

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Aplicação de manutenção preditiva em equipamento de osmose inversa

Rui Miguel Martins Fernandes

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

Orientador: Prof. Luís Guimarães

29 de novembro de 2022

Resumo

A manutenção, vista em tempos como uma atividade secundária, tem vindo a ganhar preponderância no seio das organizações e, mais concretamente, nas indústrias. Tal situação deve-se ao seu impacto direto e indireto na produtividade dos processos, na qualidade dos produtos e nos custos, assumindo-se como uma das etapas essenciais do ciclo de vida dos ativos. Assim, a compreensão dos modelos de gestão da manutenção torna-se essencial para promover a criação de valor dentro das empresas, para a elevada qualidade das operações e, acima de tudo, para garantir a disponibilidade dos ativos e os benefícios que advêm desta mesma disponibilidade.

A presente dissertação surge no âmbito da unidade curricular de Dissertação, do 2º ano do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A dissertação é desenvolvida na *Veolia Portugal*, através da integração numa das equipas do Departamento de Energia e Indústria, responsável por assegurar a prestação de serviços a um cliente do setor de bebidas. Estes serviços, que englobam a monitorização e operação de centenas de equipamentos industriais, carecem de ferramentas preditivas/prescritivas que apoiem a tomada de decisão relativa às políticas de manutenção da empresa. Neste sentido, o trabalho desenvolvido consiste na criação de um modelo de manutenção preditiva/prescritiva para um equipamento crítico da fábrica do cliente - as osmose inversas.

A identificação das osmose inversas como equipamento crítico é conseguida com recurso a ferramentas auxiliares e a indicadores de custo desenvolvidos na dissertação. A validação do modelo é feita com base em dados reais da empresa do cliente e os resultados obtidos mostram que a aplicação do modelo prescritivo pode representar uma poupança de 64% a 94% dos custos associados às osmose inversas.

Assim, o modelo desenvolvido representa uma evidência de que as ferramentas de manutenção preditiva/prescritiva devem integrar o portefólio de soluções da *Veolia*, com potencial de alterar o seu modelo de negócio e incrementar a qualidade do serviço prestado aos clientes. Simultaneamente, o estudo elaborado nesta dissertação comprova a importância dos modelos de apoio à tomada de decisão no contexto da manutenção e introduz procedimentos estruturais para a sua obtenção.

Abstract

The function of maintenance, seen in the past as a secondary activity, has been developing an important role in the heart of the organizations, particularly in industries. This situation is due to its direct and indirect impact on the productivity of processes, quality of products and costs, becoming one of the essential stages of the assets' lifecycle. In this way, the understanding of maintenance management models is essential for the creation of value within companies, the high quality of operations and, above all, the ensurance of availability of the assets and the benefits that come with it.

The present dissertation has been made for the curricular unit of Dissertation, which is part of the 2nd year of the Master in Electrical and Computer Engineering of Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. The dissertation is developed in *Veolia Portugal*, through the integration in a team from their Department of Energy and Industry, which is responsible for providing a series of services to a client from the beverages industry. These services, which include the monitorization and operation of hundreds of industrial equipments, lack the usage of predictive/prescriptive tools that support the decision-making process of maintenance policies. In this way, the work developed consists on the creation of a predictive/prescriptive maintenance model for a critical equipment of the client's factory - the reverse osmosis.

The identification of the reverse osmosis as a critical equipment is achieved with the help of auxiliar tools and cost indicators developed in the dissertation. The validation of the model is based on real data from the client's company and the results show that the application of the prescriptive model can save between 64% and 94% of the costs related to the reverse osmosis.

Therefore, the developed model represents an evidence that predictive/prescriptive maintenance tools should be a part of *Veolia's* portfolio, with the potential to change the business model of the company and to increase the quality of the services provided to the clients. Simultaneously, the study provided by this dissertation enhances the importance of decision support systems in the maintenance field and introduces structural procedures on how to obtain them.

Agradecimentos

Agradeço à *Veolia Portugal* por me dar a oportunidade de trabalhar no seu interessante problema de planeamento e gestão da manutenção. Em particular, agradeço ao engenheiro Eduardo Fernandes pela paciência, disponibilidade, compreensão e liderança que tornaram a minha colaboração com a empresa uma experiência bastante produtiva e memorável. Aproveito também a ocasião para expressar a minha gratidão ao Pedro Rosa, Milani Matias, Paulo Vilhena, Joaquim Maia, Sérgio Ribeiro e Nuno Sineiro, pelo companheirismo, ajuda e pelos braços abertos com que me integraram na equipa.

Ao professor Luís Guimarães o meu encarecido agradecimento pelo acompanhamento do meu trabalho ao longo de todo o ano. A sua presença fez-se sentir desde a ajuda na definição concreta dos objetivos da proposta de dissertação até ao *feedback* na escrita científica e aos impressionantes conhecimentos analíticos e teóricos fulcrais para o desenvolvimento do modelo. O seu contributo neste trabalho deixou em mim uma semente de curiosidade para aquilo que o futuro me reserva.

Aos meus amigos João Loureiro, João Barbosa, Bruno Abreu, Carolina Duarte, Alexandra Santos e Raquel Dantas uma palavra de apreço e gratidão por me aceitarem nesse grupo tão vosso. A amizade que têm por mim surpreende-me a cada dia e esforço-me por entender como estão sempre disponíveis para dar tanto a alguém que vos dá tão pouco. Vocês são mais importantes para mim do que alguma vez serei capaz de vos descrever. Obrigado, amigos!

A ti, Gil Freitas, um agradecimento especial por teres sido o meu melhor amigo e teres partilhado esta aventura de 5 anos ao meu lado. Colegas de escola, colegas de casa, colegas de curso...amigos para a vida. Não o teria feito sem ti. Conheces-me como ninguém e só nós sabemos as histórias que o Porto guarda sobre nós. Gosto mesmo de ti!

Matilde, muito obrigado por teres aparecido na minha vida. Foste a maior e melhor surpresa de todos estes anos e chegaste mesmo quando eu mais precisava. Obrigado por estares ao meu lado e me fazeres tão feliz. Obrigado por me manteres consciente dos meus objetivos e me ajudares a percorrer o caminho até eles.

Aos meus avós agradeço estarem sempre comigo e me acompanharem em todas as etapas da minha vida. Sou um privilegiado por vos ter! A ti, Ana, obrigado por seres a minha maior motivação. O teu espírito combativo de quem nunca vai abaixo perante qualquer adversidade é uma inspiração para mim e quero que saibas que tenho na minha irmã mais nova o meu maior exemplo.

Aos meus pais, o maior “obrigado” do mundo! Obrigado por me permitirem viver os meus sonhos, obrigado por me estenderem a mão sempre que eu preciso e obrigado por investirem tudo em mim, de forma incondicional. Vocês colocaram o mundo na palma das minhas mãos e ensinaram-me a agarrá-lo. Graças a vocês fui sempre capaz de alcançar tudo o que desejei. E graças a vocês irei alcançar muito mais!

Obrigado!

Miguel Fernandes

*“Sempre que se fecha uma porta,
abrem-se duas janelas”*

Pai

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da Empresa	1
1.2	Visão Global do Projeto e Motivação	4
1.3	Objetivos do Projeto	4
1.4	Estrutura da Dissertação	5
2	Enquadramento Teórico	7
2.1	Gestão de Ativos	7
2.1.1	Definição	7
2.1.2	Objetivos da Gestão de Ativos	9
2.1.3	Ciclo de Vida dos Ativos	9
2.1.4	Sistema de Gestão de Ativos	10
2.2	Manutenção	12
2.2.1	Definição e Conceitos	13
2.2.2	Enquadramento Histórico	15
2.2.3	Tipos de Manutenção	16
2.3	Gestão da Manutenção	18
2.3.1	TPM - <i>Total Productive Maintenance</i>	18
2.3.2	RCM - <i>Reliability Centered Maintenance</i>	20
2.3.3	Indicadores de Desempenho	21
2.3.4	<i>Computerized Maintenance Management Systems</i>	26
2.4	Revisão da Literatura	27
2.4.1	Manutenção preditiva e análise de vibrações	27
2.4.2	Manutenção preditiva e termografia	27
2.4.3	Manutenção preditiva e FMEA/FMECA	28
2.4.4	Manutenção preditiva e inteligência artificial	28
2.5	Conclusões do enquadramento teórico	29
3	Descrição da Situação Inicial	31
3.1	A atividade da <i>Veolia Portugal</i> na fábrica do cliente	31
3.2	As práticas de gestão da manutenção da <i>Veolia Portugal</i>	33
3.3	O impacto dos problemas identificados no objetivo e soluções	36
4	Determinação do Equipamento Crítico	39
4.1	Reformulação da folha de registo de despesas	39
4.2	Determinação do setor mais dispendioso da fábrica	44
4.3	A Estação de Tratamento de Águas e os seus processos	46
4.4	Proposta de modelo de codificação em SAP-PM	47

4.5	O equipamento crítico	49
5	Modelo de Manutenção Prescritiva nas Osmoses Inversas	51
5.1	Descrição do funcionamento das osmoses inversas	51
5.2	Análise do comportamento das osmoses inversas	52
5.3	O modelo de manutenção prescritiva	56
5.3.1	Parâmetros	56
5.3.2	Variáveis de Decisão	57
5.3.3	Função Objetivo	58
5.3.4	Restrições	58
5.4	Cenário de Simulação	61
6	Resultados Obtidos	63
6.1	O resultado original da <i>Veolia Portugal</i>	63
6.2	O resultado do modelo de manutenção prescritiva	64
6.2.1	Resultados do cenário de simulação inicial	64
6.2.2	Análises de sensibilidade	66
6.3	Comparação dos resultados	68
7	Conclusões e Trabalho Futuro	69
	Referências	71
A		75
A.1	Folha de Despesas Inicial - Relatório Mensal	75
A.2	Folha de Despesas Inicial - Manutenções Corretivas (Utilidades)	76
A.3	Folha de Despesas Inicial - Manutenções Corretivas (Energia)	76
B		77
B.1	Proposta da Estrutura para o SAP	77
B.2	Lista de Válvulas	78

Lista de Figuras

1.1	Dados de desempenho da <i>Veolia</i> nas suas principais atividades em Portugal [1]	2
1.2	Centros operacionais da <i>Veolia</i> em Portugal [2]	3
1.3	Os 18 indicadores do desempenho multifacetado da <i>Veolia</i> [2]	3
2.1	Visão geral da GA (adaptado de [3])	8
2.2	Objetivos da GA [4]	9
2.3	Ciclo de vida dos ativos (adaptado de [4])	10
2.4	Relação entre os termos-chave da GA. [4]	11
2.5	Elementos de planeamento e implementação de um SGA (adaptado de [3]).	11
2.6	Relação entre os elementos chave e os requisitos de um SGA [5].	12
2.7	Interação da manutenção com outras áreas numa organização (adaptado de [6])	13
2.8	Modelo de <i>Markov</i> do funcionamento de um item [7]	14
2.9	Tipos de manutenção (adaptado de [8])	17
2.10	Pilares do TPM [9]	19
2.11	Síntese do processo de cálculo do OEE [10]	22
2.12	Natureza dos custos de manutenção (adaptado de [11])	22
2.13	Curva da banheira (adaptado de [12])	23
3.1	Setores de atividade da <i>Veolia Portugal</i> na fábrica do cliente	32
3.2	Processo de manutenção corretiva na <i>Veolia Portugal</i>	34
3.3	Processo de manutenção preventiva na <i>Veolia Portugal</i>	34
3.4	Excerto da lista de equipamentos codificados em SAP-PM	35
3.5	Análise SWOT para o desenvolvimento de um modelo de manutenção preditiva integral	37
4.1	Formulário de introdução de dados relativos às tarefas do tipo “P2 Energia”	41
4.2	Formulário de introdução de dados relativos às tarefas “P2”, “P6 Mensal” e “P6 Proposta” do setor de utilidades da fábrica	41
4.3	Tabela de registos de manutenção - “P6 Mensal”	42
4.4	Tabela de registos de manutenção de janeiro de 2022 - “P6 Mensal”	43
4.5	Tabela de registos de manutenção de janeiro de 2022 - “P6 Proposta”	43
4.6	Relatório mensal de manutenção de janeiro de 2022 - “P6 Proposta”	43
4.7	Página inicial da folha de registo de despesas	44
4.8	Indicadores anuais de despesa da <i>Veolia Portugal</i> - valores referentes ao período de janeiro a maio de 2022	45
4.9	Distribuição anual das despesas por tipo de tarefa - valores referentes ao período de janeiro a maio de 2022	45
4.10	Distribuição das despesas do tipo de tarefa “P6 Mensal” por centro de custo - valores referentes ao período de janeiro a maio de 2022	46

4.11	Fluxograma do processo de água industrial	47
4.12	Modelo hierárquico genérico para a categorização dos equipamentos/instrumentos identificados	48
5.1	Diferentes perspetivas da osmose inversa 7	52
5.2	Tabela e gráfico relativos à produção de água industrial da osmose 5	54
5.3	Tabela e gráfico relativos à produção de água industrial da osmose 7	54
5.4	Tabela e gráfico relativos à produção de água industrial total das osmose	55
5.5	Tabela e gráfico relativos ao consumo total de água industrial da fábrica	55
6.1	Resultado original da <i>Veolia Portugal</i> para o problema de manutenção das osmose	63
6.2	Distribuição percentual dos custos originais das osmose	64
6.3	Resultado do modelo de manutenção preditiva para as osmose (cenário inicial)	65
6.4	Distribuição de custos resultantes do modelo de manutenção preditiva para as osmose (cenário inicial)	66
6.5	Análise de sensibilidade para o fator de degradação mensal	66
6.6	Análise de sensibilidade para o efeito da limpeza química na variação do caudal produzido	67
6.7	Matriz de sensibilidade para diferentes valores de n e Δ_{limp}	68
A.1	Folha de Despesas Inicial - Relatório Mensal	75
A.2	Folha de Despesas Inicial - Manutenções Corretivas (Utilidades)	76
A.3	Folha de Despesas Inicial - Manutenções Corretivas (Energia)	76
B.1	Proposta de Estrutura para o SAP - Excerto	77
B.2	Lista de Válvulas - Excerto	78

Lista de Tabelas

2.1	Definição dos tipos de manutenção.	17
4.1	Requisitos validados para a criação da nova folha de registo de despesas	40

Abreviaturas e Símbolos

λ	Taxa de Avarias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management Systems</i>
EAM	<i>Enterprise Asset Management</i>
ETA	Estação de Tratamento de Águas
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis</i>
GA	Gestão de Ativos
GM	Gestão da Manutenção
IAM	<i>Institute of Asset Management</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
M.EEC	Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTF	<i>Mean Time To Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
MWT	<i>Mean Waiting Time</i>
O&M	<i>Operations and Management</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PAS	<i>Publicly Available Specification</i>
RBI	<i>Risk-Based Inspection</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
ROI	Retorno sob o Investimento
SAMP	<i>Strategic Asset Management Plan</i>
SAP	<i>Systems, Applications and Products</i>
SAP-PM	<i>Systems, Applications and Products - Plant Maintenance</i>
SGA	Sistema de Gestão de Ativos
SMART	<i>Specific, Measurable, Attainable, Realistic and Time-Bound</i>
SMAS	Serviço Municipalizado de Água e Saneamento
SWOT	<i>Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TQM	<i>Total Quality Maintenance</i>

Capítulo 1

Introdução

O presente relatório surge no âmbito da unidade curricular de Dissertação, do 2º ano do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (M.EEC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

A proposta de dissertação desenvolvida neste relatório foi efetuada pela *Veolia Portugal* e está contextualizada na área da gestão de ativos (GA), com especial contribuição na etapa de manutenção.

Neste capítulo apresenta-se a empresa acolhedora, fornece-se uma visão global do projeto em que a dissertação se insere, discute-se a motivação para realizar o trabalho proposto e são esclarecidos os objetivos específicos da proposta. Na última secção apresenta-se a estrutura do documento.

