos de qualidade e o número total de produtos produzidos. Já Lesaca et al. (2017) apresenta uma abordagem integralmente baseada em tempo, referindo que os fatores de disponibilidade, desempenho e qualidade, e o OEE, segundo uma perspetiva global, podem ser obtidos através das fórmulas que se apresentam na Tabela 2.

Tabela 2 - Fórmulas de cálculo dos fatores de disponibilidade, desempenho e qualidade e do OEE numa perspetiva global segundo Lesaca et al. (2017)

$\text{Availability (A)} = \frac{\text{Operating Time}}{\text{Planned Utilization Time}}$	Sendo:
$\text{Performance Rate (PR)} = \frac{\text{Net Operating Time}}{\text{Operating Time}}$	$\text{Planned Utilization Time} = \text{Total Time Available}$
$\text{Quality Rate (QR)} = \frac{\text{Value adding Operating Time}}{\text{Net Operating Time}}$	$\text{Value adding Operating Time} = \text{Efficient Operating Time}$
$\text{Overall Equipment Effectiveness (OEE)} = \frac{\text{Value adding}}{\text{Total value Useful}}$	

Na Figura 8 esquematizam-se os parâmetros que influenciam o OEE segundo Lesaca et al. (2017).

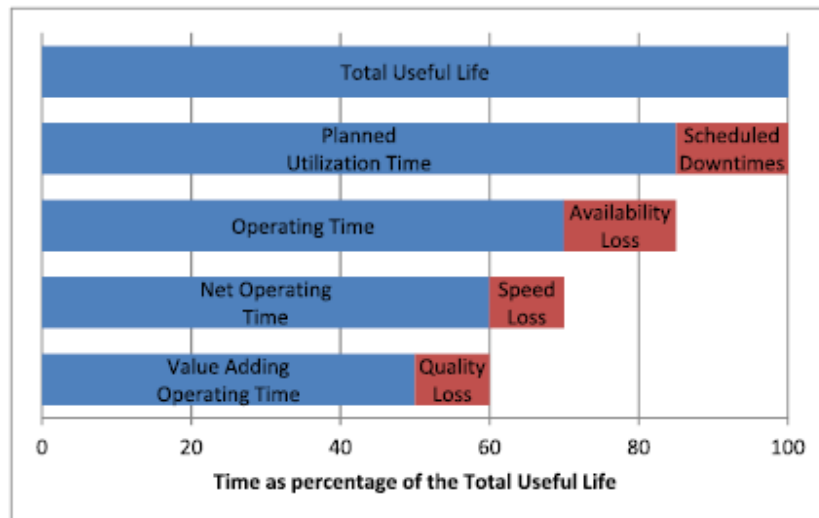


Figura 8 - Interpretação esquemática dos parâmetros que influenciam o OEE. (Lesaca et al., 2017)

A literatura aponta algumas críticas a algumas abordagens para o cálculo do OEE, nomeadamente o facto do OEE, cujo objetivo é avaliar a eficiência de operação dum equipamento, poder ser influenciado por fatores externos a este, como a eventual falta de matéria-prima e a disponibilidade de operadores (Ron & Rooda, 2006). Segundo Ron & Rooda (2006), para evitar essas influências, é mais apropriado usar o tempo disponível ou tempo planeado para produção, como considerado por De Groote (1995), como base de medição do tempo do que o *Loading Time* considerado por Nakajima (1988) na definição original do OEE, descontando deste modo as paragens previstas devido a fatores não relacionados com o equipamento.

Devido às diversas abordagens de cálculo do OEE e a outras diferenças entre as organizações, é difícil identificar valores ótimos de OEE e comparar esta métrica entre as organizações. Ainda assim, para Nakajima (1988), sob condições ideais, os valores dos índices de disponibilidade, desempenho e qualidade das organizações devem ser superiores a 0.9, 0.95 e a 0.99, respetivamente, pelo que o valor do OEE deve ser pelo menos 0.85, valor que este autor considera ser uma boa referência para uma capacidade de produção típica (Muñoz-Villamizar et al., 2018). Vários estudos realizados a nível mundial revelaram que o OEE médio nas empresas produtoras é de cerca de 0.6, pelo que ter como objetivo um OEE de pelo menos 0.85 representa um claro potencial de melhoria para muitas empresas (Lesaca et al., 2017).

Em suma, a métrica OEE procura a operação dum equipamento sem defeitos (qualidade) o mais rápido possível (desempenho) e durante todo o tempo planeado, isto é, sem paragens (disponibilidade) (Muñoz-Villamizar et al., 2018).



### 2.3.2. Tempo Médio até Falhar e Tempo Médio entre Falhas

Por vezes, é vantajoso indicar a fiabilidade de um equipamento ou sistema de uma forma genérica, independente do tempo de missão, sendo o MTBF e o MTTF comumente usados para esse fim (Crouse-Hinds, 2017; Nunes, 2017). É prática mais ou menos generalizada usar o MTBF para sistemas reparáveis e o MTTF para sistemas não reparáveis, correspondendo o primeiro ao tempo médio entre falhas consecutivas, não necessariamente do mesmo tipo ou dos mesmos componentes, e o MTTF ao tempo médio para/até ocorrer a primeira e única falha do componente ou sistema em estudo (Nunes, 2017). Segundo Hilt et al. (2016) e a Norma Portuguesa NP EN 15341:2009, o valor destes indicadores – MTBF e MTTF - pode ser determinado, respetivamente, através das Equações 8 e 9.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo de vida operacional total}}{\text{Número total de falhas}} \quad (\text{Equação 8})$$

$$MTTF = \frac{\text{Tempo total de operação}}{\text{Número de itens}} \quad (\text{Equação 9})$$

Note-se que, ao contrário do que facilmente se assume, o MTBF não corresponde à vida média ou esperada do componente ou sistema em estudo. Pois, por exemplo, após um tempo igual ao MTBF, em média, a probabilidade de uma unidade ainda estar funcional é de apenas 37% (Crouse-Hinds, 2017). Note-se também que, o valor do MTBF é normalmente função do tempo, pelo que é necessário ter cuidados ao interpretar o seu valor (Nunes, 2017).

### 2.3.3. Tempo Médio para Reparar, Tempo Médio de Indisponibilidade e Tempo Médio de Espera

Os indicadores MTTR, MDT e MWT podem ser usados para avaliar o desempenho dos serviços de manutenção. Estes indicadores que representam o tempo médio necessário para reparar um componente ou sistema em falha, tempo médio que um componente ou sistema está inoperacional devido a uma falha e tempo médio de espera entre a comunicação da(s) falha(s) e o início da sua reparação podem ser calculados através das Equações 10, 11 e 12, respetivamente (Hilt et al., 2016; norma portuguesa 15341:2009).

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total das reparações}}{\text{Número total de falhas}} \quad (\text{Equação 10})$$

$$MDT = \frac{\text{Tempo total inoperacional (devido a falhas)}}{\text{Número total de falhas}} \quad (\text{Equação 11})$$

$$MWT = \frac{\text{Tempo total de espera pelo início da reparação}}{\text{Número total de falhas}} \quad (\text{Equação 12})$$

Na Figura 9 apresenta-se um esquema ilustrativo das relações entre MTTF, MTBF e MDT.

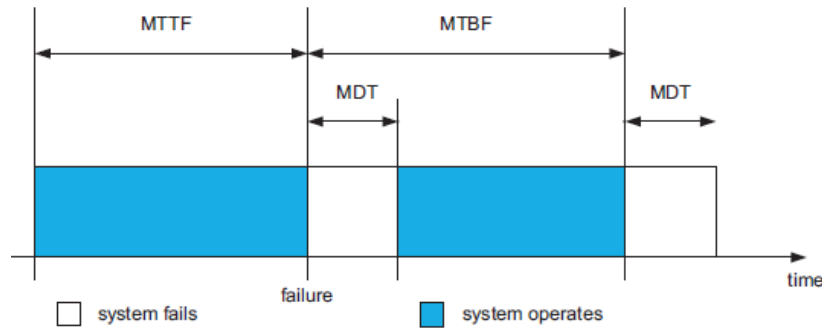


Figura 9 – Esquema das relações entre MTTF, MTBF e MDT. (Adaptado de Hilt et al. (2016))

Quanto ao MTTR e MWT, estes estão englobados no MDT, pois, o tempo em que um sistema fica inoperacional como consequência da ocorrência de uma falha compreende, não só o tempo durante o qual o sistema foi reparado, como também, o tempo que antecedeu a reparação. De facto, na prática, um sistema não começa a ser imediatamente reparado após falhar, ou seja, existe normalmente um tempo de resposta por parte dos serviços de manutenção que pode englobar, para além da deslocação até ao sistema que necessita de reparação, o tempo de aguardar a entrega de encomendas de peças de substituição necessárias, entre outros (Crouse-Hinds, 2017; Hilt et al., 2016). Através do MWT e do MTTR é assim possível identificar as causas de eventuais tempos elevados de indisponibilidade dos sistemas devido a falhas e, propor medidas no sentido de melhorar os serviços.

Em suma, os KPI constituem uma boa solução para medir o desempenho de uma organização como um todo, ou numa determinada área, como é o caso dos KPI apresentados anteriormente para avaliar o desempenho da manutenção. No entanto, note-se que são uma solução incompleta, dado que, por si só, não permitem assegurar a competitividade e o sucesso da organização - são apenas uma ferramenta de compreensão, controlo, gestão, ou seja, uma ferramenta de apoio à decisão das organizações (Courtois et al., 2007).



Página intencionalmente deixada em branco



### 3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O estágio curricular que deu mote à presente dissertação realizou-se nas instalações de uma das empresas do Grupo Internacional Eurofins Scientific – na Eurofins Lab Environment Testint Portugal, Lda. Esta empresa, centro de competências de análise de fibras totais e de amianto em amostras de ar e de materiais, é apresentada neste capítulo, nomeadamente ao nível da sua organização e modo de operação (“Eurofins Lab Environment Testing Portugal,” 2019).

A Eurofins Lab Environment Testing Portugal, situada no concelho de Paredes, distrito do Porto, é uma organização a operar, não só a nível nacional, mas também internacional na análise de fibras totais e de amianto em ar e em materiais (“Eurofins Lab Environment Testing Portugal,” 2019). De forma mais simplificada, a empresa analisa, essencialmente, materiais de construção para verificar se estes contêm amianto (Ferreira, 2016). Além de fornecer as análises do seu laboratório, através do departamento de serviços analíticos, a empresa disponibiliza uma panóplia de análises de outros laboratórios do Grupo em diversas matrizes – efluentes gasosos e ar ambiente; lamas; composto; solos; resíduos; combustíveis: Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) e pellets/briquetes; materiais; águas e, leite e sangue materno. Tal só é possível graças à tecnologia informática e à elevada capacidade logística (“Eurofins Lab Environment Testing Portugal,” 2019).

Com um investimento de cerca de 3.5 milhões de euros, a Eurofins Lab Environment Testing Portugal começou a laborar em 2015 (Ferreira, 2016). À semelhança do Grupo, desde 2015 até agora, a empresa tem crescido e evoluído muito e perspectiva-se que continue a crescer, nomeadamente em termos do número de colaboradores. Tal crescimento motivou já à ampliação das instalações, processo atualmente em curso.

#### 3.1. Clientes da empresa

Os clientes da empresa são, maioritariamente, laboratórios franceses do Grupo, que subcontratam os serviços da Eurofins Lab Environment Testing Portugal, de forma a conseguirem responder aos pedidos que lhes são feitos pelos seus clientes. São eles, o laboratório de Paris, o laboratório de Nantes, o laboratório de Saverne, o laboratório de Bordeaux, o laboratório de Saint-Étienne, o laboratório de Vèrgèze, o laboratório de Hénin Beaumont, o laboratório CEBAT - Dunkerque e, por fim, a MBU (*Manager Business Unit*),





sendo este último um grupo de clientes e o que envia mais amostras para a empresa. Apesar de cerca de 99% do trabalho da empresa ser subcontratado, a empresa também tem os seus próprios clientes, sendo estes maioritariamente portugueses e alguns espanhóis.

### 3.2. Organização e Modo de Operação da Empresa

De forma a dar a melhor resposta possível aos seus clientes, a Eurofins Lab Environment Testing Portugal está organizada em vários departamentos e unidades de negócio (BU – *Business Unit*), estruturados hierarquicamente como se mostra na Figura 10.

Tendo em conta o âmbito do presente projeto, nas secções seguintes apenas se faz referência às divisões da empresa mais relevantes para este.

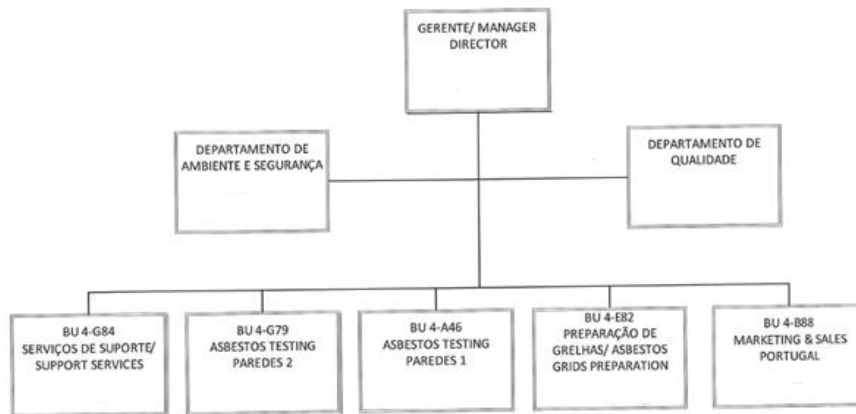


Figura 10 – Estrutura hierárquica dos vários departamentos e BU da Eurofins Lab Environment Testing Portugal.

As unidades de negócio Asbestos Testing Paredes 1 e 2 dizem respeito, respetivamente, aos Laboratórios 1 e 2, divisões que absorvem a maior parte dos colaboradores da empresa, pois é onde, efetivamente, ocorre a maior parte da produção. Neste contexto, por produção entende-se a análise das amostras e a consequente obtenção de resultados – existência ou não de amianto e ainda, nos casos em que existe amianto, o tipo de amianto.

Para dar resposta ao elevado número de pedidos de análises recebido pela empresa, ambos os laboratórios laboram 24 horas por dia, de segunda a sexta-feira, segundo 3 turnos. Sendo que, em casos excecionais, por exemplo, quando há atrasos na produção, ou em situações de grande volume de pedidos de análises, pode ser necessário haver produção também ao sábado e feriados. Nestes casos, a produção é dependente da disponibilidade dos técnicos do laboratório, laborando, normalmente, apenas 2 turnos. O horário de cada turno em cada um dos laboratórios, encontra-se apresentado na Tabela 3, onde é possível verificar que os horários diferem 30 minutos entre os dois laboratórios.



Tabela 3 – Horário de cada turno em cada um dos laboratórios da Eurofins Lab Environment Testing Portugal

	Laboratório 1	Laboratório 2
<b>Turno da manhã</b>	6:30 às 15:00 horas	7:00 às 15:30 horas
<b>Turno da tarde</b>	14:30 às 23:00 horas	15:00 às 23:30 horas
<b>Turno da noite</b>	22:30 às 7:00 horas	23:00 às 7:30 horas

Da Tabela 3 verifica-se também que, nas mudanças de turno, os dois turnos laboram em simultâneo durante 30 minutos. Nesses 30 minutos, enquanto, normalmente, o turno anterior continua a trabalhar, têm lugar tarefas auxiliares realizadas pelo novo turno, como a reposição de *stock* de consumíveis. Nos horários estão ainda contabilizados 30 minutos destinados a refeições e 15 minutos a pausas. Note-se que, à exceção do turno da noite que é fixo, os restantes dois turnos são rotativos, no sentido em que a cada 15 dias os técnicos de laboratório alternam entre o turno da manhã e o turno da tarde.

Em termos organizativos, cada laboratório possui um BUMA (*Business Unit Manager*), um responsável de produção (RP), um *team leader* por turno, ou seja, 3 *team leaders*, e ainda, um responsável pelo serviço analítico (ASM - *Analytical Service Manager*) e outro pela Codificação (uma das etapas do processo produtivo, que se explica mais à frente), segundo a hierarquia representada na Figura 11.

### 3.3. Processo Produtivo

O processo produtivo é comum às unidades de negócio Asbestos Testing Paredes 1 e 2 e pode ser dividido em 5 etapas: Codificação, MOLP (Microscópio Ótico de Luz Polarizada), PREP (Preparação), MET (Microscópio Eletrónico de Transmissão) e Validação dos resultados. Apenas no MOLP e no MET se analisam as amostras para verificar se estas contêm amianto, podendo as restantes etapas do processo produtivo serem consideradas auxiliares

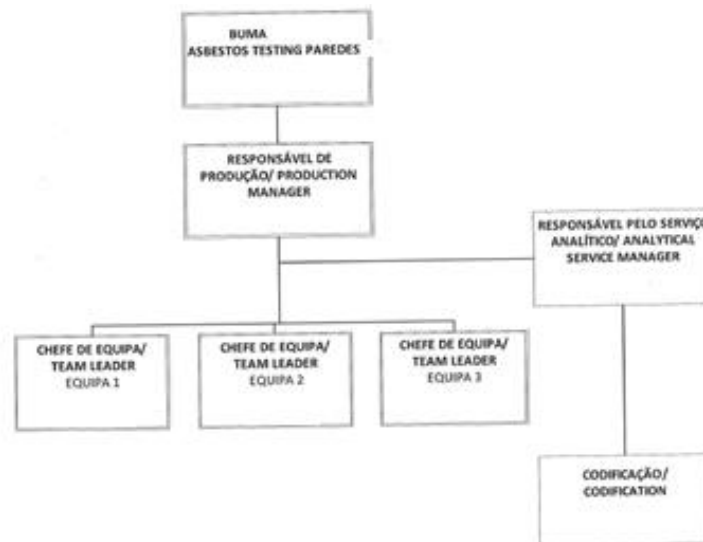


Figura 11 – Hierarquia dos Laboratórios 1 e 2.

No entanto, note-se que há amostras<sup>1</sup> cuja análise no MOLP possibilita concluir se estas contêm amianto, pelo que estas não precisam de ser analisadas no MET, e, por conseguinte, também não precisam de passar pela PREP, que apenas prepara as amostras para serem analisadas no MET. Contudo, há clientes que, mesmo que no MOLP seja possível tirar essas conclusões, exigem que as amostras sejam também analisadas no MET. Note-se ainda que, dependendo do estado/tipo da amostra e/ou do que fora especificado pelo cliente, no MOLP cada amostra pode ser separada em uma ou mais camadas (por norma correspondem a materiais diferentes), que são analisadas nesta etapa e nas posteriores etapas do processo produtivo. Mas, antes do início da produção propriamente dita, tem lugar o seu planeamento que pode ser dividido nas seguintes etapas:

- RP determinam a capacidade produtiva diária de cada turno do respetivo laboratório, isto é, o número de amostras que se prevê que cada turno do laboratório seja capaz de produzir em cada um dos dias seguintes;
- RP comunicam essa informação às ASM que, por sua vez, comunicam a capacidade de produção da empresa à unidade gestora de negócios do Grupo Eurofins em França;
- Com base nessa capacidade produtiva, a unidade gestora distribui as amostras dos laboratórios franceses pela empresa e por outros laboratórios do Grupo e comunica às ASM informação das amostras que vai enviar para a empresa, sendo normalmente a quantidade de amostras enviada ligeiramente superior à capacidade comunicada;

---

<sup>1</sup> Segundo um estudo realizado na empresa, cerca de 14% das amostras são analisadas apenas no MOLP.



- Com base na informação das amostras que chegarão à empresa, as ASM distribuem as amostras pelos vários dias de produção e por cada turno de ambos os laboratórios, e estabelecem a ordem com que estas devem ser analisadas, tendo em conta as capacidades produtivas e prioridades estabelecidas com base em critérios como a data-limite estabelecida pelo cliente para obter os resultados das análises, o tipo de análise e o tipo de cliente, e comunicam essa informação, tanto à Codificação como aos RP.

Quanto ao tipo de cliente, as amostras de clientes classificados como *rush* (aqueles que pagam uma taxa para obter os resultados das análises mais rapidamente), *premium* e prioritários têm, por esta ordem, prioridade sobre as restantes amostras. Também as contra-análises (amostras novamente analisadas a pedido do cliente) têm prioridade sob as restantes amostras.

### 3.3.1. Codificação

Chegadas as amostras à empresa, que normalmente são enviadas via aérea, estas são rececionadas na Codificação, que tem lugar na sala representada na Figura 12.



Figura 12 - Sala da empresa onde tem lugar a Codificação.

Note-se que, as amostras são enviadas para a empresa num saco *dossier*, duplamente ensacadas em saco zip e, no caso das amostras provenientes dos laboratórios franceses, etiquetadas, assim como o próprio *dossier* (conjunto de amostras definido de acordo com o pretendido pelo cliente, podendo corresponder, por exemplo, a amostras dos materiais de uma casa ou de um hotel). Nessas etiquetas consta um código de barras identificativo de cada amostra ou *dossier*, incluindo do laboratório de origem, e informação como a data-limite (*delai*) estabelecida pelo cliente para obter os resultados das análises e, no caso das etiquetas dos *dossiers*, o número de amostras que constituem o *dossier* e o nome do cliente. Já nas etiquetas das amostras consta uma pequena descrição do(s) material/ais da amostra. Entre as funções da Codificação estão:



- Verificar a conformidade dos *dossiers* – por exemplo, verificar se o número de amostras que vem em cada *dossier* está de acordo com o descrito pelo cliente e se as amostras vêm em duplo ensacamento. Dependendo da não conformidade, as amostras em causa podem ser separadas das restantes até a não conformidade ser corrigida ou esclarecida com o cliente (ex. despistar troca de amostras);
- Atribuir uma nova etiqueta aos *dossiers* e às respetivas amostras – nestas etiquetas, semelhantes às que vêm dos laboratórios franceses, consta um novo código de barras que identifica a amostra ou o *dossier* dentro da empresa (códigos com EK) e o *delai* corresponde ao prazo estabelecido na empresa. Note-se que, os novos códigos de barras são os que são lidos nas restantes etapas do processo produtivo por onde a amostra passa, permitindo aceder a informação acerca desta ou do *dossier*;
- Pintar a nova etiqueta do *dossier*, conforme se o cliente pretende que as suas amostras sejam obrigatoriamente analisadas no MET – cor verde – ou rosa, caso contrário.

A título de exemplo, na Figura 13 apresenta-se um *dossier* constituído por duas amostras, já com as etiquetas atribuídas na Codificação da empresa, referente a um cliente que permite que, se for possível, as suas amostras sejam apenas analisadas no MOLP.



Figura 13 – Saco *dossier* constituído por duas amostras, já com as etiquetas atribuídas na Codificação da empresa.

De acordo com o planeamento realizado pelas ASM (dia de produção...), os *dossiers* são organizados em *banettes* (caixas de plástico), donde são retirados, pela ordem estabelecida, para as suas amostras serem analisadas.

### 3.3.2. MOLP

A análise das amostras no MOLP, compreende as seguintes etapas:



- Observação à lupa binocular dos tipos de materiais que constituem a amostra. Sendo que, caso se detetem materiais diferentes dos descritos pelo cliente, os molpistas (técnicos de laboratório que trabalham no MOLP) devem avisar o seu *team leader*;
- Separação da amostra por camadas;
- Preparação de cada camada e posterior análise desta no MOLP (microscópio);
- Para os materiais que não se conseguiu concluir se têm amianto, os molpistas colocam um bocadinho de cada camada em tubos de ensaio.

Antes de seguirem para a PREP, no sentido de destruir a matéria orgânica – processo conhecido como calcinação - os tubos de ensaio são sujeitos a uma temperatura de 480°C durante 4.5 horas num dos fornos da empresa.

### 3.3.3. PREP

Na PREP as amostras/camadas são preparadas para serem analisadas no MET. Esta etapa engloba quatro processos sequenciais:

- **Ataque Ácido** – com o objetivo de libertar as possíveis fibras de amianto, neste processo, as amostras são sujeitas a uma série de ações, entre as quais a adição de ácido clorídrico ou etanol, dependendo da quantidade de matéria, e a passagem por um ultrassom e uma centrífuga;
- **Drenagem** – para não danificar as grelhas onde se depositam as amostras, neste processo é drenado o ácido dos tubos de ensaio que foram atacados com ácido no processo anterior. Além disso, é também adicionada água a esses tubos que, entre outras ações, são posteriormente colocados numa centrífuga e num ultrassom;
- **Diluição** – visando obter uma concentração adequada do conteúdo dos tubos a fim de as amostras serem analisadas no MET, entre outras ações, a água adicionada no processo anterior é vertida dos tubos que por lá passaram e é adicionado etanol aos tubos até se obter um ponto de diluição considerado adequado;
- **Deposição** – neste processo parte do conteúdo dos tubos de ensaio (parte da amostra) é colocado em grelhas carbonadas, produzidas na BU Preparação de Grelhas, que por sua vez são colocadas sob um pouco de *teflon* numa placa de petri pré-aquecida numa placa de aquecimento.



De salientar que, a PREP é uma das etapas do processo produtivo mais importantes no sentido em que pode influenciar os resultados obtidos. Finalizada a PREP, as placas de *petri* com as amostras são colocadas nas respetivas *banettes* para estas serem analisadas no MET.

#### 3.3.4. MET

Após se irem à estante que está junto às salas do MET buscar às *banettes* as amostras a serem analisadas, os *metistas* (técnicos de laboratório que trabalham no MET) colocam 4 grelhas no porta-amostras (componente do microscópio onde se colocam as amostras a serem analisadas que, na empresa possui 4 posições (Figura 21)). De seguida, introduzem o porta-amostras no MET e procedem à análise de cada amostra, começando pelos CQF e TPS (controles de qualidade implementados na empresa que se explicam na secção 3.3.7).

Cada amostra começa por ser analisada com uma ampliação de 80 vezes, seguindo-se uma ampliação de 15000 vezes. Neste processo, procuram-se fibras de amianto em 10 quadradinhos/aberturas (divisões das grelhas) consecutivos. Caso encontrem poucas fibras, os *metistas* contam o número de fibras encontradas, pois se a quantidade encontrada for inferior a 6%, consideram-se vestígios, podendo ser o resultado de alguma contaminação e as amostras voltam à Deposição da PREP, para serem novamente depositadas (REDROP - retrabalho da Deposição).

Se na segunda análise da amostra no MET a quantidade de fibras encontrada for novamente inferior a 6%, a amostra é reencaminhada para o MOLP (REMOLP - retrabalho do MOLP), passando novamente por todas as etapas do processo produtivo. Em situações como grelha está partida ou concentração da amostra impede a sua análise no MET, também é necessário um REDROP.

O tipo mais comum de amianto – crisótilo – é identificado por difração, pois os materiais com este tipo de amianto apresentam um padrão de difração semelhante. Já a presença dos restantes tipos de amianto é verificada através duma análise química, realizada através do EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) do MET. A título de exemplo, na Figura 14 apresenta-se a análise de uma fibra de amianto, a partir da qual se identificou crocidolite.

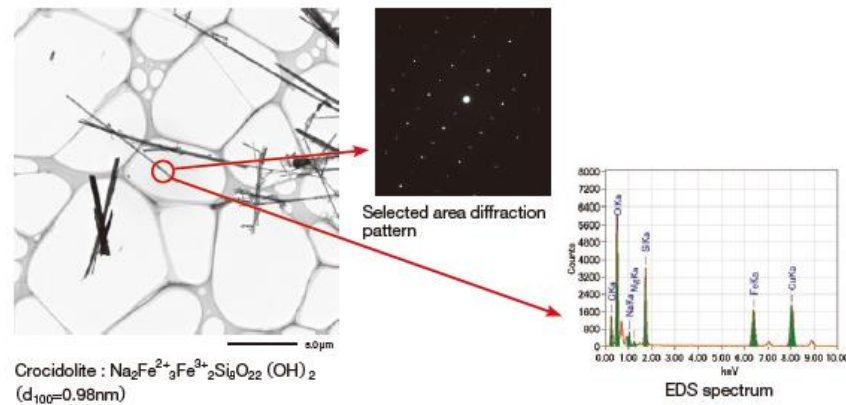


Figura 14 - Análise de uma fibra de amianto no MET, a partir da qual se identificou crocidolite. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.)

Para saberem a posição de cada amostra no porta-amostras, em cada posto de trabalho do MET existe uma folha com 4 posições, onde os *metistas* devem pôr as placas de petri respetivas às amostras colocadas na mesma posição do porta-amostras. A cada amostra analisada, os *metistas* escrevem na etiqueta da placa de petri respetiva os resultados obtidos. Depois é lido o código de barras de cada amostra e são registados os respetivos resultados no *software* interno de produção (Elims) - se a amostra contém amianto, e, nos casos em que se aplica, o tipo de amianto detetado, informação relativa à difração e à morfologia e, ainda, a percentagem da quantidade de amianto encontrada. Para cada registo, para confirmar que o *metista* introduziu os resultados, este tem de introduzir um código gerado no momento.

Por fim, tem início a última etapa do processo produtivo - a Validação dos resultados.

### 3.3.5. Validação dos resultados

Nesta etapa validam-se os resultados obtidos da análise das amostras, maioritariamente relativamente ao conjunto das amostras de um *dossier* e pouco amostra a amostra, pelo que os *dossiers* são validados à medida que termina a análise de todas as suas amostras ou por ordem de prioridade. Por esse motivo, o tamanho dos *dossiers* (número de amostras) é também um dos critérios das ASM ao estabelecer prioridades de análise – para reduzir o risco de não cumprir os prazos dos clientes, *dossiers* com mais amostras têm prioridade sob os restantes, pois nestes a probabilidade de atrasos devido a retrabalhos e outros é maior. Tipicamente realizada pelos *team leaders*, a validação dos resultados compreende, entre outros:

- Verificar a coerência dos resultados da análise das amostras em cada *dossier* – no mesmo *dossier*, amostras do mesmo tipo de material à partida devem ter ou não ter todas amianto. Em casos de incoerências, as amostras são encaminhadas para o MOLP, voltando a repetir todo o processo produtivo;





- Verificar a conformidade dos resultados obtidos nos controlos de qualidade, podendo ser necessário realizar retrabalhos, como se explica de seguida.

Para cada *dossier* validado, o sistema gera um relatório com os resultados das análises e envia-o diretamente ao cliente.

### 3.4. Controlos de Qualidade

Para controlar os resultados das análises obtidos nos Laboratórios 1 e 2 são implementados vários controlos de qualidade, cuja informação se resume na Tabela 4.

Tabela 4 – Controlos de Qualidade implementados na Eurofins Lab Environment Testing Portugal

Controlo de Qualidade	O que é?	Origem e Frequência	Objetivo
<b>CQF (Controlo de Qualidade Final)</b>	Duplicado da preparação de certas amostras a serem analisadas, incluindo a mesma quantidade	- Preparado no MOLP para os materiais que possam suscitar dúvidas quanto à deteção de amianto <sup>2</sup> e tendo em conta a capacidade do suporte dos tubos de ensaio - Implementados pelo menos 2 CQF em cada 20 tubos	Verificar se as amostras foram trocadas
<b>TPS (Testemunho de Preparação Sólida)</b>	Amostra que não contém amianto (branco)	- Preparado no MOLP - Implementado 1 TPS em cada 20 tubos	Verificar se as amostras foram contaminadas
<b>Banette metista</b>	Análise das amostras que compõem uma <i>banette</i> (máximo 20 ou 40, incluindo possíveis CQF e TPS) duas vezes	- Preparada na Deposição - Deve ser implementada uma em cada turno por laboratório todos os dias, ou seja, três <i>banettes metista</i> por dia em cada laboratório	Validar os resultados do MET e a formação dada aos <i>metistas</i>

Sendo os CQF e os TPS analisados da mesma forma que as restantes amostras, se os resultados obtidos da análise dum CQF forem diferentes dos da amostra homóloga, significa que ocorreu algum erro em alguma etapa do processo produtivo. Por outro lado, se um TPS possuir amianto, pode significar que houve contaminação na PREP de toda a sequência. Já as amostras das *banettes metista* são analisadas por dois *metistas* diferentes, registando um deles os resultados em papel para não saber os resultados dados pelo outro *metista*. Refira-se que, dado o volume de produção atual, as *banettes metista* nem sempre são implementadas com a frequência descrita na Tabela 4.

---

<sup>2</sup> Pois, há materiais que, à partida já se desconfia se têm amianto, como é o caso da cola preta que costuma ter amianto.



Dado o aumento do número de análises devido a controlos de qualidade e a retrabalhos, ao calcular a capacidade produtiva diária (número de amostras que se pode receber dos clientes e analisar por dia) os RP têm de ter isso em conta.

Note-se também que, todo o processo produtivo é monitorizado através do *software* interno de produção (Elims), onde se regista informação como: se a análise de cada amostra parou ao MOLP ou, caso contrário, segue para a PREP; os técnicos que analisaram cada amostra; entradas e saídas do forno, e eventuais retrabalhos - tipo de retrabalho (REDROP ou REMOLP) e o motivo. Relativamente aos retrabalhos, note-se que estes têm prioridade de análise sobre as restantes amostras e, normalmente para cada REMOLP é pedido um CQF.

### 3.5. Indicadores de Desempenho

O desempenho da produção de cada laboratório da empresa é avaliado recorrendo a vários indicadores de desempenho, entre os quais:

- N° de camadas do MOLP, da PREP e do MET – KPI diário que indica o número de camadas que foram analisadas no MOLP e no MET, e preparadas na PREP;
- Taxa de bem à primeira – relaciona-se com o número de retrabalhos (REMOLP e REDROP) realizados, indicando o número de amostras cujos resultados são obtidos à “primeira”. O seu valor, aquando do levantamento dos dados, era de cerca de 95%;
- N° de amostras e de camadas reportadas – número de amostras/camadas cujos resultados das análises ficaram prontos num determinado período de tempo;
- TAT – R (*Turn Around Time - Reliability*) – representa a percentagem de amostras que são validadas no prazo acordado com o cliente. Associado a este indicador, a empresa calcula, diariamente, o percentil 95 – TAT-95 – e o percentil 50 – TAT-50 - isto é, o mínimo de TAT (em dias) no qual, respetivamente, 95% e 50% das amostras são validadas;
- Produtividade;
- *Budget/capacity*.