1.1 Apresentação da Empresa

A origem da *Veolia Environnement, S.A.* é francesa e remonta a grupos empresariais que desde o século XIX marcaram uma transformação profunda em áreas como a água, energia, resíduos e, até certo momento, transportes [13].

Com a crise energética dos anos 70, alguns destes grupos, como o *Grupo Monteney* e a *Compagnie Générale de Chauffage*, fundem-se e integram a *Compagnie Générale des Eaux*. Por esta altura fazem uma aposta crescente na inovação na produção de energia, nomeadamente através da energia geotermal e de tecnologias de recuperação de energia. Na década de 80, a aposta na inovação estende-se à utilização de gás como alternativa ao carvão e petróleo [13].

Em Portugal, a criação da entidade que hoje se chama *Veolia Portugal* dá-se em 1992 com a entrada da empresa *Esys Montenay* no país, através da participação em empresas como a *Tepclima* e a *Gaspar Correia*, do setor da climatização, instalações técnicas especiais e energia [13]. Durante 7 anos, estas empresas são responsáveis por diversos projetos na área da transformação ecológica, nomeadamente a conceção e a construção das instalações técnicas do Centro Cultural de Belém e da Sede da Caixa Geral de Depósitos, em Lisboa, bem como o estabelecimento de uma parceria

com os SUCH – Serviço de Utilização Comum dos Hospitais, tendo em vista a implementação de soluções de energia resilientes e eficientes para os hospitais [13].

Em 1999, a *Compagnie Générale des Eaux* passa a ser designada por *Grupo Vivendi Environment* e estabelece-se como marca de referência para a transformação ecológica, consolidando todas as atividades de serviços ambientais: *Vivendi Water* (água), *Onyx* (resíduos), *Dalkia* (energia) e *Connex* (transportes). Em Portugal passam assim a existir filiais da *Dalkia* [13].

Neste período, a *Dalkia* é responsável pela exploração da Central de Valorização Energética da LIPOR, na Maia e, anos mais tarde, tem um crescimento importante na área industrial. Este crescimento, motivado pelas competências reconhecidas nas áreas da produção de energia, operação e manutenção de grandes edifícios e engenharia/instalação de soluções técnicas, permite o estabelecimento de uma confiança registada de grandes indústrias alimentares e de bebidas. A *Dalkia* passa então a ser responsável pela gestão das *utilities* (energia, vapor, frio, calor,...) destas indústrias, através de contratos de longo prazo orientados para a melhoria contínua da performance. Este período culmina com o início da operação da central de cogeração do Hospital de São João, uma das maiores da Europa em ambiente hospitalar [13].

Em 2015, a *Dalkia* passa a chamar-se *Veolia* e assume a missão "*Resourcing the World*", posicionando sob uma única insígnia a gestão integrada de recursos: água, energia e resíduos [13]. A partir deste momento, os objetivos centrais da empresa passam por melhorar o acesso aos recursos, protegê-los e valorizá-los. Para tal as suas principais atividades, cujos resultados a 31 de dezembro de 2020 podem ser vistos na Figura 1.1, são [1]:

- **Água** - produção e distribuição de água para abastecimento público, água industrial, operação e manutenção de equipamentos e infraestruturas, tratamento e reutilização de águas residuais;
- **Energia** - otimização de consumos, produção de energia de base renovável, manutenção adequada de edifícios, incluindo a melhoria da qualidade do ar interior;
- **Resíduos** - gestão de resíduos sólidos e líquidos não perigosos e perigosos, cobrindo toda a cadeia de valor e fazendo da valorização uma prioridade, com a transformação de resíduos em novos produtos ou energia;



Figura 1.1: Dados de desempenho da *Veolia* nas suas principais atividades em Portugal [1]

No ano de 2018 regista-se a presença no setor da recolha municipal de resíduos em Portugal, bem como o estabelecimento de contratos de manutenção de infraestruturas e equipamentos de abastecimento de água e tratamento de águas residuais. No ano seguinte, a *Veolia* adquire a *Renascimento - Gestão de Resíduos* e inaugura unidades operacionais em Loures, Santa Maria da Feira e Silves [13]. Na Figura 1.2 pode-se ver a presença da *Veolia* em Portugal.



Figura 1.2: Centros operacionais da *Veolia* em Portugal [2]

Em 2021, a *Veolia* inicia um processo de aquisição da *Suez*, com o intuito de se posicionar como líder mundial para a transformação ecológica. Para este fim, traçou o programa estratégico designado por *Impact 2023*, que promove uma performance multifacetada da empresa (Figura 1.3) e o desenvolvimento/reinvenção das suas áreas de atividade [13].



Figura 1.3: Os 18 indicadores do desempenho multifacetado da *Veolia* [2]

Atualmente, a *Veolia Environnement, S.A.* é uma empresa com cerca de 300 mil colaboradores e cotada na *Euronext Paris* e na *Bolsa de Nova Iorque*.

1.2 Visão Global do Projeto e Motivação

A *Veolia Portugal* é responsável pelo fornecimento de um conjunto de serviços a um cliente do setor alimentar. Entre os serviços prestados destaca-se a gestão das *utilities* de energia (vapor, água quente, ar comprimido, cogeração, entre outras), a produção de água e a operação e manutenção de uma ETAR, que inclui atividades de reutilização da água e de valorização energética do biogás das lamas. A estes acresce ainda a gestão de edifícios do cliente (*Facility Management*). Assim, a *Veolia Portugal* atua em duas das suas principais áreas de atividade na prestação de serviços a este cliente: energia e água.

A prestação destes serviços está dependente de uma vasta gama de equipamentos industriais que têm o seu funcionamento deteriorado caso não se realize uma manutenção eficaz. Neste sentido, o projeto da *Veolia Portugal* consiste em procurar soluções que permitam garantir ao cliente uma maior durabilidade e performance dos seus equipamentos, através de novos métodos, estratégias ou políticas de manutenção. A proposta de dissertação apresentada alinha-se com esta visão, uma vez que aloca recursos humanos para a criação de ferramentas que permitam uma gestão mais eficaz dos ativos do cliente.

A motivação inerente à realização desta proposta reside na possibilidade de implementar as soluções encontradas num caso real, o que representa a existência de potencial de aplicação direta e imediata das soluções desenvolvidas no dia-a-dia da empresa.

1.3 Objetivos do Projeto

O principal objetivo do trabalho realizado nesta dissertação é o de conceber um modelo de manutenção preditivo/prescritivo para um equipamento industrial crítico da fábrica do cliente.

A manutenção preditiva e prescritiva combina e usa conjuntos de dados de manutenção, diagnóstico e desempenho para tomar decisões sobre ações e políticas de manutenção, tratando-se de ferramentas que possibilitam à *Veolia Portugal* uma transformação radical da sua tipologia de serviços ou até mesmo do modelo de negócio.

Desta forma, o desenvolvimento de um modelo que permita demonstrar o potencial da aplicação de manutenção preditiva/prescritiva no dia-a-dia da empresa, pode conduzir à instauração deste tipo de modelos como uma ferramenta vital para a criação de valor adicional, em parceria ativa com os clientes da *Veolia*.

Para concretizar este objetivo é necessário que se efetue uma série de passos. Inicialmente deve existir um período de aprendizagem dos métodos de trabalho da *Veolia Portugal* na fábrica do cliente e das suas ferramentas de auxílio à gestão da manutenção. É também relevante que haja um estudo da instalação física dos setores da empresa cliente, de forma a compreender os processos e a reconhecer a criticidade dos equipamentos da fábrica. Com estas duas etapas é possível obter uma visão integradora da gestão de ativos levada a cabo pela *Veolia* na fábrica do cliente e avançar para a identificação do equipamento para o qual o modelo de manutenção será concebido. O último passo consiste na criação do modelo que, após testado ou simulado,

deverá produzir resultados que sugiram uma melhoria do desempenho e diminuição dos custos de manutenção do equipamento escolhido.

1.4 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução realizada neste capítulo (Capítulo 1), a dissertação aqui apresentada contém mais seis capítulos. No Capítulo 2 é realizado o enquadramento teórico do trabalho, com foco na definição de conceitos importantes para a elaboração do mesmo. No Capítulo 2.4 efetua-se uma revisão da literatura, de forma a identificar o estado-da-arte dos modelos de manutenção preditiva aplicados a equipamentos industriais. O Capítulo 3 serve para expor a situação inicial encontrada na empresa através da apresentação dos seus processos e métodos de trabalho e da identificação dos principais obstáculos à realização deste projeto. No Capítulo 4 descrevem-se as ferramentas desenvolvidas para contrariar os problemas encontrados e identificar o equipamento crítico a ser modelado. O modelo de manutenção preditiva é introduzido no Capítulo 5 e os seus resultados são apresentados e discutidos no Capítulo 6. No Capítulo 7 apresentam-se as recomendações oriundas do conhecimento produzido na restante dissertação e deixam-se sugestões de trabalho futuro.

Capítulo 2

Enquadramento Teórico

Neste capítulo expõem-se os conceitos teóricos que servem de suporte para o desenvolvimento da dissertação. Numa primeira parte é abordada a Gestão de Ativos (GA) e, posteriormente, introduzem-se definições relacionadas com a Manutenção e a Gestão da Manutenção (GM). Discute-se ainda a importância de indicadores de desempenho da manutenção e dos sistemas de gestão da manutenção assistidos por computador (CMMS).

2.1 Gestão de Ativos

Para que se possa abordar a GA, é essencial compreender o conceito de ativo. "Um ativo é um bem, uma coisa ou uma entidade, que tem um valor potencial ou real para uma organização". Este valor varia consoante a organização em que se insere e as respetivas partes interessadas. Um ativo pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro [4].

A GA é uma disciplina cuja finalidade é maximizar o valor dos ativos de forma a que estes possam ser utilizados para atingir os objetivos explícitos das organizações.

2.1.1 Definição

No domínio da GA, existem instituições e normas que têm como âmbito definir e regulamentar as práticas e os conceitos relacionados com a mesma. Destaca-se o *Institute of Asset Management* (IAM), a *Publicly Available Specification* (PAS) e a *International Organization for Standardization* (ISO). O IAM é o órgão profissional envolvido na aquisição, operação e manutenção de ativos físicos. A PAS é um documento de standardização amplamente reconhecido na indústria. A ISO é a entidade responsável pela padronização e standardização de áreas técnicas e não técnicas na maior parte dos países. Em seguida apresentam-se as principais definições da GA facultadas por estas instituições e normas:

- De acordo com o IAM, a GA é "a arte e a ciência de tomar decisões acertadas e otimizar a entrega de valor pois envolve o balanço entre custos, oportunidades e riscos tendo em conta o desempenho desejado desses mesmos ativos, de forma a garantir os objetivos organizacionais. Esta gestão permite que uma organização analise as necessidades e o desempenho dos

seus ativos em diferentes níveis, permitindo ainda a aplicação de abordagens analíticas ao longo do ciclo de vida dos seus ativos"[14].

- Para a **PAS 55**, a GA é o conjunto de "atividades e práticas sistemáticas e coordenadas por meio das quais uma organização administra de maneira ótima e sustentável os seus ativos e sistemas de ativos, o desempenho, riscos e despesas associados ao longo dos seus ciclos de vida com o objetivo de atingir o seu plano estratégico organizacional"[3].
- A norma **ISO 55000** define a GA como a "atividade coordenada de uma organização para perceber e produzir valor a partir dos ativos. Onde a perceção e produção do valor envolvem normalmente o balanço dos custos, riscos, oportunidades e benefícios de desempenho e a atividade pode incluir a abordagem, o planeamento, os planos e a sua implementação"[4].

Com base nestas definições, torna-se evidente que a GA pode ser uma atividade importante para atingir um balanço adequado entre a qualidade do serviço das organizações e os custos.

A Figura 2.1 sintetiza as definições supracitadas. De facto, através da sua análise pode-se constatar que a GA é uma atividade complexa, com a intervenção de vários fatores: risco (*Risk & Review*), pessoas (*Organization & People*), informação (*Asset Information*), contexto económico-social e jurídico (*Costumers, Investors, Legislation e Comercial Environment*), estratégia (*Strategy & Planning*), processos de tomada de decisão (*Asset Management Decision Making*) e atividades do ciclo de vida (*Acquire, Operate, Maintain, Dispose*). É a interação dinâmica de todos estes elementos, evidenciada na Figura 2.1, que constitui a GA.

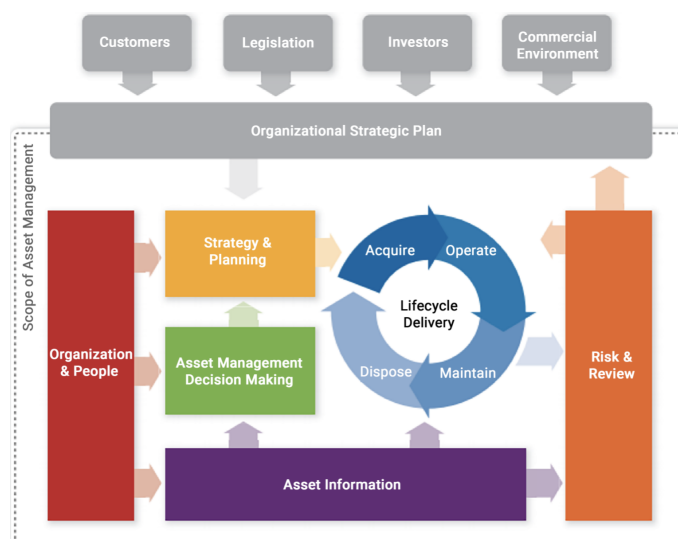


Figura 2.1: Visão geral da GA (adaptado de [3])

2.1.2 Objetivos da Gestão de Ativos

Uma GA eficiente é aquela que conhece em detalhe o contexto organizacional em que se insere. Apenas desta forma é possível incorporar estratégias que atendem aos objetivos individuais dos ativos tendo em conta os objetivos gerais da organização [15].

Estes objetivos, que devem ser garantidos ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos, podem ser de cariz económico, social e/ou ambiental e estão assentes em 3 pilares fundamentais: minimização de custos, maximização do desempenho e minimização do risco [16].

A Figura 2.2 apresenta uma representação dos objetivos da GA.



Figura 2.2: Objetivos da GA [4]

Os pilares fundamentais da GA podem ser decompostos, originando objetivos concretos. Estes objetivos são dotados de um conjunto de propriedades designadas por SMART - *Specific, Measurable, Attainable, Realistic e Time-Bound* - isto é, devem ser específicos, mensuráveis, atingíveis, realistas e definidos no tempo.

A determinação destes objetivos específicos tem em consideração os riscos associados, a criticidade dos ativos e a aplicabilidade dos mesmos. É da responsabilidade das organizações que se efetue uma monitorização, medição, análise e avaliação constante dos objetivos, de forma a fomentar a melhoria contínua dos processos e produtos [5].

Em última análise, pretende-se que os objetivos específicos da GA de uma organização promovam um aumento do retorno sob o investimento (ROI) e a realização de valor para as partes interessadas [17, 18].

2.1.3 Ciclo de Vida dos Ativos

A definição de GA e os seus objetivos fazem referência ao ciclo de vida dos ativos, sendo por isso importante defini-lo. O ciclo de vida de um ativo corresponde à sequência de etapas envolvidas na gestão desse mesmo ativo. Estas etapas iniciam-se com a fase de planeamento, onde se identificam as necessidades que promovem o surgimento do ativo, e continuam ao longo da vida útil do mesmo até ao seu fim de vida.

O ciclo de vida dos ativos é composto por 4 etapas, descritas em seguida: planeamento, criação/aquisição, operação/manutenção e descarte/remoção [19].

- Planeamento - nesta fase identifica-se a necessidade de existência ou aquisição do ativo e estabelecem-se os requisitos para a criação/compra do mesmo [19].
- Criação/Aquisição - após identificado o ativo necessário este é instalado, construído ou adquirido e passa a integrar os trabalhos da organização. Geralmente, é a partir deste momento que o ativo passa a ser monitorizado pela organização [19].
- Operação/Manutenção - é, tipicamente, a fase mais longa do ciclo de vida do ativo. Diz respeito à sua vida útil e engloba a aplicação de um conjunto de ações técnicas, de gestão e administrativas que promovem a geração de lucro e o máximo desempenho do ativo [19].
- Descarte/Remoção - na fase final, o ativo é removido dos trabalhos da organização podendo ser vendido, reciclado, eliminado permanentemente ou reaproveitado com novos objetivos [19].

Na Figura 2.3 pode-se ver a representação do ciclo de vida dos ativos, conforme descrita na norma ISO 55000.

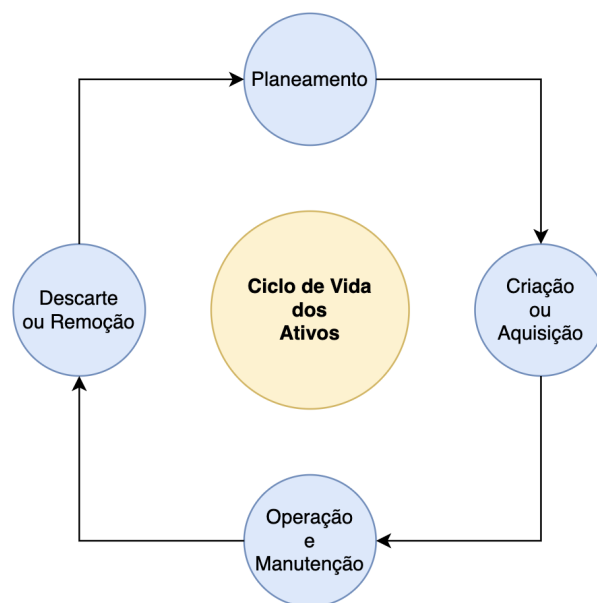


Figura 2.3: Ciclo de vida dos ativos (adaptado de [4])

2.1.4 Sistema de Gestão de Ativos

Na Figura 2.4 pode ser visualizado um esquema da relação existente entre os termos-chave da GA, o qual evidencia a simbiose necessária entre a gestão organizacional, a GA e o estabelecimento de um sistema de gestão de ativos (SGA).



Figura 2.4: Relação entre os termos-chave da GA. [4]

Um SGA é um conjunto de elementos de uma organização que interagem entre si e cuja função é a de utilizar os objetivos organizacionais para estabelecer a política da GA. Da definição desta política resulta um plano estratégico, SAMP (*Strategic Asset Management Plan*) e objetivos da GA bem definidos, que podem ser implementados por um conjunto de atividades relacionadas com o ciclo de vida dos ativos [20]. Os processos necessários de executar em cada uma dessas atividades são geralmente descritos num plano de GA [4]. Esta hierarquia, que representa o caminho de planeamento e implementação de um SGA é mostrada na Figura 2.5.

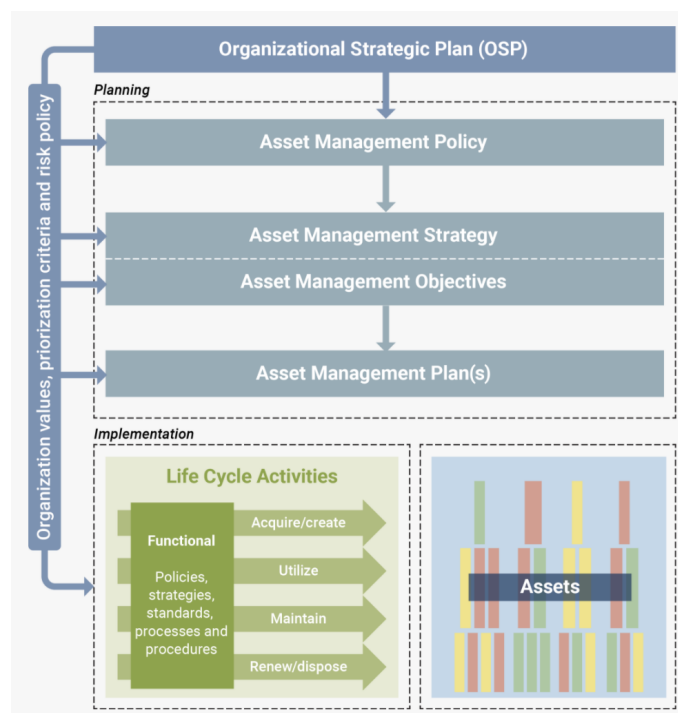


Figura 2.5: Elementos de planeamento e implementação de um SGA (adaptado de [3]).

Na Figura 2.6 apresenta-se uma visão mais detalhada da estrutura de um SGA, com o texto sombreado a cinzento a representar os sub-tópicos tratados em cada elemento do SGA.

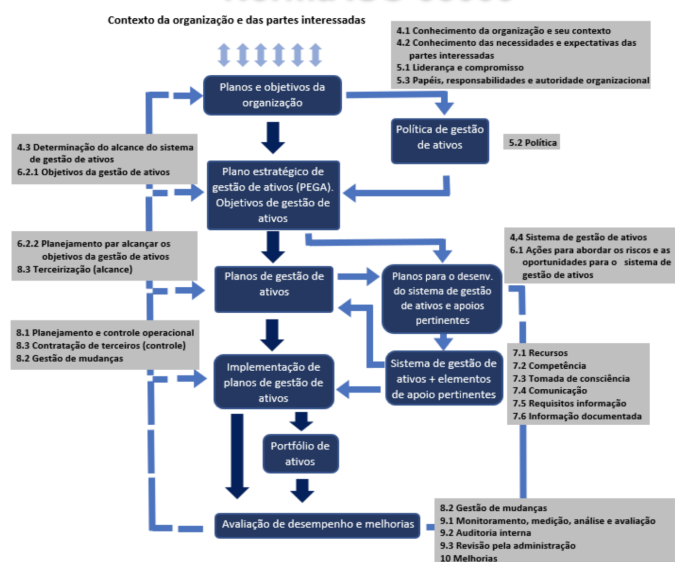


Figura 2.6: Relação entre os elementos chave e os requisitos de um SGA [5].

A implementação de um SGA permite às organizações obter um maior controlo e monitorização do desempenho técnico dos ativos, estabelecimento de processos de tomada de decisão baseados em dados, integração vertical de todos os elementos da organização, controlo de tarefas e, consequentemente, um equilíbrio das necessidades financeiras a curto, médio e longo prazo [21].

2.2 Manutenção

Tal como apresentado na Secção 2.1.3, a manutenção é uma das etapas fundamentais do ciclo de vida dos ativos, apresentando um impacto direto nos resultados das organizações. De facto, os objetivos da GA apresentados na Secção 2.1.2 apenas podem ser atingidos se a maquinaria e as instalações envolvidas nos processos da organização estiverem em perfeitas condições de funcionamento. Isto requer que sejam efectuadas reparações às máquinas, inspecções, rotinas preventivas, substituições de órgãos e de peças, mudanças de óleo, limpezas, pinturas, correção de defeitos, fabricação de componentes para substituição de outros já gastos, entre outros. Este conjunto de acções constitui aquilo a que se chama Manutenção.

Na norma, a manutenção é definida como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um item, destinado a mantê-lo, ou restaurá-lo, a um estado em que ele possa desempenhar a sua função” [8].

Esta ideia é reforçada por Pinto (2002), que diz que a manutenção corresponde a "uma combinação de ações de gestão, técnicas e económicas, aplicadas a bens ou equipamentos para optimização do seu ciclo de vida"[22]. Ferreira (1998) afirma que uma boa manutenção é aquela que realiza as tarefas supracitadas por um custo global mínimo [23].

De um ponto de visto prático, Cabral (2006) define a manutenção como "a realização das reparações e recondicionamentos necessários para compensar a deterioração ou perda de função dos equipamentos, materiais ou seus elementos protetores, e pela tomada de decisões relativas aos necessários investimentos, seja para sua reabilitação seja para a sua condenação, ou substituição por novo [11].

Importa ainda referir que a manutenção integra um contexto de negócios para o qual contribui através das interações que estabelece com as restantes áreas da organização. Na Figura 2.7 podem ser verificadas estas interações.

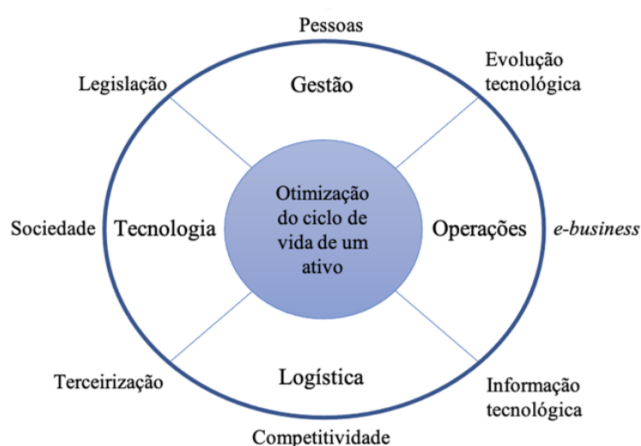


Figura 2.7: Interação da manutenção com outras áreas numa organização (adaptado de [6])

2.2.1 Definição e Conceitos

Nesta secção introduz-se o estudo científico-tecnológico da manutenção através da definição dos conceitos fundamentais que se enquadram no seu âmbito. Neste sentido, procura-se apresentar uma linguagem uniformizada, simples e coerente, recorrendo a definições contidas nas normas portuguesas e/ou internacionais sempre que isso se revelar possível.

- **Item**

“Parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser descrito e considerado individualmente” [8].

- **Avaria/Falha**

“Fim da capacidade de um item para executar a sua função necessária” [8].

Os conceitos de avaria e falha podem ser utilizados indistintamente e com significados sinónimos. No entanto, é comum utilizar-se o termo "avaria" quando se refere um equipamento ou sistema como um todo e o termo "falha" para órgãos específicos ou componentes.

O funcionamento de um item pode ser modelado como um processo de *Markov* com 3 estados distintos. No estado 1 o item cumpre todos os requisitos funcionais. No estado 2 o item funciona com algumas deficiências. No estado 3 o item perde a capacidade de realizar as suas funções. Este processo pode ser visto na Figura 2.8.

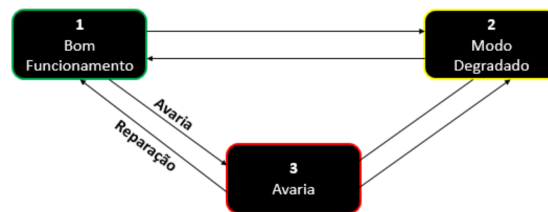


Figura 2.8: Modelo de *Markov* do funcionamento de um item [7]

Dependendo do sistema ou item com que se está a lidar, importa sempre averiguar se será aceitável ou não que este funcione no seu modo degradado. Caso seja permitido, importa também definir o nível de degradação aceite.

- **Sistemas Reparáveis**

Sistemas em que a ocorrência de uma avaria não provoca o fim da sua vida útil, mas apenas uma interrupção da sua operacionalidade. Após a reparação, o sistema tem as suas condições de funcionamento normais restituídas [11, 24].

- **Sistemas Não Reparáveis**

Sistemas que não são possíveis de ser repostos nas suas condições iniciais. A ocorrência de uma falha ou avaria provoca o fim da vida útil do sistema e é necessária a sua substituição [11, 24].

- **Durabilidade**

“Capacidade de um item de desempenhar a sua função requerida em determinadas condições de uso e manutenção, até que um estado limitativo seja alcançado” [8].

Entende-se por "estado limitativo" de um item o fim da sua vida útil. Este estado pode ser redefinido por intermédio de alterações nas condições de uso do item.

- **Fiabilidade**

“Capacidade de um item para executar uma função em determinadas condições para um dado intervalo de tempo” [8].

Em termos práticos, a fiabilidade é o grau de confiança que pode ser atribuído a um dado item quanto ao cumprimento da sua função (ou serviço) específica. Pode ser definida como a probabilidade de um bem não avariar até um instante de tempo t .

- **Manutibilidade (ou Manutenibilidade)**

“Aptidão de um bem sob condições de utilização definidas de ser mantido ou repostado num estado em que possa cumprir uma função requerida depois de lhe ser aplicada manutenção em condições determinadas, utilizando procedimentos e meios prescritos” [11].

- **Disponibilidade**

"Aptidão de um item para cumprir a sua função específica nas condições requeridas, num determinado período de tempo, assumindo que são assegurados os recursos externos necessários"[8]

- **Plano de Manutenção**

“Conjunto estruturado e documentado de tarefas que incluem as atividades, procedimentos, recursos e a escala de tempo necessária para se realizar a manutenção” [8].

2.2.2 Enquadramento Histórico

Como qualquer área científico-tecnológica, também a manutenção tem sido sujeita a um processo de metamorfose e evolução constante. Esta evolução, motivada pelo aumento da complexidade e da diversidade dos equipamentos, conduziu a novas técnicas de manutenção e a diferentes abordagens de organização e atribuição de responsabilidades nos trabalhos que lhe estão subjacentes.

O nascimento da manutenção remonta ao século XVIII, com as primeiras reparações de máquinas a ser realizadas pelo operador, que era frequentemente o proprietário e construtor da mesma. Apesar de marcarem o aparecimento das atividades de manutenção, estes encargos eram trabalhos de reduzida complexidade e que em pouco ou nada afetavam os processos produtivos, pelo que a literatura geralmente estrutura a história da manutenção em 3 gerações, com início nos finais do século XIX, a par da Revolução Industrial [25]. Recentemente, adicionou-se uma quarta geração, designada por "Manutenção 4.0"[26].

Nesta secção apresentam-se os avanços efetuados em cada uma das gerações referidas.

- **Primeira geração**

A primeira geração, impulsionada pela Primeira Guerra Mundial, marca o aparecimento das primeiras equipas especializadas de manutenção. Nesta época, a gestão segue um modelo *run-to-failure* e com isso surge a manutenção corretiva [25].

- **Segunda geração**

A segunda geração é responsável pelo surgimento da manutenção preventiva. A necessidade deste tipo de manutenção advém da crescente complexidade e automatização dos processos, que conduzem a paragens de longa duração para efetuar manutenções corretivas e a perdas

de produtividade expressivas. A isto, acresce a evolução da indústria aeronáutica, durante a Segunda Guerra Mundial, que exige a produção de equipamentos que não podem ser utilizados até à falha. Por esta altura, a manutenção começa a assumir um papel preponderante no seio das organizações, uma vez que os custos que lhe estão associados passam a ser significativos [25].

- **Terceira geração**

A terceira geração ocorre por volta da década de 1970, em virtude de avanços científicos na gestão de operações. Com estes avanços surgem os conceitos de produtividade total, de produção *just- in-time* e de melhoria contínua. Para suportar estas ideias, dá-se o surgimento da necessidade de disponibilidade constante dos ativos e do desempenho ótimo destes, o que induz o desenvolvimento de modelos de gestão da manutenção [25].

Os principais modelos resultantes desta época mantêm-se coerentes com as necessidades atuais das organizações e são o TPM (*Total Productive Maintenance*) e o RCM (*Reliability Centered Maintenance*). A gestão da manutenção, e em particular estes modelos, são de importância primária nas organizações uma vez que estabelecem o ponto de equilíbrio entre os níveis de manutenção desejada e de manutenção necessária, com o benefício a economia das organizações.

- **Quarta geração**

Nos dias de hoje, as exigências produtivas e comerciais das organizações acarretam consigo uma vasta necessidade de informação e de dados, com a transformação digital a dominar o panorama tecnológico e empresarial. De facto, desde a sua introdução em 2011, que o conceito de Indústria 4.0 tem produzido inúmeros avanços nas áreas que estão intimamente ligadas à gestão industrial e da produção [27]. Uma destas áreas é a da manutenção.