Os valores destes indicadores ao longo do tempo, assim como informação dos objetivos estabelecidos para estes, são divulgados no quadro informativo do respetivo laboratório, permitindo aos técnicos de laboratório terem perceção do desempenho do seu trabalho. Além disso, nesses quadros também é afixada informação relativa a Segurança, a Manutenção de



Equipamentos, como práticas de bom uso destes, entre outra. A título de exemplo, na Figura 15 apresenta-se o quadro do Laboratório 2, a 18 de março de 2019.

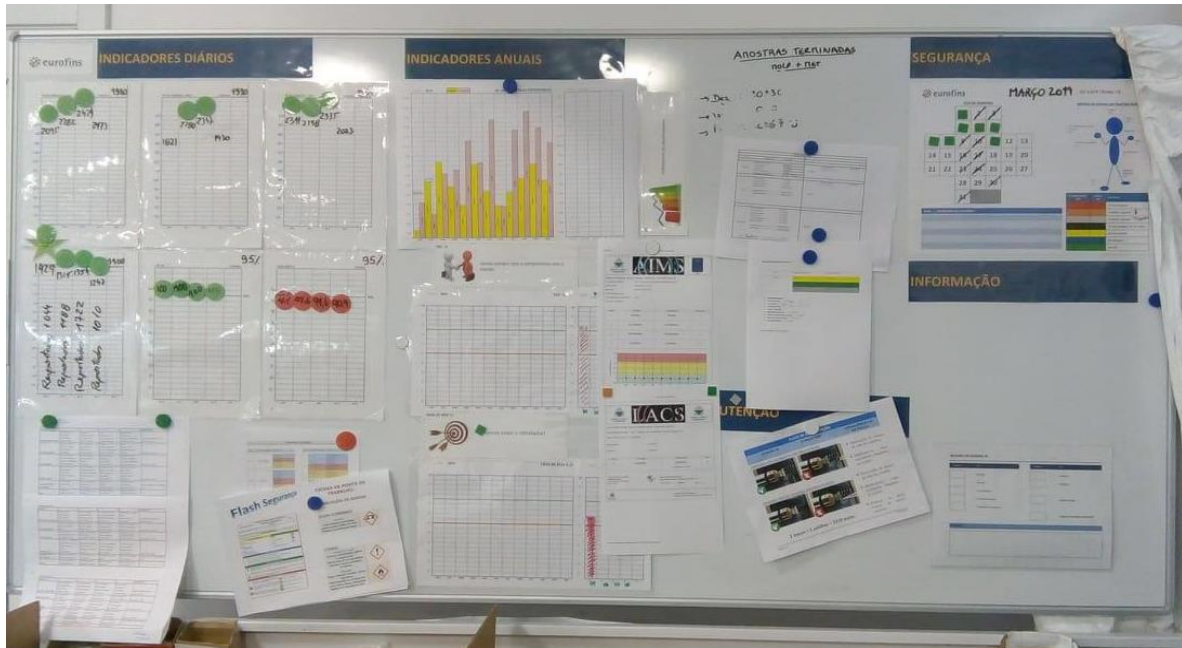


Figura 15 - Quadro do Laboratório 2 a 18 de março de 2019.

### 3.6. Serviços de Suporte

Tendo como foco os clientes internos, a BU Serviços de Suporte é constituída pelos departamentos Financeiro, de Manutenção, Técnico, de Melhoria, de Recursos Humanos e Consultoria Técnica, destacando-se para este trabalho o Departamento de Manutenção. Este departamento está encarregue de fazer a manutenção, tanto preventiva como corretiva, dos equipamentos dos laboratórios da empresa, como é o caso dos vários microscópios. Na empresa operam 3 níveis de manutenção – o nível dos referentes, um nível mais especializado e um nível mais avançado, sendo os dois primeiros internos à empresa e o outro externo, estando a cargo, normalmente, dos fornecedores/fabricantes dos equipamentos.

Os referentes são técnicos de laboratório com formação para poderem fazer manutenção, tanto preventiva como corretiva, no tipo de equipamentos que operam. Atualmente, existem 8 referentes na empresa – um por cada turno dos Laboratórios 1 e 2 para os MET que, tal como os restantes técnicos de laboratório, também são rotativos entre os turnos da manhã e da tarde, e dois alocados aos Nichos – um ao MET e outro aos evaporadores (equipamentos mais críticos), - pelo que assim a empresa garante assistência durante todo o tempo de laboração nos Laboratórios 1 e 2. No entanto, os referentes só podem fazer algumas intervenções nos equipamentos, devendo as restantes serem realizadas pelo nível mais especializado. Com



formação de nível mais especializado, existem atualmente 2 pessoas na empresa que, apesar de poderem fazer outras intervenções para além das realizadas pelos referentes, há anomalias que requerem a intervenção de pessoal externo à empresa.

### 3.6.1. Intervenções de Manutenção Corretiva

Os pedidos de intervenção de manutenção corretiva e respetiva resposta, desde a comunicação da anomalia do equipamento até à comunicação da sua operacionalização após reparação, processam-se, para todos os equipamentos dos laboratórios, do modo representado pelo fluxograma do Anexo I. Por vezes, a comunicação, tanto da anomalia como da operacionalização do equipamento, entre o *team leader* (ou responsável de turno, nos Nichos) e a equipa de manutenção especializada é feita verbalmente, por vezes até pelos referentes, em vez de por e-mail.

Para se saber quais os equipamentos disponíveis a cada momento, durante intervenções mais demoradas, são colocados nos equipamentos em causa, ou parte destes (ex. EDS do MET), avisos de “Fora de Serviço”. Note-se também que, para cada intervenção realizada pela empresa responsável pela assistência externa dos equipamentos, esta produz um relatório que é enviado para a equipa de manutenção especializada. No caso dos MET, nestes relatórios, que são produzidos pela Izasa Scientific (empresa distribuidora/representante da marca dos MET da empresa (JEOL) em Portugal), consta, entre outra informação, informação do equipamento em que se interveio (marca, modelo e nº de série), a descrição das anomalias encontradas, do trabalho realizado, assim como as datas e as horas em que foi efetuado, os técnicos que o realizaram e o respetivo orçamento. Após a reparação, estando o equipamento operacional, é comunicado ao técnico que este pode laborar no equipamento

### 3.6.2. Registos

É prática da equipa de manutenção especializada, registar as intervenções realizadas, principalmente as corretivas, no sentido de se saber tudo o que se passou com cada equipamento. Esse registo, anteriormente realizado em papel, começou a ser realizado informaticamente desde o início de 2018. Para isso, foi criado para cada equipamento um ficheiro Excel com um separador denominado Ficha de Vida “Histórico”, onde se registam as intervenções realizadas no equipamento em causa, indicando em cada registo:

- **Data/Hora Inicial e Data/Hora Final** – Data/Hora em que se verificou/comunicou a anomalia do equipamento e data/hora em que esta ficou corrigida/o equipamento ficou



pronto a laborar ou, no caso de intervenções planeadas, data/hora em que teve início e terminou a intervenção, respetivamente. Em intervenções realizadas sem impacto na produção do equipamento, a Data/Hora Final é registada como sendo igual à inicial, de modo a não ser contabilizado tempo fora de serviço e, em situações em que o equipamento foi desligado/desligou-se decorrente da anomalia/intervenção, a Data/Hora Final tem em conta o tempo de o ligar (ex. MET - cerca de 1.5 a 2 horas);

- **Tipo de Manutenção** - Interna, Externa, Verificação e/ou Calibração;
- **Descrição** – Descrição da anomalia e da reparação ou, no caso de intervenções planeadas, descrição da intervenção;
- **Resultado** – Estado do equipamento após a última intervenção realizada neste para corrigir a anomalia/realizar a intervenção planeada (Conforme ou Não Conforme);
- **Tempo fora de serviço** – N° de horas em que o equipamento esteve inoperacional ou a trabalhar com a anomalia com início em horário de produção, devido à situação registada. Geralmente, corresponde à diferença entre a Data/Hora Final e Inicial.

Esse ficheiro Excel, designado Ficha de Vida de Equipamento, além do separador do histórico de intervenções, possui outro, comumente chamado de Folha de Rosto do Equipamento - espécie de bilhete de identidade do equipamento, onde se indica:

- **N° do equipamento** – Número identificativo do equipamento no total de equipamentos da empresa. Por exemplo, o MET1 corresponde ao número 79;
- **N° Interno do equipamento** – Código identificativo do equipamento, constituído por 6 caracteres – os primeiros 4 identificativos da sua tipologia e os restantes correspondentes ao número que o identifica entre os restantes da mesma tipologia. Quando aplicável, neste campo é também especificado o n° interno de cada equipamento/subequipamento associado ao equipamento. Por exemplo, nos MET, é especificado o n° interno do microscópio (MICRxx), do detetor de elementos químicos (EDAXxx), do chiller (CHILxx), do compressor (COMPxx), da bomba (BMETxx) e do porta-amostras simples (PAOSxx) e de 4 posições (PAOMxx), sendo xx o número atribuído ao equipamento/subequipamento, por exemplo xx = 05 no MET5;
- **Descrição geral do equipamento** – Curta descrição do equipamento (marca, modelo...) e, se aplicável, de cada equipamento/subequipamento a ele associado;



- **Nº. de série** – Número de série do equipamento assim como, nos casos em que se aplica, de cada um dos equipamentos/subequipamentos a ele associados;
- **Produtor/Distribuidor** – Entidade produtora/distribuidora do equipamento;
- **Data de inspeção de receção** – Data em que se inspecionou o equipamento após a sua receção na empresa;
- **Data de início de atividade** – Data em que o equipamento começou a laborar na empresa;
- **Margem de erro (EMA);**
- **Anexos** – Anexos associados ao equipamento, que na maioria dos equipamentos refere-se ao manual de instruções; a instruções de pequenas operações elaboradas, se necessário, pelo laboratório; a um plano de manutenção (interno e externo) e a documentos relacionados com calibração, manutenção e reparações;
- **Referência das peças de substituição, Descrição e Distribuidor;**
- **Ações periódicas**, com indicação da periodicidade e do tipo de manutenção associada a cada uma (interna, externa, verificação ou calibração);
- **Comentários/Alertas** – Informação relevante como o *software* do microscópio e do EDAX, no caso dos MET.

Nos Anexos II e III apresenta-se a estrutura da Ficha de Vida dos Equipamentos, tanto do separador correspondente ao histórico de intervenções (Anexo II) como à folha de rosto (Anexo III).



Página intencionalmente deixada em branco



## **4. MET- APRESENTAÇÃO E DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL DA EMPRESA**

Tal como referido, o objetivo principal deste projeto prende-se com a monitorização e melhoria da produtividade do equipamento que dá nome à penúltima etapa do processo produtivo dos Laboratórios 1 e 2, e que também é usado nos Nichos – o Microscópio Eletrónico de Transmissão. É especificamente sobre o MET que incide o presente capítulo, onde se começa por fazer uma breve introdução ao equipamento, nomeadamente em termos do seu modo de funcionamento. Depois, apresenta-se a situação da empresa relativamente aos MET, com foco no modo como a manutenção é realizada. Por fim, apresentam-se algumas situações identificadas relativamente à gestão de manutenção dos MET que podem ser melhoradas.

### **4.1. Microscópio Eletrónico de Transmissão**

A Natureza é composta por entes e estruturas de diversas dimensões, algumas delas tão pequenas que são invisíveis a olho nu. Para poder percecioná-las precisamos de algo que as torne grandes o suficiente, como os microscópios (Miquita, 2012). A microscopia caracteriza-se por um conjunto de técnicas que permitem observar estruturas que se encontram abaixo do limite de resolução do olho humano (cerca de 0,2 mm) e assim compreendê-las melhor.

Entre os vários tipos de microscópios, o microscópio eletrónico destaca-se pelo fato da formação da imagem resultar da interação de elétrons com o material analisado, o que possibilita a aquisição de imagens com resolução muito superior às obtidas com microscópios óticos comuns. Após diversas inovações tecnológicas e descobertas na área da microscopia eletrónica, o desenvolvimento desta área derivou para dois importantes aparelhos: o Microscópio Eletrónico de Varredura e o Microscópio Eletrónico de Transmissão (Amaral & Branco, n.d.), sendo apenas este último equipamento o alvo deste projeto.

Desde o seu primeiro protótipo, desenvolvido pelos alemães Ernst Ruska e Max Knoll em 1931, até aos dias de hoje, os microscópios eletrónicos de transmissão têm evoluído no sentido de melhorar e aumentar as suas capacidades (Amaral & Branco, n.d.).

Atualmente, existem vários modelos/versões deste tipo de equipamentos, como é o caso dos JEM-1400Flash e dos JEM-1400Plus da marca JEOL existentes na Eurofins Lab Environment Testing Portugal e que se apresentam nas Figuras 16 e 17, respetivamente.





Figura 16 - JEM-1400Flash da JEOL. (“JEM-1400Flash Electron Microscope,” n.d.)



Figura 17 - JEM-1400Plus da JEOL. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.)

Apesar de existirem algumas diferenças entre MET de modelos ou de versões diferentes, o princípio de funcionamento destes equipamentos é o mesmo – um feixe de eletrões atravessa uma amostra sofrendo diversos tipos de espalhamento em função das características do material. Os eletrões que sofrem pouco desvio formam imagens de campo claro, enquanto os eletrões difratados pelos planos cristalinos do material formam imagens de campo escuro (“Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET),” n.d.). O funcionamento dum MET pode ser dividido nas seguintes partes:

1. Coluna;
2. Outros Equipamentos;
3. Comandos;
4. Computador.

### **1. Coluna**

A Coluna é a parte que engloba os principais componentes dum MET. Na Figura 18 é apresentada a configuração da coluna dos JEM-1400. O canhão de eletrões é o responsável por emitir e acelerar o feixe de eletrões de modo a que ao atingir a amostra o feixe gere um bom sinal. Entre os modelos de canhão, o mais usado é formado por um filamento de tungstênio, que serve como cátodo, por um cilindro de Wehnelt e por um ânodo (“Microscópio eletrónico de varredura,” 2019). Devido a uma diferença de potencial e/ou uma ação termoiónica, os eletrões libertam-se do filamento (Amaral & Branco, n.d.).

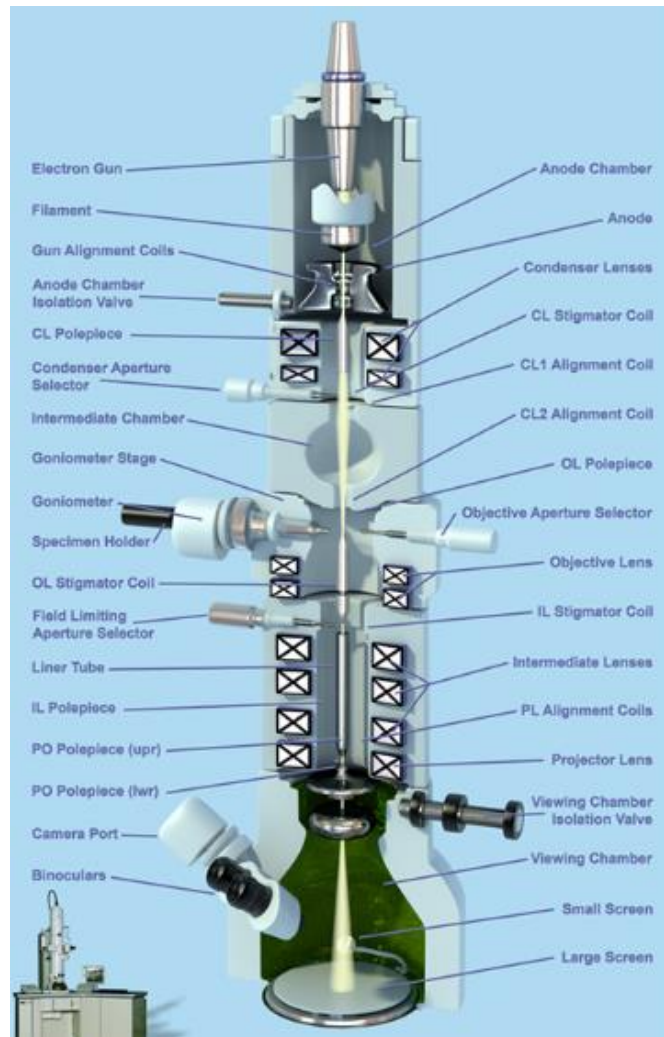


Figura 18 - Configuração da coluna dos JEM-1400. (“JEOL JEM-1400 TEM column poster,” 2019)

O cilindro de Wehnelt que envolve o filamento, fica negativamente carregado repelindo os elétrons, focando-os no centro, formando assim o feixe (“Microscópio eletrônico de varredura,” 2019). Pela alta tensão criada entre o filamento e o ânodo, o feixe é acelerado e os elétrons percorrem toda a coluna do microscópio (Amaral & Branco, n.d.; “Microscópio eletrônico de varredura,” 2019).

Através da passagem por uma série de lentes eletromagnéticas, o feixe de elétrons é focalizado sobre a amostra (“Microscópio eletrônico de transmissão,” n.d.; “Microscópio eletrônico de varredura,” 2019). Após interagirem com a amostra, os elétrons são focalizados numa lente objetiva e obtém-se uma imagem aumentada. Pela passagem por uma ou duas lentes projetoras, a imagem é ainda mais aumentada. Como os feixes de elétrons são invisíveis a olho nu, através da projeção dos elétrons sobre uma tela fluorescente ou numa película fotográfica, a imagem é revelada (“Microscópio eletrônico de transmissão,” n.d.). A Figura 19 esquematiza este processo.

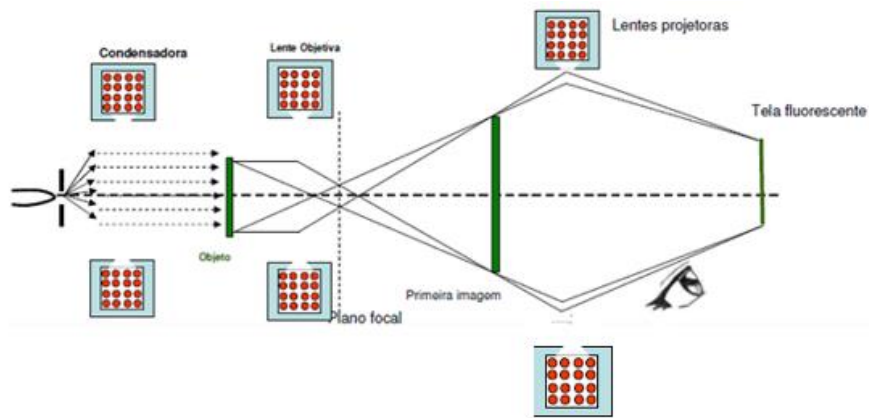


Figura 19 - Esquema do processo de formação de imagem num MET. (Miquita, 2012)

Como os elétrons são partículas carregadas que ao colidirem com outras partículas alterariam a sua trajetória, o ambiente no interior da coluna deve ser de vácuo (Amaral & Branco, n.d.). Além disso, se o feixe eletrónico entrasse em contato com muitas moléculas como as da água, poderia aumentar a agitação dessas moléculas e, conseqüentemente, aumentar a temperatura, o que poderia acarretar danos tanto à amostra como ao microscópio (“Microscópio eletrónico de varredura,” 2019).

Acoplado à coluna, há três equipamentos que se destacam:

- Goniómetro;
- Porta-amostras;
- Binocular.

### Goniómetro e Porta-amostras

O goniómetro, equipamento ilustrado na Figura 20, permite que a amostra seja atravessada e inclinada de modo a que cada parte desta possa ser examinada em vários ângulos (“Introduction to Electron Microscopes,” n.d.). Sendo que, nas análises realizadas na empresa no que toca a amianto apenas é necessário rodar o goniómetro aquando da realização da análise química.

Como se pode ver pela Figura 20, é no goniómetro que se introduz o porta-amostras. Tal como o próprio nome indica, o porta-amostras diz respeito ao equipamento onde se colocam as amostras a serem analisadas. Existe uma grande variedade de porta-amostras, entre os quais o porta-amostras de 1 posição (porta-amostras simples) e o porta-amostras de 4 posições (porta-amostras múltiplo), existentes na Eurofins Lab Environment Testing Portugal para cada MET.

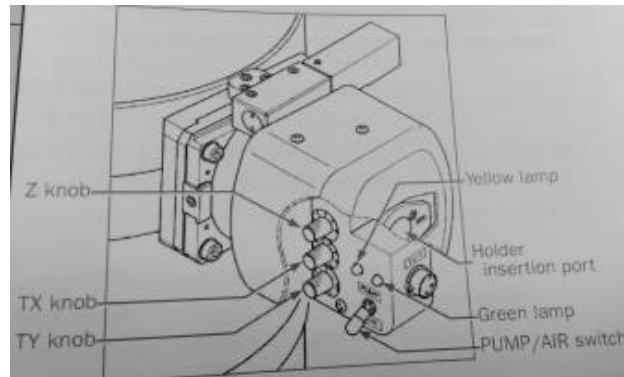


Figura 20 - Configuração do goniómetro dum MET<sup>3</sup>.

Estes dois tipos de porta-amostras apenas diferem no número de amostras que podem acomodar – o porta-amostras simples apenas pode acomodar 1 amostra enquanto o porta-amostras de 4 posições pode albergar até 4 amostras de cada vez. Na empresa, o porta-amostras simples é usado pelos *metistas* em formação.

Na Figura 21 apresenta-se a configuração dum porta-amostras de 4 posições assim como dos objetos a ele associados para a sua boa utilização.

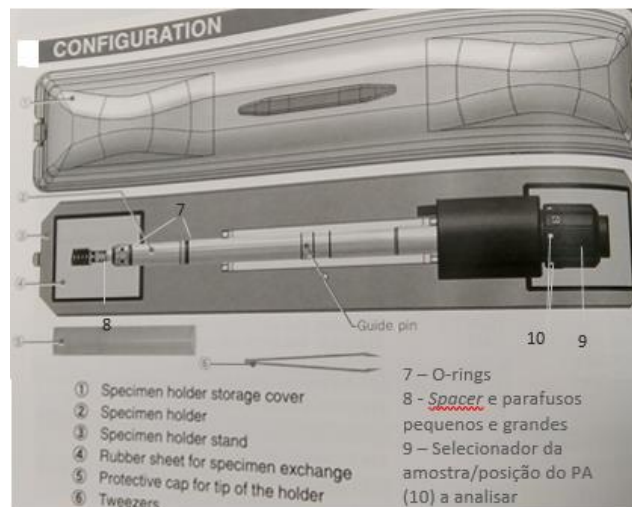


Figura 21 - Configuração dum porta-amostras de 4 posições assim como dos objetos a ele associados para a sua boa utilização. (Adaptado de<sup>3</sup>)

Entre os componentes dum porta-amostras destacam-se o parafuso guia (*Guide pin*) e as patilhas (ou patilha, no caso do porta-amostras simples). O parafuso guia, ao conectar-se com um componente do goniómetro – o sensor amarelo – permite que o sistema de vácuo seja acionado e, conseqüentemente, se possa proceder à análise das amostras. Na empresa, os *metistas* têm de esperar, em média, 1 minuto e 20 segundos, o chamado tempo de vácuo, pela

<sup>3</sup> Fonte: Manual dos MET da empresa.



obtenção do vácuo antes de poderem introduzir o porta-amostras no MET, caso contrário podem danificar as válvulas que ainda estão fechadas. Já as patilhas, correspondem a uns componentes em cobre, existentes na ponta do porta-amostras, onde se colocam as amostras a serem analisadas, como se mostra na Figura 22 para um porta-amostras de 4 posições.



Figura 22 - Ponta onde se colocam as amostras dum porta-amostras de 4 posições. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.)

No sentido de evitar danos no porta-amostras, é importante seguir algumas práticas de boa utilização, como o uso das coberturas protetoras, tanto do porta-amostras como da sua ponta (parte onde se colocam as amostras) no transporte deste. Também ao trocar as amostras é importante fazê-lo com o porta-amostras colocado no suporte e usando a pinça de plástico para abrir e fechar as patilhas, uma de cada vez, como se mostra na Figura 23 para o porta-amostras simples.

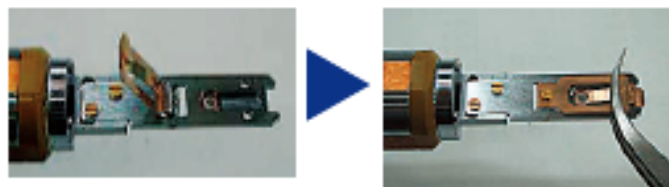


Figura 23 - Modo como se deve manusear a patilhas dos porta-amostras, aplicado ao caso do porta-amostras simples. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.)

## Binocular

A binocular é um equipamento que, nas análises realizadas na empresa no que toca a amianto, nem sempre é necessário, sendo usado apenas para ver melhor, por exemplo, questões relacionadas com a difração.

## 2. Outros Equipamentos

Para um MET poder funcionar são ainda essenciais outros equipamentos como: chiller; compressor de ar; bomba rotativa; e fonte de alimentação.

O chiller tem como função arrefecer o circuito fechado de água que, por sua vez, arrefece as lentes do MET. Para o correto funcionamento do chiller é importante manter alguns parâmetros como o nível da água e a temperatura ambiente ( $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ). Quando o valor de algum desses



parâmetros não se encontra dentro do intervalo de valores predefinido o chiller emite um alarme sonoro. O compressor de ar em conjunto com a bomba rotativa é responsável por regular o sistema de vácuo. Na Figura 24 apresenta-se um modelo de um chiller, de um compressor de ar e de uma bomba rotativa, respetivamente.

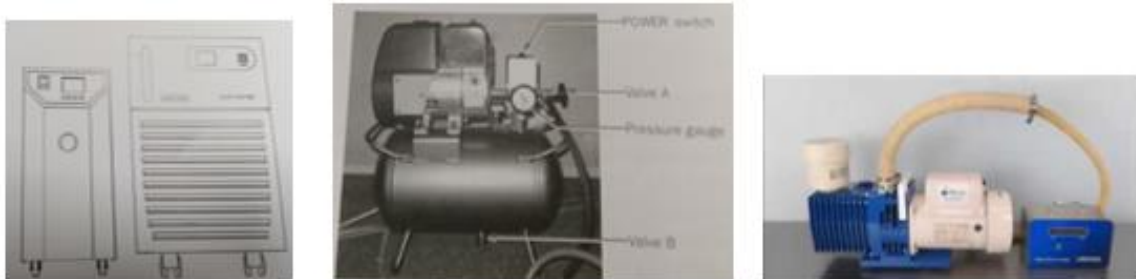


Figura 24 - Modelo de um chiller, de um compressor de ar e de uma bomba rotativa, respetivamente. (Adaptado de <sup>3</sup>)

Um MET permite ainda acoplar uma grande variedade de equipamentos opcionais, onde se incluem sistemas EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), ou também denominados EDAX (Gallego, 2017; “Microscopia Eletrónica TEM,” 2017). O EDAX é um detetor de elementos químicos que permite a determinação, tanto qualitativa como quantitativa da composição química de amostras (Gallego, 2017). Pois, da interação do feixe de eletrões com o material analisado geram-se raios-X característicos que fornecem informações sobre os elementos químicos presentes na amostra (“Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET),” n.d.). Tal como já fora referido, o EDAX é usado na Eurofins Lab Environment Testing Portugal para verificar a presença de tipos de amianto diferentes de crisótilo. Como o crisótilo é o tipo de amianto mais frequente, nem todas as análises requerem o uso do EDAX.

### 3. Comandos

Para facilitar a sua operação, um MET possui uma série de comandos, como uma *trackball* e botões dispostos em painéis. Em particular, no que diz respeito à *trackball*, ou seja, a uma espécie de rato, note-se que o seu apontador no microscópio designa-se por *stage*. A título de exemplo, na Figura 25 apresentam-se os comandos do JEM-1400Plus.

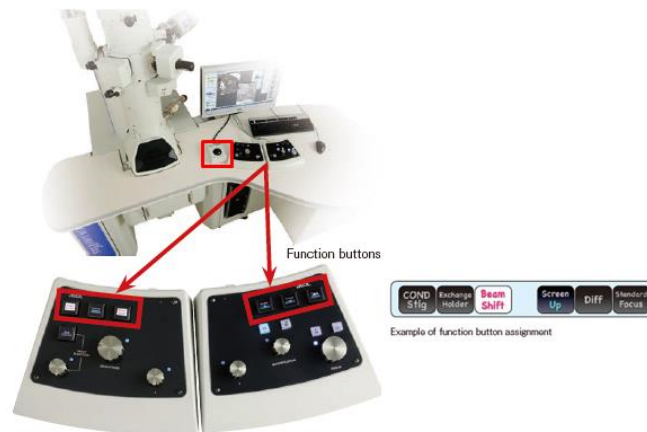


Figura 25 - Comandos do JEM-1400Plus. (“JEM-1400Plus Electron Microscope,” n.d.)

#### 4. Computador

No sentido de monitorizar o seu funcionamento, bem como auxiliar a análise das amostras, um MET está associado a um computador no qual é instalado o seu *software*. Entre outras funcionalidades, o *software* permite ver o estado de vácuo/evacuação, bem como o estado (aberto ou fechado) de cada válvula, como se mostra na Figura 26. Note-se que, o *software* tem um menu referente a manutenção que, atualmente, na Eurofins Lab Environment Testing Portugal, apenas pode ser acedido por técnicos especializados externos à empresa.

Por fim, note-se que, para o bom funcionamento e fiabilidade do MET, a temperatura ambiente do local onde este se encontra instalado deve estar entre os 20°C e os 25°C, caso contrário todos os sistemas do MET, sobretudo a parte eletrónica, estão sob esforço. No entanto, note-se que, os MET têm mecanismos de proteção que fazem com que este se desligue em situações que podem danificar o equipamento.

#### 4.2. Situação Atual na empresa

Os MET são equipamentos complexos, cujo valor unitário ronda os 250 000 €. Atualmente, a empresa possui 16 MET, dos quais 9 deles estão afetos ao Laboratório 1, 6 ao Laboratório 2 e um deles (MET9) aos Nichos. No início da sua atividade em 2015, a empresa apenas possuía 2 MET, número que foi aumentando ao longo do tempo, pelo que os MET não têm todos a mesma idade na empresa. Porém, todos os MET da empresa são da marca JEOL, modelo/versão JEM-1400Plus ou JEM-1400Fash. Note-se também que, a alocação dos MET aos laboratórios não é fixa, podendo, em algumas situações, por exemplo, devido ao volume de produção, ocorrerem transferências de MET entre laboratórios.

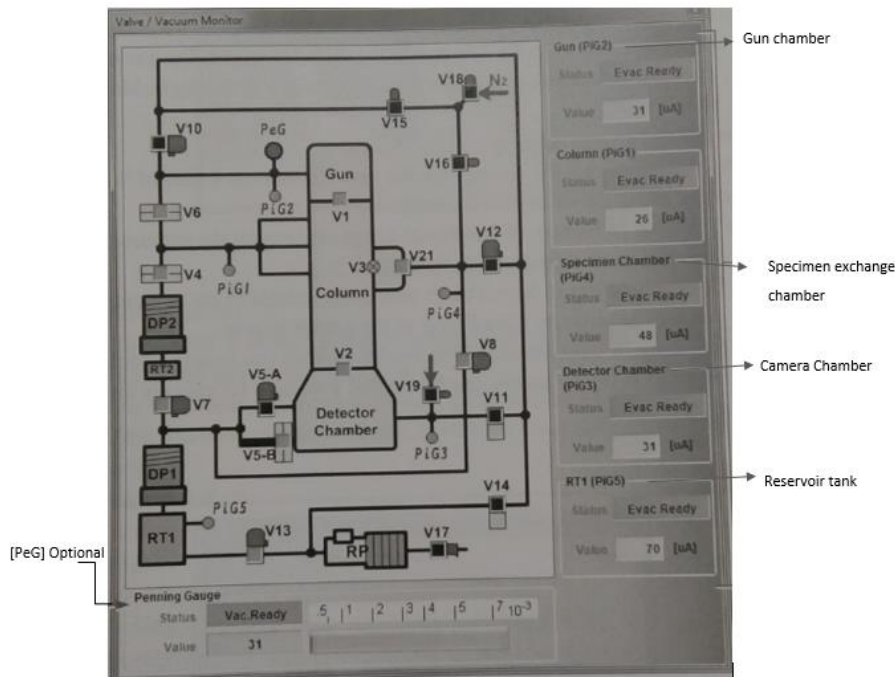


Figura 26 - Janela do software referente ao sistema de vácuo. (Adaptado de<sup>3</sup>)

#### 4.2.1. Problema dos MET

Devido ao grande volume de produção, a utilização dos MET na empresa é superior relativamente à maioria das aplicações para as quais este tipo de equipamentos foi concebido, pelo que os MET na empresa (os seus componentes) desgastam-se mais rapidamente. A utilização anormal, aliada ao facto dos MET serem equipamentos muito sensíveis, faz com que sejam frequentes avarias nestes equipamentos. Apesar de existirem anomalias que, ou por a reparação poder ocorrer enquanto o *metista* trabalha (por exemplo, fazendo o registo dos resultados das análises) ou por a anomalia não limitar o normal funcionamento do MET, não têm impacto na produção, outras há que podem indisponibilizar o equipamento ou parte deste (ex. EDAX) durante meses, tendo obviamente impacto na produção. Assim, decorrente de anomalias no MET, podem-se definir diferentes modos operacionais – inoperacional, condicionado, produção menor e funcionamento normal com anomalia. Por inoperacional, entende-se quando o MET não pode laborar. Já quando o MET pode laborar, não podendo realizar todas as suas funcionalidades, diz-se que está condicionado. Por exemplo, quando apenas o EDAX está inoperacional, o MET pode ser usado para analisar as amostras, não podendo apenas realizar a análise química. Com produção menor, o MET pode laborar, podendo realizar todas as suas funcionalidades, mas a um ritmo de produção menor. Exemplo deste último caso, é quando se parte alguma patilha do porta-amostras, pois, de modo a não danificar outros componentes do MET, este não pode continuar a laborar. Atualmente na





empresa, as patilhas apenas podem ser substituídas pela equipa de manutenção especializada, no entanto, na indisponibilidade desta, os referentes podem tirar a patilha danificada, podendo o MET continuar a laborar, mas a um ritmo de produção menor, pois o porta-amostras albergará menos de 4 amostras de cada vez.