A Manutenção 4.0 representa um projeto organizacional para a gestão da manutenção em ambientes tecnologicamente evoluídos. Está baseada em 4 pilares: decisões baseadas em dados, capital humano, integração interna e integração externa [28].

Estes pilares permitem a adoção de medidas preditivas, reparações remotas (*e-maintenance*), acesso a dados em tempo real, automação de processos, redução de inventário e maior motivação dos trabalhadores [26]. A combinação destas atividades pode conduzir à criação de valor, melhoria do desempenho e alteração do modelo de negócio das organizações.

2.2.3 Tipos de Manutenção

Tal como apresentado na Secção 2.2.2, ao longo dos tempos surgiram diferentes tipos de manutenção. Apesar de reconhecidos e bem definidos, estes tipos não apresentam consenso quanto à sua nomenclatura.

Certos autores defendem que a manutenção pode ser dividida em duas filosofias principais: proativa e reativa. A manutenção proativa é aquela em que as operações são realizadas antes da

ocorrência de falhas (ou avarias), enquanto que a manutenção reativa é aquela que é despoletada pela deteção dessas mesmas falhas (ou avarias) [12].

Na norma europeia que estipula a terminologia da manutenção, as filosofias mencionadas são designadas por manutenção preventiva e manutenção corretiva. Na Figura 2.9 pode ser vista uma adaptação da forma como se organizam os diferentes tipos de manutenção na norma.

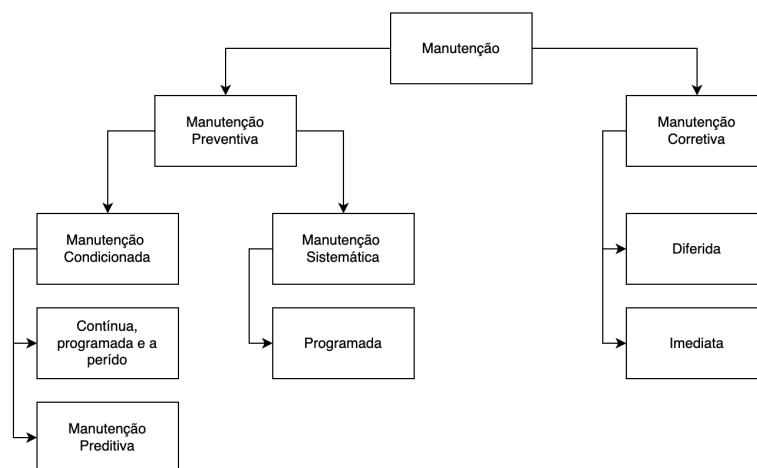


Figura 2.9: Tipos de manutenção (adaptado de [8])

Na tabela 2.1 pode-se consultar a definição de cada um dos tipos de manutenção existentes na norma europeia.

Tipo de Manutenção	Definição [8]
Manutenção Corretiva	“Manutenção realizada após o reconhecimento de uma avaria e destinada a colocar um item num estado no qual ele possa executar a sua função requerida”
Manutenção Corretiva Diferida	“Manutenção que não é efetuada imediatamente depois da deteção de um estado de falha, mas que é retardada de acordo com regras de manutenção determinadas”
Manutenção Corretiva Imediata	“Manutenção efetuada imediatamente após a deteção de um estado de falha, para evitar consequências inaceitáveis”
Manutenção Preventiva	“Manutenção realizada em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios prescritos e destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”
Manutenção Preventiva Sistemática	“Manutenção preventiva realizada de acordo com intervalos de tempo estabelecidos ou por número de horas ou unidades de uso, mas sem uso de investigação prévia”
Manutenção Preventiva Condicionada	“Manutenção preventiva que inclui uma combinação de monitoramento de condições e/ou inspeção e/ou análise de ações de manutenção subsequentes”
Manutenção Preditiva	“Manutenção baseada em condições, realizada após uma previsão derivada de análise repetida ou características conhecidas e avaliação dos parâmetros significativos da degradação do item”

Tabela 2.1: Definição dos tipos de manutenção.

2.3 Gestão da Manutenção

Conforme descrito na Secção 2.2.2, a terceira geração da manutenção introduziu um conjunto de metodologias que facilitam as práticas de gestão que lhe estão associadas. Entre estas metodologias encontram-se o TPM (*Total Productive Maintenance*), o RCM (*Reliability Centered Maintenance*), o RBI (*Risk-Based Inspection*) e o TQM (*Total Quality Maintenance*) [29].

Em seguida descrevem-se as principais características dos modelos de TPM e RCM, por se tratarem dos mais utilizados na indústria nos dias de hoje.

2.3.1 TPM - *Total Productive Maintenance*

O TPM é uma filosofia de gestão de origem japonesa cujo grande objetivo é o de maximizar o tempo de operação dos equipamentos, através de um nível de zero avarias e defeitos [30].

Para tal, parte-se do princípio que o processo produtivo requer a participação total de todos os intervenientes, desde a cadeia administrativa até ao chão de fábrica, facultando às pessoas as competências necessárias para estabelecer as interações essenciais entre a produção e a manutenção [10]. O estabelecimento destas interações promove a melhoria contínua da qualidade dos produtos e do rendimento operacional e garante capacidade e segurança [31]. Este aspeto é tão fundamental que o *Kaizen Institute* define o TPM como sendo uma abordagem holística que "não faz distinção entre manutenção e produção, dando ênfase à capacidade dos operadores em ajudar a manter os seus equipamentos"[30].

A implementação do TPM nas organizações decorre de uma extensão da ferramenta dos 5S. "5S é uma ferramenta simples de organização do espaço de trabalho que assenta na limpeza, eficiência e segurança de forma a melhorar a produtividade"[30]. Os 5S são: *Seiri* (triar e classificar), *Seiton* (organizar, simplificar, ordenar e configurar), *Seiso* (limpar e verificar), *Seiketsu* (normalizar para estabilizar) e *Shitsuke* (manter e disciplinar).

O TPM é uma metodologia assente em 8 princípios fundamentais, que constituem os seus pilares. Estes princípios estão representados na Figura 2.10 e são descritos imediatamente de seguida.

- **Manutenção Autónoma** - A manutenção autónoma é aquela que é realizada pelos operadores das máquinas e que visa manter os seus equipamentos em funcionamento de forma eficiente e estável [32];
- **Manutenção Focada / Melhoria Contínua** - a filosofia do TPM deve ser vista como um trabalho dinâmico que se vai adaptando ao longo do tempo como resultado da experiência e conhecimentos adquiridos. Devem ser realizadas auditorias por forma a avaliar se as ações de manutenção estão a ser realizadas conforme o estabelecido [33];
- **Manutenção Planeada** - corresponde às atividades de planeamento das ações de manutenção com o objetivo de eliminar falhas, obtendo assim equipamentos mais fiáveis [32];

- Gestão da Qualidade - a gestão da qualidade orientada à manutenção visa criar condições para prevenir defeitos originados pelo equipamento, ou seja, atingir a meta de zero defeitos. Para implementar a gestão da qualidade na manutenção, é necessário estabelecer qual o tipo de relação entre os fatores que influenciam a qualidade, determinando assim quais os defeitos que eles causam [32].
- Formação e Treino - o objetivo deste pilar é desenvolver operadores capazes de executar com a eficácia necessária as práticas da metodologia TPM, fazendo assim com que se dediquem de forma eficaz às tarefas [32];
- Segurança, Saúde e Ambiente - este pilar resulta da aplicação direta dos 5S e tem como objetivo a criação de um local de trabalho com todas as condições de segurança necessárias, de forma a que seja possível alcançar a meta de zero acidentes, zero danos na saúde e zero incêndios [32];
- TPM em Áreas Administrativas - um programa de implementação da metodologia TPM nas áreas administrativas tem como principal objetivo criar uma base de dados de informação de qualidade, agilizando o fluxo de informação e análise dos vários processos [32];
- Gestão do Desenvolvimento / Gestão de Novos Equipamentos - a gestão dos novos equipamentos por parte duma empresa deve basear-se na aprendizagem adquirida com os equipamentos existentes e com as melhorias incorporadas nestes, de forma a não cometer erros que foram cometidos no passado [33];

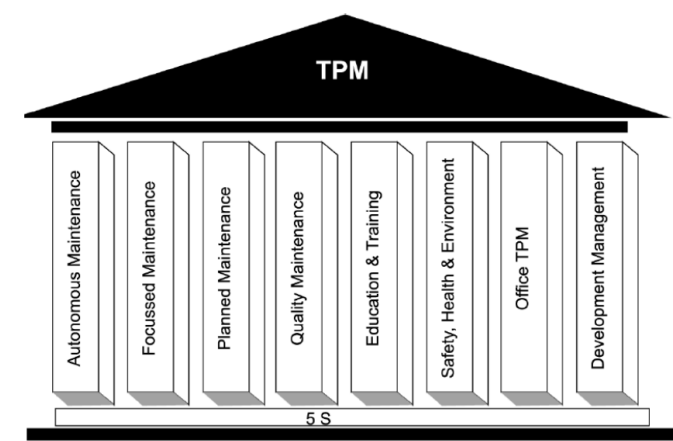


Figura 2.10: Pilares do TPM [9]

Tal como acontece com outras políticas de gestão da manutenção, a qualidade da implementação dos mecanismos de TPM pode ser medida através de um indicador adimensional, designado por OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), que será apresentado em detalhe na secção 2.3.3.1.

No âmbito do TPM, as medidas mais comuns de serem tomadas para melhorar o OEE são aquelas que visam eliminar perdas ou interrupções, como avarias, setups, problemas de capacidade, pequenas paragens e produtos defeituosos.

2.3.2 RCM - *Reliability Centered Maintenance*

O RCM é uma filosofia de origem americana que visa identificar os equipamentos críticos no contexto operacional e estruturar planos de manutenção programada dos mesmos, por forma a evitar perdas de produtividade resultantes de paragens e avarias. É um modelo de gestão que permite detetar a ocorrência de falhas com rapidez, eliminar potenciais causas de avaria *a priori*, alterar os requisitos dos projetos para evitar avarias e paragens e identificar falhas que possam ocorrer durante a produção [34].

O objetivo central do RCM é o de criar rotinas de manutenção que preservem funções importantes dos sistemas e equipamentos, com o mínimo custo associado [35].

Originalmente, o RCM analisava a necessidade de manutenção dos equipamentos através dos seus históricos de desempenho e manutenção. Nos dias de hoje, esta metodologia evoluiu no sentido de agilizar o processo e o tornar mais rápido. Para tal, a implementação de RCM nas organizações segue 7 passos [36].

1. Estabelecimento das fronteiras do item em análise;
2. Identificação das interfaces do item análise;
3. Especificação das funcionalidades fundamentais do item em análise;
4. Identificação dos modos de falha dominantes;
5. Identificação da criticidade dos modos de falha;
6. Identificação das causas de falha dominantes;
7. Seleção das tarefas de manutenção;

Os passos 4, 5 e 6 da implementação de RCM nas organizações relacionam-se com identificação e análise de falhas nos equipamentos. A análise FMEA - *Failure Modes and Effects Analysis* ou FMECA - *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* é uma ferramenta que tem como objetivo identificar potenciais modos de falha e classificá-los de acordo com a necessidade de receberem ações de manutenção [37]. Desta forma, a análise FMEA (ou FMECA) é um instrumento de elevado valor na implementação do RCM.

A medição da qualidade de implementação do RCM pode ser obtida por intermédio de um conjunto de indicadores de fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade. [11, 25].

2.3.3 Indicadores de Desempenho

A medição do desempenho é um princípio fundamental das práticas de gestão. Para isso, existem informações quantitativas e qualitativas que podem ser obtidas por intermédio de um conjunto de indicadores, designados por indicadores de desempenho.

As informações quantitativas fornecidas pelos indicadores de desempenho ajudam a identificar lacunas entre o desempenho real e o esperado, fomentando a implementação de estratégias de gestão e de iniciativas de melhoria que afetem os resultados e os aproximem das metas delineadas pela administração [38, 39]. Neste sentido, a escolha dos indicadores deve ter em conta os objetivos organizacionais [40].

Na norma europeia, formaliza-se que os indicadores de desempenho da manutenção tencionam "medir o desempenho da manutenção no contexto dos fatores que a influenciam, especificamente, os aspetos económicos, técnicos e organizacionais, de modo a avaliar e melhorar o rendimento e a eficácia e a atingir a excelência na manutenção dos ativos técnicos"[41]. Para o fazer, baseiam-se em métricas de fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade.

Em seguida, expõe-se os principais indicadores de desempenho da manutenção descritos na literatura.

2.3.3.1 OEE - *Overall Equipment Effectiveness*

O OEE é um índice de eficácia global do equipamento. É um indicador relativo, visto que o seu resultado depende de três fatores - disponibilidade, desempenho e qualidade. É apresentado em percentagem e calculado através da multiplicação dos fatores referidos, tal como é apresentado na equação (2.1) [10]:

$$OEE(\%) = Disponibilidade * Rendimento * Qualidade \quad (2.1)$$

A disponibilidade é a percentagem de tempo operacional disponível e obtém-se pela divisão entre o tempo operacional disponível e o tempo operacional total [42].

O rendimento está relacionado com a perda de velocidade devido a paragens para acertos dos equipamentos e "microparagens". O seu valor é dado pela razão entre a quantidade real de peças produzidas e a quantidade ideal de peças produzidas [42].

A qualidade é o quociente entre a quantidade de peças produzidas dentro dos parâmetros esperados e aceitáveis e a quantidade total de peças produzidas [42].

Desta forma, o OEE não reporta apenas medições relacionadas com avarias, mas antes um conjunto de informações que nos permite saber se o bem está a operar no seu máximo potencial e, a partir daí, tomar medidas [10].

Na Figura 2.11 está sintetizado o processo de cálculo do OEE.

Tempo Operacional Disponível				
Disponibilidade	A	Tempo Operacional Total		Paragens Planeada
	B	Tempo Operacional Disponível		Perdas de disponibilidade: -avarias -manutenção corretiva
Rendimento	C	Quantidade Ideal de Peças Produzidas		Perdas de Eficácia
	D	Quantidade Real de Peças Produzidas	Perdas de rendimento: -microparagens -velocidade reduzida do processo	
Qualidade	E	Total de Peças Produzidas		
	F	Total de Peças Conformes	Perdas de qualidade: -sucata -retrabalho	
$OEE(\%) = \text{Disponibilidade} * \text{Rendimento} * \text{Qualidade}$ $= B/A * D/C * F/E$				

Figura 2.11: Síntese do processo de cálculo do OEE [10]

2.3.3.2 Custos de Manutenção

Os custos de manutenção dividem-se em custos diretos e indiretos. Os custos diretos englobam todos os custos associados à manutenção, mão de obra, materiais e peças de reserva, custo de trabalho subcontratado, entre outros [11]. Por outro lado, os custos indiretos resultam das consequências da falha ocorrida. Neste tipo, a perda de receita deve-se à paragem da produção, eventuais acidentes, encargos com seguradoras, entre outros [43].

Na Figura 2.12 pode ser observada a natureza dos custos de manutenção.

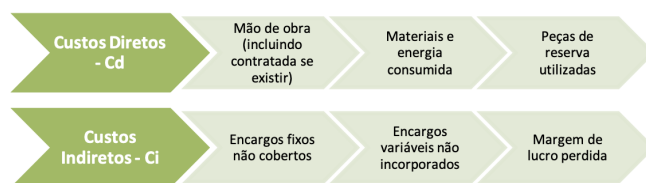


Figura 2.12: Natureza dos custos de manutenção (adaptado de [11])

Um dos principais pontos de ação das equipas responsáveis pela gestão da manutenção passa por identificar as percentagens de manutenção preventiva e corretiva que devem ser realizadas, visto que estas têm um impacto directo nos custos. Quanto maior for o investimento na manutenção preventiva, maior será o custo direto e menor será o custo indireto, e vice-versa.

Outro fator a ter em conta trata-se da potencial inclusão da manutenção preditiva no contexto organizacional. A manutenção preditiva permite estimar o tempo de vida até à falha e agendar o tempo ótimo de manutenção. No entanto, envolve a incorporação de uma série de recursos e custos associados.

2.3.3.3 Indicadores de Fiabilidade

Da definição de avaria e de fiabilidade apresentadas na Secção 2.2.1 pode-se concluir que quanto mais tempo um item permanecer no seu estado de bom funcionamento, mais fiável ele é. A fiabilidade de um item pode ser medida com recurso a três indicadores de desempenho, que se apresentam imediatamente de seguida: taxa de avarias, MTBF (*Mean Time Between Failures*) e MTTF (*Mean Time To Failure*).

• Taxa de Avarias

A taxa de avarias (λ) é um indicador de fiabilidade de um sistema reparável e corresponde à variação do número esperado de avarias num determinado instante de tempo, ou seja, é a primeira derivada do valor esperado do número de avarias $E[N(t)]$ [44]. A expressão (2.2) corresponde à sua fórmula de cálculo.

$$\lambda(t) = \frac{d}{dt}E[N(t)] \quad (2.2)$$

A taxa de avarias permite a obtenção da curva de fiabilidade de um sistema, designada na literatura por "curva da banheira" devido à forma que apresenta. Esta curva pode ser observada na Figura 2.13

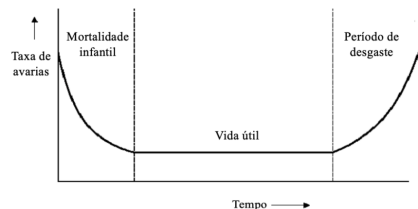


Figura 2.13: Curva da banheira (adaptado de [12])

Da análise da curva da banheira, identificam-se 3 períodos de vida distintos dos sistemas:

- **Mortalidade Infantil** - na fase inicial de funcionamento do sistema, a taxa de avarias apresenta uma tendência decrescente. As falhas e avarias relacionam-se com erros de fabrico e montagem [45].
- **Vida Útil** - é a fase de maturidade do sistema, tipicamente mais duradoura que as restantes, e com uma taxa de avarias constante e motivada por episódios aleatórios [22].
- **Período de Desgaste** - assinala o envelhecimento do sistema e a aproximação do seu fim de vida. Há um aumento considerável do número de avarias e uma degradação acelerada do sistema, podendo esta resultar no abate, reconstrução ou eliminação do mesmo [46];

Associada à taxa de avarias de um sistema, é comum efetuar-se uma análise da frequência com que estas se sucedem. Esta análise, realizada com recurso ao teste de *Laplace* resulta, geralmente, num padrão de avarias que pode apresentar 4 tendências distintas: aleatória, linear, logarítmica ou exponencial [44, 47].

Uma tendência de avarias aleatória define-se pela impossibilidade de traçar um padrão matemático para a frequência com que estas ocorrem.

Uma tendência linear revela uma taxa de avarias constante ao longo do tempo, que pode ser representado por um processo de *Poisson* homogéneo, estimado pela equação (2.3) [44].

$$\lambda(t) = \hat{\lambda} = \frac{\text{Número Total de Avarias}}{\text{Duração de Utilização do Sistema}} \quad (2.3)$$

A tendência logarítmica descreve um padrão de avarias que diminui ao longo do tempo e cuja estimativa pode ser obtida através do modelo de *Crow*, descrito pela equação (2.4), onde γ é o parâmetro de escala e β é o parâmetro de forma [48].

$$\lambda(t) = \hat{\lambda} = \gamma \beta t^{(\beta-1)} \quad (2.4)$$

A tendência exponencial reflete a degradação resultante da utilização repetida do sistema, uma vez que o número de avarias aumenta ao longo do tempo. É obtida com recurso à distribuição de *Weibull*, tal como apresentado na equação (2.5), em que os parâmetros β e η (vida característica) são estimados pelo método da máxima verossimilhança [48].

$$\lambda(t) = \hat{\lambda} = \frac{\beta}{\eta^\beta} t^{(\beta-1)} \quad (2.5)$$

- **MTBF - Mean Time Between Failures**

Outro indicador de fiabilidade frequentemente utilizado em sistemas reparáveis é o MTBF. Este indicador é responsável por indicar o tempo médio entre a ocorrência de duas falhas [22]. É o inverso da taxa de avarias, tal como demonstrado pela equação (2.6).

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

- **MTTF - Mean Time To Failure**

No caso de se lidar com sistemas não reparáveis é comum utilizar-se o MTTF para se obter um indicador semelhante aos anteriores. Este indicador estima o tempo médio até ocorrer a falha que colocará término à vida útil do item [49].

2.3.3.4 Indicadores de Manutibilidade

A manutibilidade dos itens, conceito definido na secção 2.2.1, pode ser medida com recurso a 3 indicadores de desempenho: o MTTR (*Mean Time To Repair*), a taxa de reparação e o MWT (*Mean Waiting Time*). Estes 3 indicadores são apresentados em seguida.

- **MTTR (*Mean Time To Repair*)**

O MTTR refere-se ao tempo médio de reparação [23]. Inclui o tempo de diagnóstico da avaria, o tempo de reparação e o tempo gasto na logística associada à ação técnica de reparação [49].

A sua fórmula de cálculo, descrita pela equação (2.7), representa o quociente entre o somatório dos tempos de reparação e o número de reparações efetuadas [44].

$$MTTR = \frac{\sum TR_i}{\text{Número de Avarias do Sistema}} \quad (2.7)$$

Um valor baixo do MTTR indica que as reparações são realizadas de forma rápida e fácil.

- **Taxa de Reparação**

Da extensão do conceito de MTTR, pode-se obter a taxa de reparação de um item, que indica o número de reparações efetuadas num dado intervalo de tempo. É calculada através do inverso do MTTR, tal como demonstrado na equação (2.8).

$$\text{Taxa de Reparação} = \frac{1}{MTTR} \quad (2.8)$$

- **MWT (*Mean Waiting Time*)**

O MWT é o indicador que traduz a eficiência da resposta das equipas à solicitação de manutenção [11]. Corresponde ao tempo médio entre a identificação da falha e a realização da intervenção corretiva no equipamento. A sua fórmula de cálculo é descrita na equação (2.9), onde TDE_i é o tempo de espera de atendimento da avaria i .

$$MWT = \frac{\sum TDE_i}{\text{Número de Avarias do Sistema}} \quad (2.9)$$

2.3.3.5 Indicadores de Disponibilidade

A disponibilidade, definida na secção 2.2.1, é influenciada pela fiabilidade e pela manutibilidade do equipamento, podendo a sua medição ser feita com recurso a indicadores destes tipos de propriedades.

Ela depende do número de avarias, da rapidez de reparação, do tipo de manutenção e da quantidade de meios à disposição das equipas [23].

Para itens reparáveis a disponibilidade pode-se traduzir como o rácio entre o MTBF e a soma do MWT com o MTBF e MTTR, tal como descrito na equação (2.10) [50].

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MWT + MTBF + MTTR} \quad (2.10)$$

De forma mais genérica, a disponibilidade é o rácio entre o período de tempo em que um item pode ser utilizado (T_{UP}) e o tempo de vida total do item ($T_{UP} + T_{DOWN}$) [44]. Esta definição é apresentada na equação (2.11).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{T_{UP}}{T_{UP} + T_{DOWN}} \quad (2.11)$$

2.3.4 Computerized Maintenance Management Systems

Entende-se por informação qualquer conjunto de dados que é transmitido por um recetor e que tem utilidade para o processo de tomada de decisão das organizações. Nos dias de hoje, a informação é fundamental para o estabelecimento de uma função de manutenção eficaz [51].

Os sistemas de informação cujo objetivo é dar suporte à gestão das atividades de manutenção designam-se por CMMS (*Computerized Maintenance Management Systems*). Devido à indissociabilidade dos conceitos de GA e de GM, por vezes os CMMS são referidos na literatura como sistemas EAM (*Enterprise Asset Management*) [52].

As principais áreas de atuação que um CMMS deve cobrir são as seguintes [51]:

- Gestão de ativos, através do cadastro dos mesmos e da apresentação de históricos de manutenção;
- Gestão de ordens de trabalho, quer geradas automaticamente pelo despoletar de uma avaria, quer predeterminadas como resultado dos planos de manutenção da organização;
- Gestão de manutenção preventiva, através da programação de ações técnicas e administrativas previstas nos planos de manutenção da organização;
- Gestão de inventário, de forma a estipular as peças de reserva existentes na organização;
- Gestão de relatórios, através da aplicação de indicadores de desempenho e da monitorização dos processos;

Um CMMS deve ser encarado como uma ferramenta de apoio à resolução dos problemas de manutenção e não como uma solução [53]. Neste sentido, a formação dos utilizadores é fundamental para um máximo aproveitamento das funcionalidades destes sistemas [54].

Caso este aproveitamento seja conseguido, a organização irá lucrar com a utilização do CMMS, usufruindo de menores custos operacionais, aumento da vida útil e disponibilidade dos ativos, maior controlo sobre o planeamento da manutenção e acesso facilitado a dados e estatísticas de desempenho [55]. No entanto, estudos apontam que a taxa de sucesso da implementação de CMMS nas organizações é da ordem dos 25% aos 40% [56]. Os principais motivos para este baixo valor residem na falta de envolvimento dos intervenientes na atualização do sistema e na ausência de supervisão por parte das entidades criadores dos programas [57].

2.4 Revisão da Literatura

Nos dias de hoje, cada vez mais empresas adotam a manutenção preditiva como meio para conquistar uma vantagem competitiva no mercado. De igual forma, cada vez mais estudos e análises são realizados aos algoritmos e modelos utilizados neste tipo de manutenção, de forma a compreender os benefícios e as dificuldades associadas à sua aplicação.

Neste capítulo efetua-se uma revisão da literatura relativa à manutenção preditiva, através da apresentação das considerações obtidas em artigos científicos cujo âmbito se enquadra nos objetivos desta dissertação. Estes artigos avaliam diferentes métodos e tecnologias utilizadas na construção de modelos de manutenção preditiva. Com isto espera-se obter um conhecimento abrangente do estado da arte que contribua para a estruturação da solução que irá ser desenvolvida para a *Veolia Portugal*.

2.4.1 Manutenção preditiva e análise de vibrações

Em 1985, Renwick e Babson publicaram um estudo em que definiam que o maior obstáculo à criação de um modelo de manutenção preditiva era a recolha de dados com qualidade suficiente para diagnosticar potenciais falhas do equipamento [58]. Nesse estudo, os dois investigadores recolhem dados resultantes de análises de vibrações efetuadas em diferentes equipamentos e evidenciam a precisão dos modelos desenvolvidos através destes dados, definindo a análise de vibrações como uma das ferramentas úteis para prever a falha nos equipamentos [58].

Anos depois, em 2006, Orhan, Sadettin e Akt voltam a utilizar a análise de vibrações como método preferencial para a recolha de dados na construção de um modelo preditivo capaz de detetar defeitos nos rolamentos de uma máquina [59]. Neste artigo, os investigadores avaliam a sua metodologia recorrendo a 3 casos de estudo e provam que uma monitorização das vibrações efetuada em períodos regulares e com instrumentação adequada prevê a falha eminente dos equipamentos. Adicionalmente, o estudo demonstrou também que a análise espectral das vibrações do equipamento evidencia uma correlação com o seu tempo de vida útil [59].

2.4.2 Manutenção preditiva e termografia

Bagavathiappan propôs, em 2013, uma revisão literária dos avanços da termografia com infravermelhos enquanto ferramenta de recolha de dados para modelos de manutenção preditiva [60].

Neste artigo, o autor destaca a correlação entre a temperatura e as condições de funcionamento de diferentes equipamentos, evidencia o caráter não-invasivo da termografia, esclarece as diferentes aplicações deste método (análise de componentes eletrônicos, certificação de infraestruturas, detecção de deformações, medição de corrosão, entre outras...) e refere os contributos de áreas como o processamento de imagem para a melhoria do método [60].

De forma a complementar o conhecimento adquirido na leitura do artigo anterior com uma aplicação prática concreta da termografia, teve-se em consideração o trabalho de Younus e Yang, de 2012 [61]. Estes autores propõe um sistema de diagnóstico inteligente para a classificação de diferentes condições de operação de uma máquina rotatória, tendo por base um conjunto de dados resultantes de análises termográficas. O método adotado para tal passa por decomposição da imagem térmica, cálculo e seleção de *features* e por um conjunto de algoritmos de classificação [61].

2.4.3 Manutenção preditiva e FMEA/FMECA

Em 2014, Srivastava e Mondal abordam o problema das pequenas e médias empresas que não têm acesso a tecnologias sofisticadas para realizar uma recolha de dados que possibilite a criação de um modelo de manutenção preditiva [62]. Assim, os autores propõe uma modificação do método FMEA para gerar indicadores de baixo custo que funcionem como *features* num modelo de manutenção preditiva. O modelo desenvolvido é validado através da sua aplicação a uma unidade de extração de óleo de palma [62].

Mais recentemente, em 2021, Ahmed, Carpitella e Certa apresentaram um artigo em que integram uma abordagem baseada em decisão multi-critério com a metodologia FMECA [63]. Esta combinação resulta numa ordenação dos modos de falha identificados em diferentes classes de risco e, posteriormente, na determinação de relações de dependência entre os modos de falha de cada classe [63].

2.4.4 Manutenção preditiva e inteligência artificial

Num artigo de 2019 redigido por Carvalho, Soares, Francisco, Vita, Basto e Alcalá é elaborada uma revisão da literatura dos métodos de *machine learning* utilizados em aplicações de manutenção preditiva [64]. Os algoritmos de *machine learning* apresentados são *random forests*, redes neuronais, máquinas de suporte vetorial e *k-means*. Para além dos prós e contras associados à utilização de cada um destes algoritmos, os autores generalizam que a combinação de inteligência artificial e manutenção preditiva tem conduzido a resultados bastantes positivos, com avultadas reduções de custos para as organizações que implementam modelos deste tipo. No entanto, é também realçada a necessidade de tecnologia sensorial atualizada de forma a evitar a substituição de equipamentos e a favorecer a estabilidade do processo [64].

2.5 Conclusões do enquadramento teórico

Do enquadramento teórico apresentado, é possível compreender a importância da GA na atividade das empresas, bem como a relevância da manutenção dentro do ciclo de vida dos ativos a ser geridos. Desta compreensão surge o sentido de necessidade de haver um planeamento orientado aos objetivos da empresa que se estenda até à manutenção dos seus itens.

Desta forma, o enquadramento teórico efetuado cimenta a motivação para apresentar uma solução eficaz para o problema definido pelo proponente, uma vez que faz parte dos objetivos da empresa adicionar uma ferramenta de manutenção preditiva ao seu portefólio de soluções.

De facto, uma das grandes aprendizagens extraídas da investigação efetuada até ao momento é a de que a construção de um modelo de gestão da manutenção deve contemplar diferentes metodologias, ajustadas ao problema em questão e aos objetivos gerais da empresa. Assim, saber combinar técnicas corretivas e preventivas existentes na empresa com modelos preditivos e prescritivos orientados aos objetivos de alto nível da mesma constitui um dos maiores desafios do trabalho a ser realizado.

Adicionalmente, os baixos números associados ao sucesso na implementação de CMMS nas organizações refletem a importância de se garantir que os sistemas de informação e de coleta de dados de manutenção da empresa estejam em constante atualização. Se isto não ocorrer, as ferramentas preditivas basear-se-ão em dados obsoletos e terão de ser abandonadas. Desta forma, é essencial garantir que a solução apresentada não se resuma ao desenvolvimento um modelo fixo e estagnado, mas sim a um conjunto de ferramentas que garantam a alimentação contínua e apropriada desse modelo.