Por fim, o modo “funcionamento normal com anomalia” refere-se a quando o MET possui alguma anomalia que não tem qualquer impacto na sua laboração, por exemplo, quando o diafragma de contraste está contaminado. Pois, como existem várias posições para ver as amostras com contraste, a contaminação de alguma não tem qualquer impacto na produção. Além disso, nas análises realizadas na empresa no que toca a amianto, o contraste é apenas auxiliar da análise e nem todos os *metistas* veem com contraste, pelo que na eventualidade de estarem todas as posições contaminadas, esta situação só afetará *metistas* que veem com contraste. Dada a imprevisibilidade das avarias, por vezes é prática da empresa planear a produção considerando que se tem um MET disponível a menos.

#### 4.2.2. Manutenção dos MET

No sentido de verificar se o MET está operacional para analisar as amostras, cada *metista* antes de começar a laborar em cada MET, começa por verificar alguns parâmetros como, o alinhamento do feixe e a difração. Para tal, é analisada uma amostra padrão que, ao se saber que contém crisótilo, dependendo do que o *metista* observar ao MET, este saberá se o equipamento está conforme. Em cada sala dos MET existe afixada na parede uma folha onde os *metistas* devem registar essa informação – o seu nome e se o MET está conforme em cada parâmetro verificado. Caso o MET não esteja conforme, deve ser feito um pedido de intervenção de manutenção corretiva.

Tal como já fora referido, os pedidos de intervenção de manutenção corretiva e respetiva resposta para os MET, assim como para os restantes equipamentos dos laboratórios, processam-se do modo representado pelo fluxograma apresentado no Anexo I. Sendo que, recentemente, no email padrão de comunicação das anomalias referentes aos MET alocados ao Laboratório 2 à equipa de manutenção especializada, o *team leader* indica também o nome do *metista* que comunicou/originou a anomalia.

No caso da equipa de manutenção especializada não conseguir resolver a anomalia, esta é comunicada à empresa responsável pela assistência externa que, no caso dos MET é a Izasa Scientific. Dependendo da anomalia, a Izasa Scientific, por sua vez, pode ter de contactar outras entidades, como a Oxford Instruments, no caso de anomalias no EDAX, a PenaChama, no caso



de anomalias no chiller ou a JEOL. Segundo o acordado entre a empresa e a Izasa Scientific, esta última tem 72 horas úteis para responder aos pedidos de intervenção (começar a analisar e a ver qual é o problema - diagnóstico), no entanto não há nenhuma penalização quando as 72 horas são excedidas. Os técnicos de manutenção externa são responsáveis por trazer todo o material necessário para reparar os MET, incluindo peças de substituição (por regra, as peças que estes necessitam não existem em *stock* na empresa).

Relativamente aos materiais/peças de substituição necessários pelos técnicos de manutenção interna para intervirem nos MET, a sua gestão está a cargo da pessoa responsável pelas compras da empresa. Entre as peças de substituição existentes na empresa estão patilhas, filamentos de tungstênio e tubos de cobre do goniómetro.

Além do possível impacto na produção, muitas anomalias dos MET podem também representar elevados custos para a empresa. Por exemplo, por cada patilha substituída por uma nova por parte da equipa de manutenção especializada a empresa incorre num custo de cerca de 500€ (preço de cada patilha). Já os custos com muitas das anomalias reparadas pela Izasa Scientific, estão incluídos num valor fixo pago mensalmente pela empresa a esta entidade acordado a cada ano e que consta no contrato de manutenção estabelecido entre ambas. Este valor inclui todos os custos, desde deslocação, mão-de-obra e peças de substituição que as reparações das anomalias dos MET possam englobar, à exceção de: anomalias relacionadas com o goniómetro, anomalias dos materiais do porta-amostras, e de algumas anomalias do EDAX e da binocular. As anomalias dos equipamentos associados ao MET, como o chiller e o compressor, assim como de componentes do MET, como a tecla *low mag*<sup>4</sup>, também podem representar custos que não estão incluídos no contrato de manutenção quando estes equipamentos ou componentes estão fora da garantia. Segundo o que consta nos relatórios enviados pela Izasa Scientific, as reparações efetuadas pelo seu serviço técnico têm garantia de 90 dias, a partir da data da sua finalização, cobrindo tanto materiais substituídos como mão-de-obra e deslocações. No entanto, a garantia não cobre a reparação de quaisquer outras anomalias que possam apresentar sintomas iguais ou parecidos.

Dados os inconvenientes da ocorrência de anomalias dos MET, a empresa possui um plano de manutenção preventiva que visa evitar a ocorrência dessas anomalias ou, pelo menos detetá-las a tempo de minimizar as suas consequências. Desse plano, fazem parte tarefas de manutenção

---

<sup>4</sup> Botão que permite aos *metistas* visualizar a amostra no painel de menor ampliação (*low mag*).



que devem ser desempenhadas segundo uma determinada periodicidade e por um técnico da respetiva equipa de manutenção responsável, como se mostra na Tabela 5.

Tabela 5 – Tarefas de manutenção preventiva e respetiva periodicidade e equipa de manutenção responsável, realizadas nos MET da empresa

Periodicidade	Tarefas de manutenção	Equipa de manutenção responsável		
		Referentes	Especializada	Externa
<b>Semanal</b> (Mais ou menos 30 minutos em horário decidido pelo RP)	<b>Porta-amostras:</b> - Limpeza; - Lubrificação dos <i>o-rings</i> ; - Verificação do estado dos componentes do porta-amostras.*	x		
	<b>Chiller:</b> - Verificação do valor dos parâmetros (temperatura, nível da água, caudal nos caudalímetros); - Limpeza do radiador; - Verificação do estado das mangueiras.*	x		
	<b>Trackball:</b> Limpeza.	x		
	<b>Diafragmas:</b> - Alinhamento; - Verificar se há contaminação.	x		
	<b>EDAX:</b> Verificar se <i>tilt</i> a 20°C, padrões de crisólito, amosite, crocidolite e tremolite e, percentagens dos elementos químicos de cada padrão.	x		
	<b>Feixe:</b> Alinhamento e ajuste.	x		
<b>Mensal</b>	<b>Compressor:</b> - Purga do compressor; - Verificação do nível do óleo.	x		
	<b>Goniómetro:</b> - Limpeza; - Lubrificação do tubo de cobre, do seu <i>o-ring</i> e do <i>o-ring</i> da válvula; - Verificação do estado dos componentes do goniómetro e, se necessário, retificação/substituição.		x (Ao sábado quando não há produção)	
<b>Anual</b>	<b>Manutenção geral</b> (Micro, <i>Chiller</i> , compressor, bomba de vácuo...): - Limpeza total (radiador do <i>chiller</i> , coluna/ânodo); - Mudança do óleo do compressor e da bomba de vácuo e, mudança da "água" do <i>chiller</i> ; - Substituição dos <i>o-rings</i> e do parafuso guia do porta-amostras, de diafragmas, do <i>o-ring</i> do goniómetro, do filtro, do ventilador e do tubo do <i>chiller</i> (indica o nível de água), dos vedantes do compressor e da bomba de vácuo e, do filtro desta última; - Adição de isopropanol à água do <i>chiller</i> .			x
	<b>Metrologia</b>		x	

\*Se necessário, retificação de anomalia/substituição de componentes pela equipa de manutenção especializada.

De forma a orientar o trabalho e registar o que foi realizado, a empresa possui uma *checklist* com as tarefas de manutenção preventiva que devem ser realizadas, tanto pelos referentes como pela equipa de manutenção especializada. No caso dos referentes, esta *checklist* deve ser preenchida incluindo os campos destinados à sua identificação, à identificação do MET em que se interveio e a data dessa intervenção, e enviada à equipa de manutenção especializada. Note-se que, a cada referente foi atribuído um conjunto de MET, mais ou menos fixo, pelos quais este é responsável por realizar as tarefas de manutenção preventiva.

Relativamente às tarefas da responsabilidade da equipa de manutenção externa, note-se que estas constam do contrato de manutenção, pelo que não têm custos extra para a empresa. Após a sua realização, os MET só devem começar a laborar novamente (o que nem sempre acontece) após a equipa de manutenção especializada verificar alguns parâmetros (fazer a metrologia destes parâmetros) que se alteram decorrentes de intervenções como a abertura da coluna e a



troca do parafuso guia. Caso se detete alguma anomalia decorrente da manutenção anual realizada pela equipa de manutenção externa ou que alguma das tarefas acordadas não foi realizada, como a substituição dos o-rings, essa equipa é responsável por repor a situação normal, sem custos para a empresa.

Por fim, note-se que, no plano de manutenção não consta apenas o planeamento (data) das tarefas de manutenção periodicamente realizadas nos MET, mas também o planeamento das tarefas que são realizadas em vários outros equipamentos dos laboratórios, como se pode ver no excerto do plano de manutenção dos equipamentos apresentado no Anexo IV. Devido ao grande volume de produção da empresa, o facto de uma tarefa (de metrologia ou de manutenção preventiva) constar do plano de manutenção não é garantia de que seja sempre realizada, muito menos na data prevista. Por outro lado, a realização das tarefas de manutenção preventiva não garante que as anomalias não ocorram, mas “apenas” que a sua taxa de ocorrências será menor. Assim, de modo a reduzir o eventual impacto na produção devido a anomalias dos MET, a empresa possui, ou tem ao seu dispor, os seguintes equipamentos de substituição: 4 chillers e mais um disponibilizado pela Izasa; 1 goniómetro; e 1 compressor e 1 EDAX que poderão ser cedidos pela Izasa.

Para dar a conhecer aos BUMA do Laboratório 1 e 2 os problemas que ocorreram em cada semana com os respetivos MET, nomeadamente o seu impacto na produção, semanalmente os técnicos da equipa de manutenção especializada enviam-lhes um relatório. Nesse relatório (de nome Breakdown) constam, separadas por laboratório, algumas das anomalias que ocorreram em cada MET, assim como manutenções planeadas realizadas com impacto (não só por datas dessa semana mas também das semanas anteriores, pois o relatório é único, sendo atualizado semanalmente), descritas de forma uniformizada, custos, poupanças<sup>5</sup> e tempos fora de serviço respetivos, permitindo assim ter noção da relação destas variáveis e evolução ao longo do tempo.

No Anexo V apresenta-se, a título de exemplo, um excerto do Breakdown do Laboratório 1 em 2019. Refira-se ainda que todas as semanas há uma reunião entre os BUMA, os RP e a equipa de manutenção especializada onde são discutidos os problemas ocorridos com os equipamentos dos laboratórios, onde se incluem os MET, e propostas melhorias.

---

<sup>5</sup> Por poupança entende-se o custo que se teria, por exemplo, se as equipas de manutenção internas não conseguissem reparar determinadas peças (ex. patilhas) que, ao contactar a assistência externa são substituídas por novas.



### 4.3. Problemas identificados na Gestão da Manutenção

Tendo em conta a situação atual, identificaram-se alguns problemas na empresa, em termos da gestão da manutenção dos MET, que podem ser ultrapassados. Estes problemas podem ser agrupados em três grupos:

#### 1. Plano de manutenção e registo da realização das tarefas planeadas:

- Plano de manutenção não está estruturado de forma que os técnicos de manutenção possam facilmente ter noção das tarefas de manutenção planeadas para cada dia e informar outros interessados, como os RP acerca do tempo necessário para manutenção planeada, de forma a estes últimos planearem melhor a produção;
- Não há registos, pelo menos de forma expedita (há a *checklist* preenchida pelos referentes e alguns registos no separador do histórico das fichas de vida dos equipamentos), sobre se as tarefas planeadas foram de facto realizadas e quando foram realizadas.

#### 2. Registo das intervenções corretivas realizadas nos MET:

- O registo das intervenções corretivas realizadas em cada MET (Ficha de Vida – separador do histórico) não é uniformizado (técnicos diferentes e, por vezes até o mesmo técnico referem-se à mesma anomalia de forma diferente e nem todos os registos possuem o mesmo tipo de informação (campo Descrição), estando assim muito sujeito a enganos), dificultando qualquer estudo.

#### 3. Avaliação e melhoria da situação atual da manutenção dos MET:

- Histórico de intervenções corretivas realizadas nos MET impossibilita tirar conclusões acerca das causas da ocorrência das anomalias;
- Todas as semanas a preparação do Breakdown exige tempo aos técnicos de manutenção especializada, para registar a mesma informação que já registaram no histórico de intervenções das fichas de vida dos equipamentos, mas de forma uniformizada com a respetiva informação financeira. Porém, nem sempre se registam no Breakdown todas as intervenções realizadas, pelo que o relatório acaba por não retratar fielmente a realidade;
- Inexistência de um sistema de indicadores de desempenho da manutenção.



## 5. PROPOSTAS DE MELHORIA E DESENVOLVIMENTO

Tendo em conta os problemas identificados no capítulo anterior e os objetivos do projeto, o trabalho desenvolveu-se segundo três etapas:

1. Definição das melhores estratégias de manutenção para os MET;
2. Desenvolvimento de uma aplicação para gestão da manutenção, com foco nos MET;
3. Desenvolvimento de uma aplicação para cálculo do OEE dos MET.

Cada uma destas etapas é explicada em detalhe nas secções seguintes.

### 5.1. Definição das melhores estratégias de manutenção para os MET

Sendo parte do objetivo principal deste projeto melhorar a produtividade dos MET da empresa e, sendo as avarias destes equipamentos um fator crítico, começou-se por definir as melhores estratégias de manutenção (preventiva, preditiva e/ou corretiva), que devem ser aplicadas a estes equipamentos, de forma a garantir a fiabilidade e disponibilidade necessárias ao menor custo, segundo a metodologia RCM. Nesse sentido, começou-se por conhecer os modos de falha dos MET, usando uma das técnicas de fiabilidade mais utilizadas na indústria – o FMEA.

#### 5.1.1. FMEA

Dado o conhecimento necessário para elaborar um FMEA, foi constituída uma equipa multidisciplinar que, para além da autora deste documento, era formada pelos dois membros da equipa de manutenção especializada, tendo um deles experiência como *metista*, e por dois *metistas*.

Tendo em conta a complexidade dos MET, organizou-se o FMEA por sistemas/componentes e, por sua vez, subsistemas/subcomponentes destes, indicando para cada um deles:

- Modos Potenciais de Falha;
- Efeitos Potenciais de cada modo de falha;
- Causas Potenciais de cada modo de falha;
- Métodos Atuais de Controlo de cada modo de falha - métodos de prevenção e deteção atualmente implementados pela empresa;
- Ações recomendadas para reduzir o risco de falha.



Para avaliar a criticidade de cada modo de falha foi utilizado o método NPR, segundo o qual se avaliou cada modo de falha segundo três fatores:

- Severidade dos Efeitos;
- Ocorrência do modo de falha;
- Capacidade de Prevenção e Detecção do modo de falha.

Por sua vez, estes três fatores foram avaliados de acordo com índices definidos segundo uma escala tendo em conta vários critérios – pontos variáveis entre os modos de falha. Os critérios tidos em conta para definir os índices (valores da escala) de cada fator podem ser consultados na Tabela 6.

*Tabela 6 – Critérios considerados para definir os índices (valores da escala) dos fatores severidade dos efeitos (S), ocorrência dos modos de falha (O) e capacidade de prevenção e deteção dos modos de falha (D)*

Índices	Critérios
<b>Índices do fator Severidade dos Efeitos (S)</b>	- Impacto Operacional, Ambiente e Segurança; - Flexibilidade Operacional; - Custos de Reparação (€) do modo de falha. $S = \text{Impacto Operacional, Ambiente e Segurança} * \text{Flexibilidade Operacional} + \text{Custos de Reparação (€) do modo de falha}$
<b>Índices do fator Ocorrência do modo de falha (O)</b>	Frequência de ocorrência do modo de falha na empresa relativamente à ocorrência de todos os modos de falha considerados, no período de tempo estudado.
<b>Índices do fator Capacidade de Prevenção e Detecção do modo de falha (D)</b>	Probabilidade dos métodos de prevenção e deteção do modo de falha atualmente implementados na empresa (a existirem) de prevenirem e detetarem o modo de falha antes de se verificarem os seus efeitos, ou pelo menos antes do seu impacto ser sentido.

Também os critérios usados para determinar o índice do fator severidade dos efeitos de cada modo de falha foram avaliados de acordo com índices definidos segundo uma escala tendo em conta os critérios que se apresentam na Tabela 7.

Note-se que, à exceção do impacto operacional, ambiente e segurança que, de forma a permitir diferenciar as várias possibilidades, foi avaliado segundo uma escala de 1 a 12, todos os outros critérios e fatores foram avaliados por uma escala de 1 a 10, crescente em termos de criticidade. A definição detalhada e respetiva classificação de cada índice que permite avaliar o impacto operacional, ambiente e segurança; a flexibilidade operacional e os custos de reparação; e os fatores ocorrência do modo de falha e capacidade de prevenção e deteção do modo de falha, pode ser consultada, respetivamente, nos Anexos VI, VII e VIII.



*Tabela 7 - Critérios considerados para definir os índices dos critérios impacto operacional, ambiente e segurança; flexibilidade operacional e custos de reparação e, por sua vez, avaliar a severidade dos efeitos dos modos de falha*

Índices	Critérios
<b>Índices de Impacto Operacional, Ambiente e Segurança</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Impacto do modo de falha na produção;</li><li>- Tempo necessário para reparar o modo de falha na empresa;</li><li>- Equipa de manutenção capacitada para reparar o modo de falha;</li><li>- Impacto do modo de falha em termos de segurança e ambiente.</li></ul>
<b>Índices de Flexibilidade Operacional</b>	Existência de equipamentos suplentes ou outras alternativas ao dispor da empresa que permitam que o MET labore durante a reparação do modo de falha vs a sua disponibilidade e impacto na produção.
<b>Índices de Custos de Reparação</b>	Impacto financeiro da ocorrência do modo de falha para a empresa.

De forma a poder comparar os resultados obtidos do FMEA com resultados de outros estudos em contextos semelhantes, o valor do NPR terá de estar compreendido entre 1 e 1000. Assim, tendo em conta a forma como se determinou o índice que avalia a severidade dos efeitos de cada modo de falha, foi necessário normalizar os valores deste fator entre 1 e 10. Para isso, foi usada a tabela que se encontra no Anexo IX. Os intervalos de valores que constam nessa tabela foram definidos tendo em conta o menor e o maior valor possível para o fator severidade dos efeitos (calculados através da fórmula da Tabela 6) e tentando que estes tivessem igual amplitude. Na impossibilidade de ter intervalos com igual amplitude, definiu-se os intervalos com maior amplitude para os índices mais elevados (7 a 10).

Relativamente aos modos potenciais de falha, note-se que foram registados aqueles que já ocorreram nos MET da empresa e que são prováveis de voltarem a ocorrer, e ainda, alguns que nunca ocorreram, mas que poderão vir a ocorrer. Para isso, inicialmente começou-se por analisar o histórico de intervenções (Ficha de Vida – separador do histórico) de todos os MET existente no momento da análise – análise dos registos de intervenções realizadas nos MET 1 a MET13 desde o início de 2018 a 5 de fevereiro de 2019, à exceção do MET9 dado que, como já referido, o seu contexto operacional é diferente dos restantes. Refira-se ainda que, o período temporal do histórico de intervenções para os MET 8 a MET13 foi mais curto, uma vez que estes iniciaram a sua atividade na empresa numa data posterior ao início de 2018, como se mostra no Anexo X. Para determinar a frequência relativa de ocorrência de cada modo de falha registado no FMEA também se recorreu ao mesmo conjunto de dados. O FMEA elaborado apresenta-se no Anexo XI.





### Análise dos NPR

Calculado o NPR de cada modo de falha foi possível avaliar a criticidade dos modos de falha. Para isso, decidiu-se classificar os NPR de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 – Modo como se classificaram os NPR inicialmente

Classificação	NPR <sup>6</sup>
<b>Pouco Crítico</b>	$1 \leq \text{NPR} \leq 250$
<b>Crítico</b>	$250 < \text{NPR} \leq 750$
<b>Muito Crítico</b>	$750 < \text{NPR} \leq 1000$

Segundo esta classificação, obteve-se que todos os modos de falha são “Pouco críticos”, pelo que as escalas definidas são muito abrangentes. No sentido de avaliar melhor a criticidade dos modos de falha, decidiu-se redefinir as classes de NPR, tendo em conta o NPR máximo obtido (200). Procedendo do mesmo modo anteriormente referido para definir os intervalos de valores de NPR, obteve-se a definição das classes que se apresenta na Tabela 9.

Tabela 9 – Modo final como se classificaram os NPR

Classificação	NPR
<b>Pouco Crítico</b>	$1 \leq \text{NPR} \leq 50$
<b>Crítico</b>	$50 < \text{NPR} \leq 150$
<b>Muito Crítico</b>	$150 < \text{NPR} \leq 1000$

Classificando os NPR de acordo com a Tabela 9, obteve-se que, apesar da maioria dos modos de falha serem classificados como “Pouco Críticos”, também há modos de falha “Críticos” e “Muito Críticos”, de acordo com os resultados que se apresentam na Tabela 10.

Tabela 10 – Distribuição da criticidade dos modos de falha de acordo com a classificação definida na Tabela 9

Classificação	Modos de Falha
<b>Pouco Crítico</b>	75,28 % (67 modos de falha)
<b>Crítico</b>	23,60 % (21 modos de falha)
<b>Muito Crítico</b>	1,12 % (1 modo de falha)

---

<sup>6</sup> Os intervalos de NPR foram definidos considerando cerca de 50% dos valores para a classe “Crítico” e cerca de 25% dos valores para as restantes classes, tendo em conta o valor de NPR máximo ( $10 \times 10 \times 10 = 1000$ ).



Na Figura 27 apresenta-se o gráfico de Pareto elaborado para os modos de falha com maiores valores de NPR.

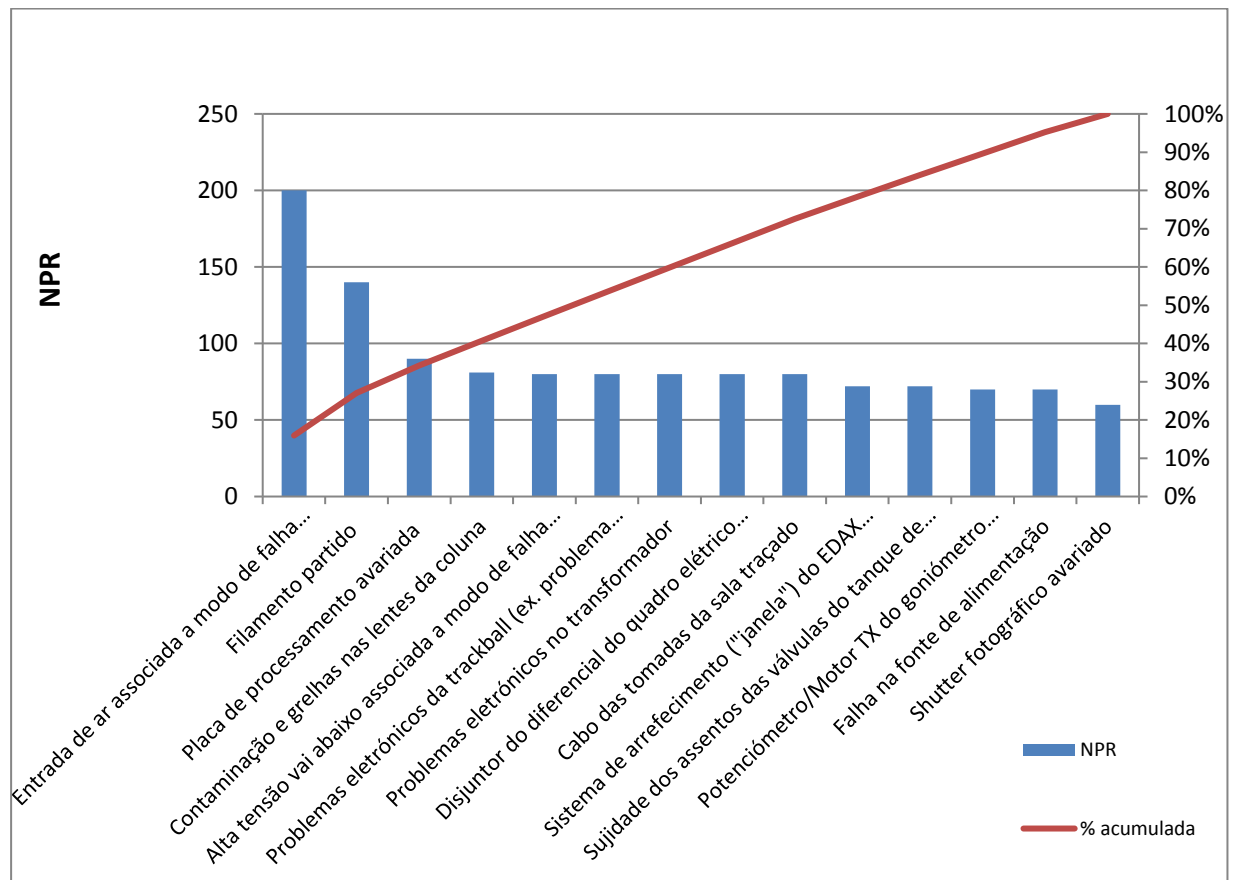


Figura 27 – Gráfico de Pareto dos modos de falha com maiores valores de NPR.

No entanto, como o NPR de cada modo de falha é obtido pelo produto de três fatores (severidade dos efeitos, ocorrência e capacidade de prevenção e deteção do modo de falha), a análise dos valores de NPR obtidos não é suficiente para avaliar a criticidade dos modos de falha - modos de falha com igual NPR podem não ser igualmente críticos e até, modos de falha com menor valor de NPR podem ser mais críticos do que outros com maior valor de NPR. Assim, para avaliar melhor a criticidade dos modos de falha foi necessário analisar a forma como os modos de falha foram avaliados quanto a estes fatores.

Começando pelo fator ocorrência dos modos de falha, como se pode ver pelo gráfico da Figura 28, a maioria dos modos de falha (86%) foram avaliados com o valor mais baixo da escala definida (índice 1) e nenhum dos modos de falha registados no FMEA foi avaliado com o valor mais elevado da escala (índice 10). Mesmo assim, destaca-se a entrada de ar associada a modo de falha desconhecido como sendo o modo de falha mais crítico em termos da frequência de



ocorrência - ocorreu 197 vezes no conjunto dos 12 MET, no período de tempo estudado – tendo sido avaliado com o índice 5.

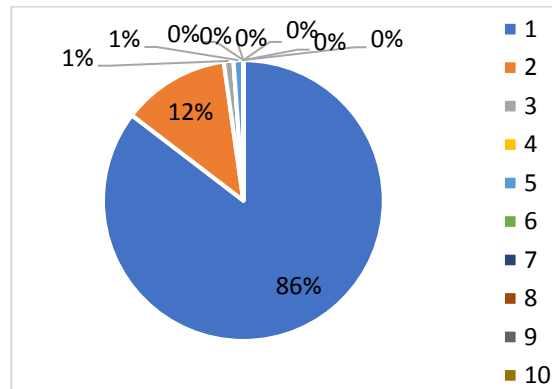


Figura 28 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o fator ocorrência dos modos de falha, pelos modos de falha.

Já em relação ao fator capacidade de prevenção e deteção dos modos de falha, como a maior parte dos modos de falha (33%, como se pode ver no gráfico da Figura 29) foram avaliados com o maior valor da escala definida (índice 10), são vários os modos de falha críticos relativamente a este fator, não se destacando nenhum em particular.

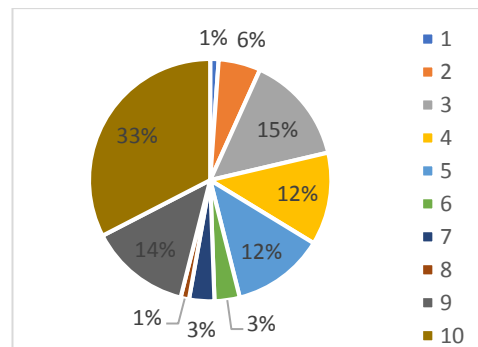


Figura 29 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o fator capacidade de prevenção e deteção dos modos de falha, pelos modos de falha.

Por fim, relativamente ao fator severidade dos efeitos, apesar de, como se pode ver pela Figura 30, nenhum dos modos de falha registados no FMEA ter sido avaliado com o valor mais elevado da escala definida (índice 10), destacam-se os três modos de falha avaliados com o índice 9 - placa de processamento avariada, contaminação em *low mag* e contaminação e grelhas nas lentes da coluna - como sendo os mais críticos.

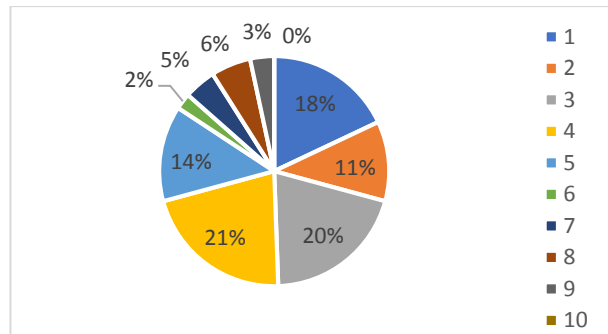


Figura 30 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o fator severidade dos efeitos, pelos modos de falha.

Dada a forma como se obtém o fator severidade dos efeitos, uma avaliação mais completa da criticidade dos modos de falha requer uma análise da forma como os modos de falha foram avaliados quanto aos critérios considerados para avaliar este fator.

Relativamente aos critérios flexibilidade operacional e custos de reparação, como se pode ver pelas Figuras 31 e 32, o valor mais elevado da escala (índice 10) que avalia estes critérios foi atribuído a um único modo de falha - Sistema de arrefecimento ("janela") do EDAX contaminada, - no caso dos custos de reparação, e à maior parte dos modos de falha (39%), no caso da flexibilidade operacional, pelo que para este último critério não foi possível destacar o modo de falha mais crítico. No entanto, quanto aos custos de reparação note-se que, a maioria dos modos de falha (68%) foram avaliados com o valor mais baixo da escala (índice 1), ou seja, a ocorrência da maioria dos modos de falha não representa custos extra para a empresa.

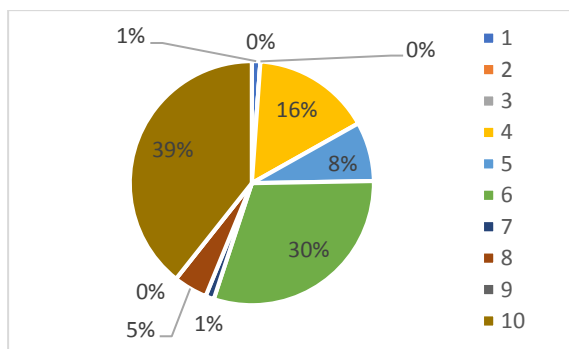


Figura 31 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o critério flexibilidade operacional do fator severidade dos efeitos, pelos modos de falha.

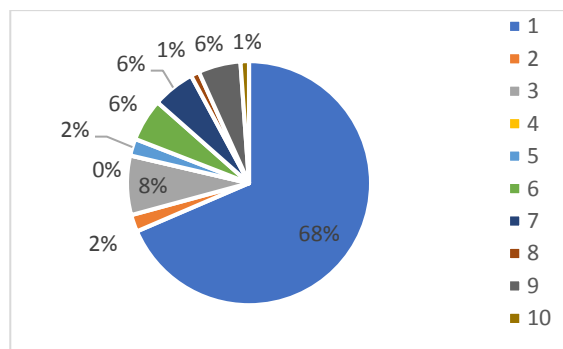


Figura 32 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o critério custos de reparação do fator severidade dos efeitos, pelos modos de falha.

Em relação ao critério impacto operacional, ambiente e segurança, da Figura 33 verificou-se que a maior parte (21%) dos modos de falha considerados têm impacto na produção, demorando a sua reparação, que ao nível interno apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção especializada, entre 15 minutos a 2 horas (avaliados com índice 6). Dados os mecanismos de



proteção dos MET, por norma os seus modos de falha não representam perigo nem para as pessoas nem para o meio ambiente. No entanto, constatou-se que um dos modos de falha registados no FMEA tem impacto na segurança das pessoas e ao nível ambiental, - Fuga de gás do chiller (modo de falha avaliado com o maior valor da escala - índice 12), - sendo, por isso, o modo de falha mais crítico no que concerne a este critério.

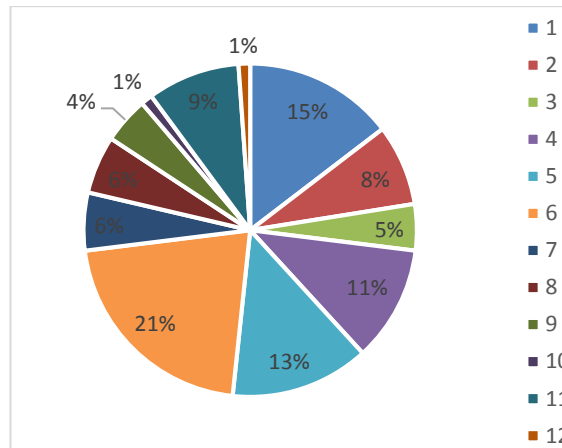


Figura 33 - Distribuição dos índices (valores da escala) com os quais se avaliou o critério impacto operacional, ambiente e segurança do fator severidade dos efeitos, pelos modos de falha.