A revisão da literatura efetuada permite ainda concluir que existe uma grande variedade de técnicas a ser atualmente utilizadas para efetuar a recolha dos dados que permitem a construção dos modelos de manutenção preditiva. Conclui-se também que a diversidade destes métodos é grande, com soluções tecnologicamente complexas e dispendiosas, e outras que recorrem a métodos mais tradicionais de identificação de falhas. Estas duas constatações são positivas para o trabalho que se pretende realizar nesta dissertação, uma vez que conferem a segurança de que, independentemente do paradigma tecnológico existente na *Veolia Portugal*, é possível desenvolver um modelo de manutenção preditiva válido e eficaz.

Capítulo 3

Descrição da Situação Inicial

A *Veolia Portugal* é uma marca de confiança registada junto de grandes empresas do setor industrial, tendo os seus princípios orientados para o contributo na melhoria contínua da performance dos seus clientes. Neste sentido, a *Veolia* permitiu a integração da proposta de dissertação no plano de atividades de uma das suas equipas operacionais, a qual é responsável pela prestação de serviços numa indústria de bebidas do norte de Portugal. Desta forma, o trabalho desenvolvido e exposto neste documento surge da análise de um ambiente de trabalho real e os resultados têm uma aplicação direta e imediata no dia-a-dia da *Veolia Portugal*, com benefício para a empresa e para o cliente.

Neste capítulo apresenta-se o âmbito de trabalho e os setores de atividade da *Veolia Portugal* na fábrica do cliente, o modelo de organização da empresa e as suas práticas operacionais relacionadas com a manutenção. Este capítulo é o resultado das primeiras três semanas em integração com a equipa e pretende expor a situação inicial encontrada e os principais problemas associados à gestão da manutenção da empresa. É expectável que a identificação destes obstáculos permita reunir as condições necessárias para se delinear estratégias e propostas de melhoria capazes de cumprir com os objetivos do projeto.

3.1 A atividade da *Veolia Portugal* na fábrica do cliente

O contrato da *Veolia Portugal* com a empresa cliente é um contrato de longa duração, baseado nos princípios da autenticidade e da verdade, com o objetivo de se obter um cenário de *win-win* para ambas as entidades. O contrato cobre duas das principais áreas de intervenção da *Veolia* no mundo - água e energia - e divide-se em cinco atividades fundamentais: produção de energia, gestão de utilidades, tratamento de águas residuais, gestão integrada de edifícios e desidratação de leveduras.

No âmbito da produção de energia, a *Veolia Portugal* é responsável pela operação e manutenção de uma central térmica. A central térmica é composta por um motor de cogeração e três caldeiras recuperativas que têm como objetivo efetuar um aproveitamento térmico de elevado rendimento, do qual resulta parte da energia necessária no processo produtivo do cliente.

No que diz respeito à gestão das utilidades, a *Veolia Portugal* leva a cabo um conjunto de atividades operacionais e de manutenção que garantem o bom funcionamento dos equipamentos responsáveis por fornecer produtos auxiliares ao processo de fabrico do cliente. Estes equipamentos encontram-se distribuídos por diversas instalações: instalação de produção de frio industrial, instalação de produção e captação de CO_2 , instalação de produção de ar comprimido, estação de tratamento de águas (ETA) e postos de transformação/quadros de baixa tensão.

A *Veolia Portugal* é também responsável pelo *O&M* de uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR). A produção de bebidas necessita de muita água, o que geralmente resulta em grandes quantidades de efluente. O bom funcionamento da ETAR permite que o efluente seja tratado com um custo mínimo e em segurança, cumprindo a legislação imposta pelas entidades governamentais e protegendo o ecossistema envolvente da fábrica.

Relativamente à gestão integrada dos edifícios que compõe a fábrica do cliente, é da responsabilidade da *Veolia* assegurar a manutenção dos mesmos. As tarefas de manutenção mais frequentes nesta atividade estão relacionadas com os sistemas de AVAC, eletricidade e trabalhos gerais de vidraria/carpintaria.

Recentemente, a *Veolia Portugal* adicionou ao seu portefólio de atividades a operação da instalação de desidratação de leveduras. Este é um trabalho partilhado com uma terceira empresa e que se encontra ainda a ser estruturado, tendo já sido realizadas algumas intervenções no âmbito da segurança no trabalho.

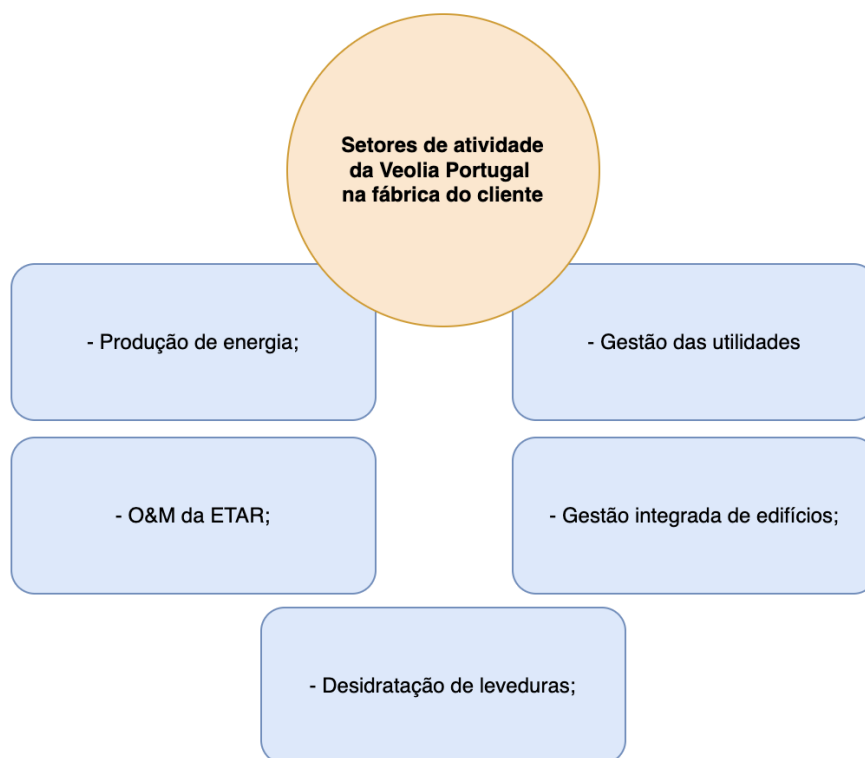


Figura 3.1: Setores de atividade da *Veolia Portugal* na fábrica do cliente

Todas as atividades descritas são garantidas por uma equipa formada por 25 pessoas, que se subdivide em dois turnos de forma a estar presente na instalação do cliente durante 24 horas por dia e em todos os dias do ano. A equipa é liderada pelo engenheiro Eduardo Fernandes, que conta com o apoio de dois assistentes operacionais nas tarefas administrativas, estando os restantes elementos dispersos pelas funções de técnicos de manutenção, técnicos de energia e fluídos, "fogueiros" e operadores da ETAR.

O dia-a-dia da empresa é marcado por uma reunião matinal entre o responsável operacional, os assistentes operacionais e um representante de cada classe de técnicos. Nesta reunião reportam-se as tarefas que foram terminadas no dia anterior, destacam-se potenciais problemas de segurança, discutem-se os parâmetros de operação observados nas diferentes instalações da fábrica e são estabelecidas as prioridades das tarefas a ser realizadas durante esse dia.

Um dos aspetos fundamentais para que a *Veolia Portugal* consiga prestar um serviço de elevada qualidade ao cliente reside na capacidade de transmitir a informação relativa ao trabalho realizado no momento da mudança de turno. Na *Veolia*, a transmissão da informação entre turnos é realizada através de um relatório de atividade diário manuscrito, sendo por vezes complementada com e-mails ou por via oral entre os técnicos. Durante as primeiras três semanas de trabalho verificou-se que este método nem sempre é eficaz, induzindo erros e quebras de produtividade no dia-a-dia da empresa, algo que se tornou ainda mais evidente nos meses que se seguiram a esta fase.

3.2 As práticas de gestão da manutenção da *Veolia Portugal*

Tal como evidenciado na secção anterior, a *Veolia Portugal* tem ao seu encargo um vasto conjunto de atividades relacionadas com a operação e a manutenção de equipamentos. Assim, após ser realizada uma jornada de familiarização com as diferentes instalações da fábrica do cliente, foram dados passos no sentido de compreender as práticas, os métodos e os tipos de manutenção empregues pela equipa da *Veolia* no seu dia-a-dia.

A primeira constatação que resultou deste trabalho foi que a equipa da *Veolia* efetua manutenções em equipamentos de uso doméstico e em equipamentos industriais. Dada a diferente natureza dos equipamentos, estas manutenções são levadas a cabo por equipas distintas e integram planos de atividade distintos: as manutenções em equipamentos de uso doméstico fazem parte da atividade de gestão integrada de edifícios e as manutenções em equipamentos industriais distribuem-se pelos setores de produção de energia, utilidades e ETAR. Por se tratarem de manutenções mais complexas, dispendiosas e críticas ao bom funcionamento da fábrica do cliente, as manutenções efetuadas em equipamentos industriais constituem o objeto de estudo desta dissertação.

Assim, no que diz respeito a estas manutenções, a *Veolia* é responsável por garantir o cumprimento de dois contratos: o primeiro, designado pelo código MV0020, diz respeito a todos os equipamentos industriais envolvidos no processo de produção de energia, enquanto que o segundo, codificado como ME26145, abrange os equipamentos de todas as utilidades da fábrica. Quer no contrato MV0020 como no ME26145, existem dois tipos de manutenções: P2 (manutenções corretivas) e P6 (manutenções preventivas). As manutenções preventivas, ou P6, subdividem-se

ainda em dois cenários: “P6 Mensal”, correspondente a manutenções com um custo inferior a um *threshold* pré-estipulado, e “P6 Proposta”, para manutenções com custo superior a esse *threshold*. Os custos das manutenções do tipo “P6 Mensal” são suportados pela *Veolia Portugal*, enquanto que as manutenções do tipo “P6 Proposta” são assumidas pelo cliente.

Independentemente do contrato que fazem parte, todas as tarefas de manutenção levadas a cabo pela *Veolia Portugal* devem ser registadas no *software* de gestão de manutenção do cliente, que é o SAP-PM. O SAP-PM permite a codificação de todos os equipamentos da fábrica e, posteriormente, a emissão de ordens de manutenção sempre que alguma intervenção é realizada, mantendo-se assim um registo fidedigno e atualizado das tarefas de manutenção e do estado dos equipamentos da fábrica. Geralmente, são emitidas ordens de manutenção de dois tipos: ZPM1 (manutenções corretivas) e ZPM3 (manutenções preventivas), as quais desencadeiam os processos representados nas Figuras 3.2 e 3.3, respetivamente.

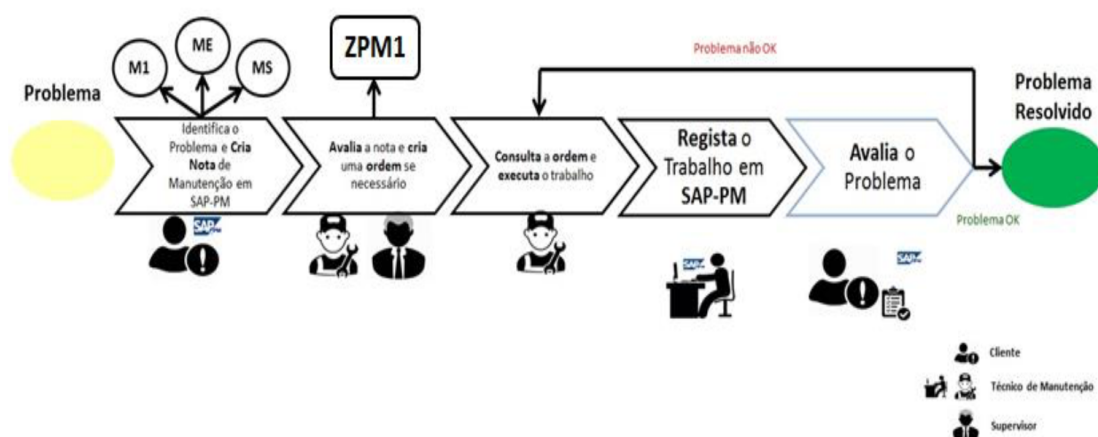


Figura 3.2: Processo de manutenção corretiva na *Veolia Portugal*

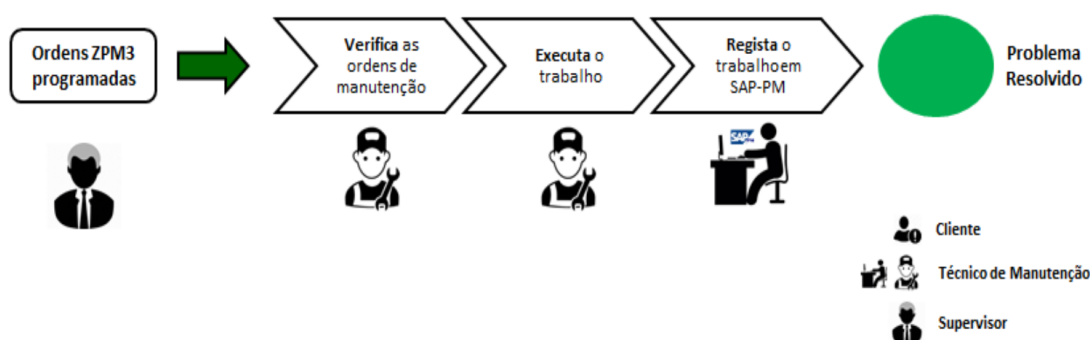


Figura 3.3: Processo de manutenção preventiva na *Veolia Portugal*

No entanto, foram identificadas alguns problemas relacionados com a utilização do SAP-PM. Em primeiro lugar, verificou-se que existem centenas de equipamentos no interior da fábrica que

não se encontram codificados. Isto representa um forte obstáculo à atividade da *Veolia Portugal*, uma vez que é impossível manter registos e emitir ordens de manutenção de qualquer equipamento que não esteja codificado no *software*. Em segundo lugar, existem diversos equipamentos codificados cujas informações se encontram desatualizadas, que já não existem na fábrica, ou que foram transferidos para outras localizações funcionais. Isto dificulta as tarefas administrativas da *Veolia*, uma vez que todos os dias tem de ser efetuada uma filtragem manual das ordens de manutenção preventiva automaticamente emitidas pelo SAP-PM. No pior cenário, para casos em que o equipamento existe mas as informações estão desatualizadas, pode acontecer serem impressas ordens de manutenção obsoletas cuja aplicação resulte na deterioração do equipamento. Finalmente, o modelo de codificação adotado pelo cliente é um modelo hierárquico, em forma de árvore, em que cada localização funcional da fábrica contém diversos equipamentos que, por sua vez, contêm sub-equipamentos e/ou instrumentos. Embora do ponto de vista teórico este modelo seja bastante eficaz e organizado, a sua implementação é extremamente incoerente, desorganizada e dotada de uma linguagem pouco estruturada e padronizada, tal como é possível de se verificar nas nomenclaturas da Figura 3.4. Além disso, nesta figura é também possível verificar a ausência de um padrão de codificação dos equipamentos, com alguns a serem detalhados até ao seu material mais básico (representado a vermelho na imagem), e outros a serem limitados a níveis mais altos (representação a verde).

Local de instalação	D000-D022-03-03	Vál. desde	09.03.2022
Denominação	Central Águas		
D000-D022-03-03 Central Águas			
300012532	Robot de aspiração p/ Cisternas	HAYWARD	TIGERSHARK 001
D000-D022-03-03-01	Captação & Armazenamento Água		
D000-D022-03-03-02	Tratamento Água Furos		
D000-D022-03-03-08	Instalação Água Processo		
D000-D022-03-03-03	Instalação Água Caldeiras		
D000-D022-03-03-04	Instalação Água Diluição		
D000-D022-03-03-05	Instalação Água Rede Geral		
300012616	Balão Hidroressor - Rede Geral	REFLEX	REFIX DT5 - 1000L
300012617	Bomba M5 - Água Rede Geral	GRUNDFOS	NK65-160/177 - SBQOE
47268	Kit Empang.Mecânico 96488302 "Grundfos" L	1,000	
300012618	Motor - Bomba M5	GRUNDFOS	MG160 LB2-42-H3
300012619	Bomba M6 - Água Rede Geral	GRUNDFOS	NK65-160/177 - SBQOE
47268	Kit Empang.Mecânico 96488302 "Grundfos" L	1,000	
300012621	Motor - Bomba M6	GRUNDFOS	MG160 LB2-42-H3
300012620	Bomba M7 - Água Rede Geral	GRUNDFOS	NK65-160/177 - SBQOE
47268	Kit Empang.Mecânico 96488302 "Grundfos" L	1,000	
300012622	Motor - Bomba M7	GRUNDFOS	MG160 LB2-42-H3
300000877	Conduta adutora		<VAZIO>
300005688	Cisterna n°2 (F1)		<VAZIO>
300012531	Electrobomba Dos. (hipoCL)	SMEF PROMINENT	BETA /4 2011039365
300012614	Bomba M122 - recirculação C2	GRUNDFOS	CRN32-1-1 0003
300005679	Cisterna n°3 (F1)		<VAZIO>
300012466	Bomba M123 - recirculação C3	GRUNDFOS	CRN32-1-1 0004
300014778	Electrobomba Dos. Hipoclorito Sódio C3	PROMINENT	BETA /4 2008112431
D000-D022-03-03-06	Instalação Água Industrial		
D000-D022-03-03-07	Armazenamento Água Tratada		
D000-D022-03-03-09	Armazenamento Químicos		

Figura 3.4: Excerto da lista de equipamentos codificados em SAP-PM

Para além das ações de programação e planeamento da manutenção realizadas com recurso ao SAP-PM e das ações técnicas corretivas e preventivas levadas a cabo pelos técnicos que compõe a equipa, a *Veolia Portugal* efetua ainda um conjunto de ações administrativas essenciais. Estas ações abrangem a preparação de orçamentos, prospeção de fornecedores, requisição de materiais

e registo de despesas.

O registo das despesas inerentes às operações de manutenção que a Veolia Portugal realiza nos equipamentos industriais da fábrica do cliente é feito com recurso a uma folha de cálculo. Nesta folha são registados todos os materiais e serviços necessários nas ações técnicas de manutenção, acompanhados do setor da fábrica a que pertencem, do custo associado e de outras informações relevantes que variam conforme a natureza do contrato em que o material (ou serviço) adquirido se insere.

A análise desta folha de cálculo permitiu a identificação de alguns problemas. O primeiro diz respeito à introdução de dados na folha, a qual está bastante sujeita a erro humano, já que todos os campos são preenchidos manualmente. Assim, é comum encontrar-se dados introduzidos na linha ou coluna errada, elementos não preenchidos ou elementos inválidos. Este tipo de erros faz com que as fórmulas de cálculo cumulativo dos custos mensais e anuais presentes ao longo da folha se tornem falaciosas, podendo conduzir a um mau processo de tomada de decisão, potencialmente danoso em contexto industrial.

O segundo problema prende-se com a formatação da folha de cálculo, que por ser estática obriga a grandes perdas de tempo com a adição de linhas e reestruturação dos intervalos com fórmulas sempre que é ultrapassado um determinado número de entradas. Por consumir tanto tempo, a folha passa a ser encarada mais como um encargo do que como um instrumento de auxílio à gestão da informação e à tomada de decisão, sendo frequentemente abandonada e ficando desatualizada. Este cenário acarreta consigo a grave consequência de se perder todo o controlo sobre as despesas da empresa, um KPI fundamental. É ainda possível detetar um elevado potencial inexplorado na folha de cálculo, uma vez que esta não gera qualquer relatório prático e visualmente fácil de interpretar, que seria seguramente útil no dia-a-dia da empresa. O estado da folha de despesas atual pode ser revisto no Anexo A.

3.3 O impacto dos problemas identificados no objetivo e soluções

Ao longo das duas secções anteriores foram identificados problemas relacionados com o modelo de organização da *Veolia Portugal* e com as suas práticas de gestão da manutenção na fábrica do cliente. Nesta secção, reforça-se o objetivo central da dissertação, analisa-se a influência dos problemas identificados na obtenção desse objetivo e avaliam-se potenciais soluções para eles.

Para comodidade do leitor, sintetizam-se em seguida os quatro principais problemas identificados:

- **Perdas de informação entre turnos** - o relatório diário manuscrito está quase sempre incompleto, perdendo-se informação relevante na mudança de turnos. Isto conduz a quebras de produtividade, redundância de tarefas e tarefas incompletas;
- **Software de gestão da manutenção desatualizado** - o SAP-PM não contém todos os equipamentos da fábrica codificados e contém equipamentos que já não existem ou que estão

codificados na localização funcional errada, não permitindo um registo fidedigno das tarefas de manutenção realizadas pela *Veolia*;

- **Incoerências na codificação em SAP-PM** - a linguagem utilizada na codificação dos equipamentos da fábrica não segue um padrão coerente, gerando redundâncias, confusões e dificuldades quando se pretende atualizar as informações dos equipamentos;
- **Introdução errada de dados na folha de registo das despesas** - erros humanos na introdução de dados provocam o aparecimento de valores errados no KPI das despesas da *Veolia Portugal*, dando uma falsa perspetiva da situação que a empresa atravessa;

Adicionalmente, e de forma a permanecer em linha com os objetivos da proposta de dissertação, procurou-se entender quais os mecanismos de manutenção preditiva que a equipa já utilizava nas suas tarefas. Este trabalho foi realizado com o objetivo de identificar os modelos preditivos adotados e estudar possíveis otimizações dos mesmos. No entanto, constatou-se que a *Veolia* não tinha implementado, até à data, qualquer mecanismo de manutenção preditiva.

Perante este cenário, formalizou-se a ideia de que seria necessário desenvolver um modelo de manutenção preditiva completo para atender às expectativas da empresa para este projeto. A possibilidade de desenvolver um modelo de raiz acarreta consigo uma série de prós e contras que devem ser avaliados. Assim, foi conveniente recorrer a uma análise SWOT para identificar os pontos fortes e fracos, as oportunidades e as principais ameaças ao desenvolvimento de um modelo de manutenção preditiva que fosse útil para a *Veolia Portugal*.

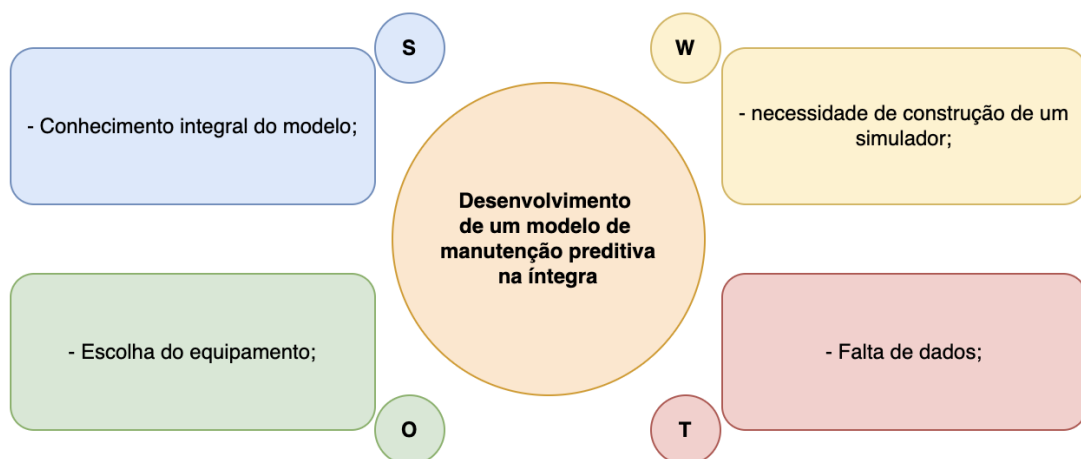


Figura 3.5: Análise SWOT para o desenvolvimento de um modelo de manutenção preditiva integral

A análise SWOT efetuada, que se encontra sumariada na Figura 3.5, permitiu reconhecer que o desenvolvimento de um modelo de manutenção preditiva de raiz garante que haja um conhecimento exaustivo dos parâmetros e variáveis de decisão que lhe estão associados. Em condições

ideais, este conhecimento conduz ao desenvolvimento de um modelo matemático capaz de efetuar uma boa tradução da situação real e, consequentemente, melhores resultados para a vida útil dos equipamentos e para a saúde financeira da *Veolia Portugal*. Em contrapartida, um novo modelo necessita de uma interface em que possa ser testado, isto é, um simulador. Perante os prazos impostos para a realização deste trabalho, a construção de um simulador capaz de avaliar a eficácia do novo modelo pode facilmente ser encarada como uma das desvantagens desta solução.

No entanto, o ponto mais interessante que emergiu da análise SWOT foi o facto desta ter realçado a enorme oportunidade existente em se poder escolher o equipamento (ou conjunto de equipamentos) para o qual o modelo irá ser desenvolvido. Assim, com uma boa escolha de indicadores, é possível identificar um equipamento crítico da empresa e obter uma otimização do rendimento e prolongamento da sua vida útil, com benefício para a saúde financeira da *Veolia* e para o desempenho do cliente. Importa no entanto ressaltar que existe a ameaça de não se dispôr de dados em quantidade ou com qualidade suficiente para construir um modelo válido.

Nestas circunstâncias, delineou-se um plano de atuação para determinar o equipamento em que seria aplicado o modelo de manutenção preditiva. A primeira fase do plano passa por se efetuar uma análise das despesas da empresa. Esta fase tem como objetivo entender qual o setor da fábrica do cliente que acarreta mais custos. Para tal, terá de ser feita uma reformulação da folha de cálculo de forma a que esta passe a produzir um relatório de custos útil, com valores fidedignos e passível de ser atualizado sempre que se introduzam novos dados na folha. Uma vez determinado o setor mais dispendioso da fábrica do cliente, é necessário realizar um levantamento de todos os equipamentos que lhe pertencem. Esta etapa, correspondente à segunda fase do plano de atuação, implica a realização de um inventário de equipamentos e a estruturação de uma proposta de modelo de codificação em SAP-PM. Com isto pretende-se catalogar todos os equipamentos do setor e escolher aquele que seja mais crítico ao processo, ao mesmo tempo que se garantem condições para efetuar registos e ordens de manutenção em SAP-PM no futuro. Após a conclusão destas duas etapas, estão reunidas as condições para se avançar com o desenvolvimento do modelo de manutenção preditiva para o equipamento escolhido.

Capítulo 4

Determinação do Equipamento Crítico

Na secção 3.3 é delineado um plano de atuação resultante da análise da situação inicial da empresa. Neste capítulo descrevem-se os passos que permitiram a concretização desse plano. Assim, o capítulo inicia-se com a apresentação das soluções desenvolvidas para a folha de registo de despesas e do resultado obtido com essas soluções. Esse resultado, que corresponde à determinação do setor mais dispendioso da fábrica, é em seguida analisado e serve como ponto de partida para o levantamento dos equipamentos do setor e para a criação do modelo de codificação em SAP-PM, também ele apresentado nas próximas páginas. O capítulo culmina com a escolha do equipamento crítico para o qual será elaborado o modelo de manutenção preditiva.

4.1 Reformulação da folha de registo de despesas

No que diz respeito aos custos de manutenção a *Veolia Portugal* possui um vasto registo de informações. No entanto, estas informações não são traduzidas em conhecimento prático para a empresa, havendo uma desproporcionalidade entre o volume de informação registada e o conhecimento produzido. As principais razões para a existência desta discrepância são a inexistência de KPI's e respetivas ferramentas de visualização, a dificuldade de operação das interfaces de recolha de dados e a fraca qualidade destes.

Uma análise superficial permitiu identificar que a uma melhoria estruturada da interface de recolha de dados, ou seja, da folha de registo de despesas, é suficiente para contrariar estas adversidades. No entanto, e tal como mencionado ao longo das secções 3.2 e 3.3, a folha de registo de despesas da *Veolia Portugal* possui diversos problemas cuja resolução consumiria mais tempo do que a criação de uma nova folha. Por esse motivo, achou-se conveniente abandonar a folha existente e avançar para o desenvolvimento de uma folha de registo de despesas capaz de garantir uma recolha de dados com qualidade e extração de conhecimento destes.

Por permitir um ambiente de edição partilhado entre todos os elementos administrativos da equipa, foi escolhido o *Google Sheets* como interface para o desenvolvimento da nova folha. Em seguida, foi efetuado um levantamento dos requisitos funcionais e não funcionais que a nova folha

deveria ter, de forma a garantir a obliteração de todos os problemas identificados e o aproveitamento total do potencial desta ferramenta. Os requisitos validados pelo responsável operacional da *Veolia Portugal* são apresentados na Tabela 4.1:

Tipo	Código	Requisito	Prioridade
Funcional	RF1	A folha tem de conter os todos os dados relativos aos custos associados ao contrato ME26145 e MV0020	Alta
	RF2	A gestão dos dados introduzidos na folha (inserção, edição e eliminação) tem de ser automatizada	Alta
	RF3	A folha tem de garantir uma separação dos dados relativos ao setor de produção de energia e de gestão das utilidades	Alta
	RF4	No setor de gestão das utilidades a folha tem de permitir a visualização separada dos dados das tarefas “P2”, “P6 Mensal” e “P6 Proposta”	Alta
	RF5	A folha tem de gerar um relatório com KPI’s relativos à distribuição percentual dos custos de manutenção por tarefa, custos de manutenção por mês, custos de manutenção “P2” por centro de custo e custos de manutenção “P6 Mensal” por centro de custo	Alta
	RF6	A folha tem de gerar um relatório mensal dos custos da tarefa “P6 Proposta” para apresentar ao cliente	Média
	RF7	A folha tem de conter uma lista dos fornecedores da <i>Veolia Portugal</i>	Baixa
	RF8	A folha tem de ser capaz de atualizar os dados visualizados automaticamente	Alta
	RF9	A folha tem de possuir navegação automática entre as diversas páginas	Baixa
Não Funcional	RNF1	O tempo de atualização dos dados visualizados tem de ser inferior a 30 segundos	Média
	RNF2	A folha tem de ter um aspeto profissional e utilização intuitiva	Média

Tabela 4.1: Requisitos validados para a criação da nova folha de registo de despesas

De forma a garantir o cumprimento dos requisitos expostos na tabela, especialmente os de alta prioridade, esboçou-se uma solução em que as informações relativas às tarefas “P2”, “P6 Mensal” e “P6 Proposta” dos setores de produção de energia e de gestão das utilidades são introduzidas e geridas através de formulários específicos para cada caso. A utilização de formulários permite estabelecer restrições relativas à validação de dados, ou seja, a folha de cálculo analisa cada um dos campos do formulário antes de submeter os dados preenchidos e emite mensagens de erro sempre que os dados estejam incompletos ou não sejam válidos. Para além disto, certos campos dos formulários podem conter *dropdown lists* equipadas com todos os valores admissíveis para esse campo. Desta forma evita-se a introdução errónea de valores e garante-se a uniformização das nomenclaturas, facilitando uma posterior análise de dados e geração de relatórios com KPI’s.

Para criar estes formulários efetuou-se uma análise da folha de registo de despesas pré-existente que serviu para consolidar os campos estritamente necessários para definir cada uma das tarefas. Durante a realização deste processo, verificou-se que o setor de produção de energia apenas possui tarefas do tipo “P2” (doravante designado por “P2 Energia”), enquanto que o setor de gestão das utilidades é composto pelos três tipos de tarefas - “P2”, “P6 Mensal” e “P6 Proposta” - identificando-se assim a necessidade de criar quatro formulários distintos.