Note-se que, o FMEA foi realizado com base em registos de intervenções realizadas nos MET durante um período de obras na empresa, pelo que os resultados obtidos, nomeadamente para alguns dos modos de falha referentes aos chillers, podem refletir uma criticidade superior à que seria obtida em condições normais de funcionamento destes equipamentos.

### Modos de Falha “mais” críticos

Tendo em conta a análise feita anteriormente, destacam-se como modos de falha “mais” críticos:

- Entrada de ar associada a modo de falha desconhecido (NPR = 200);
- Filamento partido (NPR = 140);
- Placa de processamento avariada (NPR = 90);
- Contaminação e grelhas nas lentes da coluna (NPR = 81).

Devendo ainda, prestar-se particular atenção aos modos de falha:

- Sistema de arrefecimento ("janela") do EDAX contaminada (NPR = 72);
- Fuga de gás do chiller (NPR = 45);
- Contaminação em *low mag* (NPR = 36).



Relativamente ao modo de falha mais crítico, não sendo os seus efeitos muito graves comparativamente com os restantes modos de falha, pois relacionam-se sobretudo com o impacto na produção (o MET tem de parar em média cerca de 1 hora até recuperar da entrada de ar), a sua criticidade advém essencialmente do facto de ser o modo de falha que ocorreu com mais frequência. Já o filamento partido, apesar de ocorrer com menos frequência do que a entrada de ar, os seus efeitos são mais graves – o MET não pode laborar enquanto o filamento não for substituído, intervenção que pode demorar entre 2 a 4 horas, tendo um custo de 78,82 € (custo de cada filamento).

O facto da reparação duma placa de processamento avariada, que apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção externa, poder demorar cerca de 1 mês, tempo durante o qual o MET está indisponível, fazem deste modo de falha um dos modos de falha com maior severidade dos efeitos. No entanto, o facto deste modo de falha ter ocorrido com menos frequência do que os modos de falha descritos no parágrafo anterior (5 vezes no período de tempo estudado), contribui para que, na globalidade, não seja o modo de falha mais crítico.

Relativamente aos restantes dois modos de falha igualmente críticos em termos da severidade dos efeitos (os três critérios foram avaliados com os mesmos índices) - contaminação *em low mag* e contaminação e grelhas nas lentes da coluna, - verificou-se que estes também ocorreram com pouca frequência (índice 1). No entanto, como para estes modos de falha, ao contrário de para os modos de falha já descritos, a empresa implementa métodos de prevenção – manutenção preventiva mensal e manutenção anual externa, respetivamente, - na globalidade a sua criticidade (NPR) é menor. Para todos estes modos de falha a sua deteção apenas é possível através da ocorrência dos seus efeitos (fator capacidade de prevenção e deteção avaliado com o índice 10).

Já os modos de falha “sistema de arrefecimento ("janela") do EDAX contaminada” e “fuga de gás do chiller”, apesar de terem sido avaliados para um determinado critério da severidade dos efeitos (custos de reparação, e impacto operacional, ambiente e segurança, respetivamente) com o valor mais elevado da escala, o facto de existir a possibilidade, ainda que com maior probabilidade no caso do chiller, de substituir o equipamento anómalo durante a sua reparação contribui para que, na globalidade, estes modos de falha não sejam os mais críticos em termos da severidade dos efeitos. Ainda assim, ambos os modos de falha têm impacto na produção, tendo, no entanto, a fuga de gás do chiller menor severidade dos efeitos, uma vez que a sua ocorrência não representa custos extra para a empresa. Juntamente com o facto de uma fuga de gás num chiller nunca ter ocorrido na empresa, e de a “janela” do EDAX só se ter contaminado



uma vez no período de tempo estudado, assim como, o facto da empresa implementar métodos de prevenção e/ou de deteção destes modos de falha, ainda que com pouca probabilidade de serem eficazes (índice 9), justificam o valor de NPR mais baixo.

Com o objetivo de reduzir a criticidade, principalmente destes modos de falha por serem os mais críticos, mas também de outros, recomendaram-se algumas ações.

### Ações Recomendadas

Na Tabela 11 podem ser consultadas as ações recomendadas, tendo em conta as causas potenciais da ocorrência dos modos de falha.

Tabela 11 – Modos de falha dos MET e ações recomendadas para reduzir a sua criticidade, em função das causas potenciais da ocorrência dos modos de falha

Causas potenciais da ocorrência dos modos de falha	Estratégia – Ações recomendadas	Modos de falha
<b>Erros operacionais</b> (mau uso por parte dos <i>metistas</i> )	<b>Evitar a sua ocorrência:</b> Sensibilização dos <i>metistas</i> para a importância da correta utilização dos equipamentos e para a importância da manutenção através de 2 cartazes – cartazes apresentados no Anexo XII - que concretizam esse objetivo por meio dum paralelismo com a Fórmula 1.	Entrada de ar associada a modo de falha desconhecido; Placa de processamento avariada; Contaminação e grelhas nas lentes da coluna ...
<b>Utilização/desgaste dos componentes do equipamento ao longo do seu tempo de operação</b>	<b>Implementação de métodos de prevenção e/ou de deteção atempada destes modos de falha para prevenir os seus efeitos ou, pelo menos, tentar reduzir o seu impacto.</b>	Descrito mais à frente
		Marcar os parafusos com cor para conseguir ver quando estão desapertados.
		Colocação de proteção nos fios.
<b>Externas (ambientais...)</b>	Instalar sensores de temperatura e alertas sonoros.	Temperatura da sala dos MET elevada
	Instalar "monitorizadores" do som dos alarmes dos chillers <sup>7</sup> .	Temperatura da sala dos chillers elevada

<sup>7</sup> Pois, dado a sala onde se encontram os chillers ser um pouco isolada, na maior parte das vezes os alarmes não são audíveis e, conseqüentemente não há uma intervenção a tempo de evitar os efeitos do aumento da temperatura da sala dos chillers (repor a água...).



Relativamente à sensibilização dos *metistas*, note-se que já é prática da equipa de manutenção especializada fazer *flashes* de manutenção a advertir os *metistas* sobre a forma correta como devem utilizar os equipamentos/executar determinado processo, como o *flash* elaborado para o Laboratório 2 que se mostra no Anexo XIII. No entanto, tendo-se identificado que, dado o foco na produção e em cumprir os objetivos diários, os *metistas* nem sempre quando dão conta de alguma anomalia do MET comunicam-na às equipas de manutenção internas, acabando por, quando possível, “deixar andar” ou por tentarem eles próprios resolver o problema, não tendo formação para isso, resultando por vezes em consequências mais graves, pensou-se numa forma diferente de chamar a atenção, daí o paralelismo com a Fórmula 1.

Além dos cartazes, para alguns dos modos de falha cuja ocorrência se relaciona com erros operacionais ainda se recomendaram outras ações para reduzir a sua criticidade. Em concreto, para evitar que as patilhas se danifiquem irreversivelmente ou, pelo menos reduzir o impacto dos seus efeitos recomendou-se que quando se sentir que a patilha está a fechar mal ou quando se começa a perder grelhas, que se pare de usar o porta-amostras e se chame alguém da manutenção. Havendo grelhas dentro do goniómetro, para evitar danificar componentes, recomenda-se que o MET não continue a laborar enquanto estas não forem retiradas.

Devido a eventuais custos de algumas das ações recomendadas, a sua implementação deve ser ponderada comparando o seu custo com o risco da ocorrência do(s) modo(s) de falha ao(s) qual(ais) está associada (consequências...). No sentido de orientar essas decisões, bem como ajudar a definir as melhores estratégias de manutenção (preventiva, preditiva e/ou corretiva) que devem ser aplicadas a cada parte do MET tendo em conta a criticidade dos modos de falha, foi usada a árvore lógica de decisão de RCM apresentada na Figura 7 (secção 2.2.2.).

#### 5.1.2. Decisão RCM

Para além dos danos dos fios elétricos do goniómetro, parece que mais nenhum modo de falha possa ser evitado por *redesign*. Apesar deste ser um modo de falha classificado como “Pouco Critico”, segundo a Tabela 9 (ocorreu apenas 5 vezes no período de tempo estudado e apenas afeta a realização da análise química), quando o dano dos fios não tem reparação a empresa tem de contactar a equipa de manutenção externa, o que acarreta custos avultados, para além do impacto na produção - pelo menos 2 horas são necessárias para, quando possível, reparar os fios internamente ou, caso contrário, substituir o goniómetro por um de reserva, quando disponível. Assim, não sendo as proteções dos fios muito caras, a implementação desta ação justifica-se para evitar a ocorrência deste modo de falha, sendo mais eficaz do que a verificação





mensal do estado dos fios. Relativamente às restantes ações recomendadas (cartazes de sensibilização e ações para reduzir a criticidade de danos das patilhas e de parafusos do porta-amostras desapertados), apesar destes modos de falha, em particular, não serem os mais críticos, a implementação dessas ações justifica-se uma vez que os seus custos são insignificantes. Já a aquisição de sensores de temperatura para monitorizar a temperatura da sala dos MET e a implementação de alertas sonoros tem custos mais elevados. Dado que o modo de falha "temperatura da sala dos MET elevada", apesar de representar um tempo de paragem do MET de cerca de 1.5 a 2 horas (tempo de o ligar), é muito pouco frequente (aconteceu apenas uma vez no último ano), a implementação desta ação talvez não se justifique. Por razões análogas, a aquisição de "monitorizadores" do som dos alarmes dos chillers também não é uma prioridade.

Para os restantes modos de falha, para implementar CM seria necessário realizar estudos mais aprofundados no sentido de perceber quais os parâmetros críticos que refletem a condição de um componente ou sistema do equipamento, como temperatura, pressão e vibração, e os limites desses parâmetros dentro dos quais é aceitável o funcionamento deste componente ou sistema monitorizado. Dado o tempo que seria necessário para realizar tais estudos e os custos envolvidos (adquirir sensores...), deve-se dar prioridade à realização desses estudos para os modos de falha mais críticos e para os quais a implementação de CM pareça ser viável, como é o caso do filamento partido. No entanto, como não há dados que permitam realizar esse estudo para o filamento – dados como tensões a que o filamento está sujeito e relação com a sua falha, - nem para outro modo de falha, não foi possível realizar esses estudos e assim concluir se a implementação de CM para monitorizar permanentemente o estado do filamento justifica-se, no sentido de identificar indícios de falha e agendar a substituição do filamento antes que este parta e com o mínimo impacto na produção possível.

Assim, de acordo com a árvore de decisão da Figura 7 resta a implementação de manutenção corretiva, preventiva e proativa para diminuir a criticidade dos restantes modos de falha dos MET, incluindo do filamento partido.

Relativamente à manutenção preventiva, dada a imprevisibilidade dos erros operacionais, faz mais sentido definir tarefas de manutenção preventiva para os modos de falha cuja ocorrência decorre da utilização/desgaste dos componentes do equipamento ao longo do seu tempo de operação, como o filamento partido e fuga de gás do chiller, e para os quais a empresa ainda não implementa nenhum método de prevenção. Sendo estes dois modos de falha dos mais críticos, a redução da sua criticidade foi prioritária. Relativamente à fuga de gás do chiller,



como não existem dados para realizar um estudo mais aprofundado em termos da periodicidade da sua ocorrência, uma vez que este modo de falha nunca ocorreu na empresa, recomenda-se que se verifique o estado do reservatório do gás aquando da manutenção preventiva semanal, ou pelo menos aquando da manutenção anual externa realizada para alguns dos componentes do chiller, a fim de evitar a ocorrência deste modo de falha.

Quanto ao filamento partido considerou-se adequado estudar mais aprofundadamente este modo de falha, com o propósito de modelar o seu comportamento do ponto de vista da falha e, por esta via, estabelecer a política de manutenção que minimize o risco de falha. O estudo realizado para este modo de falha é descrito na secção 5.1.3.

Para os restantes modos de falha para os quais não é implementada nenhuma tarefa de manutenção preventiva, e até para os quais este tipo de manutenção é implementado, uma vez que, por norma, não é 100% eficaz, resta aceitar o risco da sua ocorrência, aplicando manutenção corretiva. Todavia, segundo uma perspetiva de melhoria contínua, para nenhum modo de falha deve ser descurada a manutenção proativa. Quanto à possibilidade de ter outros equipamentos redundantes (para além dos que já estão ao dispor da empresa), para minimizar o risco da ocorrência de alguns modos de falha, tal foi considerado economicamente injustificável, dada a baixa criticidade dos modos de falha associados.

Caso a empresa implemente algumas das ações recomendadas, deve posteriormente avaliar o seu resultado, voltando a avaliar a criticidade de cada modo de falha (calcular o NPR).

### 5.1.3. Análise de Weibull

Com vista a minimizar o risco da ocorrência da quebra do filamento realizou-se um estudo aos tempos de vida deste componente, usando a análise de Weibull. Pretendeu-se com esta análise estabelecer uma periodicidade para a substituição preventiva do filamento que minimize os seus custos de operação/manutenção. Nesse sentido, começou-se por recolher dados de tempos de vida dos filamentos, a partir dos registos de intervenções realizadas nos 12 MET no período já referido (início de 2018 a 5 de fevereiro de 2019). Considere-se como tempo de vida o tempo decorrido desde que um filamento é colocado num MET até falhar ou ser retirado do MET por outro motivo<sup>8</sup> – tempo de falha e tempo de não falha, respetivamente. A unidade de tempo dos tempos de vida considerada neste estudo é o dia, e na contabilização destes tempos foram

---

<sup>8</sup> Na empresa há registos de substituições de filamentos antes que estes tenham falhado, correspondendo, por exemplo, ao teste de filamentos de outras marcas, mais baratos.



considerados os dias de calendário compreendidos entre duas falhas consecutivas, não tendo em conta eventuais períodos inoperacionais nesse intervalo de tempo, devido a falta de informação. No entanto, note-se que no período estudado os MET estiveram permanentemente ligados, incluindo feriados e fins-de-semana em que não houve produção. Por conseguinte, o facto de se ter contabilizado o tempo de vida como o tempo integral (de calendário) entre duas falhas consecutivas não terá grande influência nos resultados obtidos. A amostra dos tempos de vida utilizados para realizar a Análise de Weibull – tempos de falha e de não falha dos filamentos dos 12 MET - pode ser consultada no Anexo XIV.

Através do *software* Minitab 16<sup>®</sup> foram feitos alguns testes de ajustamento de distribuições estatísticas à amostra em estudo, tendo-se obtido um muito bom ajustamento com a Distribuição de Weibull. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 34.

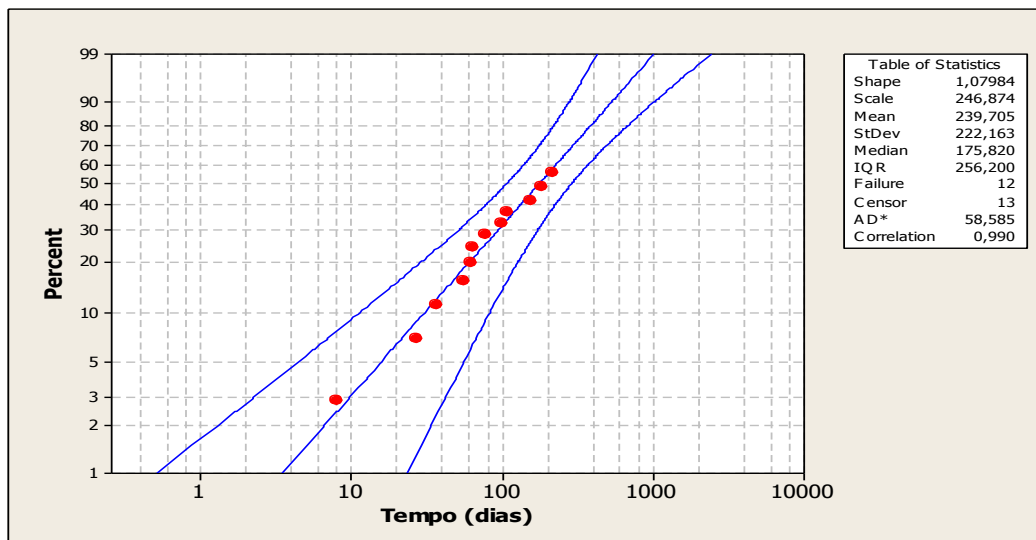


Figura 34 – Resultados obtidos no Minitab para o ajuste dos tempos de vida dos filamentos à Distribuição de Weibull.

Como se pode ver pelo coeficiente de correlação obtido ( $r^2 = 0.99$ ), a Distribuição de Weibull com os parâmetros  $\beta = 1,07984$  e  $\eta = 246,874$  dias ajusta-se quase perfeitamente aos tempos de vida do filamento. Relativamente ao parâmetro de posição ou vida mínima da distribuição, note-se que este também foi estimado, no entanto a complexidade que acrescentaria à análise não justifica o melhor ajuste aos dados por si trazido, pelo que se considerou  $\gamma = 0$ , ou seja, que não há um período de tempo em que o filamento é isento de falhas. Assim, segundo as equações 1 e 2 apresentadas no Capítulo 2 deste documento, a fiabilidade ( $R(t)$ ) e a infiabilidade ( $F(t)$ ) dos filamentos dos MET da empresa para um dado tempo de vida  $t$  são dadas por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{246,874}\right)^{1,07984}} \quad \text{e} \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{246,874}\right)^{1,07984}}, \text{ respectivamente.}$$



A forma de cada uma destas funções é apresentada na Figura 35.

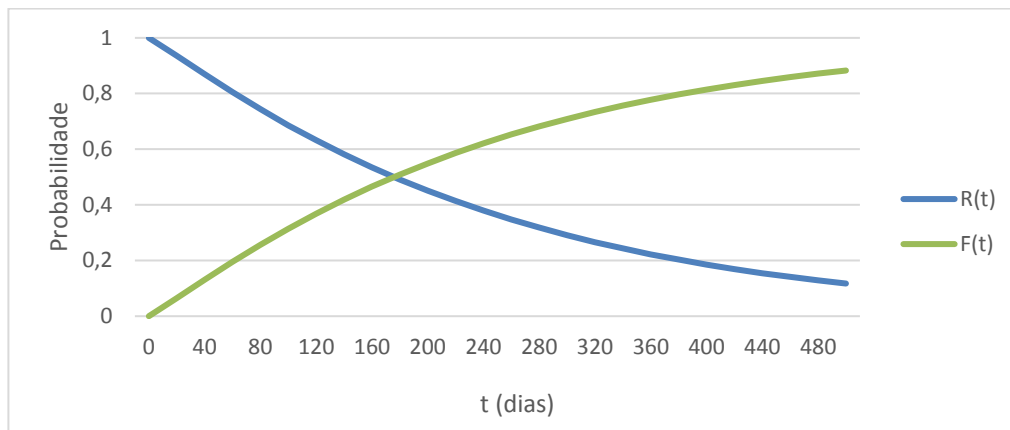


Figura 35 – Formas das funções fiabilidade  $R(t)$  e in fiabilidade  $F(t)$  dos filamentos dos MET da empresa, sendo  $t$  o tempo de vida deste.

Como se pode comprovar pela Figura 35, para um tempo de vida igual à vida caraterística ( $t = 246.874$  dias), a fiabilidade de um filamento é igual a 0.3678 e, por sua vez, a in fiabilidade é igual a 0.6321, ou seja, com cerca 247 dias um filamento tem uma probabilidade de sobrevivência/não quebrar de 36,78% e de falhar de 63.21%. Quanto ao valor médio da distribuição - valor esperado de  $t$  (MTTF = 239.705 dias), - note-se que, como a distribuição de Weibull não é simétrica, o seu valor apenas indica que até cerca de 240 dias sobrevivem em média 40% dos filamentos, falhando os restantes 60% (risco).

Quanto à taxa de falhas, como o valor do parâmetro de forma ( $\beta$ ) é superior a 1, considera-se que os filamentos apresentam uma taxa de falhas crescente com o tempo (fase de desgaste, obsolescência ou velhice). No entanto, note-se que, o valor de  $\beta$  é muito próximo de 1, valor para o qual os equipamentos manifestam uma taxa de falhas constante com o tempo (fase de vida útil) e para o qual as falhas são aleatórias e independentes do tempo. A variação da taxa de falhas com o tempo de vida dos filamentos ( $\lambda(t)$ ), assim como a função densidade de probabilidade de falhas ( $f(t)$ ), de acordo com as equações 3 e 4, são descritas por:

$$\lambda(t) = \frac{1,07984}{246,874} \left(\frac{t}{246,874}\right)^{0,07984} \quad \text{e} \quad f(t) = \begin{cases} \frac{1,07984}{246,874} \left(\frac{t}{246,874}\right)^{0,07984} e^{-\left(\frac{t}{246,874}\right)^{1,07984}} & \text{para } t \geq 0, \\ 0 & \text{para } t < 0 \end{cases},$$

respetivamente, podendo os seus gráficos serem consultados na Figura 36.

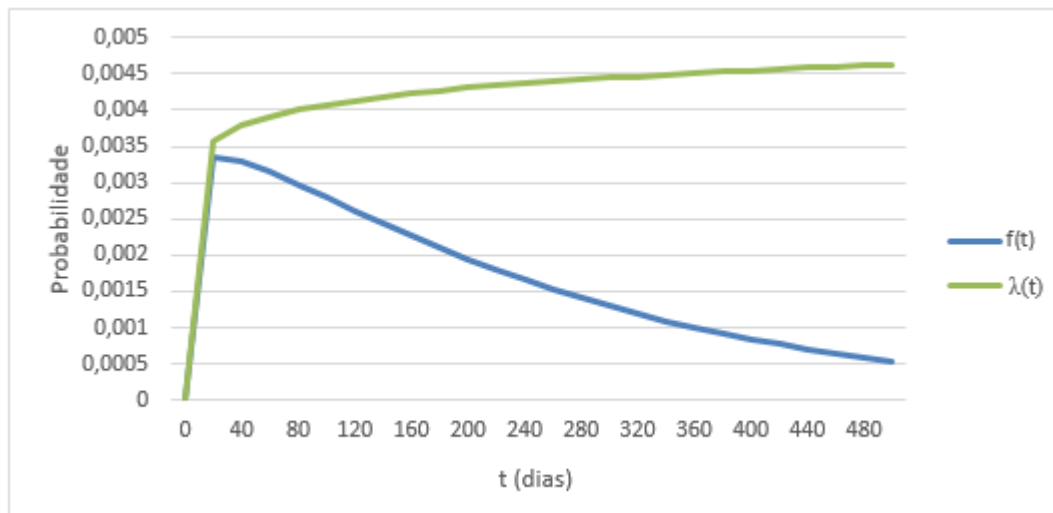


Figura 36 – Variação da taxa de falhas com o tempo de vida dos filamentos dos MET da empresa ( $\lambda(t)$ ) e evolução gráfica da função densidade de probabilidade de falhas ( $f(t)$ ).

Conhecida a relação entre fiabilidade e o tempo de vida dos filamentos dos MET da empresa, para a qual há uma correlação forte entre ambos, a implementação de manutenção preventiva sistemática parece ser viável. Pois, a partir das funções e/ou dos gráficos apresentados anteriormente é possível definir a periodicidade com que os filamentos devem ser substituídos antes de terem falhado, para um dado risco e custo de manutenção considerados aceitáveis. Por exemplo, da função  $F(t)$  concluiu-se que, até 40 dias falham em média cerca de 13% dos filamentos, tempo para o qual os filamentos, se não falharam até então, têm uma probabilidade de falhar no intervalo infinitesimal  $[40, 40+dt]$  de cerca de 0,38% ( $\lambda(40) \approx 0,00378$ ). Já para 20 dias, concluiu-se que apenas falham em média cerca de 6% dos filamentos, tempo para o qual os filamentos, se não falharam até então, têm uma probabilidade de falhar no intervalo infinitesimal  $[20, 20+dt]$  de cerca de 0,36% ( $\lambda(20) \approx 0,00358$ ). Verifica-se assim, que para o mesmo intervalo de tempo infinitesimal  $dt$ , a taxa de falhas sobe de 0,36% para 0,38%, quando se avança no tempo de funcionamento de 20 para 40 dias.

Note-se ainda que os valores obtidos dos parâmetros são apenas estimativas baseadas nos valores dos tempos de vida observados, pelo que com outra amostra possivelmente obter-se-iam valores diferentes. Assim, antes de tomar qualquer decisão relativamente à periodicidade de substituição preventiva dos filamentos, sugere-se repetir o estudo, não só com mais dados, havendo espaço para remover *outliers*, mas também considerando apenas os dias em que houve produção, no sentido de ter uma melhor qualidade e confiança nos resultados obtidos.

O tamanho da amostra dos dados como também a qualidade destes é assim crucial, não só para a realização de estudos deste género como também para posteriormente se avaliarem as



decisões tomadas assim como o desempenho de determinados processos de uma organização. Em particular, na área da manutenção de equipamentos é essencial se fazerem registos.

Como já fora referido, é prática do Departamento de Manutenção da Eurofins Lab Environment Testing Portugal fazer registos das intervenções que realizam nos equipamentos. No entanto, o facto dos registos não serem feitos de forma uniformizada, além de propiciar alguns erros, dificulta a extração de informação útil para realizar alguns estudos assim como avaliar a situação atual, no sentido de serem tomadas decisões mais informadas que permitam melhorá-la continuamente. Nesse sentido, foi desenvolvida uma aplicação em Microsoft Excel para gestão da manutenção, em particular dos MET da empresa (ver secção 5.2.).

Por fim, refira-se, ainda a respeito da quebra do filamento que, como uma das causas apontadas para esta quebra foi a deterioração provocada pelas entradas de ar – modo de falha mais crítico decorrente de erros operacionais – que, por sua vez se pretende diminuir a sua ocorrência através de uma melhor sensibilização dos *metistas*, possivelmente estar-se-á também desta forma aumentar o tempo de vida dos filamentos.

## **5.2. Desenvolvimento de uma aplicação para gestão da manutenção**

Tendo em conta os problemas descritos na secção 4.3 deste documento, a aplicação desenvolvida deve:

- Permitir registar as intervenções de manutenção corretiva realizadas nos MET de forma uniformizada;
- Permitir registar as tarefas que se planeiam realizar – tarefas de manutenção preventiva e outras, - não só nos MET como em todos os equipamentos dos laboratórios e aceder a esse planeamento de forma mais intuitiva;
- Permitir gerar relatórios automaticamente com informação do desempenho da manutenção preventiva e da manutenção corretiva realizada;
- Permitir facilmente calcular o OEE.

Além disso, era também importante que, tanto esta aplicação como a desenvolvida para o cálculo do OEE:

- Fossem de fácil e rápida utilização;
- Fossem flexíveis;
- Possuíssem mecanismos que evitassem erros e a remoção involuntária de informação.



A aplicação desenvolvida para gestão da manutenção foi dividida em 3 partes – Intervenções Corretivas, Intervenções Planeadas e Relatório de Manutenção, sendo esta última, por sua vez dividida em Manutenção Corretiva, Manutenção Planeada e Modos de Falha – opções que podem ser acedidas pelo utilizador na Página Inicial da aplicação. Cada uma das partes referidas é explicada nas seguintes secções.

A Página inicial contém também uma pequena descrição do que pode ser feito em cada opção assim como uma descrição geral da aplicação, como se mostra na Figura 37.

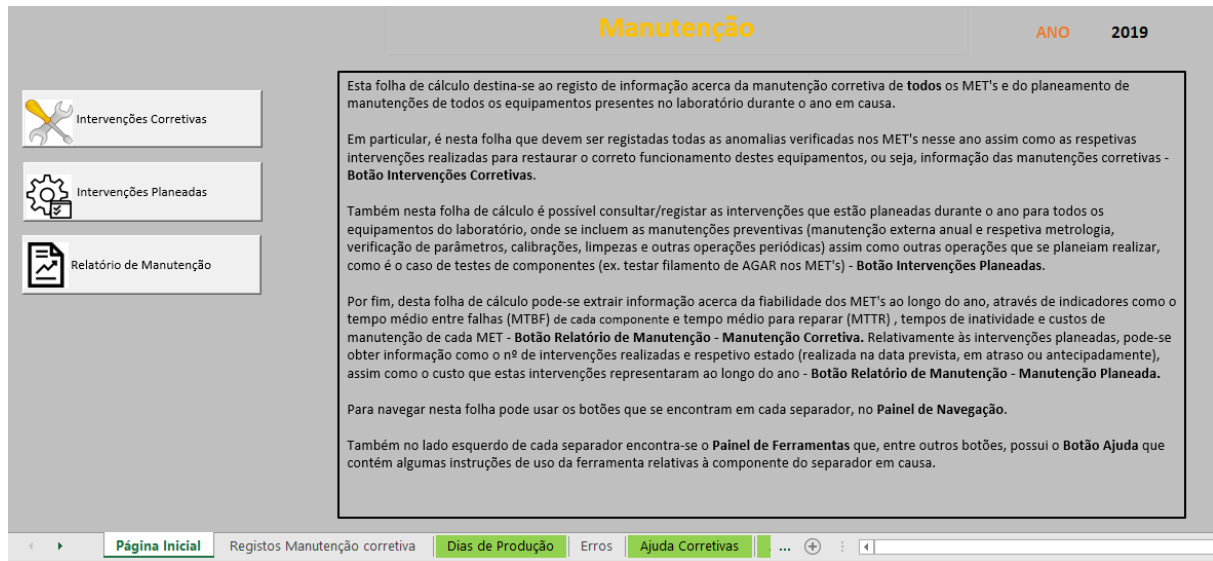


Figura 37 – Página Inicial da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção, em particular dos MET.

Dadas as limitações do Excel em termos da quantidade de dados que consegue armazenar, recomenda-se ter um ficheiro destes para cada ano. Estes ficheiros alimentarão a base de dados da empresa, permitindo assim comparar o desempenho da empresa entre os vários anos, no que à manutenção diz respeito.

### 5.2.1. Intervenções Corretivas

Clicando no botão “Intervenções Corretivas” tem-se acesso à página que se apresenta na Figura 38. Esta página encontra-se dividida em três partes:

- Painel de navegação e de ferramentas;
- Tabela com os registos de intervenções corretivas realizadas nos MET;
- Tabela com informação acerca da substituição de equipamentos.



Identificação				Descrição				Data e Hora comunicação da falha
Equipamento	BU	Turno de origem da falha	Metista que originou/reportou a falha	Falha(s)	Efeito(s)	Causa(s)	Comentário(s)	
MET1	A46	Tarde		Outro/Micro - Desconhecido/Não definido - Falha desconhecida/Sem falha	Alta tensão vai abaixo	Desconhecida		03-01-2019 23:00
MET1	A46	Noite		Outro/Micro - Desconhecido/Não definido - Falha desconhecida/Sem falha	Alta tensão vai abaixo	Desconhecida		03-01-2019 23:50
MET1	A46	Noite		Outro/Micro - Desconhecido/Não definido - Falha desconhecida/Sem falha	Alta tensão vai abaixo	Desconhecida		04-01-2019 04:00
MET1	A46	Manhã		Outro/Micro - Desconhecido/Não definido - Falha desconhecida/Sem falha	Alta tensão vai abaixo	Desconhecida		04-01-2019 08:05
MET1	A46	Manhã		Outro/Micro - Desconhecido/Não definido - Falha desconhecida/Sem falha	Alta tensão vai abaixo	Desconhecida		04-01-2019 09:05
MET1	A46	Noite		Outro/Micro - Desconhecido/Não definido - Falha desconhecida/Sem falha	Entrada de ar e Alta Tens	Desconhecida		05-01-2019 06:00
MET1	A46	Manhã		Outro/Micro - Desconhecido/Não definido - Falha desconhecida/Sem falha	Entrada de ar e Alta Tens	Desconhecida		07-01-2019 09:20
MET1	A46	Manhã		Outro/Micro - Desconhecido/Não definido - Falha desconhecida/Sem falha	Entrada de ar e Alta Tens	Desconhecida		07-01-2019 14:00
MET1	A46	Tarde		Compressor - Geral - Compressor com baixa pressão	Entrada de ar e Alta Tens	Desconhecida	Nível de pressão ótima do	07-01-2019 15:55

Figura 38 – Página acedida quando se clica no botão “Intervenções Corretivas” da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção, em particular dos MET.

Por sua vez, a tabela que contém os registos de intervenções corretivas realizadas nos MET também se encontra dividida em quatro partes:

- **Identificação** – parte onde se identifica o **Equipamento** com a anomalia; a **BU** afetada pela anomalia do equipamento; o turno que estava a laborar quando se detetou a anomalia (**Turno de origem da falha**) e, ainda o **Metista que originou/reportou a falha**;
- **Descrição** – parte onde se indica a(s) **Falha(s)**/anomalia(s) verificadas no equipamento e respetivas **Causa(s)** e **Efeito(s)**, havendo ainda uma coluna destinada à descrição de alguma situação em particular (**Comentário(s)**);
- **Impacto Operacional** – parte onde se indica a **Data e Hora da comunicação da falha**, o **Modo Operacional** (do equipamento) **antes da** (de começar a) **reparação** e ainda, se for caso disso, a data e hora a partir da qual a anomalia teve impacto na produção (**Data e Hora da falha com impacto**).
- **Reparação** – parte onde se descreve a **Reparação** que foi feita no equipamento, indicando a data e hora do início e do final de cada intervenção descrita, o impacto na produção e modo operacional do equipamento durante e no final de cada intervenção, assim como a equipa e, se pretendido, os técnicos ou entidades, no caso da equipa de manutenção externa, que fizeram a intervenção. Nesta parte da tabela há ainda mais três colunas - **Custo(s)** e **Poupança(s)**, **Falta de Material**, e **Relatório**, destinadas a, nos casos em que se aplica, descrever os custo(s) e/ou poupança(s) que a empresa incorreu





com a reparação; descrição de situações em que, por não haver material em *stock* na empresa, foi necessário aguardar a sua chegada para realizar a reparação, e a indicar o caminho eletrónico onde se encontra o relatório da reparação, respetivamente.

Para auxiliar o trabalho do Departamento de Manutenção da empresa, fazem ainda parte desta tabela mais 2 colunas – **Estado Atual e Notas** – colunas que, respetivamente, indicam o modo operacional do MET após a última intervenção realizada decorrente da anomalia em causa e se se aguarda orçamento dos custos/poupanças da reparação que posteriormente têm de serem indicados. Para os técnicos de manutenção não se esquecerem dos MET em que têm de intervir e/ou dos registos que têm de atualizar, por Formatação condicional especificou-se que, se o estado atual for “MET com funcionamento normal com anomalia”, “MET com funcionamento condicionado”, “MET com produção mais lenta”, ou ainda, “MET inoperacional”, o registo fica assinalado, respetivamente a amarelo, a laranja ou a vermelho. Registos em que se aguarda orçamento ficam assinalados a salmão.

Toda esta informação é preenchida de forma uniformizada usando os botões do Painel de ferramentas, nomeadamente, os botões “Inserir novo registo” e “Atualizar registo existente”.

Clicando no botão “Inserir novo registo” obtém-se o *UserForm* que se apresenta na Figura 39. Através do seu botão “Preencher”, acede-se ao *UserForm* que permite indicar a(s) falha(s)/anomalia(s) verificadas no MET em causa - *UserForm* que se apresenta na Figura 40.

Como se pode ver pela Figura 40, tal como no FMEA, as falhas foram organizadas por sistema/componente e subsistema/subcomponente. Sendo que, de forma a evitar erros de registo, após selecionar o sistema/componente onde se verificou a falha, apenas são carregadas as opções de subsistema/subcomponente relativas ao sistema/componente selecionado e, por sua vez, apenas são carregadas as opções de falhas que dizem respeito ao subsistema/subcomponente selecionado. Caso a falha/anomalia verificada no MET não faça parte das opções, a aplicação desenvolvida permite inserir novas falhas. Para isso, dependendo se a falha que se pretende inserir se enquadra em algum dos sistemas/componentes ou subsistemas/subcomponentes já definidos, deve-se clicar num dos botões – “Inserir sistema/componente novo”, “Inserir subsistema/subcomponente novo” ou “Inserir falha nova”. Clicando no botão “Inserir sistema/componente novo” obtém-se o *UserForm* que se apresenta na Figura 41.



Figura 39 – UserForm que deve ser preenchido para inserir um novo registo de intervenções corretivas realizadas nos MET da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

Figura 40 – UserForm para indicar a(s) falha(s)/anomalia(s) verificadas num MET da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.



The image shows a software dialog box titled "Inserir novo sistema/componente". It contains three text input fields: "Sistema/Componente", "Subsistema/Subcomponente", and "Falha". At the bottom right, there are two buttons: "Ok" and "Cancelar". The dialog box has a yellow border and a red close button in the top right corner.

Figura 41 - UserForm para inserir novas falhas dos MET que não se enquadram em nenhum dos sistemas/componentes já definidos na aplicação de gestão da manutenção.

Dos botões “Inserir subsistema/subcomponente novo” e “Inserir falha nova”, obtém-se um *UserForm* semelhante ao da Figura 41, onde apenas é pedido que se defina o novo subsistema/subcomponente e falha, no caso do primeiro, ou apenas a nova falha, no caso do segundo botão, sendo assumido que a falha é relativa ao sistema/componente, ou ainda, ao subsistema/subcomponente selecionados, respetivamente. Note-se que, as novas falhas definidas são registadas automaticamente num separador da aplicação à parte, no sentido de posteriormente ser mais fácil rever e atualizar o FMEA.

No que diz respeito aos custos e poupanças, ao selecionar a falha estes são automaticamente preenchidos. No entanto, caso o custo e/ou poupança seja diferente do autopreenchido, o utilizador pode alterá-lo. Nestes casos, os novos valores serão os futuramente assumidos pela aplicação, a não ser que se selecione a opção “Não atualizar custo/poupança”. Caso a falha selecionada tenha um custo e/ou poupança, cujo valor ainda seja desconhecido, pode-se selecionar a opção “Aguarda orçamento”. Esta informação, como já referido, fica referenciada na coluna “Notas” para que, posteriormente, o utilizador não se esqueça de atualizar o registo.

Findo o preenchimento do *UserForm* da Figura 40, o utilizador pode clicar no botão “Ok” ou, caso pretenda adicionar mais falhas, no botão “Adicionar mais falhas”. Pode ainda depois de clicar no botão “Ok”, adicionar mais falhas voltando a clicar em “Preencher”. A informação das falhas assim como dos custos e poupanças indicada no *UserForm* da Figura 40 pode ser consultada nas caixas de texto “Falha(s)” e “Custo(s) e Poupança(s)”, respetivamente, não podendo ser alterada manualmente. No caso das falhas, em caso de engano, o conteúdo da caixa de texto pode ser apagado, clicando no botão “Apagar”.

Quanto ao “Modo Operacional do MET antes da primeira intervenção corretiva”, que deve ser indicado no *UserForm* da Figura 39, note-se que, no sentido de contabilizar o impacto na produção, algumas das opções – Funcionamento condicionado, Produção mais lenta e



Inoperacional – ao serem selecionadas abrem um *UserForm* que pede para indicar a data e a hora em que teve início o impacto, e ainda, no caso das duas primeiras opções, o impacto na produção, como se mostra na Figura 42 para a opção “Produção mais lenta”.

Figura 42 – *UserForm* para especificar alguns parâmetros relativos ao modo operacional “Produção mais lenta” do MET na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

Sendo que, como à partida a Data e Hora Inicial corresponde à Data e Hora da comunicação da falha, a primeira é autopreenchida com a data e hora já preenchida no *UserForm* da Figura 39, podendo, no entanto, ser alterada. Através do botão “Inserir novo impacto” pode-se inserir novas opções que não estejam na lista.

Para descrever a reparação realizada no MET decorrente da(s) falha(s) indicada(s) clica-se no botão “Inserir Reparação” e/ou no botão “Substituição de equipamento”, caso se tenha substituído algum dos equipamentos associados ao MET, como o chiller. Do botão “Inserir Reparação” obtém-se o *UserForm* que se apresenta na Figura 43.

Figura 43 – *UserForm* que se obtém do botão “Inserir Reparação” na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

Tendo-se constatado que algumas descrições de reparação são recorrentes, de forma a agilizar o processo, essas descrições podem ser inseridas através do botão “Inserir descrição padrão”. Do *Userform* que se abre quando se clica no botão, além de se poder selecionar as várias descrições que se pretendem inserir, é também possível definir outras descrições para que futuramente também estejam disponíveis. As descrições inseridas podem depois ser manipuladas na caixa de texto “Descrição”, assim como se pode escrever nesta caixa o que se



pretender. Tal como no *UserForm* da Figura 39, quando selecionadas as opções “MET condicionado” e “MET com produção mais lenta” é aberto um *UserForm* que pede para especificar o impacto na produção. Relativamente às equipas de manutenção responsáveis pela reparação, note-se que, de forma a verificar se no caso da equipa de manutenção externa esta cumpre com as 72 horas acordadas, quando selecionada esta opção, devem ser preenchidos os campos do *UserForm* que se abre e que se apresenta na Figura 44. Clicando no botão “Substituição de equipamento” obtém-se o *UserForm* da Figura 45.

Figura 44 – *UserForm* que deve ser preenchido quando a equipa de manutenção externa intervém na reparação.

Figura 45 - *UserForm* “Substituição de equipamento” da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

O *UserForm* da Figura 45 é semelhante ao da Figura 43, diferindo apenas no facto da descrição da reparação realizada no MET dar lugar à especificação da substituição realizada – Equipamento Substituído, Tipo de substituição e Equipamento de Substituição - e ter o campo de Comentário(s). De forma a evitar erros, na lista de equipamentos substituídos apenas são carregados os equipamentos que se encontram no momento no MET em causa. Já na lista de equipamentos de substituição apenas fazem parte os equipamentos que se encontram no momento disponíveis da mesma tipologia do equipamento substituído selecionado e de acordo com o tipo de substituição selecionado.



Depois de preencher o *UserForm* da Figura 43 ou o da Figura 45, o utilizador pode clicar no botão “Ok” ou, caso pretenda adicionar outra reparação/substituição, no botão “Adicionar outra reparação” ou “Adicionar outra substituição”, respetivamente. A informação preenchida em ambos os *UserForms* pode ser consultada na caixa de texto “Descrição” do *UserForm* da Figura 39, não podendo ser alterada manualmente. O *UserForm* desta figura possui ainda 3 botões – Inserir custo/poupança; Falta de material e Inserir Relatório. O primeiro destes botões destina-se a permitir registar custos/poupanças que a empresa incorreu com a anomalia em causa e que não se associam a nenhuma falha específica, como custos de deslocação da equipa de manutenção externa. O botão “Falta material” permite registar as situações em que, por não haver material em *stock* na empresa, foi necessário aguardar pela sua chegada para realizar a reparação. Por último, através do botão “Inserir Relatório”, o utilizador especifica, nos casos em que existe, o caminho eletrónico onde se encontra o relatório da reparação em causa, caminho esse que fica registado na tabela como uma hiperligação. Os *UserForms* associados aos dois primeiros botões são apresentados nas Figuras 46 e 47, respetivamente.

Figura 46 - *UserForm* para inserir um custo/poupança geral na aplicação de gestão da manutenção.

Figura 47 - *UserForm* para inserir situações de falta de material na aplicação de gestão da manutenção.

Sendo um dos objetivos contabilizar o tempo de espera por reparação, onde se inclui o tempo de espera pela chegada de material em falta, note-se que a Data e Hora detetado e de receção do *UserForm* da Figura 47 dizem respeito à data e hora a partir da qual, já sendo necessário determinado material para realizar a reparação, se detetou pela falta dele e data e hora em que o material ficou ao dispor dos técnicos de manutenção, respetivamente.

Acabado de preencher o *UserForm* da Figura 39, clicando em “Ok” o seu conteúdo é preenchido nas respetivas colunas da tabela que contém os registos de intervenções corretivas realizadas nos MET referida anteriormente. No caso de terem havido substituições de equipamentos, para auxiliar a gestão das substituições realizadas, é também preenchida uma tabela com informação acerca dessas substituições - tabela da Figura 48.



Substituição de Equipamentos							
Equipamento	Data e Hora comunicação da falha	Tipo Substituição	Equipamento substituído	Data e Hora início substituição	Equipamento substituição	Data e Hora fim substituição	Estado
MET2	31-01-2019 04:20	Substituição Permanente	CHIL00	31-01-2019 09:30	CHIL04	31-01-2019 11:50	Já substituído pelo original
MET3	02-01-2019 10:08	Substituição temporária por equipamento doutro	GONI03	03-01-2019 15:00	GONI09	03-01-2019 17:00	Aguarda posterior substituição
MET3	26-02-2019 13:00	Substituição temporária por equipamento de rese	CHIL03	26-02-2019 13:00	CHIL00	26-02-2019 15:15	Aguarda posterior substituição
MET3	02-01-2019 10:08	Substituição pelo equipamento original	GONI09	14-03-2019 12:40	GONI03	14-03-2019 19:00	Aguarda posterior substituição
MET4	11-03-2019 00:45	Substituição temporária por equipamento de rese	CHIL02	11-03-2019 09:20	CHIL13	11-03-2019 09:30	Aguarda posterior substituição
MET11	12-01-2019 15:00	Substituição temporária por equipamento doutro	CHIL12	14-01-2019 09:00	CHIL03	14-01-2019 09:10	Aguarda posterior substituição
MET7	08-07-2019 01:20	Substituição temporária por equipamento de rese	CHIL07	08-07-2019 09:30	CHIL09	08-07-2019 11:00	Aguarda posterior substituição

Figura 48 – Tabela da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção com informação das substituições de equipamentos realizadas nos MET.

Desta tabela destaca-se a coluna “Estado” que, ao assinalar com cor os casos de substituições temporárias de equipamentos até ser repostos o equipamento original, permite aos técnicos de manutenção terem noção das substituições que têm de fazer. Esta tabela é atualizada automaticamente à medida que se registam as substituições realizadas.

Como se pode ver nos *UserForms* apresentados, há campos que são de preenchimento obrigatório – campos assinalados com \*. No sentido de evitar esquecimentos, sempre que se clica em “Ok” é verificado se todos os campos obrigatórios estão preenchidos e, caso tal não se verifique é exibida uma mensagem como a que se apresenta na Figura 49.

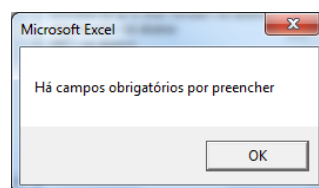


Figura 49 – Mensagem exibida na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção quando há campos obrigatórios que não estão preenchidos.

Por fim, note-se que de forma a evitar erros, os *UserForms* devem ser preenchidos de cima para baixo e da esquerda para a direita, pois há *UserForms* que precisam de informação anteriormente preenchida.

Inseridos os registos, posteriormente, caso se pretenda atualizar algum, por exemplo, atualizar os custos e poupanças, depois de clicado em qualquer célula da linha da tabela que corresponde ao registo que se pretende atualizar deve-se clicar no botão “Atualizar registo existente” do



Painel de ferramentas. Daqui obtém-se o *UserForm* da Figura 39 já preenchido com os dados que constam na tabela, sendo alguns campos inalteráveis, como é o caso da Data e Hora da comunicação da falha, uma vez que aquando da inserção do registo já foram feitos alguns cálculos com esses dados, como se explica mais à frente. O botão “Atualizar custo/poupança” deste *UserForm*, que aquando da inserção do registo aparece bloqueado, apenas fica acessível caso se tenha selecionado a opção “Aguarda orçamento”. Clicando neste botão tem-se acesso ao *UserForm* da Figura 40.

Do Painel de ferramentas fazem ainda parte os botões “Adicionar novo MET”; “Eliminar MET/Equipamentos”; “Atualizar Histórico dos MET”; “Atualizar Equipas”; “Dados para FMEA”; “Registrar Bug/Melhoria”, e ainda, “Atualizar dias de produção”. Através dos dois primeiros é possível, respetivamente, adicionar ou eliminar MET, assim como, os equipamentos a eles associados. Para isso devem ser preenchidos os *UserForms* que se obtêm desses botões – *UserForms* das Figuras 50 e 51, respetivamente.

Figura 50 – *UserForm* para adicionar novos MET e respetivos equipamentos na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

Figura 51 - *UserForm* para eliminar MET e respetivos equipamentos na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

Para posteriormente calcular o OEE, é importante que, sempre que ocorram alterações do número de MET ou até mesmo da alocação dos MET às BU, essas alterações sejam registadas nas tabelas respetivas do separador a que se tem acesso através do botão “Atualizar Histórico dos MET”. Esse separador é apresentado no Anexo XV. Havendo alterações às equipas de manutenção – Adição de novos membros ou Eliminação de membros – estas podem ser atualizadas através do botão “Atualizar Equipas”. Acionando esse botão e depois de escolhida a opção pretendida – Eliminar membros ou Adicionar novos membros – obtém-se o *UserForm* respetivo – *UserForm* da Figura 52 ou da Figura 53, respetivamente.





Figura 52 – UserForm para eliminar membros das equipas de manutenção na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

Figura 53 - UserForm para adicionar novos membros às equipas de manutenção na aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

Como se pode ver pelas Figuras 52 e 53, independentemente da opção escolhida, nos *UserForms* obtidos há um botão para aceder à outra opção.

Relativamente aos botões “Dados para FMEA” e “Registrar Bug/Melhoria”, estes permitem aceder aos separadores que contêm, respetivamente, as novas falhas inseridas na aplicação e uma tabela onde os utilizadores da aplicação podem registar *bugs* e melhorias que detetem na mesma – separadores que se apresentam nos Anexos XVI e XVII, respetivamente. O botão “Atualizar dias de produção” será explicado mais adiante.

### 5.2.2. Intervenções Planeadas

Do botão “Intervenções Planeadas” tem-se acesso à página que se apresenta na Figura 54.

Intervenções planeadas											
Data Atual 13/10/2019											
Tarefas Periódicas e Outras											
Equipamento	BU	Tarefa	Duração prevista (h)	Data anterior	Periodicidade	Data prevista	Data agendada	Equipa de manutenção	Responsáveis	Estado	Prioridade
MET1	A46	Manutenção preventiva semanal	0.50	25/7/2019	7	1/8/2019		Interna referente	Pedro Gomes	Em atraso	
MET1	A46	Manutenção preventiva mensal	4.00	1/7/2019	30	1/8/2019		Interna especializada		Em atraso	
MET1	A46	Manutenção preventiva anual externa			365			Externa	Isaca	Dentro do tempo	
MET1	A46	Verificação Metrologia MET	0.50	26/4/2019	365	27/4/2020		Interna especializada		Dentro do tempo	
MET1	A46	Manutenção preventiva anual - Verificação Metrologia EDAX	1.50	26/4/2019	365	27/4/2020		Interna especializada		Dentro do tempo	
MET2	A46	Manutenção preventiva semanal	0.50	23/7/2019	7	30/7/2019		Interna referente	Pedro Gomes	Em atraso	
MET2	A46	Manutenção preventiva mensal	4.00	1/7/2019	30	5/8/2019		Interna especializada		Em atraso	
MET2	A46	Manutenção preventiva anual externa			365			Externa	Isaca	Dentro do tempo	
MET2	A46	Manutenção preventiva anual - Verificação Metrologia MET	0.50	26/4/2019	365	27/4/2020		Interna especializada		Dentro do tempo	
MET2	A46	Verificação Metrologia EDAX	1.50	26/4/2019	365	27/4/2020		Interna especializada		Dentro do tempo	
MET3	A46	Manutenção preventiva semanal	0.50	23/7/2019	7	30/7/2019		Interna referente	Carlos Freitas	Em atraso	
MET3	A46	Manutenção preventiva mensal	4.00	1/7/2019	30	7/8/2019		Interna especializada		Em atraso	
MET3	A46	Manutenção preventiva anual externa			365			Externa	Isaca	Dentro do tempo	
MET3	A46	Manutenção preventiva anual - Verificação Metrologia MET	0.50	30/8/2019	365	31/8/2020		Interna especializada		Dentro do tempo	

Figura 54 - Página acedida quando se clica no botão “Intervenções Planeadas” da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

Esta página destina-se ao registo das tarefas que se planeiam realizar, como tarefas de manutenção preventiva, não só nos MET como em todos dos equipamentos dos laboratórios. Assim, como se pode ver da Figura 54, devem ser preenchidos os seguintes parâmetros:

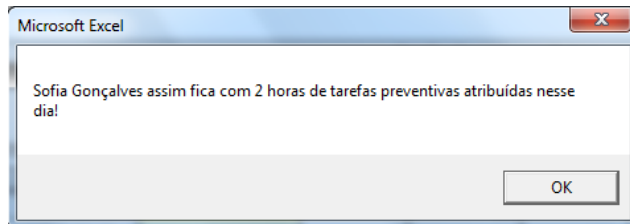
- **Equipamento** – equipamento onde se pretende realizar a tarefa;



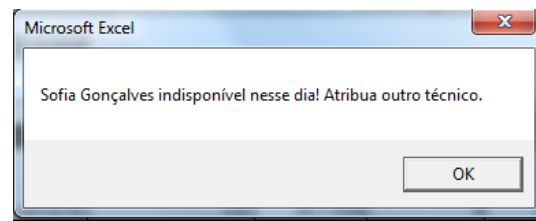
- **BU** – BU a que está alocado o equipamento;
- **Tarefa** – nome da tarefa que se planeia realizar;
- **Duração prevista** – duração que se prevê que tenha a realização da tarefa;
- **Equipa de manutenção** – equipa de manutenção alocada para realizar a tarefa;
- **Responsáveis** (parâmetro opcional) – técnicos de manutenção alocados para realizar a tarefa.

No caso de tarefas de manutenção não periódicas, deve-se ainda preencher a Data agendada. Já no caso de tarefas de manutenção periódicas, deve-se indicar a **periodicidade** de realização da tarefa, em dias, assim como a última data (**Data anterior**) em que essa tarefa foi realizada. Sendo que, essa data só é necessária indicar na primeira vez que se regista a tarefa na tabela, pois, a partir de então a data é automaticamente atualizada. Com base na periodicidade e na data anterior, assim como, no caso das manutenções preventivas mensais, com base no MET, é calculada automaticamente a próxima data em que a tarefa deve ser realizada (**Data prevista**). No caso das manutenções preventivas anuais, a data prevista corresponde ao primeiro dia útil não contabilizando fins-de-semana e feriados. Já nas manutenções preventivas mensais, a determinação da data prevista tem em conta o MET, pois, por uma questão de conciliação com o restante trabalho, foi estipulado que a manutenção preventiva mensal deve ser realizada no MET1 ao 1º dia útil de cada mês, no MET10 ao 2º dia útil, no MET2 ao 3º dia útil, no MET11 ao 4º dia útil e assim por diante até ao MET17 (número de MET atualmente existentes na empresa).

No sentido de evitar erros, os parâmetros BU, equipa de manutenção e responsáveis são preenchidos por meio de Validação de dados, sendo a lista de responsáveis dependente da equipa selecionada. Ao contrário dos restantes parâmetros, é possível selecionar mais do que um responsável para cada tarefa. Para auxiliar a que a alocação de técnicos a uma tarefa seja feita de forma equilibrada, sempre que se seleciona um técnico é mostrada uma mensagem que indica o número de horas de manutenções preventivas que o técnico selecionado tem atribuídas para esse dia. Além disso, é verificado se o técnico alocado está disponível no dia em causa, sendo mostrada uma mensagem caso contrário. Nas Figuras 55 e 56 é mostrado um exemplo de cada uma dessas mensagens.



*Figura 55 - Mensagem que indica o número de horas de manutenções preventivas que o técnico selecionado tem atribuídas para o dia em causa.*



*Figura 56 - Mensagem que indica que o técnico selecionado está indisponível naquele dia.*

Para isso, é necessário preencher uma tabela com os dias em que está previsto que cada técnico não esteja disponível (férias...) – tabela acessível através do botão “Consultar/Atualizar Disponibilidade”. Através deste botão é também possível consultar por dia a carga horária de manutenções preventivas atribuída a cada técnico de manutenção e a cada equipa de manutenção. A página acedida através do botão “Consultar/Atualizar Disponibilidade” apresenta-se no Anexo XVIII.

A coluna “Estado” compara a data atual com a data agendada, ou se inexistente, com a data prevista, indicando se a data prevista para a realização da tarefa já passou. De forma aos técnicos de manutenção e outros interessados, como os RP, terem facilmente noção das tarefas de manutenção planeadas para cada dia, é gerada automaticamente uma agenda que, em cada dia do mês selecionado, contém informação das tarefas alocadas a esse dia. Essa agenda pode ser acedida pelo botão “Agenda mensal” do Painel de ferramentas. A título de exemplo na Figura 57 é apresentada a agenda do mês de agosto de 2019, com as tarefas de manutenção que se planearam realizar nos MET.

Para cada equipa ou técnico de manutenção facilmente visualizar as tarefas que lhe estão alocadas, como se pode ver da Figura 57, as tarefas alocadas aos referentes (técnicos), à equipa de manutenção especializada e à equipa de manutenção externa são assinaladas a cor verde, amarela e rosa, respetivamente. Quanto aos técnicos, a cada um foi também atribuída uma cor diferente, mas da tonalidade da cor da respetiva equipa, sendo as tarefas alocadas exclusivamente a um técnico assinaladas com essa cor.



Seleção o mês:\* Agosto Ano:\* 2019 \* campo(s) obrigatório(s)

Agenda Mensal						
Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
				1	2	3
				BUG79 - MET10 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET10 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	
				BUG79 - MET10 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()		
4	5	6	7	8	9	10
	BUG79 - MET11 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET11 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET11 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET11 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET11 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	
11	12	13	14	15	16	17
	BUG79 - MET12 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET12 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET12 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET12 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET12 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	
18	19	20	21	22	23	24
	BUG79 - MET13 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET13 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET13 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET13 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	BUG79 - MET13 - Manutenção preventiva mensal (4h) - Interna especializada ()	
25	26	27	28	29	30	31

... Ajuda Planeadas Inputs Rever FMEA Tarefas preventiva planeadas Agenda Historico tar ...

Figura 57 – Agenda do mês de agosto das tarefas de manutenção planeadas dos MET gerada automaticamente pela aplicação desenvolvida para gestão da manutenção.

Realizadas as tarefas ou reagendadas, ou ainda canceladas, essa informação deve ficar registada num histórico. Para isso, o utilizador da aplicação, após selecionar uma qualquer célula da linha da tabela da Figura 54 referente à tarefa pretendida, deve clicar num dos botões “concluído”, “nova data” ou “cancelado” do painel de ferramentas, dependendo da situação, dos quais obtém um dos *UserForms* que se apresentam nas Figuras 58, 59 e 60.

Relativamente ao *UserForm* da Figura 58, o campo “Data de realização” é autopreenchido com a data agendada ou, no caso de não existir, com a data prevista, que consta na tabela da Figura 54. Caso se altere a data, é aberto o *UserForm* que se apresenta na Figura 61, pedindo o motivo dessa mudança.

Tarefa concluída

Só clicar depois da data de realização estar correta!

Data realização (d/m/a)\* 01-08-2019 Inserir Reparação

Duração (h)\*  Sem impacto (horário de pausas, refeições...) Outra Duração

Custo (€)  Poupança (€)

Responsável/eis  \* campo(s) obrigatório(s)

Sofia Gonçalves Alterar

Comentário(s)

Ok Cancelar

Figura 58 - *UserForm* que se obtém do botão “concluído”.

Alterar data da tarefa

Motivo(s) mudança de data\* \* campo(s) obrigatório(s)

Produção  
Indisponibilidade Manutenção  
Outro

Nova data (d/m/a)\*

Equipa de manutenção\*  
Interna especializada Alterar

Responsável/eis  Alterar

Comentário(s)

Ok Cancelar

Figura 59 - *UserForm* que se obtém do botão “nova data”.



Figura 60 - UserForm que se obtém do botão “cancelado”.

Figura 61 – UserForm aberto quando se altera a data de realização do UserForm “Tarefa concluída”.

Quanto ao tempo que demorou a tarefa (Duração), note-se que, devido ao cálculo posterior do OEE, este deve ser inserido por partes caso a tarefa tenha ocorrido em momentos sem impacto na produção, como em horário de pausas, e com impacto, usando para isso o botão “Outra Duração”. O botão “Inserir reparação” destina-se a registar situações em que durante a realização da tarefa planeada se substituiu peças, por exemplo. Desse botão, tem-se acesso ao UserForm da Figura 39, mas com alguns campos previamente preenchidos e bloqueados, de modo a evitar erros, como se mostra no Anexo XIX. A informação preenchida nesse UserForm, além de registada no histórico de tarefas planeadas, também fica registada na tabela dos registos de intervenções corretivas, no sentido de posteriormente se calcularem alguns indicadores de desempenho, como se explica mais à frente.

Relativamente aos restantes campos dos UserForms das Figuras 58, 59 e 60, note-se que, os campos “Responsável/eis” e “Equipa de manutenção” também são autopreenchidos com a respetiva informação que consta na tabela da Figura 54, podendo ser alterados através dos botões “Alterar”.

Preenchidos os UserForms, a sua informação fica registada no histórico de tarefas planeadas – histórico que se apresenta no Anexo XX, sendo acedido através do botão “Histórico tarefas planeadas” – e são feitas automaticamente as devidas atualizações na tabela da Figura 54. Em casos de reagendamentos, a data agendada passa a ser a nova data e, depois de concluídas essas tarefas reagendadas, por imposição da empresa (de forma a não alterar muito o planeamento) a data anterior corresponde à data inicialmente prevista. Além disso, tanto as tarefas reagendadas para datas posteriores às inicialmente previstas, como as tarefas canceladas, passam a ter, respetivamente, prioridade média e prioridade alta sob as restantes tarefas, sendo assinaladas na agenda mensal a cor azul e vermelha, respetivamente.



### 5.2.3. Relatório de Manutenção

O relatório de manutenção encontra-se dividido em três partes - Manutenção Corretiva, Manutenção Planeada e Modos de Falha. O objetivo deste relatório é avaliar o desempenho da manutenção realizada na empresa. Para o efeito, dada a inexistência de indicadores de desempenho da manutenção implementados na empresa, foram propostos os indicadores que se apresentam na Tabela 12.

*Tabela 12 – Indicadores de desempenho da manutenção que constam em cada parte do relatório de manutenção*

Manutenção Corretiva	Manutenção Planeada	Modos de Falha
Custos e Poupanças	Custos, Poupanças e Tempo total investido em manutenção planeada (Duração total)	Custos e Poupanças
Nº de Comunicações de Falha	Nº de tarefas concluídas na data prevista, com atraso e antes do tempo e média do número de dias em atraso e antecipados	Nº de ocorrências de cada modo de falha, efeito e causa
MDT, MTTR, MWT (e desvios padrões)	Nº de tarefas canceladas	MDT; MTTF/MTBF

Os indicadores MDT (tempo médio em que o equipamento esteve sem funcionamento normal), MTTR (tempo médio de reparação do equipamento até este recuperar o seu funcionamento normal) e MWT (tempo médio de espera por reparação - tempo de resposta da(s) equipa(s) de manutenção<sup>9</sup> mais tempo de espera por materiais em falta), foram calculados contabilizando o tempo em dias produtivos – tempo nomeado como real. Ou seja, se por exemplo, um equipamento avaria numa sexta-feira e não há produção no fim-de-semana, como tempo de inatividade usado para calcular o MDT é contabilizado apenas o tempo de produção que resta de sexta-feira desde que o equipamento falhou e depois começando a contar novamente no próximo dia produtivo até que este volte a funcionar sem impacto (MDT real). Assim, é necessário a aplicação ter informação das exceções dos dias de produção – informação que deve ser inserida no separador acedido através do botão “Atualizar dias de produção” e que se apresenta no Anexo XXI.

Além disso, no relatório consta também informação sobre o total de tempo em que o equipamento esteve sem funcionamento normal, a ser reparado e à espera de reparação, contabilizando não só os dias de produção, mas também todo o tempo, e ainda, no caso do

---

<sup>9</sup> Tempo decorrido entre a deteção da falha no equipamento e o início da intervenção da equipa de manutenção mais os tempos, se intervirem mais de uma equipa de manutenção, decorridos entre o fim da intervenção da equipa de manutenção anterior e o início da próxima.



tempo de reparação apenas o tempo útil (tempo em que efetivamente um técnico esteve a reparar o equipamento, onde se desconta, por exemplo, em situações em que a reparação demorou mais de um dia o tempo que não consta no horário do técnico). Como a cada comunicação de falha/registo um MET pode ter mais do que um modo de falha, o MDT por modo de falha é calculado contabilizando apenas os registos em que foi detetado exclusivamente o modo de falha em causa. Do relatório de manutenção planeada pode-se também consultar os motivos dos reagendamentos e cancelamentos de tarefas.

Os KPI referidos podem ser consultados por mês/semana, por BU/MET, e ainda, no caso do número de comunicações de falha, de custos/poupanças destas e do relatório de Modos de Falha, por turno, à exceção do MTTF/MTBF que temporalmente é calculado de forma cumulativa e considerando todos os turnos. O MWT real assim como o tempo total investido em reparações e o tempo total de resposta a comunicações de falha são ainda calculados por equipas de manutenção, sendo neste último caso calculado o MWT útil, ou seja, tempo médio de resposta a uma comunicação de falha por parte da equipa de manutenção, considerando apenas o tempo útil – tempo desde que foi comunicada a falha à equipa até que esta começa a intervir, considerando o seu horário laboral. Para calcular alguns dos KPI referidos, nomeadamente os temporais, à medida que se inserem registos na tabela de intervenções corretivas os valores de, por exemplo, tempos de espera são calculados e registados em colunas auxiliares da tabela, pelo que dados como as exceções de dias de produção devem ser inseridos *a priori* na tabela referida anteriormente<sup>10</sup>. Depois, através de tabelas dinâmicas esses valores são buscados para calcular os valores dos indicadores (MWT...). Como exemplo, na Figura 62 mostra-se parte dum relatório de manutenção corretiva. Já parte dum relatório de manutenção planeada, incluindo a parte relativa aos motivos de reagendamentos e cancelamentos de tarefas, é mostrada no Anexo XXII. Parte da estrutura do relatório de modos de falha é mostrada no Anexo XXIII.

---

<sup>10</sup> Dada a importância desse registo, para evitar esquecimentos, sempre que o utilizador clica no botão “Intervenções corretivas” é-lhe mostrada a mensagem “Não se esqueça de atualizar os dias extra de produção”.

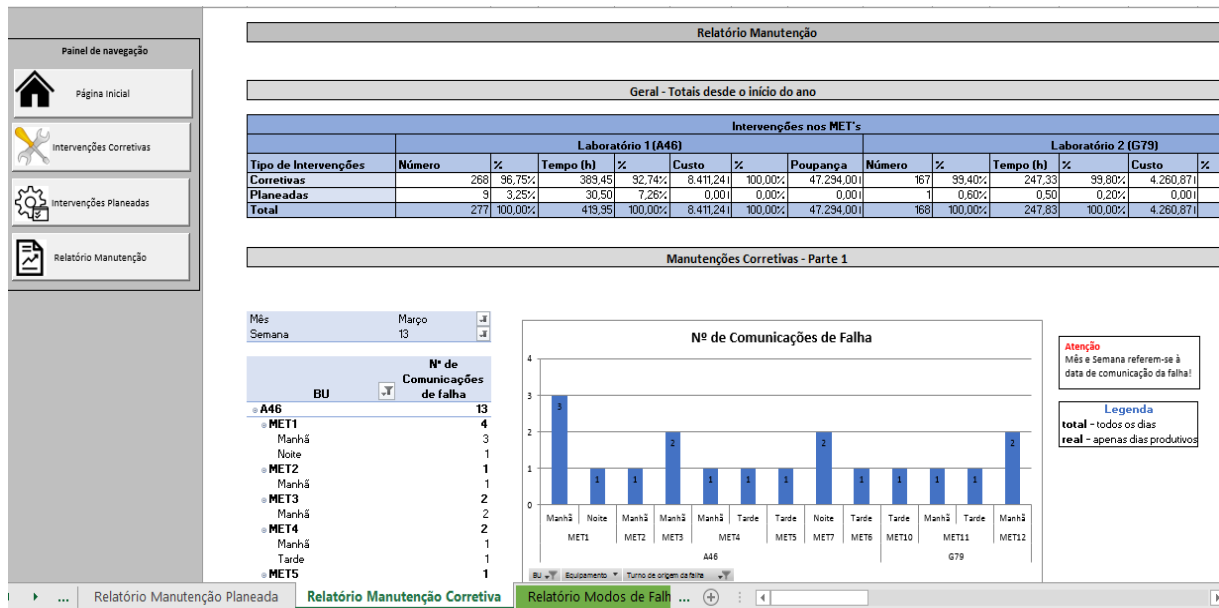


Figura 62 – Parte do relatório de manutenção corretiva da semana 13.

Note-se que, a tabela inicial do relatório que se mostra na Figura 62 é comum também ao relatório de manutenção planeada, resumindo o desempenho da manutenção desde o início do ano para o Laboratório 1 e 2 da empresa, permitindo ter noção, por exemplo, do tempo total investido em manutenções corretivas e planeadas e respetiva percentagem. Note-se também que, no final de cada relatório é possível ver a evolução dos indicadores ao longo dos vários meses e semanas do ano.

No sentido de facilitar o uso da aplicação e de evitar erros na sua utilização, através do botão “Ajuda” é possível aceder a algumas instruções de uso, tanto da parte da manutenção planeada como da manutenção corretiva e respetivos relatórios, como se mostra nos Anexos XXIV e XXV, respetivamente.

### 5.3. Desenvolvimento duma aplicação em Excel para cálculo do OEE dos MET

Por fim, foi desenvolvida uma aplicação, também em Microsoft Excel, para cálculo do OEE dos MET. Tal como a aplicação anterior, esta possui uma página inicial onde se faz uma breve descrição das suas potencialidades – Página Inicial que se apresenta na Figura 63.

Clicando no botão “Consultar OEE” tem-se acesso à página, onde se pode calcular o valor do OEE pretendido – OEE por MET ou por BU num determinado mês ou semana, ou o OEE geral, isto é, considerando todos os dados. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 64 o OEE do Laboratório 1 (BU A46) no mês de maio.



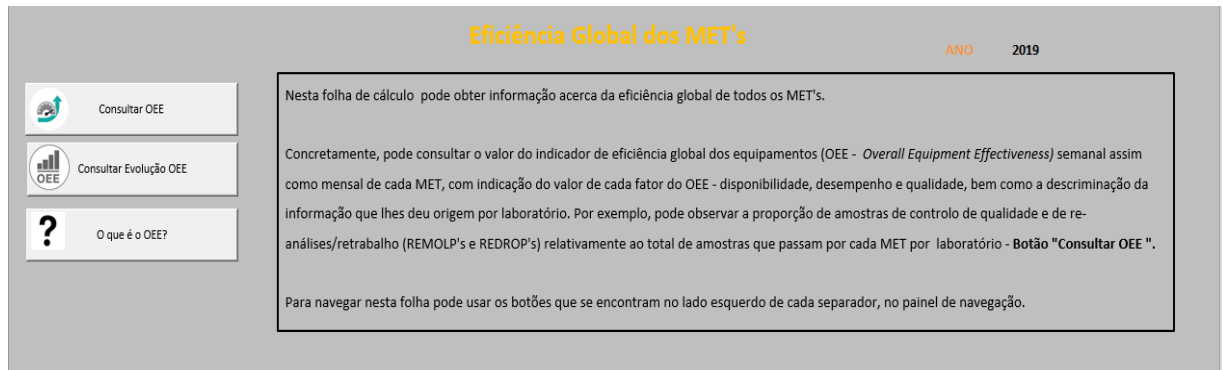


Figura 63 - Página Inicial da aplicação desenvolvida para cálculo do OEE dos MET.

Relativamente à fórmula de cálculo do OEE, como a atividade da empresa não é a de produção tipicamente associada ao OEE, a abordagem de cálculo teve de ser adaptada à sua realidade, nomeadamente em termos do fator Qualidade. Tendo em conta diretrizes do Grupo Eurofins, os fatores do OEE foram calculados do modo que se apresenta na Tabela 13.

O tempo total disponível é calculado contabilizando todas as horas dos dias do mês ou semana para o qual se quer calcular o OEE, retirando o número de horas em que não houve produção (informação acedida do separador “Dias de produção” da primeira aplicação desenvolvida (Anexo XXI)).

Quando o OEE é calculado para mais do que um MET, o tempo total disponível corresponde ao tempo calculado multiplicado pelo número de MET que existia em cada instante na BU ou na empresa, dependendo se se pretende calcular o OEE por BU ou geral, respetivamente.

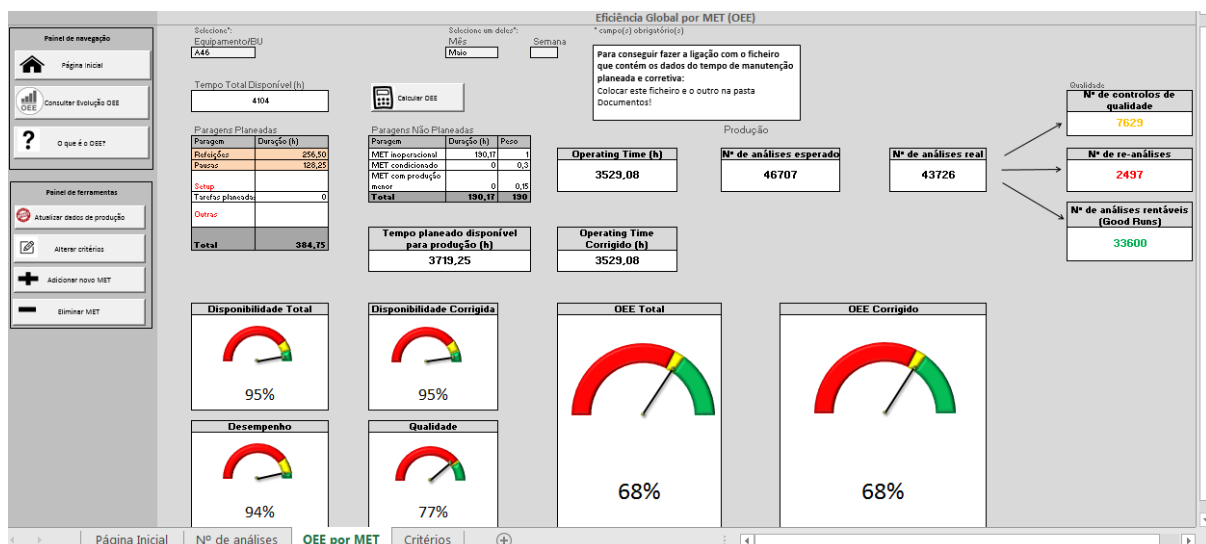


Figura 64 – Página onde se pode calcular o valor do OEE, mostrando o OEE do Laboratório 1 no mês de maio.



Tabela 13 – Abordagem de cálculo usada para calcular o OEE

Fator	Fórmula de cálculo	Observações
<b>Disponibilidade</b>	$\frac{\text{Tempo de operação (Operating Time)}}{\text{Tempo planeado disponível para produção}}$	Tempo planeado disponível para produção (T <sub>pd</sub> ) = Tempo Total Disponível – Tempo total de paragens planeadas Tempo de operação = T <sub>pd</sub> – tempo total de paragens não planeadas
<b>Desempenho</b>	$\frac{N^{\circ} \text{ de análises real}}{N^{\circ} \text{ de análises esperado}}$	
<b>Qualidade</b>	$\frac{N^{\circ} \text{ de análises rentáveis (Good runs)}}{N^{\circ} \text{ de análises real}}$	<i>Good runs</i> = N° de análises real – N° de controlos de qualidade – N° de reanálises

Daí a necessidade de atualizar o histórico de MET na primeira aplicação (Anexo XV). Também os restantes dados para calcular o fator de disponibilidade são obtidos automaticamente da primeira aplicação desenvolvida, à exceção do tempo de paragens com refeições e pausas que são calculados pela multiplicação do número de turnos que cabe no tempo total disponível calculado (tempo total disponível a dividir por 8) pelo respetivo tempo de paragem (0.5 ou 0.25 horas, respetivamente).

Quanto às paragens planeadas por *Setup*, apesar destas serem consideradas em muitas abordagens de cálculo do OEE, no caso específico dos MET não se considerou adequado considerá-las, uma vez que fazem parte do processo de análise (troca de amostras...). No entanto, no sentido de, posteriormente, a aplicação desenvolvida poder ser utilizada para calcular o OEE de outros equipamentos da empresa (motivo pelo qual se desenvolveu uma aplicação à parte da primeira para calcular o OEE), como o *Setup* pode ser importante noutros equipamentos, este foi incluído na tabela de paragens planeadas. O “Outras” desta tabela destina-se à contabilização de, por exemplo, paragens por falta de amostras para serem analisadas, ou outras situações que possa interessar contabilizar para calcular o OEE doutros equipamentos.

Relativamente às paragens não planeadas, como estas estão divididas pelos modos operacionais do MET com impacto na produção, decidiu-se atribuir um peso a cada um de acordo com o seu impacto, obtendo-se o tempo total de paragens não planeadas corrigido. Deste modo, calculou-se dois fatores de disponibilidade: (i) disponibilidade corrigida, calculada com base no tempo



total de paragens não planeadas corrigido; e (ii) disponibilidade calculada sem considerar os pesos e, por isso, tem-se dois OEE.

Já os dados para calcular os fatores de desempenho e qualidade são obtidos de uma tabela cujo acesso se faz através do botão “Atualizar dados de produção” do Painel de ferramentas. O separador da aplicação que contém essa tabela – tabela com o nº de análises real (nº de camadas analisadas), nº de análises esperado, nº de controlos de qualidade e nº de reanálises (retrabalhos) de cada mês e semana, - encontra-se em parte representado no Anexo XXVI. Relativamente às contra-análises, como estas são pagas, não são consideradas perdas de qualidade. Note-se também que, dos registos de produção apenas se consegue saber o nº de controlos de qualidade e os restantes dados por BU e não por MET, pelo que os fatores qualidade e desempenho e, conseqüentemente, o OEE, só podem ser determinados por BU. Caso não haja informação suficiente para calcular o OEE pretendido é exibida a mensagem da Figura 65. No caso do OEE geral ou por BU, para assegurar que o histórico dos MET foi atualizado pelo utilizador é exibida a mensagem da Figura 66.

Dos botões “Inserir dados em falta” ou “Não, atualizar” acede-se aos respetivos separadores das aplicações – separadores apresentados nos Anexos XXVI e XV - que permitem atualizar os dados. Além do botão “Atualizar dados de produção” do Painel de ferramentas, este possui ainda mais três botões – “Alterar critérios”, “Adicionar novo MET” e “Eliminar MET”. O primeiro permite aceder a um separador da aplicação onde é possível definir as percentagens a partir das quais os velocímetros dos OEE e seus fatores apresentados na Figura 64 apresentam cor vermelha, amarela e verde, sendo o separador apresentado no Anexo XXVII. Os outros dois botões permitem adicionar ou eliminar MET à lista de equipamentos que se pode escolher para calcular o OEE, através de *UserForms* idênticos ao da aplicação anterior.

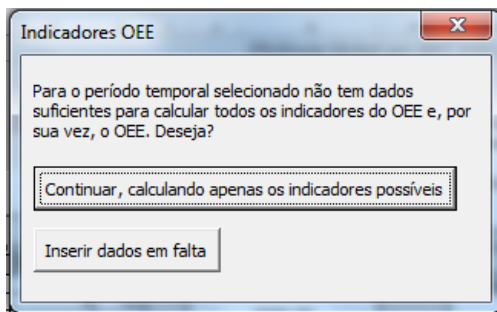


Figura 65 – Mensagem exibida pela aplicação quando não há informação suficiente para calcular o OEE.

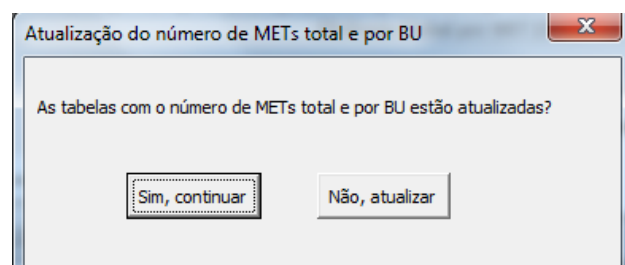


Figura 66 – Mensagem exibida pela aplicação para assegurar que o histórico dos MET está atualizado para calcular o OEE geral ou por BU.



Os botões “O que é o OEE?” e “Consultar Evolução OEE” que constam no Painel de navegação da aplicação desenvolvida, têm como objetivos dar a conhecer a um utilizador menos familiarizado com o OEE, algumas noções básicas sobre este indicador, assim como a abordagem usada para o calcular, e permitir ver a evolução do OEE e dos seus fatores ao longo das semanas/meses do ano, respetivamente. No entanto, como não houve tempo para concretizar esses objetivos, fica esta nota para trabalho futuro.

Refira-se ainda que, ambas as aplicações foram desenvolvidas com recurso a VBA (*Visual Basic for Applications*). Quanto aos dados que se apresentaram nos exemplos de *output* da aplicação desenvolvida para gestão da manutenção, note-se que estes foram inseridos conjuntamente com os membros da equipa de manutenção especializada, não só como teste da aplicação, mas também para familiarizar a aplicação diante dos técnicos que a utilizarão. Através do *feedback* obtido foram melhorados alguns aspetos da aplicação, como é o caso da introdução do botão “Inserir descrição padrão” para facilitar a descrição das reparações (Figura 43). Há ainda outros ajustes que têm de ser feitos à aplicação, nomeadamente, na fórmula de cálculo de alguns KPI que constam no relatório de manutenção corretiva, pelo que os resultados dos relatórios e do OEE apresentados podem ter algumas imprecisões associadas.

De um modo geral, o *feedback* obtido até então foi bastante positivo – as aplicações desenvolvidas cumprem com os requisitos inicialmente definidos. Além de colmatarem todos os problemas identificados no processo de gestão da manutenção dos MET (problemas descritos na secção 4.3.), as aplicações são de fácil e rápida utilização, por exemplo, o registo de uma intervenção de manutenção corretiva demora em média cerca de 1.5 minutos. Acresce que, ambas as aplicações são flexíveis e possuem alguns mecanismos que evitam erros e a remoção involuntária de informação (*poka-yoke*). Porém, não há qualquer mecanismo que impeça que, por exemplo, seja introduzida informação repetida, pelo que os utilizadores das aplicações devem ter algum cuidado para evitar situações como essa.

Em suma, quando implementadas integralmente na empresa, as aplicações poderão ser muito úteis. Por exemplo, ao se gerarem os relatórios automaticamente poupa-se o tempo da realização do Breakdown semanal. Destes relatórios é também possível ter uma melhor perceção do desempenho da manutenção corretiva quando comparada com a que se tinha anteriormente, e passar também a poder avaliar o desempenho da manutenção planeada. Por exemplo, através do MWT da equipa de manutenção externa é possível perceber se esta cumpre com as 72 horas acordadas e, caso não cumpra, ter argumentos para renegociar o contrato de manutenção. Da aplicação do OEE é possível ter-se um melhor conhecimento das quebras de



produtividade dos MET e, em conjunto com a análise dos KPI obtidos nos relatórios da primeira aplicação, tomar-se decisões mais informadas para minimizar essas perdas.



## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHO FUTURO

Do trabalho realizado foram tiradas várias conclusões. Em primeiro lugar confirmou-se que o FMEA é uma boa técnica para conhecer e analisar os modos de falha de um sistema, corroborando o que a bibliografia refere. No entanto, a avaliação da criticidade através do NPR possui algumas limitações. Dessas limitações, destaca-se o facto de a avaliação dos fatores do NPR (severidade dos efeitos, ocorrência e detetabilidade dos modos de falha) ser um pouco subjetiva, o que pode dificultar a prática de Benchmarking, e o facto de se considerar que todos estes fatores têm igual peso na determinação do NPR. A subjetividade associada à elaboração dum FMEA e o facto de este ter sido elaborado de raiz, constituíram as principais dificuldades sentidas nesta etapa do projeto.

Também se concluiu que para realizar estudos quantitativos de fiabilidade, como os que usam Análise de Weibull, é crucial possuir dados de boa qualidade. Para isso, terá de se ser criterioso e coerente na forma como se fazem os registos de falhas e de intervenções corretivas e preventivas que se realizam nos equipamentos. O facto de as intervenções corretivas que se realizam nos MET não serem registadas de forma uniformizada constituiu a principal limitação à realização do estudo de fiabilidade dos filamentos, comprometendo os resultados obtidos.

Atualmente, existem no mercado muitos *softwares* para gestão da manutenção que podem colmatar esta limitação. Contudo, a sua aquisição, por norma, exige o pagamento periódico de renovação de uma licença, além de que estes *softwares* são de aplicação genérica, pelo que poderão não serem totalmente adaptáveis à realidade de uma organização em específico. Assim, concluiu-se que, se as organizações tiverem a oportunidade de desenvolver uma aplicação para o seu contexto específico, é preferível fazê-lo à aquisição de um *software* de aplicação genérica. Para tal, o desenvolvimento de aplicações em Microsoft Excel usando VBA, apesar de trabalhoso, mostrou ser uma boa via. No entanto, o facto do Excel ser limitado em termos da quantidade de dados que consegue armazenar, não o tornam adequado a todas as situações. E, mesmo sendo adequado para muitos casos, note-se que, o seu desempenho em termos de velocidade de processamento diminui à medida que o volume de dados aumenta. Em alternativa, poder-se-ia fazer uso de ferramentas de Base de Dados e de *Data warehouse*, como o MySQL.



Tal como refere a bibliografia, constatou-se que a implementação de KPI numa organização é essencial para medir o seu desempenho, como é o caso do MTBF, MWT e do MTTR usados para avaliar o desempenho da manutenção. O OEE mostrou ser um bom indicador da eficiência de operação de um equipamento, permitindo identificar as perdas de produtividade de uma organização, constituindo assim uma boa ferramenta de apoio à decisão.

Em suma, no geral os objetivos do presente projeto foram cumpridos, existindo ainda algumas oportunidades para melhorar o trabalho desenvolvido. Em particular, tendo em conta o panorama atual, no qual se olha cada vez mais para as potencialidades da Indústria 4.0, está ainda em aberto a possibilidade de implementar manutenção preditiva a algumas partes dos MET, nomeadamente aos filamentos, tirando partido das vantagens das tecnologias de análise de dados associadas à Indústria 4.0. Outra das melhorias que poderá ser feita é a ligação da aplicação desenvolvida para o cálculo do OEE ao *software* de produção ou à base de dados da empresa, no sentido dos dados de produção (nº de controlos de qualidade, nº de análises real...) serem carregados automaticamente, em vez de terem de ser inseridos manualmente pelo utilizador. Além disso, poder-se-ia também desenvolver uma aplicação análoga à que foi desenvolvida para a gestão da manutenção dos MET, para os restantes equipamentos dos laboratórios da empresa, particularmente, para os mais críticos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afey, I. H. (2010). Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. *Engineering*, 02(11), 863–873. <https://doi.org/10.4236/engineering.2010.211109>
- Amaral, J., & Branco, P. (n.d.). Microscopia eletrônica em materiais biológicos: princípios básicos e aplicações. Retrieved April 12, 2019, from <http://lab-siviero.icb.usp.br/biocel/modulos/Técnicas/>
- Amianto - Perguntas mais frequentes*. (n.d.). Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge. Lisboa.
- Analide, C. (2018). *Introdução a Machine Learning*. Universidade do Minho.
- Castro, M. J. (2013). *Gestão da Manutenção na Competitividade das PME do Sector Industrial Transformador Português*. Instituto Superior de Gestão. [https://doi.org/Artigo%20científicos/Dissertação\\_Mario\\_Castro.pdf](https://doi.org/Artigo%20científicos/Dissertação_Mario_Castro.pdf)
- Chalifoux, A., & Baird, J. (1999). *Reliability centered maintenance (RCM) Guide - Operating a More Effective Maintenance Program*. In *Reliability, safety and hazard: advances in risk-informed technology*. (Vol. 37).
- Cigolini, R., Fedele, L., Garetti, M., & Macchi, M. (2008). Recent advances in maintenance and facility management. *Production Planning & Control*, 19, 279–286. <https://doi.org/10.1080/09537280802034034>
- Courtois, A., Pillet, M., & Martin-Bonnefous, C. (2007). *Gestão da Produção (5ª Edição)*. Lisboa: Lidel – Edições Técnicas, lda.
- Crouse-Hinds, C. (2017). *Availability, Reliability, SIL - What's the difference?*
- Daniewski, K., Kosicka, E., & Mazurkiewicz, D. (2018). Analysis of the correctness of determination of the effectiveness of maintenance service actions. *Management and Production Engineering Review*, 9(2), 20–25. <https://doi.org/10.24425/119522>
- Desiombra, J. (2014). *Implantação Da ferramenta OEE (Eficiência Global do Equipamento) na linha de pintura em uma indústria metalúrgica*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Distribuição de Weibull. (2019). Retrieved September 11, 2019, from [https://pt.wikipedia.org/wiki/Distribuição\\_de\\_Weibull](https://pt.wikipedia.org/wiki/Distribuição_de_Weibull)
- Eurofins Lab Environment Testing Portugal. (2019). Retrieved February 10, 2019, from <https://www.eurofins.pt/ambiente/eurofins-lab-environment-testing-portugal/>
- Ferreira, D. (2016). Eurofins Lab: referência laboratorial em Portugal. Retrieved February 10, 2019, from <http://www.portugalemdestaque.pt/EUROFINS-LAB-REFERENCIA-LABORATORIAL-EM-PORTUGAL/>
- Gallego, J. (2017). *Microscopia Eletrônica de Transmissão*. Retrieved from [https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/aula5\\_cm m.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/aula5_cm m.pdf)
- Gama, A. (2017). *O Uso De Machine Learning Na Implementação De Manutenção Preditiva Em Usinas Termelétricas*. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica.





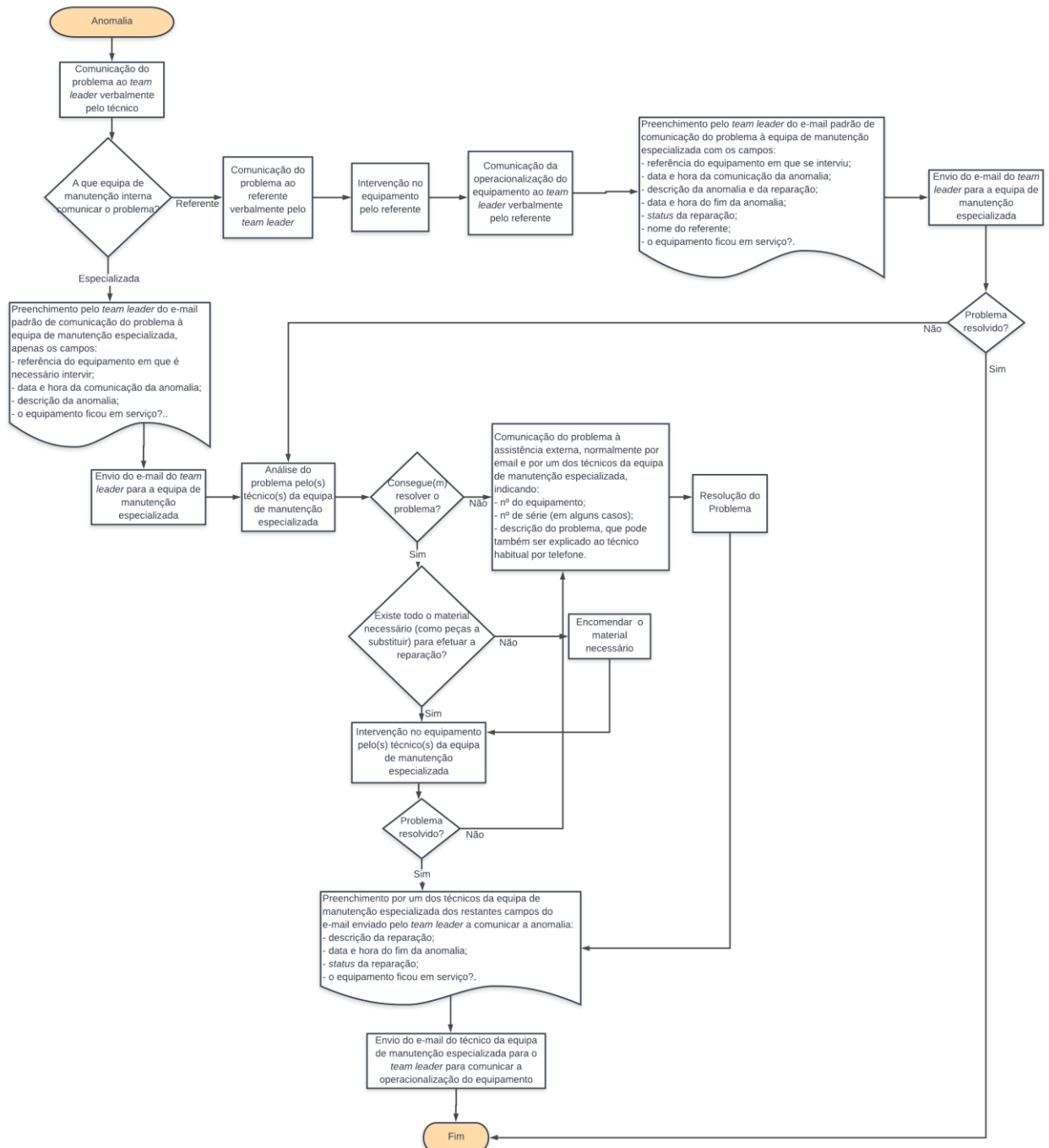
- Retrieved from <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10021732.pdf>
- Hilt, A., Járó, G., & Bakos, I. (2016). Availability Prediction of Telecommunication Application Servers Deployed on Cloud. *Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science*, 60(1), 72–81. <https://doi.org/10.3311/PPee.9051>
- Introduction to Electron Microscopes. (n.d.). Retrieved August 1, 2019, from <http://www.materials.ac.uk/elearning/matter/IntroductionToElectronMicroscopes/TEM/centric.html>
- JEM-1400Flash Electron Microscope. (n.d.). Retrieved April 12, 2019, from <https://www.jeol.co.jp/en/products/detail/JEM-1400Flash.html>
- JEM-1400Plus Electron Microscope. (n.d.). Tóquio: JEOL Solutions for Innovation.
- JEOL JEM-1400 TEM column poster. (2019). Retrieved April 12, 2019, from <https://www.jeolusa.com/RESOURCES/JEOL-Posters-Calendars/lc/47264/lcv/s/jeol-jem-1400-tem-column-poster>
- Lesaca, J. M., Guerrero, E., Lopez-Guede, J. M., Ramos-Hernanz, J., Juaristi, A., & Akizu, O. (2017). Measuring global effectiveness of integrated electric energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(28), 18121–18133. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.057>
- Lopes, I. (2011). *FMEA – Failure Mode and Effect Analysis*. Universidade do Minho.
- Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET). (n.d.). Universidade Estadual Paulista. From [https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/aula5\\_cm m.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/aula5_cm m.pdf)
- Microscopia Eletrónica TEM. (2017). Retrieved April 12, 2019, from <https://www.izasascientific.com/pt/produtos/microscopia-eletronica-tem>
- Microscópio eletrônico de transmissão. (n.d.). Retrieved April 12, 2019, from <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/biologia/microscopio-eletronico-de-transmissao/31075>
- Microscópio eletrônico de varredura. (2019). Retrieved July 1, 2019, from [https://pt.wikipedia.org/wiki/Microscópio\\_eletrônico\\_de\\_varredura](https://pt.wikipedia.org/wiki/Microscópio_eletrônico_de_varredura)
- Miquita, D. (2012). *Microscopia eletrônica de Transmissão: Aspectos básicos e aplicações*.
- Mohamed, B. A., Sassi, M., & Harrath, Y. (2011). Simultaneous scheduling of production and maintenance tasks in the job shop. *International Journal of Production Research*, (July), 36. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.492405>
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered Maintenance* (2<sup>o</sup> Edição). Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1109/TR.1987.5222285>
- Muñoz-Villamizar, A., Santos, J., Montoya-Torres, J. R., & Jaca, C. (2018). Using OEE to evaluate the effectiveness of urban freight transportation systems: A case study. *International Journal of Production Economics*, 197, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.011>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM - Total Productive Maintenance*. Portland, Oregon: Productivity Press, Inc.
- Nunes, E. (2012). Distribuição de Weibull. Universidade do Minho.



- Nunes, E. (2017). *Introdução à Fiabilidade*. Universidade do Minho.
- Pedrosa, B. (2014). *Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Retrieved from <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4151/1/Dissertação.pdf>
- Pinheiro, V. (2016). Indústria 4.0 a Quarta Revolução industrial. Retrieved September 1, 2019, from [https://www.compete2020.gov.pt/destaques/detalhe/Industria\\_4ponto0](https://www.compete2020.gov.pt/destaques/detalhe/Industria_4ponto0)
- Raio, J. (2018). *Estudo da Fiabilidade de Sistemas Industriais Críticos*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Ron, A. J., & Rooda, J. E. (2006). OEE and equipment effectiveness : an evaluation. *International Journal of Production Research*, 44(23), 4987–5003. <https://doi.org/10.1080/00207540600573402>
- Santos, T. (2018). *Reestruturação da Função Manutenção em Empresa do Ramo Alimentar*. Politécnico do Porto - Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Silva, J. P. A. R. (2013). *OEE – A forma de medir a eficácia dos equipamentos*.
- Silveira, C. (n.d.). Confiabilidade e disponibilidade de máquinas: um exemplo prático. Retrieved September 10, 2019, from <https://www.citisystems.com.br/confiabilidade-disponibilidade-maquinas/>
- Vinha, E. P., & Mota, R. de O. (n.d.). A Importância Da Correta Aplicação Do Oee: Um Estudo De Caso Em Uma Empresa Produtora De Rações Da Cidade De Rio Pomba Mg, 192–203.
- Vieira, V. (2016). *Desenvolvimento e implementação de um programa de melhoria contínua da Manutenção na IKEA Industry Portugal*. Universidade do Minho - Escola de Engenharia. Retrieved from [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/46771/1/Vânia Teresa da Luz Pires Vieira.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/46771/1/Vânia%20Teresa%20da%20Luz%20Pires%20Vieira.pdf)
- Weibull: uma função flexível. (2017). Retrieved September 11, 2019, from <http://www.mensuracaoflorestal.com.br/weibull-uma-funcao-flexivel>
- Weibull Analysis. (2015). Retrieved September 10, 2019, from <https://quality-one.com/weibull/>
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>



## ANEXO I – FLUXOGRAMA DO MODO COMO SE PROCESSAM OS PEDIDOS DE INTERVENÇÃO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA E RESPECTIVA RESPOSTA, PARA TODOS OS EQUIPAMENTOS DOS LABORATÓRIOS





## ANEXO II – ESTRUTURA DA FICHA DE VIDA DE EQUIPAMENTO – SEPARADOR DO HISTÓRICO DE INTERVENÇÕES



FICHA DE VIDA DE EQUIPAMENTO

F/EQ/21  
VERSÃO 04

								Responsável:	
Data / Hora Inicial	Data / Hora Final	Manutenção			Calibração	Descrição	Resultado	Tempo fora de serviço	
		Interna	Externa	Verificação					



### ANEXO III – ESTRUTURA DA FICHA DE VIDA DE EQUIPAMENTO – SEPARADOR DA FOLHA DE ROSTO



FICHA DE VIDA DE EQUIPAMENTO

F/EQ/21  
VERSÃO 04

<b>Nº. do equipamento:</b>	
<b>Nº. Interno do equipamento:</b>	
<b>Descrição geral do equipamento (marca/ modelo):</b>	
<b>N.º de Série:</b>	
<b>Produtor/ Distribuidor:</b>	
<b>Data de inspeção de recepção:</b>	
<b>Data de início de actividade:</b>	
<b>Margem de erro (EMA):</b>	

Anexos	Comentários

Referência das peças substituição	Descrição	Distribuidor

Acções periódicas	Periodicidade	Manutenção			Calibração
		Interna	Externa	Verificação	

**Comentários/ Alertas**


Responsável:



## ANEXO IV - EXCERTO DO PLANO DE MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

23/03/2019																											
Responsável																											
N.º do Equipamento	M.º Interno	Descrição	Fora de serviço	BU	Hiperligação	Manutenção interna				Manutenção Externa				Verificação				Calibração				Jan	Fev	Mar			
						Data da última Manutenção interna	Periodicidade	Próxima Manutenção	Estado	Data da última manutenção exte	Periodicidade	Próxima Manutenção Exte	Estado	Data da última verificação	Periodicidade	Próxima verificação	Estado	Data da última calibração	Periodicidade	Próxima calibração	Estado						
77	HOTE22	Hote		G79	<a href="#">A46 - Dossier</a>	22/08/2018	15	06/03/2018	NOT OK					#####	60	#####	NOT OK				#####		#####			#####	
78	MICT01	Micrómetro		E82	<a href="#">A46 - Dossier</a>															#####	1460	#####	NOT OK			x	
79	BMET01	Bomba - ULVAC		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>					#####	363	#####	NOT OK														
79	CHIL01	Chiller		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>	17/08/2018	8	25/08/2018	NOT OK	#####	368	#####	NOT OK														
79	COMP01	Compressor		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>		30			#####	367	#####	NOT OK														
79	EDAX01	EDAX		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>		30			#####	366	#####	NOT OK	#####	365	#####	NOT OK										
79	MICR01	MET - Diafragmas		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>		8																				
79	MICR01	MET - Padrão de crisótilo		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>	20/08/2018	30	19/03/2018	NOT OK																		
79	MICR01	MET - Trackball		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>		8																				
79	MICR01	MET - Alinhamento		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>		8																				
79	MICR01	MET - Porta-amostras		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>	13/08/2018	8	21/08/2018	NOT OK																		
79	MICR01	MET - Goniómetro		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>		30																				
79	MICR01	MET		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>					#####	365	#####	NOT OK	#####	365	#####	NOT OK										
80	BMET02	Bomba - ULVAC		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>					#####	363	#####	NOT OK														x
80	CHIL02	Chiller		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>	17/08/2018	8	25/08/2018	NOT OK	#####	363	#####	NOT OK														x
80	COMP02	Compressor		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>		30			#####	363	#####	NOT OK														x
80	EDAX02	EDAX		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>		30			#####	363	#####	NOT OK	#####	365	#####	NOT OK										
80	MICR02	MET		A46	<a href="#">A46 - Dossier</a>					#####	363	#####	NOT OK	#####	365	#####	NOT OK										#####



## ANEXO V – EXCERTO DO BREAKDOWN DO LABORATÓRIO 1 EM 2019

MET BREAKDOWN - LAB1							
Nº EQUIPAMENTI	TIPO DE AVARIA	HR FORA DE SERVIÇO	CUSTOS l/uidad	Poupança l/uidad	DATA	Semana	MÊS
MET3	Entrada de ar	0,3			02/01/2019	1	1
MET4	Entrada de ar	3,8			02/01/2019	1	1
MET4	Entrada de ar	1,0			02/01/2019	1	1
MET5	Alta tensão abaixo	0,4			02/01/2019	1	1
MET3	Fichas do goniómetro danificado	30,3			02/01/2019	1	1
MET4	Entrada de ar	0,5			02/01/2019	1	1
MET4	Alta tensão abaixo	0,7			03/01/2019	1	1
MET4	Alta tensão abaixo	0,7			03/01/2019	1	1
MET4	Alta tensão abaixo	0,5			03/01/2019	1	1
MET4	Alta tensão abaixo	0,3			03/01/2019	1	1
MET4	Goniómetro danificado	6,0			03/01/2019	1	1
MET5	Alta tensão abaixo	0,4			03/01/2019	1	1
MET6	Alta tensão abaixo	0,4			03/01/2019	1	1
MET6	Alta tensão abaixo	0,8			03/01/2019	1	1
MET6	Alta tensão abaixo	0,3			03/01/2019	1	1
MET6	Alta tensão abaixo	0,5			03/01/2019	1	1
MET6	Alta tensão abaixo	0,5			03/01/2019	1	1
MET6	Entrada de ar	1,0			03/01/2019	1	1
MET6	Alta tensão abaixo	0,5			03/01/2019	1	1
MET1	Alta tensão abaixo	0,7			03/01/2019	1	1
MET1	Alta tensão abaixo	0,7			03/01/2019	1	1
MET1	Alta tensão abaixo	0,7			04/01/2019	1	1
MET1	Alta tensão abaixo	0,4			04/01/2019	1	1

LAB1\_2018 | LAB2\_2018 | **LAB1\_2019** | LAB2\_2019

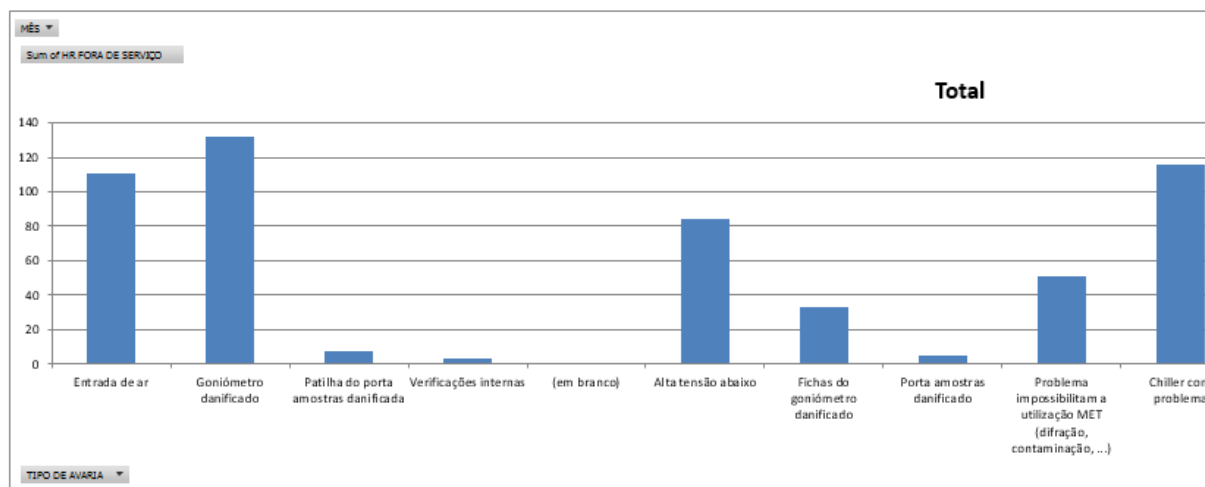
Mês (All)

Sum of HR FORA DE SERVIÇO	Coluna Labels		
Row Labels	Entrada de ar	(blank) Patilha do porta amostras danificada	Goniómetro danificado
MET1	13,42	0	43,66
MET4	14,65	0,5	10,83
MET5	14,8	0,55	
(blank)			
MET3	1,3	0,65	63,83
MET6	50,6	5,3	13,6
MET2	6,16	0,33	
MET7	3,32	0,33	
<b>Grand Total</b>	<b>110,85</b>	<b>7,66</b>	<b>131,32</b>

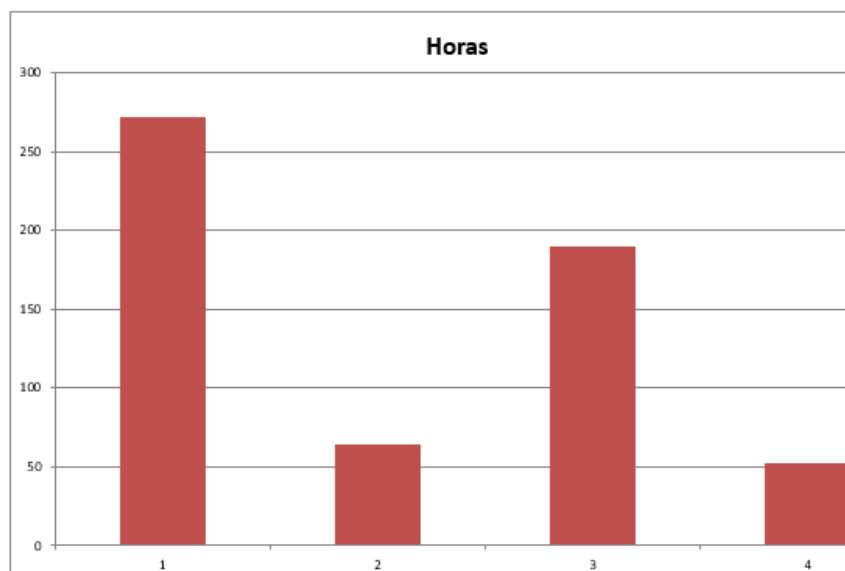


MÉS (All)

Row Labels	Sum of HR FORA DE SERVIÇO
Entrada de ar	110,85
Goniómetro danificado	131,92
Patilha do porta amostras danificada	7,66
Verificações internas (blank)	2,8
Alta tensão abaixo	83,39
Fichas do goniómetro danificado	32,87
Porta amostras danificado	5
Problema impossibilitam a utilização MET (difração, contaminação, ...)	50,86
Chiller com problema	115,64
Stage desalinado	8,17
Problemas eletrónicos	16,5
Filamento danificado	3,2
Trackball não funciona corretamente	1,16
Parafusos dos porta-amostras	0
<b>Grand Total</b>	<b>576,62</b>



MÉS	Horas
1	272,02
2	63,6
3	183,21
4	51,79
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0







## ANEXO VI – DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS ÍNDICES DO CRITÉRIO IMPACTO OPERACIONAL, SEGURANÇA E AMBIENTE

Severidade dos Efeitos – Impacto Operacional, Segurança e Ambiente		
Índice	Classificação	Definição
1	Insignificante	O modo de falha não tem impacto na produção. A reparação (inferior a 5 minutos) pode ser realizada pelos referentes e pode decorrer enquanto o <i>metista</i> faz outras tarefas (registos, troca de amostras...) ou numa pausa deste. Ou reparações de tempo superior realizadas por outra equipa sem impacto (e.x. são programadas).
2	Pouco significativo	O modo de falha pode ter impacto na produção. A reparação (entre 5 a 15 minutos) que, ao nível interno apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção especializada, pode decorrer enquanto o <i>metista</i> faz outras tarefas (registos, troca de amostras...) ou numa pausa deste, ou pode não ser necessária nenhuma reparação. Ou reparações de 1 hora, maioritariamente sem impacto.
3	Significativo	O modo de falha pode ter impacto na produção. A reparação (entre 15 minutos a 2 horas) pode ser realizada pelos referentes, podendo ser necessária a equipa de manutenção especializada. Pode só ser realizada pela equipa de manutenção externa. Na indisponibilidade desta, o MET poderá continuar a laborar, mas com algum impacto.
4		O modo de falha tem impacto na produção. A reparação (entre 15 minutos a 2 horas) pode ser realizada pelos referentes.
5		O modo de falha tem impacto na produção. A reparação (entre 15 minutos a 2 horas) ao nível interno apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção especializada ou pela equipa de manutenção externa. Na indisponibilidade desta, o MET poderá/pode continuar a laborar, mas com algum impacto.
6		O modo de falha tem impacto na produção. A reparação (entre 15 minutos a 2 horas) ao nível interno apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção especializada.
7	Moderado	O modo de falha tem impacto na produção. A reparação (entre 2 a 7 horas) ao nível interno pode ser realizada pelos referentes, ou apenas pela equipa de manutenção especializada ou pela equipa externa. Na indisponibilidade desta, o MET poderá continuar a laborar, mas com algum impacto.
8		O modo de falha tem impacto na produção. A reparação (entre 2 a 7 horas) ao nível interno apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção especializada ou pela equipa externa.
9		O modo de falha tem impacto na produção. A reparação (entre 2 a 7 horas) apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção externa.
10	Elevado	O modo de falha tem impacto na produção. A reparação (superior a 1 dia) apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção externa. Na indisponibilidade desta, o MET poderá continuar a laborar, mas com algum impacto.
11		O modo de falha tem impacto na produção. A reparação (superior a 1 dia) apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção externa.
12	Catastrófico	O modo de falha tem impacto na produção. A reparação (superior a 1 dia) apenas pode ser realizada pela equipa de manutenção externa. Ao contrário das situações anteriores, o modo de falha representa perigo, tanto para as pessoas como para o meio ambiente.



## ANEXO VII – DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS ÍNDICES DOS CRITÉRIOS FLEXIBILIDADE OPERACIONAL E CUSTOS DE REPARAÇÃO

Severidade dos Efeitos – Flexibilidade Operacional		
Índices	Classificação	Definição
1-3	Muito alta	Existem equipamentos suplentes ao dispor da empresa que podem substituir o anómalo durante a sua reparação.
4	Elevada	Existem equipamentos suplentes ao dispor da empresa (um por MET) que podem substituir o anómalo, no entanto com menor ritmo de produção. Ex. porta-amostras simples.
5-6	Intermédia	Existem equipamentos suplentes ao dispor da empresa que podem substituir o anómalo durante a sua reparação, no entanto estes existem em número limitado. Ex. chillers (4 + 1 da Izasa), goniómetro (1).
7-9	Baixa	Existem equipamentos suplentes ao dispor da empresa que podem substituir o anómalo durante a sua reparação, no entanto a probabilidade de substituição é menor do que no caso anterior. Ex. EDAX e compressor da Izasa.
10	Nula	Não existem equipamentos suplentes nem outras alternativas de operação do MET ao dispor da empresa enquanto o modo de falha é reparado.

Severidade dos Efeitos – Custos de Reparação do modo de falha		
Índices	Classificação	Definição
1	Nulos ou Insignificantes	A ocorrência do modo de falha não representa custos extra para a empresa. Ex. custos incluídos no contrato de manutenção.
2		A ocorrência do modo de falha normalmente não representa custos para a empresa, mas pode danificar outros componentes que podem ter custos avultados.
3	Pouco significativos	A ocorrência do modo de falha representa para a empresa custos iguais ou inferiores a 50€.
4-5	Significativos	A ocorrência do modo de falha representa para a empresa custos entre 50 e 100€.
6	Moderados	A ocorrência do modo de falha normalmente não representa custos para a empresa, mas estes podem ser entre 100 a 1000€.
7		A ocorrência do modo de falha representa para a empresa custos entre 100 a 1000€.
8	Elevados	A ocorrência do modo de falha normalmente não representa custos para a empresa, mas estes podem ser entre 1000 a 6000€.
9		A ocorrência do modo de falha representa para a empresa custos entre 1000€ e 6000€.
10	Muito elevados	A ocorrência do modo de falha pode representar para a empresa custos iguais ou superiores a 6000€.



## ANEXO VIII – DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS ÍNDICES DOS FATORES OCORRÊNCIA E CAPACIDADE DE PREVENÇÃO E DETEÇÃO DO MODO DE FALHA

Ocorrência do Modo de Falha – Frequência Relativa de Ocorrência		
Índices	Classificação	Definição
1	Baixa	A ocorrência do modo de falha na empresa corresponde a menos de 1%, inclusive, da ocorrência de todos os modos de falha considerados, no período de tempo estudado.
2		A ocorrência do modo de falha na empresa corresponde a mais de 1% e a menos de 10%, inclusive, da ocorrência de todos os modos de falha considerados, no período de tempo estudado.
3-4		A ocorrência do modo de falha na empresa corresponde a mais de 10% e a menos de 20%, inclusive, da ocorrência de todos os modos de falha considerados, no período de tempo estudado.
5-6	Intermédia	A ocorrência do modo de falha na empresa corresponde a mais de 20% e a menos de 50%, inclusive, da ocorrência de todos os modos de falha considerados, no período de tempo estudado.
7-10	Alta	A ocorrência do modo de falha na empresa corresponde a mais de 50% da ocorrência de todos os modos de falha considerados, no período de tempo estudado.

Capacidade de Prevenção e Detecção do modo de falha		
Índices	Classificação	Definição
1-2	Elevada	Os métodos de prevenção e/ou deteção do modo de falha atualmente implementados na empresa muito provavelmente prevenirão e/ou detetarão o modo de falha, antes de se verificarem os seus efeitos ou pelo menos antes do seu impacto ser sentido.
3-4	Intermédia	Os métodos de prevenção e/ou deteção do modo de falha atualmente implementados na empresa provavelmente prevenirão e/ou detetarão o modo de falha, antes de se verificarem os seus efeitos ou pelo menos antes do seu impacto ser sentido.
5-7	Baixa	Os métodos de prevenção e/ou deteção do modo de falha atualmente implementados na empresa podem prevenir e/ou detetar o modo de falha, antes de se verificarem os seus efeitos ou pelo menos antes do seu impacto ser sentido.
8-9	Muito Baixa	Os métodos de prevenção e/ou deteção do modo de falha atualmente implementados na empresa são pouco prováveis de prevenir e/ou detetar o modo de falha, antes de se verificarem os seus efeitos ou pelo menos antes do seu impacto ser sentido.
10	Nula	Os métodos de prevenção e/ou deteção do modo de falha atualmente implementados na empresa são muito pouco prováveis ou até mesmo improváveis de prevenir e/ou detetar o modo de falha, antes de se verificarem os seus efeitos ou pelo menos antes do seu impacto ser sentido. A empresa não implementa métodos de prevenção nem de deteção do modo de falha.



## ANEXO IX – FORMA COMO SE NORMALIZOU OS ÍNDICES DO FATOR SEVERIDADE DOS EFEITOS

Índices	Índice Normalizado
$2 \leq S < 14$	1
$14 \leq S < 26$	2
$26 \leq S < 38$	3
$38 \leq S < 50$	4
$50 \leq S < 62$	5
$62 \leq S < 74$	6
$74 \leq S < 88$	7
$88 \leq S < 102$	8
$102 \leq S < 116$	9
$116 \leq S < 130$	10



## ANEXO X – DATA DE INÍCIO DE ATIVIDADE NA EMPRESA DOS MET 1 A 13, À EXCEÇÃO DO MET9

<b>MET</b>	<b>Data de início de atividade na empresa</b>
<b>MET1</b>	5/10/2015
<b>MET2</b>	16/10/2015
<b>MET3</b>	22/02/2016
<b>MET4</b>	14/04/2016
<b>MET5</b>	23/08/2016
<b>MET6</b>	25/05/2016
<b>MET7</b>	13/11/2017
<b>MET8</b>	26/1/2018
<b>MET10</b>	20/4/2019
<b>MET11</b>	23/5/2019
<b>MET12</b>	25/6/2019
<b>MET13</b>	20/9/2019



## ANEXO XI – FMEA DOS MET ELABORADO

FMEA/FMECA (Análise de Modos de Falha e Criticidade de Efeitos)	
<b>Nº documento</b>	1
<b>Equipamento</b>	METS

Histórico de revisões			
Data original/finalização da revisão	Período dos registos	Descrição	Responsáveis
26-07-2019	Jan. 2018 a 5 de Fev. 2019		Joana Dias; Equipa de Manutenção Especializada; Metistas

Legenda:
IAOS - Impacto Operacional, Ambiente e Segurança;
CR - Custos de Reparação;
FO - Flexibilidade Operacional;
S - Índice de severidade dos efeitos;
O - Índice de ocorrência do modo de falha;
D - Índice de capacidade de prevenção e deteção do modo de falha;
NPR - Número de Prioridade de Risco.

Sistema/Componente	Subsistemas/Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha
				IAOS	CR	FO	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		
Patilha	Patilha danificada com retificação (ex.torta)	MET tem de parar (Goniómetro não roda e/ou Trackballstage bloqueado). Se continuar pode danificar outros componentes.		1	1	4	1	Erro operacional [Patilha abriu dentro do goniómetro devido a ter sido mal fechada...]	40	5,73	2	Sensibilização dos metistas com flashes de manutenção e Manutenção preventiva semanal	Sentir que a patilha fecha mal e perda de algumas grelhas	2	4	Usar a pinça de plástico.
	Patilha danificada sem retificação (ex. partida)	MET tem de parar (Goniómetro não roda e/ou Trackballstage bloqueado). Se continuar pode danificar outros componentes.		2	5	4	1	Erro operacional [Patilha abriu dentro do goniómetro devido a ter sido mal fechada...]	30	4,30	2	Sensibilização dos metistas com flashes de manutenção e Manutenção preventiva semanal	Sentir que a patilha fecha mal e perda de algumas grelhas	2	4	Não prosseguir quando se sente que a patilha está a fechar mal ou quando se começa a perder grelhas - chamar logo alguém da manutenção. Usar a pinça de plástico.
Parafusos do porta-amostras, excepto o guia	Parafuso(s) desapertado(s)	MET tem de parar. Se continuar (imagem desfocada) pode danificar outros componentes.		1	1	4	1	Utilização	5	0,72	1	Manutenção preventiva semanal	Visual ao mexer no porta-amostras (pouco perceptível) e/ou Através dos efeitos	3	3	Marcar os parafusos com cor para conseguir ver quando estão desapertados.
	Parafuso pequeno danificado (ex.desgastado, partido, moído)	MET pode ter de parar, dependendo da desfocagem da imagem.		2	3	4	1	Erro operacional [Técnicos apertam os parafusos com a pinça em vez de chamar alguém da manutenção]	7	1,00	1	Manutenção preventiva semanal	Visual ao mexer no porta-amostras e/ou Através dos efeitos	4	4	
	Parafuso grande danificado (ex.desgastado, partido, moído)	MET pode ter de parar, dependendo da desfocagem da imagem.		2	3	4	1	Erro operacional [Técnicos apertam os parafusos com a pinça em vez de chamar alguém da manutenção]	0	0,00	1	Manutenção preventiva semanal	Visual ao mexer no porta-amostras e/ou Através dos efeitos	4	4	



Sistema/Componente	Subsistemas/Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha
				IOAS	CR	F0	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		
Porta-amostras	Parafuso guia	Parafuso guia desapertado	MET tem de parar. Se continuar (má conexão entre o parafuso guia e o sensor amarelo) pode danificar outros componentes (tubo de cobre).	1	1	4	1	Utilização	3	0,43	1	Manutenção preventiva semanal	Visual ao mexer no porta-amostras (pouco perceptível) e/ou Através dos efeitos	3	3	Marcar o parafuso com cor para conseguir ver quando está desapertado.
		Parafuso guia danificado para troca	MET pode ter de parar, dependendo se o parafuso guia se consegue conectar ao sensor amarelo.	2	3	4	1	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva semanal e Parafuso guia trocado na manutenção anual externa	Visual ao mexer no porta-amostras e/ou Através dos efeitos	3	3	
		Parafuso guia desajustado	MET pode ter de parar, dependendo se o parafuso guia se consegue conectar ao sensor amarelo.	5	1	4	2	Utilização e Troca do parafuso guia	1	0,14	1	Manutenção preventiva semanal	Visual ao mexer no porta-amostras e/ou Através dos efeitos	4	8	
		Parafuso guia dentro do goniómetro	MET tem de parar (não há conexão entre o sensor amarelo e o parafuso guia) e pode haver danos doutros componentes.	8	2	4	3	Erro operacional	2	1,43	2	Manutenção preventiva semanal	Visual ao mexer no porta-amostras e/ou Através dos efeitos	4	24	
	Ponta do porta-amostras (parte onde se colocam as amostras)	Parte completa da ponta do porta-amostras danificada (ex. empenada, desalinhada)	MET pode ter de parar, dependendo da desfocagem da imagem e do desalinhamento do stage.	2	8	4	2	Erro operacional [Excesso de força do metista a fechar as patilhas]	2	0,29	1	Manutenção preventiva semanal	Visual ao mexer no porta-amostras e/ou Através dos efeitos	3	6	
		Spacer danificado	MET pode ter de parar, dependendo da desfocagem da imagem e do desalinhamento do stage.	5	6	4	3	Erro operacional	10	1,43	2	Sensibilização do operador com flashes de manutenção e Manutenção preventiva semanal	Visual ao mexer no porta-amostras e/ou Através dos efeitos	3	18	
	O-rings do porta-amostras	O-rings danificados	MET tem de parar (Entrada de ar e/ou Alta tensão vai abaixo).	6	3	4	3	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva semanal e O-rings trocados na manutenção anual externa	Através dos efeitos	4	12	
		O-rings desadequados (ex. não são originais)	MET tem de parar (Entrada de ar e/ou Alta tensão vai abaixo).	6	1	4	2	Má manutenção externa	6	0,86	1	Não há	Através dos efeitos	10	20	
	Outro/Geral	Sujidade	MET pode ter de parar, dependendo do efeito (Porta-amostras difícil de introduzir no goniómetro; Track ball /stage bloqueado ou Alta tensão vai abaixo).	3	1	4	1	Utilização	6	0,86	1	Manutenção preventiva semanal	Visual e Através dos efeitos	3	3	



Sistema/ Componente	Subsistemas/ Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha
				IOAS	CR	F.O	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		
Outro/Geral	Sujidade (ex. com carbono das grelhas)	MET pode ter de parar (trackball/stage bloqueado, entradas de ar e/ou alta tensão vai abaixo, porta-amostras preso ou de difícil rotação). Pode provocar outros danos (contaminações).	5	1	6	3	Utilização	15	2,15	2	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	4	24		
	Deslocamento das partes mecânicas	MET tem de parar. Pode haver dano de componentes.	6	9	6	4	Erro operacional	2	0,29	1	Não há	Através dos efeitos	10	40		
	Goniómetro saído para fora	MET tem de parar. Há dano de componentes (tubo de cobre, sensor amarelo e/ou tubo externo).	8	9	6	5	Erro operacional [Excesso de força do metista a tirar o porta-amostras]	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	50		
	Grelha(s) dentro do goniómetro (ex. no SAS, O-ring ou Válvula)	MET pode ter de parar (entradas de ar e/ou alta tensão vai abaixo). Pode haver danos de outros componentes (válvula, o-ring da válvula).	6	2	6	4	Utilização e Erro operacional	3	0,43	1	Não há	Visual	10	40	Parar o MET, enquanto as grelhas não forem retiradas.	
	Tubo de cobre danificado com retificação	MET pode ter de parar (porta-amostras preso ou de difícil rotação, entradas de ar).	7	1	6	4	Erro operacional e Utilização	40	5,73	2	Sensibilização dos metistas	Através dos efeitos	6	48		
	Tubo de cobre sem lubrificação	MET tem de parar. Se continuar (porta-amostras de difícil rotação) pode danificar outros componentes.	8	1	6	4	Utilização	7	1,00	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	3	12		
	Tubo de cobre danificado sem retificação (ex. estalado, desgastado)	MET pode ter de parar (porta-amostras preso ou de difícil rotação, entradas de ar).	7	9	6	5	Erro operacional e Utilização	8	1,15	2	Sensibilização dos metistas e Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	50		
Tubo de cobre	Tubo de cobre desalinhado (ex. fora do sítio)	MET tem de parar (entradas de ar).	4	1	6	2	Erro operacional [Técnico tira o porta-amostras com muita força, o que faz com que da interação com o parafuso guia a válvula abra e consequentemente haja uma entrada de ar]	79	11,32	3	Sensibilização dos metistas e Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	30		





Sistema/Componente	Subsistemas/Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha	
				IOAS	CR	F0	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D			
Goniómetro		Tubo de cobre sujo	MET tem de parar ( entradas de ar e/ou alta tensão vai abaixo).	6	1	6	3	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	4	12		
		Tubo de cobre com excesso de lubrificação	MET tem de parar (entradas de ar). Pode provocar outras falhas (porta-amostras com excesso de lubrificação).	8	1	6	4	Falha manutenção	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos ou menos provavel Visual	3	12		
		Tubo externo do goniómetro	Tubo externo danificado	MET tem de parar (tubo de cobre não roda).	11	9	6	7	Erro operacional e Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	35	
		Potenciómetro/Motor TX	Potenciómetro/Motor TX danificado	MET pode continuar a laborar, mas não pode tilar (Goniómetro não roda).	11	9	6	7	Utilização	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	70	
		Válvula do goniómetro	Válvula desajustada	MET tem de parar (entradas de ar).	6	1	6	3	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	15	
		Placa de deslizamento	Placa de deslizamento saiu	MET pode continuar a laborar, mas desgasta o goniómetro.	7	7	6	4	Erro operacional e Utilização	2	0,29	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	20	
			Sensor amarelo danificado	MET tem de parar (sensor amarelo preso e não há conexão entre sensor amarelo e parafuso guia).	6	1	6	3	Utilização	9	1,29	2	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	30	
			Sensor amarelo desajustado (ex. fora do sítio)	MET tem de parar (Oscilação do FIG4 no qual este não efectua o EVAC READY; não há conexão entre sensor amarelo e parafuso guia).	6	1	6	3	Erro operacional; Utilização e Troca do parafuso guia	7	1,00	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	6	18	
			Sensor amarelo sujo	MET pode ter de parar (sensor amarelo preso e não há conexão entre sensor amarelo e parafuso guia; má conexão entre sensor amarelo e parafuso guia).	5	1	6	3	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	4	12	
		Conjunto: Sensor amarelo, Calharocarril e Rolamento	Carril/Calha (parte onde o rolamento do sensor amarelo se desloca) sujo	MET pode ter de parar (sensor amarelo preso e não há conexão entre sensor amarelo e parafuso guia; má conexão entre sensor amarelo e parafuso guia).	5	1	6	3	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	4	12	



Sistema/Componente	Subsistemas/Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha
				IOAS	CR	F0	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		
		Carril/Calha (parte onde o rolamento do sensor amarelo se desloca) danificado	MET pode ter de parar (sensor amarelo preso e não há conexão entre sensor amarelo e parafuso guia; má conexão entre sensor amarelo e parafuso guia).	5	1	6	3	Utilização	2	0,29	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	15	
		Rolamento do sensor amarelo sujo	MET pode ter de parar (sensor amarelo preso e não há conexão entre sensor amarelo e parafuso guia; má conexão entre sensor amarelo e parafuso guia).	5	1	6	3	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	4	12	
	SAS	Parafuso(s) do SAS solto(s)	MET tem de parar (entradas de ar, Erro - Motor TX failure, Trackball/Stage bloqueado).	6	6	6	4	Erro operacional e Utilização	2	0,29	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	20	
		Ferrinho/Mola que segura as roldanas partido	MET tem de parar (entradas de ar, Erro - Motor TX failure, Trackball/Stage bloqueado).	6	6	6	4	Erro operacional e Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	7	28	
		Roldanas/Engrenagens desajustadas (ex. deslocadas, com folga ou danificadas)	MET tem de parar (entradas de ar, Erro - Motor TX failure, Trackball/Stage bloqueado).	6	6	6	4	Erro operacional e Utilização	3	0,43	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	20	
	O-ring da válvula	O-ring da válvula danificado (ex. trilhado) sem reparação	MET tem de parar (entradas de ar, fuga de vácuo no tanque de reserva).	6	3	6	4	Erro operacional [Perda de grelhas]	6	0,86	1	Manutenção preventiva mensal e Troca na manutenção anual externa	Através dos efeitos	7	28	
	Conjunto: Fios eléctricos (cabos que ligam a ficha do goniómetro ao motor) e conetores/fichas	Fio(s) eléctrico(s) danificado(s) com reparação	MET pode continuar a laborar, mas não pode tilar (Goniómetro não roda).	5	1	6	3	Utilização [Estar constantemente a montar e a desmontar o goniómetro]	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	6	18	Colocação de proteção nos fios.
		Fio(s) eléctrico(s) danificado(s) (ex. partido) sem reparação	MET pode continuar a laborar, mas não pode tilar (Goniómetro não roda).	11	7	6	6	Utilização [Estar constantemente a montar e a desmontar o goniómetro]	4	0,57	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	30	Colocação de proteção nos fios.
		Conetores/Fichas danificados	MET pode continuar a laborar, mas não pode tilar (Goniómetro não roda).	5	7	6	3	Utilização	2	0,29	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	5	15	



Sistema/ Componente	Subsistemas/ Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha
				IOAS	CR	F0	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		
Outro/Micro	Desconhecido/Não definido	Modo de falha desconhecido/Sem modo de falha	MET tem de parar (entradas de ar).	4	1	10	4	Erro operacional [Técnico tira o porta-amostras do goniómetro com muita força; Técnico esqueceu-se de ligar o botão de vácuo]	197	28,22	5	Não há	Através dos efeitos	10	200	
			MET tem de parar (alta tensão vai abaixo).	4	1	10	4	Erro operacional	62	8,88	2	Não há	Através dos efeitos	10	80	
			MET poderá continuar a laborar normalmete (alta tensão a oscilar).	3	1	10	3	Utilização	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	30	
			MET tem de parar (Met desligou-se).	4	1	10	4	Pode ser Erro operacional	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	40	
			MET tem de parar (Entrada de ar no detetor chamber; Alta tensão vai abaixo).	4	1	10	4	Erro operacional [Alavanca pressionada sem querer]	2	0,29	1	Alavanca bloqueada com fita-cola para impedir que seja pressionada	Através dos efeitos	1	4	
			MET pode continuar a laborar, mas tem tempo de vácuo mais elevado.	5	1	10	5	Erro operacional [Metistas não aguardam que o MET faça vácuo (tempo de vácuo)]	3	0,43	1	Não há	Através dos efeitos	10	50	
		Contaminação de origem desconhecida	MET pode continuar a laborar, podendo ter alguma dificuldade de visualização.	2	1	10	2	Utilização	1	0,14	1	Não há	Visual	10	20	
		Contaminação em low mag	MET pode continuar a laborar, ainda que com dificuldade de visualização em low mag.	11	1	10	9	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva mensal	Através dos efeitos	4	36	
		Desalinhamento mag-low mag	MET pode ter de parar, dependendo do campo de visão/metista.	3	1	10	3	Utilização [Muito uso da trackball e com velocidade]	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	30	
Difração desalinhada	MET pode continuar a laborar, mas difração não é nítida.	5	1	10	5	Utilização	7	1,00	1	Não há	Verificações de início de laboração ou, durante o trabalho, Através dos efeitos	9	45			



Sistema/Componente	Subsistemas/Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha	
				IOAS	CR	F0	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		NPR
	Parte eletrónica	Problemas eletrónicos	MET tem de parar (Falha total do MET - Conflito entre o computador e o MET (ex. Failed to connet to main sytem); Falha dos comandos; Dificuldade em ligar o MET).	4	1	10	4	Falha manutenção externa	4	0,57	1	Manutenção anual externa	Através dos efeitos	9	36	
Coluna	Feixe	Feixe desalinhado	MET pode continuar a laborar, mas difração não é nítida.	1	1	10	1	Utilização	7	1,00	1	Manutenção preventiva semanal	Verificações de início de laboração	2	2	
	Lentes da coluna	Contaminação e Grelha(s)	MET tem de parar (astigmatismo na imagem, fuga do feixe, feixe desalinhado, pouca luz, rotação com o brightness - rotação do feixe sobre ele próprio a 360°).	11	1	10	9	Utilização e Erro operacional	5	0,72	1	Manutenção anual externa	Através dos efeitos	9	81	
	Filamento	Filamento partido	MET tem de parar (falha total - não se pode fazer nada).	7	5	10	7	Utilização e Vai-se danificando com entradas de ar	19	2,72	2	Não há	Através dos efeitos	10	140	
	Diafragmas	Diafragma de difração desregulado (ex.desalinhado)	MET pode continuar a laborar, mas não consegue ver a difração.	1	1	10	1	Utilização e Erro operacional	2	0,29	1	Manutenção preventiva semanal	Verificações de início de laboração ou, durante o trabalho, Através dos efeitos	2	2	
		Diafragma de contraste contaminado	MET pode ter de parar, dependendo do metista e se todas as posições estão contaminadas (Não dá para ver imagem com contraste na(s) posição/ões contaminada(s)).	2	1	10	2	Utilização	3	0,43	1	Diafragmas trocados na manutenção anual externa e Verificação semanal	Através dos efeitos	3	6	
		Diafragma de contraste desalinhado	MET pode ter de parar, dependendo do metista (não dá para ver imagem com contraste em nenhuma posição).	1	1	10	1	Erro operacional [Os metistas desajustam as rodas]	0	0,00	1	Manutenção preventiva semanal	Através dos efeitos	3	3	
Compressor	Outro/Geral	Compressor com baixa pressão	MET tem de parar (entradas de ar; Erro: Vacuum System - Air pressure down; Erro: Electron Optical System - OL Thermo Wire Break).	6	1	7	4	Utilização	2	0,29	1	Manutenção preventiva mensal e Mudança do óleo na manutenção anual externa	Através dos efeitos	3	12	



Sistema/Componente	Subsistemas/Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha
				IO/AS	CR	F0	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		
Chiller	Outro/Geral	Chiller sujo (ex. radiador)	MET tem de parar (sobreaquecimento do chiller, lentes da coluna vão abaixo; entradas de ar e/ou alta tensão vai abaixo).	4	1	5	2	Utilização e Obras	4	0,57	1	Manutenção preventiva semanal e anual externa	Através dos efeitos e Alarmes	3	6	
		Chiller desligado	MET tem de parar (lentes da coluna vão abaixo; MET vai abaixo).	6	1	5	3	Erro operacional [Obras]	5	0,72	1	Não há	Através dos efeitos	10	30	
	Display	Display avariado	MET pode continuar a laborar normalmente.	1	1	5	1	Utilização	1	0,14	1	Não há	Visual	10	10	
	Motor do ventilador	Motor do ventilador gripado	MET tem de parar (sobreaquecimento do chiller, lentes da coluna vão abaixo; entradas de ar).	11	1	5	5	Utilização	3	0,43	1	Não há	Através dos efeitos e Alarmes	10	50	
	Bomba de água	Bomba de água avariada	MET tem de parar (sobreaquecimento do chiller, lentes da coluna vão abaixo; entradas de ar).	11	1	5	5	Utilização	0	0,00	1	Não há	Através dos efeitos e Alarmes	10	50	
	Tubos do chiller	Braçadeiras dos tubos do chiller desapertadas	MET tem de parar (perda de água, sobreaquecimento do chiller, lentes da coluna vão abaixo, MET vai abaixo).	6	1	5	3	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva semanal	Através dos efeitos e Alarmes	9	27	
	Entrada/Saída de água do Chiller	Peça da saída e/ou entrada da água do chiller (ligações rápidas/conectores) partida	MET tem de parar (perda de água, sobreaquecimento do chiller, lentes da coluna vão abaixo, MET vai abaixo).	6	1	10	5	Utilização	2	0,29	1	Não há	Através dos efeitos e Alarmes	10	50	
		Defeito no vedante da entrada e/ou saída do MET (e.x. vedante desgastado)	MET tem de parar (perda de água, sobreaquecimento do chiller, lentes da coluna vão abaixo, MET vai abaixo).	6	1	10	5	Utilização	1	0,14	1	Manutenção preventiva semanal	Através dos efeitos e Alarmes	9	45	
	Gás	Fuga de gás	MET tem de parar (sobreaquecimento do chiller, lentes da coluna vão abaixo, entradas de ar; MET vai abaixo).	12	1	5	5	Utilização	0	0,00	1	Não há	Através dos efeitos e Alarmes	9	45	



Sistema/Componente	Subsistemas/Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha
				IOAS	CR	F0	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		
Binocular	Outro/Geral	Desocentrada	MET pode continuar a laborar normalmente.	1	1	10	1	Utilização	1	0,14	1	Não há	Visual	9	9	
	Rosca	Rosca danificada	MET pode continuar a laborar (binocular mal fixa), no entanto não convém usar a binocular. Se continuar a trabalhar com a binocular, pode provocar outros danos nesta.	1	7	10	2	Utilização	1	0,14	1	Não há	Visual	9	18	
Shutter fotográfico	Outro/Geral	Shutter fotográfico avariado	MET pode ter de parar (Vibração na imagem; Feixe irregular).	7	1	10	6	Utilização	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	60	
Sistema de válvulas do tanque de reserva	Outro/Geral	Sujidade dos assentos das válvulas	MET tem de parar (entradas de ar, fuga de vácuo no tanque de reserva).	9	1	10	8	Utilização	2	0,29	1	Manutenção anual externa	Através dos efeitos	9	72	
EDAX	Sistema de arrefecimento ("janela")	Sistema de arrefecimento ("janela") contaminada	MET pode continuar a laborar mas não pode fazer análise química (EDAX não arrefece).	10	10	8	8	Utilização	1	0,14	1	Manutenção anual externa	Visual - luz vermelha intermitente e Através dos efeitos	9	72	
	Parte eletrónica	Problema eletrónico do EDAX	MET pode continuar a laborar mas não pode fazer análise química (EDAX encravou na sua deslocação para a aquisição dos elementos químicos; EDAX não funciona).	3	1	8	2	Utilização	3	0,43	1	Não há	Verificação semanal; Visual - luz vermelha intermitente e Através dos efeitos.	7	14	
		Problema no software	MET pode continuar a laborar normalmente (Erro "processor may be out of calibration" em qualquer elemento químico). Apenas as verificações metrológicas são afetadas.	1	7	8	2	Falha manutenção externa	1	0,14	1	Manutenção anual externa	Mensagem de erro	9	18	
	Diafragma do EDAX	Diafragma do EDAX desalinhado	MET pode continuar a laborar, podendo existir limitações na análise química.	1	1	8	1	Erro operacional	1	0,14	1	Manutenção preventiva semanal	Procedimento de início de laboração diário e Através dos efeitos	2	2	
Fonte de alimentação	Outro/Geral	Sem falha/falha desconhecida	MET tem de parar (MET não liga).	8	1	10	7	Utilização	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	70	



Sistema/ Componente	Subsistemas/ Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha
				IOAS	CR	F0	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		
Comandos	Tecla low mag	Tecla low mag danificada	MET pode continuar a laborar normalmente (Não pode fazer low mag no botão, mas pode fazer no software).	1	6	11	1	Utilização	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	10	
	Trackball	Sujidade	MET pode ter de parar (Stage/trackball encrava ou Stage/trackball bloqueado).	1	1	10	1	Utilização	3	0,43	1	Manutenção preventiva semanal	Através dos efeitos	3	3	
		Problemas eletrónicos (ex. problema no programa)	MET pode ter de parar (Stage desalinhado ou Stage/trackball bloqueado).	4	1	10	4	Utilização	9	1,29	2	Não há	Através dos efeitos	10	80	
Ecrã de fósforo/ Espelho da difração	Parafuso	Parafuso do ecrã de fósforo desapertado ou solto	MET pode continuar a laborar, mas não consegue fazer difração (Ecrã de fósforo mexe ou cai).	5	1	10	5	Erro operacional	4	0,57	1	Não há	Verificações de início de laboração e Através dos efeitos	10	50	
Placa de processamento	Outro/Geral	Placa de processamento avariada	MET tem de parar (PC não comunica com o MET - Falha total).	11	1	10	9	Erro operacional [Entrada de ar aguardando da movimentação do porta-amostras]	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	90	
Transformador	Outro/Geral	Problemas eletrónicos	MET tem de parar (Falha total).	9	1	10	8	Utilização	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	80	



Sistema/Componente	Subsistemas/Subcomponentes	Modos Potenciais de Falha	Efeitos Potenciais do Modo de Falha	Severidade dos Efeitos				Causas Potenciais do Modo de Falha	Ocorrência do Modo de Falha			Métodos Atuais de Controlo do Modo de Falha			NPR	Ações Recomendadas para reduzir o risco de falha
				IOAS	CR	F0	S		Frequência de ocorrência	Frequência Relativa (%)	O	Prevenção	Deteção	D		
Fontes externas	Ambiente	Temperatura da sala dos METs elevada	MET tem de parar (Met desligase).	4	1	10	4	Falha do ar condicionado	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos ou, muito raro, por medição periódica da temperatura.	9	36	Ter sensores de temperatura e alertas sonoros.
		Temperatura da sala dos chillers elevada	MET tem de parar (perda de água, sobreaquecimento do chiller, lentes da coluna vão abaixo, MET vai abaixo).	6	1	10	5	Falha refrigeração	1	0,14	1	No Verão os chillers são colocados no laboratório	Através dos efeitos ou, mais raro, por Alarmes	8	40	Ter "monitorizadores" do som dos alarmes dos chillers.
	Quadro elétrico	Disjuntor do diferencial danificado	MET tem de parar (Diferencial dispara, Dificuldade em ligar o quadro elétrico, Dificuldade em ligar o MET).	9	3	10	8	Utilização	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	80	
	Outro/Desconhecido	Cabo das tomadas da sala traçado	MET tem de parar (Curto circuito).	9	3	10	8	Erro operacional [Obras]	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	80	
		Pico de energia	MET tem de parar (Disjuntor dispara, MET vai abaixo; Dificuldade em ligar o MET).	4	1	10	4	Desconhecida	1	0,14	1	Não há	Através dos efeitos	10	40	
	Rede Elétrica	Corte de luz	MET tem de parar (Met vai abaixo; Conflito entre o computador e o MET (ex. Failed to connet to main sytem); Falha dos comandos; Dificuldade em ligar o MET).	6	1	10	5	Mau tempo e Sobrecargas	3	0,43	1	Não há	Através dos efeitos	10	50	





## ANEXO XII – CARTAZES ELABORADOS PARA SENSIBILIZAR OS METISTAS ACERCA DA IMPORTÂNCIA DA CORRETA UTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E DA MANUTENÇÃO



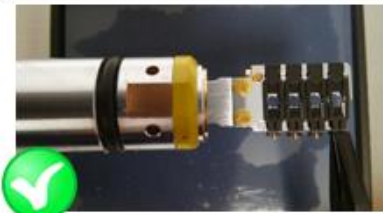



O risco paga-se caro e pode comprometer a meta!

**Preçário**

Porta-amostras.....	17 562 €
Tubo de Cobre..	1 866,53 €
Patilha .....	473,74 €
Filamento.....	78,82 €
Parafuso PA.....	18,33 €



## ANEXO XIII – FLASH DE MANUTENÇÃO ELABORADO PELA EQUIPA DE MANUTENÇÃO ESPECIALIZADA PARA O LABORATÓRIO 2

FLASH DE MANUTENÇÃO		
SITUAÇÃO OK	SITUAÇÃO NOK	CONSEQUÊNCIAS DA MÁ PRÁTICA
<b>PROBLEMA: PATILHAS ABERTAS COM PINÇA DE METAL</b>		
		<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Diminuição do tempo de vida das patilhas</li><li>❖ Danificam-se mais facilmente chegando-se a partir</li></ul>
<b>PROBLEMA: PATILHAS FECHADAS COM PINÇA DE METAL</b>		
		<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Diminuição do tempo de vida das patilhas</li><li>❖ Danificam-se mais facilmente chegando-se a partir</li><li>❖ Empeno da peça frontal do porta-amostras</li></ul>
<b>2 meses = 5 patilhas = 2370 euros</b>		
Semana 11		12-03-2019

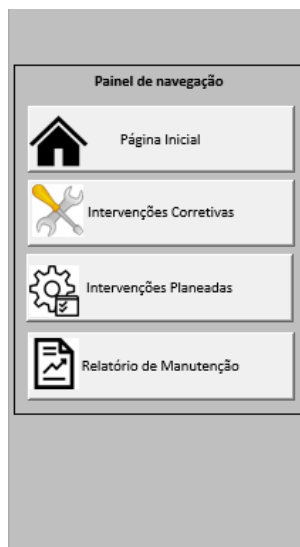


**ANEXO XIV - TEMPOS DE VIDA DOS FILAMENTOS USADOS PARA REALIZAR A ANÁLISE DE WEIBULL, RESPECTIVOS TIPOS (FALHA OU NÃO FALHA) E MET A QUE CORRESPONDEM**

<b>Tempo (dias)</b>	<b>Tipo</b>	<b>MET</b>
<b>106</b>	Falha	1
<b>4</b>	Não Falha	1
<b>183</b>	Não Falha	1
<b>182</b>	Falha	2
<b>217</b>	Não Falha	2
<b>27</b>	Falha	3
<b>279</b>	Não Falha	3
<b>155</b>	Falha	4
<b>77</b>	Falha	4
<b>167</b>	Não Falha	4
<b>64</b>	Falha	5
<b>279</b>	Não Falha	5
<b>61</b>	Falha	6
<b>148</b>	Não Falha	6
<b>268</b>	Não Falha	7
<b>375</b>	Não Falha	8
<b>56</b>	Falha	10
<b>99</b>	Falha	10
<b>134</b>	Não Falha	10
<b>213</b>	Falha	11
<b>41</b>	Não Falha	11
<b>8</b>	Falha	12
<b>36</b>	Falha	12
<b>180</b>	Não Falha	12
<b>138</b>	Não Falha	13



## ANEXO XV – SEPARADOR DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO QUE SE TEM ACESSO ATRAVÉS DO BOTÃO “ATUALIZAR HISTÓRICO DOS MET”



Número de METs Total e por BU							
Total		A46		G79		E82	
Coluna1	Nº de METs	Coluna1	Nº de METs	Coluna1	Nº de METs	Coluna1	Nº de METs
Início do ano	12	Início do ano	6	Início do ano	6	Início do ano	0
Data mudança*		Data mudança*		Data mudança*		Data mudança*	
28/2/2019	13	1/2/2019	7	1/2/2019	5	29/3/2019	1
29/3/2019	14	27/5/2019	9	28/2/2019	6		
9/4/2019	15			9/4/2019	7		
6/6/2019	16			27/5/2019	5		
				6/6/2019	6		

### Inserir as datas por ordem cronológica!

\* Data apartir da qual, inclusive, o número de METs se alterou.

### Exemplo:

Suponhamos que até ao dia 3/3/2019 a BU A estava a laborar com 3 METs, passando a laborar a partir do dia seguinte com 4 METs. Assim, na tabela correspondente a essa BU deve constar como data mudança 4/3/2019 e como nº de METs 4.



## ANEXO XVI – SEPARADOR DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO QUE SE TEM ACESSO ATRAVÉS DO BOTÃO “DADOS PARA FMEA”

The screenshot displays a software application interface. On the left is a vertical navigation panel titled "Painel de navegação" with four menu items: "Página Inicial" (with a house icon), "Intervenções Corretivas" (with a wrench and screwdriver icon), "Intervenções Planeadas" (with a gear icon), and "Relatório de Manutenção" (with a document icon). The main area on the right is titled "Modos de falha para rever no FMEA" and contains a table with three columns: "Sistema/Componente", "Subsistema/subcomponente", and "Modo de Falha". The table lists various components and their associated failure modes. At the bottom, a breadcrumb trail shows the current path: "Dias de Produção" > "Erros" > "Ajuda Corretivas" > "Ajuda Planeadas" > "Inputs" > "Rever FMEA".

Sistema/Componente	Subsistema/subcomponente	Modo de Falha
Coluna	Feixe	Feixe com luminosidade baixa
	Feixe	Sem feixe
Chiller	Diafragmas	Diafragma de contraste deslocado
	Torneira	Torneira aberta
EDAX	Outro/Geral	Sobreaquecimento
	Outro/Geral	Cabo de rede desconectado
Trackball	Outro/Geral	Stage descentrado
	Outro/Geral	Peça solta
	Outro/Geral	Peça saída para fora
	Outro/Geral	Peça partida
Porta-amostras de 4 posições	Parafusos do porta-amostras, excepto o guia	Parafuso grande danificado (ex. desgastado, partido, moído)
	Outro/Geral	Sensor do PA descolado
	Outro/Geral	Desalinhamento
	Parte eletrónica	Erro no software
	Filtros que conectam MET e	<b>Filtros colmatados</b>
	Chiller	Botão detetor chamber acionado
	Outro/Geral	Eletroválvulas dos caudais fechadas



## ANEXO XVII – SEPARADOR DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO QUE SE TEM ACESSO ATRAVÉS DO BOTÃO “REGISTAR BUG/MELHORIA”

**Bugs do Excel/Melhorias**

Separador	Descrição do Bug/Melhoria
	Inserir data e hora comunicação 2ª equipa

Página Inicial > Registos Manutenção corretiva > Dias de Produção > Erros > Ajuda Corretivas



## ANEXO XVIII – PÁGINA DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO QUE SE TEM ACESSO ATRAVÉS DO BOTÃO “CONSULTAR/ATUALIZAR DISPONIBILIDADE”

**Inputs para Planeamento**

**Faltas (férias, dias indisponíveis....)**

Data		
Tânia Costa	Diogo Ribeiro	Nuno Couto

**Carga Horária atribuída**

Digite a data:

Equipa/Técnico de manutenção	Tempo total atribuído (h)
<b>Equipa interna especializada</b>	<b>0,00</b>
Carlos Pinto	0,00
Vanessa Gouveia	0,00
<b>Equipa interna referente</b>	<b>3,00</b>
Carlos Freitas	1,50
Pedro Gomes	1,50
Rafael Patacas	0,00
Pedro Coutinho	0,00
Sofia Gonçalves	0,00
Tânia Costa	0,00
Nuno Couto	0,00
<b>Equipa Externa</b>	<b>0,00</b>
<b>Total</b>	<b>3,00</b>

**Tempo Total Atribuído (h)**

Equipa/Técnico de manutenção	Tempo total atribuído (h)
Equipa interna especializada	0,00
Carlos Pinto	0,00
Vanessa Gouveia	0,00
Equipa interna referente	3,00
Carlos Freitas	1,50
Pedro Gomes	1,50
Rafael Patacas	0,00
Pedro Coutinho	0,00
Sofia Gonçalves	0,00
Tânia Costa	0,00
Nuno Couto	0,00
Equipa Externa	0,00
Total	3,00

Panel de navegação

- Página Inicial
- Intervenções Corretivas
- Intervenções Planeadas
- Relatório de Manutenção
- Ajuda

Dias de Produção Erros Ajuda Corretivas Ajuda Planeadas **Inputs** Rever FMEA Tarefa ...



## ANEXO XIX – USERFORM DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO QUE SE TEM ACESSO ATRAVÉS DO BOTÃO “INSERIR REPARAÇÃO” DO USERFORM “TAREFA CONCLUÍDA”

Inserir novo registo

Equipamento\*   BU\*    \* campo(s) obrigatório(s)

Turno de origem da falha\*

Metista que originou/reportou a falha

Data e Hora comunicação falha\* (d/m/a h:m)

Descrição da(s) Falha(s)

Falha(s)\*

Efeito(s)

Causa(s)\*

Comentário(s)

Modo Operacional do MET antes da primeira intervenção corretiva\*

Reparação

Descrição:

Custo(s) e Poupança(s)

Falta de material

Atenção:  
Sempre que clica em Ok, são feitas alterações na Tabela de registo.  
Assim, em caso de engano depois de ter clicado em algum Ok, para evitar erros, é preferível clicar em Cancelar e voltar a inserir esse registo de novo!





## ANEXO XX – HISTÓRICO DE TAREFAS PLANEADAS DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Histórico Tarefas Planeadas													
Estado	Duração efetiva com impacto (h)	Duração efetiva sem impacto (h)	Custo (I)	Poupança(I)	Responsável/ eis efetivos(s)	Comentário(s)	Motivo(s)	Nova Data	Nova Equipa de Manutenção	Novo(s) responsável/eis	Antecipação (dias)	Atraso (dias)	Prioridade(s)
Concluído antes do tempo		0,50			Pedro Gomes		Reagendamento 17/07/2019 -	15/07/2019				2	
Concluído no tempo		0,50			Sofia Gonçalves								
Cancelado							Cancelado - Produção						
Cancelado							Cancelado - Produção						Cancelado - Alta
Concluído no tempo		0,50			Carlos Freitas								Concluído - Alta
Concluído no tempo	7				Isaza	Rel. 3002338171							
Concluído no tempo						Concluído - Rel. 3002334252							
Concluído no tempo	4,5				Isaza	Concluído - Rel.3002334254							
Concluído no tempo	4				Isaza	Concluído - Rel.3002334268							
Concluído no tempo	3,5				Isaza	Concluído - Rel.3002334270							
Concluído no tempo	3				Isaza	Concluído - Rel.3002328835							
Concluído no tempo	6				Isaza	Concluído - Rel.3002338172							
Concluído no tempo	1,5				Isaza								

Dadas as dimensões da tabela, foi omitida a primeira parte que corresponde às primeiras 10 colunas da tabela da Figura 54.



## ANEXO XXI – SEPARADOR DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO QUE SE TEM ACESSO ATRAVÉS DO BOTÃO “ATUALIZAR DIAS DE PRODUÇÃO”

**Painel de navegação**

- Página Inicial
- Intervenções Corretivas
- Intervenções Planeadas
- Relatório de Manutenção
- Ajuda

**Dias de produção parcial ou de não produção**

Dias (feriados e outras exceções, excepto sábados e domingos) em que não houve produção (total)
Datas

**Dias de produção parcial**

Dias (ex. sábados e feriados) em que houve produção parcial			
Data	Hora Inicial	Hora Final	Nº de Horas Trabalhadas

← | > | Página Inicial | Registos Manutenção corretiva | **Dias de Produção** | Erros | Ajuda Corretivas | ... ⊕ | < |



## ANEXO XXII – PARTE DUM RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO PLANEADA, INCLUINDO A PARTE RELATIVA AOS MOTIVOS DE REAGENDAMENTOS E CANCELAMENTOS DAS TAREFAS OBTIDO DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO

**Relatório Manutenção**

Geral - Totais desde o início do ano

**Intervenções nos MET's**

Tipo de Intervenção	Laboratório 1 (A46)					Laboratório 2 (G79)					
	Número	Porcentagem	Tempo (h)	Porcentagem	Custo	Número	Porcentagem	Tempo (h)	Porcentagem	Custo	Porcentagem
Corretivas	268	96,75%	383,45	32,74%	8.411,24	167	99,40%	247,33	99,80%	4.260,87	100,00%
Planeadas	9	3,25%	30,50	7,26%	0,00	1	0,60%	0,50	0,20%	0,00	0,00%
<b>Total</b>	<b>277</b>	<b>100,00%</b>	<b>413,95</b>	<b>100,00%</b>	<b>8.411,24</b>	<b>168</b>	<b>100,00%</b>	<b>247,83</b>	<b>100,00%</b>	<b>4.260,87</b>	<b>100,00%</b>

**Planeamento**

Mês: (Tudo) | Semana: (Tudo)

Estado: Concluído antes do tempo | Concluído no tempo | Total

BU	Cancelad	antes do tempo	Concluído no tempo	Total
A46	2	1	8	11
MET6			1	1
MET7			1	1
MET1		1	1	2
MET5			1	1
MET3	2		2	4

**Total de Intervenções Planeadas**

Gráfico de barras mostrando o total de intervenções planeadas por equipamento (MET6, MET7, MET1, MET5, MET3, MET2, MET4, MET15, G79). O eixo Y representa o número de intervenções (0 a 3). A legenda indica: Cancelado (azul), Concluído antes do tempo (laranja), Concluído no tempo (cinza).

Atenção: Mês e Semana referem-se à data inicialmente prevista para a realização da tarefa!

**Relatório de Manutenção**

**Motivos de Reagendamento e Cancelamento de Tarefas Planeadas**

Equipamento/BU: Seleccione\*: Todos | \* campo(s) obrigatório(s)

Mês: Todos | Atualizar

Semana: Digite o nº da semana: [ ]

Atenção: Mês e Semana referem-se à data inicialmente prevista para a realização da tarefa!

Motivo	Nº de Ocorrências
Produção	3
Indisponibilidade	
Manutenção	0

Microsoft Excel: A ler os dados... Aguarde um pouco. OK



## ANEXO XXIII – PARTE DA ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE MODOS DE FALHA DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO

**Relatório de Manutenção**

**Indicadores por Sistema/Componente, Subsistema/Subcomponente, Falha, Causas e Efeitos**

**Atenção**  
Mês e Semana referem-se à data de comunicação da falha ou à data em que a anomalia foi detetada, no caso das manutenções preventivas!

**Para obter os indicadores por Sistema/Componente e Subsistema/Subcomponente:**  
Basta filtrar o(s) sistema(s)/componente(s) e subsistema(s)/subcomponente(s) pretendidos e obterá na última linha os totais respetivos!

\* campo(s) obrigatório(s)

Equipamento/BU Seleccione\*:  
Turno  
Mês Digite o nº da semana:  
Semana

Atualizar

Sistema/Componente	Subsistema/Subcomponente	Falha	Nº de ocorrências	Custo	Poupança	MDT (h)	MTBF/MTTF (h)	Efeitos
Porta-amostras de 4 posições	Patilha	Patilha 1ª posição danificada sem retificação (ex. partida)						
Porta-amostras de 4 posições	Patilha	Patilha 2ª posição danificada sem retificação (ex. partida)						Entrada de ar e Alta Tensão vai
Porta-amostras de 4 posições	Patilha	Patilha 3ª posição danificada sem retificação (ex. partida)						Alta tensão vai abaixo
Porta-amostras de 4 posições	Patilha	Patilha 4ª posição danificada sem						MET vai abaixo

Microsoft Excel  
Tem de preencher todos os campos obrigatórios  
OK

Relatório Manutenção Planeada | Relatório Manutenção Corretiva | **Relatório Modos de Falha** | M ...



## ANEXO XXIV – INSTRUÇÕES DE USO DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA A PARTE DA MANUTENÇÃO PLANEADA ACEDIDAS ATRAVÉS DO BOTÃO “AJUDA”

**Painel de navegação**

- Página Inicial
- Intervenções Corretivas
- Intervenções Planeadas
- Relatório de Manutenção

**Algumas instruções a ter em conta nos registos de Intervenções Planeadas**

Para ter um melhor planeamento, deve manter a tabela com as datas em que cada membro das equipas de manutenção irá estar indisponível atualizada (Botão Consultar/Atualizar). Antes de clicar no ok de cada formulário, deve verificar se não se enganou em nenhum campo. Pois, a correção pode implicar voltar a inserir tudo de novo ou correções manuais. Caso o excel dê um erro de código, clique em F5 --> End. Aponte o Erro para ser posteriormente corrigido (Botão Registrar Bug/Melhoria). Também no Botão Registrar Bug/Melhoria pode apontar melhorias/funcões que poderiam ser feitas de outra forma. Antes de inserir quaisquer dados dum formulário, tenha a certeza que já conhece toda a informação obrigatória (assinalada com \*). Caso contrário, não pode inserir essa informação. Não inserir, apagar ou alterar linhas e colunas nas tabelas. No separador "Agenda" apenas pode manipular colunas/inserir dados fora das tabelas a partir da coluna L.

**Tarefas periódicas e Não periódicas**

Para ambas preencher na tabela as colunas "Equipamento", "BU", "Tarefa", "Duração prevista", "Equipa de manutenção" e "Responsável/eis".

Para tarefas periódicas preencher ainda "Data anterior" e "Periodicidade", sendo a "Data prevista" determinada automaticamente, de acordo com o tipo de tarefa.

Para tarefas não periódicas preencher ainda apenas a "Data agendada".

**Atribuir pessoas a cada tarefa na tabela**

Apenas dá para atribuir uma equipa a cada tarefa. No entanto, dá para atribuir várias pessoas da mesma equipa a cada tarefa. Sendo que, caso se engane a inserir alguma pessoa...

Concluído, Nova data e Cancelado

Erros | **Ajuda Corretivas** | **Ajuda Planeadas** | Inputs | **Rever FMEA** | Tarefas preventiva planeada: ...



## ANEXO XXV – INSTRUÇÕES DE USO DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA A PARTE DA MANUTENÇÃO CORRETIVA ACEDIDAS ATRAVÉS DO BOTÃO “AJUDA”

**Painel de navegação**

- Página Inicial
- Intervenções Corretivas
- Intervenções Planeadas
- Relatório de Manutenção

**Algumas instruções a ter em conta nos registos de Intervenções Corretivas**

Antes de inserir/atualizar qualquer registo, deve atualizar os dias de produção (Botão Atualizar dias de produção). As tabelas não devem ter linhas intermédias vazias!

Antes de clicar no ok de cada formulário, deve verificar se não se enganou em nenhum campo. Pois, a correção pode implicar voltar a inserir tudo de novo ou correções manuais.

Por vezes, quando se engana, pode não atualizar os dados. Caso isso aconteça, selecione outro item na lista e depois volte a selecionar o item correto.

Caso o excel dê um erro de código, clique em F5 --> End. Aponte o Erro para ser posteriormente corrigido (Botão Registrar Bug/Melhoria).

Também no Botão Registrar Bug/Melhoria pode apontar melhorias/funções que poderiam ser feitas de outra forma.

Antes de inserir quaisquer dados dum formulário, tenha a certeza que já conhece toda a informação obrigatória (assinalada com \*). Caso contrário, não pode inserir essa informação.

Por exemplo, a inserção de intervenções de reparação/substituição de equipamentos implica saber a data de início e de fim.

Deve preencher os formulário de cima para baixo. Pois, por exemplo, a inserção de dados relativos à substituição de equipamentos necessita de conhecer a data de comunicação de

Não inserir, apagar ou alterar colunas nas tabelas. No separador "Intervenções Corretivas" apenas pode manipular colunas/inserir dados fora das tabelas a partir da coluna BJ.

É sempre preenchida a primeira linha da tabela com a célula da primeira coluna vazia. Assim, para deixar linhas em branco entre registos, deve preencher a 1ª coluna (indicar o MET

**Atualizar registo existente**

Para atualizar um registo existente, antes de clicar no botão, deve clicar numa qualquer célula da linha onde se encontra o registo a atualizar, de forma a se saber qual o registo.

Caso se engane e queira cancelar a atualização dum registo, tenha em atenção que, algumas das alterações que possa já ter realizado, como custos, são irreversíveis, pelo meno

**Falhas**

Página Inicial | Registos Manutenção corretiva | Dias de Produção | Erros | **Ajuda Corretivas** | ...



## ANEXO XXVI – SEPARADOR QUE CONTÉM OS DADOS DE PRODUÇÃO PARA CALCULAR O FATOR DE QUALIDADE E DE DESEMPENHO DO OEE DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA O CÁLCULO DO OEE

Painel de navegação

- Página Inicial
- Consultar OEE
- Consultar Evolução OEE
- O que é o OEE?

Nº de Análises																		
Mensal/Semanal	A46	G79	E82	MET1	MET2	MET3	MET4	MET5	MET6	MET7	MET8	MET9	MET10	MET11	MET12	MET13	MET14	Total
<b>Nº de análises esperado</b>																		
Janeiro	41667	17516																59183
Fevereiro	39280	31820																71100
Março	43582	37382																80964
Abril	42143	29938																72081
Maió	46707	24451																71158
Junho	44023	36690																80713
Julho																		
Agosto																		
Setembro																		
Outubro																		
Novembro																		
Dezembro																		
<b>Total</b>	<b>257402</b>	<b>177797</b>																<b>435199</b>
<b>Nº de análises real</b>																		
Janeiro	38277	27269																65546
Fevereiro	38247	31598																69845
Março	42905	36089																78994
Abril	37453	33861																71314
Maió	43726	37604																81330
Junho	18515	16602																35117
Julho																		
Agosto																		
Setembro																		
Outubro																		
Novembro																		
Dezembro																		
<b>Total</b>	<b>219123</b>	<b>183023</b>																<b>402146</b>
<b>Nº de controlos de qualidade</b>																		
Janeiro	7669	5910																13579
Fevereiro	7899	6625																14524
Março	9000	7544																16544
Abril	7838	7072																14910
Maió	7629	6759																14388
Junho	2856	2786																5642
Julho																		
Agosto																		
Setembro																		
Outubro																		
Novembro																		
Dezembro																		

Células vazias são assumidas como valores em falta. Para inserir nº de análises nulos, coloque mesmo zero!

Se quiser fazer subconjuntos de METs, mude a fórmula da coluna do Total e jogue com os valores dos METs !

Página Inicial | **Nº de análises** | OEE por MET | Critérios | + | < | >



## ANEXO XXVII – SEPARADOR ONDE SE PODE DEFINIR OS VELOCÍMETROS DOS OEE E SEUS FATORES ACEDIDO PELO BOTÃO “ALTERAR CRITÉRIOS” DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA PARA O CÁLCULO DO OEE

**Painel de navegação**

- Página Inicial
- Consultar OEE
- Consultar Evolução OEE
- O que é o OEE?

**Crítérios**

Velocímetro Qualidade	
Mau	80
Bom	2
Ótimo	18
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Posição</b>	77

Velocímetro Desempenho	
Mau	80
Bom	15
Ótimo	5
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Posição</b>	94

Velocímetro Disponibilidade Total		
Mau	80	
Bom	10	
Ótimo	10	
<b>Total</b>	<b>100</b>	
<b>Posição</b>	95	

Velocímetro Disponibilidade Corrigida		
Mau	80	
Bom	10	
Ótimo	10	
<b>Total</b>	<b>100</b>	
<b>Posição</b>	95	

Ponteiro		
Coordenadas	Eixo X	Eixo Y
Base	0	0
Ponta	0,75	0,67

Ponteiro		
Coordenadas	Eixo X	Eixo Y
Base	0	0
Ponta	0,98	0,20

Ponteiro		
Coordenadas	Eixo X	Eixo Y
Base	0	0
Ponta	0,99	0,16

Ponteiro		
Coordenadas	Eixo X	Eixo Y
Base	0	0
Ponta	0,99	0,16

Velocímetro OEE Total	
Mau	65
Bom	5
Ótimo	30
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Posição</b>	68

Velocímetro OEE Corrigido	
Mau	65
Bom	5
Ótimo	30
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Posição</b>	68

Ponteiro		
Coordenadas	Eixo X	Eixo Y
Base	0	0
Ponta	0,542693621	0,8399

Ponteiro		
Coordenadas	Eixo X	Eixo Y
Base	0	0
Ponta	0,542693621	0,839931

Página Inicial | Nº de análises | OEE por MET | **Crítérios** | +