Para o formulário referente às tarefas do tipo “P2 Energia” identificaram-se os seguintes campos: data de realização do trabalho, referência do orçamento, descrição do trabalho, empresa fornecedora, despesa relacionada com serviços prestados pelo fornecedor, despesa relacionada com materiais e código da requisição. Perante estas informações, construiu-se o formulário ilustrado na imagem da Figura 4.1.

Formulário de introdução de dados para tarefas do tipo "P2 Energia". O formulário possui um cabeçalho vermelho com o texto "[MV0020] - ENERGIA P2". Abaixo, há campos de entrada para ID, Data, Orçamento, Descrição do Trabalho, Empresa (menu suspenso), Despesa Serviços, Despesa Materiais e Requisição. Um botão "Procurar" está ao lado do campo ID. No rodapé, há três botões: "Inserir" (verde), "Apagar" (vermelho) e "Limpar" (amarelo).

Figura 4.1: Formulário de introdução de dados relativos às tarefas do tipo “P2 Energia”

De igual forma, identificaram-se as informações necessárias para as tarefas do tipo “P2”, “P6 Mensal” e “P6 Proposta” do setor de gestão de utilidades, emergindo desse trabalho os três formulários apresentados na Figura 4.2. Nestes três formulários destaca-se o campo referente ao centro de custo. Este campo consiste numa *dropdown list* que contém as diferentes instalações que compõe as utilidades da fábrica. Desta forma, o utilizador da folha é forçado a associar cada tarefa realizada ao seu respetivo centro de custo, o que permite saber qual a instalação mais dispendiosa da fábrica após se efetuar análise de dados.

Três formulários de introdução de dados para tarefas do setor de utilidades da fábrica:

- [ME26145] - UTILIDADES P2:** Possui campos para ID, Data, Orçamento, Descrição do Trabalho, Empresa (menu suspenso), Guia de Transporte, Custo, Requisição e Centro de Custo (menu suspenso). Botões: Inserir, Apagar, Limpar.
- [ME26145] - UTILIDADES P6 - Mensal:** Possui campos para ID, Data de Início, Data de Conclusão, Orçamento, Centro de Custo (menu suspenso), Empresa (menu suspenso), Requisição, Descrição do Trabalho, Serviços, Materiais e Despesas. Botões: Inserir, Apagar, Limpar.
- [ME26145] - UTILIDADES P6 - Proposta:** Possui campos para ID, Data de Início, Data de Conclusão, Reserva Armazen, Centro de Custo (menu suspenso), Empresa (menu suspenso), Guia de Transporte, Mão-de-Obra, T.Electromecânico, T.Electricista, Serviços, Materiais, Código de Tarefa, Requisição e Descrição do Trabalho. Botões: Inserir, Apagar, Limpar.

Figura 4.2: Formulário de introdução de dados relativos às tarefas “P2”, “P6 Mensal” e “P6 Proposta” do setor de utilidades da fábrica

Uma vez criado o *design* dos formulários, tratou-se de lhes conferir a funcionalidade desejada. Por utilizar uma linguagem orientada a objetos, recorreu-se à aplicação *Google Apps Script* para desenvolver o programa responsável por automatizar o processo de inserção, eliminação e edição de dados. Isto foi feito através da criação e programação de botões intuitivos para “Inserir”,

“Apagar”, “Limpar” e “Procurar” que foram colocados em todos os formulários.

O botão “Inserir”, quando pressionado, desencadeia o processo de validação dos dados introduzidos nos campos do formulário. Caso sejam validados, os dados são introduzidos numa tabela específica do tipo de tarefa controlado por esse formulário e passam a ser identificados por um ID único. O botão “Procurar” recupera os dados introduzidos na tabela através do seu ID, reescrevendo-os nos campos do formulário. A partir daqui, o utilizador pode apagar o registo da tabela pressionando o botão “Apagar” ou editar o registo, alterando os valores e pressionando novamente o botão “Inserir”. Quando isto acontece, o registo anterior é eliminado e é gerado outro com as informações editadas e um novo ID. O botão “Limpar” apaga todos os campos do formulário, de forma a maximizar o tempo e a produtividade do utilizador.

Abaixo de cada formulário existe um botão que navega para a respetiva tabela, de forma a que o utilizador possa consultar os dados já introduzidos e os seus ID’s. Na Figura 4.3, a título ilustrativo, mostra-se a configuração e o *design* de uma destas tabelas. Tal como se pode observar, estas tabelas representam uma melhoria significativa em termos de qualidade dos dados apresentados e da facilidade de leitura e interpretação (facultada pelo *design*) relativamente às tabelas da folha de registos anterior apresentadas no Anexo A.

[UTILIDADES] P6 - Mensal											Inserir Nova Ordem	Página Inicial
INFORMAÇÕES SAP							INFORMAÇÕES ORACLE					
ID	Data de Início	Data de Conclusão	Código	Centro de Custo	Descrição do Trabalho	Orçamento	Empresa	Despesa Serviços	Despesa Materiais	TOTAL	Requisição	
1	2022/01/04		C	CO2	Reparação do motor Co2 cisterna movel		Sacaz	246,06 €		246,06 €	20221000109	
2	2022/01/10		A	Águas	Rolamentos para motores da agua industrial		Rolpedra		372,42 €	372,42 €	20221000386	
3	2022/01/11		E	Frio	Reparação do motor N13		Mainpithi	645,00 €		645,00 €	20221000481	
4	2022/01/12		A	Águas	Casquilhos em nylon para osmose 7		Ferraz	50,00 €		50,00 €	20221000482	
5	2022/01/13		A	Águas	Desmontagem e análise de bombas		Hidma	180,00 €		180,00 €	20221000520	
6	2022/01/14		C	CO2	FABRICO DE PERMUTADOR CO2		TFI	3 340,00 €		3 340,00 €	20221000742	
9	2022/01/01		A	Águas	Reparação fuga de vapor		Faremi	228,16 €		228,16 €	20221001270	
10	2022/01/01		A	Águas	Instalação de picagem para sonda osmose		Faremi	222,59 €		222,59 €	20221001271	
11	2022/01/01		A	Águas	Reparação da tubagem da osmose 7		Faremi	309,48 €		309,48 €	20221001272	
12	2022/01/01		A	Águas	Reparação da tubagem da osmose 5		Faremi	507,74 €		507,74 €	20221001273	
13	2022/01/01		A	Águas	Valvula Prominent para UF		ProMinrent	124,17 €		124,17 €	20221001449	
14	2022/01/01		A	Águas	Acessorio para Tubagem AI ETAR		Stone&Go	165,00 €		165,00 €	20221001547	
15	2022/02/01		F	Ar Comprimido	Intervenção Compressor 2R160VSD		Atlas Copco		117,64 €	117,64 €	20221001590	
16	2022/02/01		A	Águas	Ventilador variadores AI		TUEL	17,92 €		17,92 €	20221001600	
17	2022/02/01		A	Águas	Kit reparação bomba grundfos CRN32		Hidma		290,80 €	290,80 €	20221001669	
18	2022/02/07		A	Águas	Recolha de carvão da ETA		Veolia	35,30 €		35,30 €	20221001881	
19	2022/02/22		A	Águas	Rolamentos 6410-C3		Rolpedra	114,10 €		114,10 €	20221002749	
20	2022/02/01		A	Águas	Empanque Mecânico para bomba 31P2		Sealtec	350,60 €		350,60 €	20221002794	
21	2022/02/01		A	Águas	Reparar veio e corpo da bomba 31P2		Farnaz	175,00 €		175,00 €	20221002795	
22	2022/02/01		A	Águas	Pecas para as osmose		Protec Arisawa	125,00 €		125,00 €	20221002797	
23	2022/03/02		A	Águas	Rolamentos bomba da RIA		Rolpedra	20,08 €		20,08 €	20221003016	
24	2022/03/01		A	Águas	Rolamentos motor elétrico agua das cisternas circulares		Rolpedra	43,62 €		43,62 €	20221003581	
25	2022/03/01		A	Águas	Valvula reguladora de vapor		Spirax	926,75 €		926,75 €	20221003268	
26	2022/03/01		C	CO2	Valvula segurança compressor co2		Valcontrol	240,03 €		240,03 €	20221003368	
27	2022/03/01		C	CO2	Rolamentos para motor elétrico n°2 CO2		Rolpedra	232,23 €		232,23 €	20221003371	
28	2022/03/01		A	Águas	Valvula de distribuição UF		Stone&Go	258,00 €		258,00 €	20221003592	
29	2022/03/01		A	Águas	Mangueira para ostarção		BOCK	12,47 €		12,47 €	20221003598	
30	2022/03/01		B	Eletricidade e PT's	Ventilador PT2		France Air	618,81 €		618,81 €	20221003660	

Figura 4.3: Tabela de registos de manutenção - “P6 Mensal”

Com este modelo de preenchimento das tabelas, os requisitos funcionais RF1, RF2, RF3 e RF4 estão cumpridos. No entanto, de forma a transformar a visualização dos dados numa experiência ainda mais elucidativa, criaram-se tabelas mensais para cada um dos tipos de tarefa. Estas tabelas possuem um mecanismo de atualização dinâmica garantido por um botão programado para preencher a tabela com os dados cuja data corresponda ao mês que se encontra a ser visualizado.

O mecanismo de atualização, embora útil do ponto de vista da visualização dos dados, começou por introduzir um problema de performance na folha de registos. De facto, cada vez que um novo registo era efetuado e ocorria uma atualização da tabela mensal correspondente, esta era

inteiramente apagada e reescrita com o novo registo, consumindo muito tempo. No entanto, após sucessivas alterações do código, conseguiu obter-se um tempo de atualização inferior a 20 segundos, garantindo o cumprimento dos requisitos R8 e RNF1. Duas tabelas mensais são apresentadas nas Figuras 4.4 e 4.5, com a primeira a constituir um exemplo referente ao tipo de tarefa “P6 Mensal” e a segunda ao tipo “P6 Proposta”. Ambas as tabelas dizem respeito ao mês de janeiro de 2022.



JANEIRO

P6 - MENSAL

Página Inicial

Atualizar

INFORMAÇÕES SAP							INFORMAÇÕES ORACLE				
ID	Data de Início	Data de Conclusão	Código	Centro de Custo	Descrição do Trabalho	Orçamento	Empresa	Despesa Serviços	Despesa Materiais	TOTAL	Requisição
1	2022/01/04		C	CO2	Reparação do motor CO2 sistema movel		Sacaz	246,06 €	0,00 €	246,06 €	20221000109
2	2022/01/10		A	Águas	Rolamentos para motores da agua industrial		Rolpedra	0,00 €	372,42 €	372,42 €	20221000386
3	2022/01/11		E	Frio	Reparação do motor NH3		Maringhi	645,00 €	0,00 €	645,00 €	20221000481
4	2022/01/12		A	Águas	Casquilhos em nylon para osmose 7		Ferraz	50,00 €	0,00 €	50,00 €	20221000482
5	2022/01/13		A	Águas	Desmontagem e análise de bombas		Hidma	180,00 €	0,00 €	180,00 €	20221000520
6	2022/01/14		C	CO2	FABRICO DE PERMUTADOR CO2		TFI	3 340,00 €	0,00 €	3 340,00 €	20221000742
9	2022/01/01		A	Águas	Reparação fuga de vapor		Farerni	228,16 €	0,00 €	228,16 €	20221001270
10	2022/01/01		A	Águas	Instalação de picagem para sonda osmose		Farerni	222,59 €	0,00 €	222,59 €	20221001271
11	2022/01/01		A	Águas	Reparação da tubagem da osmose 7		Farerni	309,48 €	0,00 €	309,48 €	20221001272
12	2022/01/01		A	Águas	Reparação da tubagem da osmose 5		Farerni	507,74 €	0,00 €	507,74 €	20221001273
13	2022/01/01		A	Águas	Valvula Prominent para UF		ProMinent	124,17 €	0,00 €	124,17 €	20221001449
14	2022/01/01		A	Águas	Acessorio para Tubagem Al ETAR		Store&Go	165,00 €	0,00 €	165,00 €	20221001547
TOTAL								6 018,20 €	372,42 €	6 390,62 €	

Figura 4.4: Tabela de registos de manutenção de janeiro de 2022 - “P6 Mensal”

JANEIRO P6 - PROPOSTA														Página Inicial		Atualizar			
INFORMAÇÕES SAP										MÃO-DE-OBRA EXTRA - VEOLIA				INFORMAÇÕES ORACLE					
ID	Data de Início	Data de Conclusão	Código	Centro de Custo	Descrição do Trabalho	Guia de Transporte	Reserva Armazen	Empresa	T. Eletromecânico	T. Eletricista	Custo de Mão-de-Obra	Despesa Serviços	Despesa Materiais	Despesa Total	Custo Materiais	TOTAL	Código de Tarefa	Requisição	
1	2022/01/11	2022/01/14	A	Águas	Retirar e colocar bomba no furo 28						0,00 €	884,00 €	884,00 €	884,00 €	993,60 €	993,60 €	20221000487		
2	2022/01/07		B	Eletricidade e PT's	Contadores multifuncionais Siemens						0,00 €	1 007,70 €	1 007,70 €	1 158,86 €	1 158,86 €	1 158,86 €	20221001385		
TOTAL												0,00 €			2 152,46 €	2 152,46 €			

Figura 4.5: Tabela de registos de manutenção de janeiro de 2022 - “P6 Proposta”

A construção destas tabelas mensais permitiu a rápida elaboração de um relatório mensal para apresentar ao cliente relativo às tarefas do tipo “P6 Proposta”, garantindo assim o cumprimento do requisito funcional RF6. Este relatório resultou do reaproveitamento do código utilizado nas tabelas mensais, com a adição de linhas para a assinatura dos responsáveis, informação gráfica da despesa por instalação e um arranjo das informações necessárias de incluir na tabela. Na figura 4.6 é possível ver o relatório gerado a partir da tabela mensal mostrada na Figura 4.5.

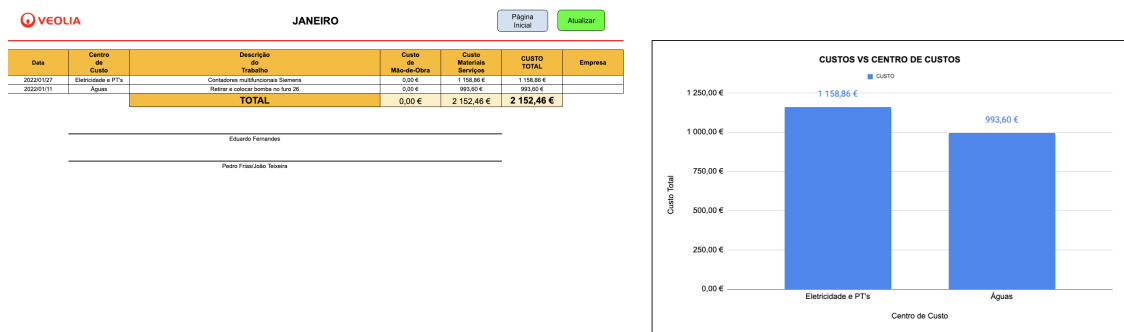


Figura 4.6: Relatório mensal de manutenção de janeiro de 2022 - "P6 Proposta"

Adicionalmente, criou-se uma lista de todos os fornecedores da *Veolia Portugal* que garantiu o cumprimento do requisito RF7. Os requisitos RF9 e RNF2 foram atingidos com a criação de botões que garantem a navegação automática entre páginas. Estes botões concentram-se numa página inicial que serve de menú de acesso a todas as informações contidas na folha de registo de despesas. Na Figura 4.7 pode ser vista a página inicial da folha.

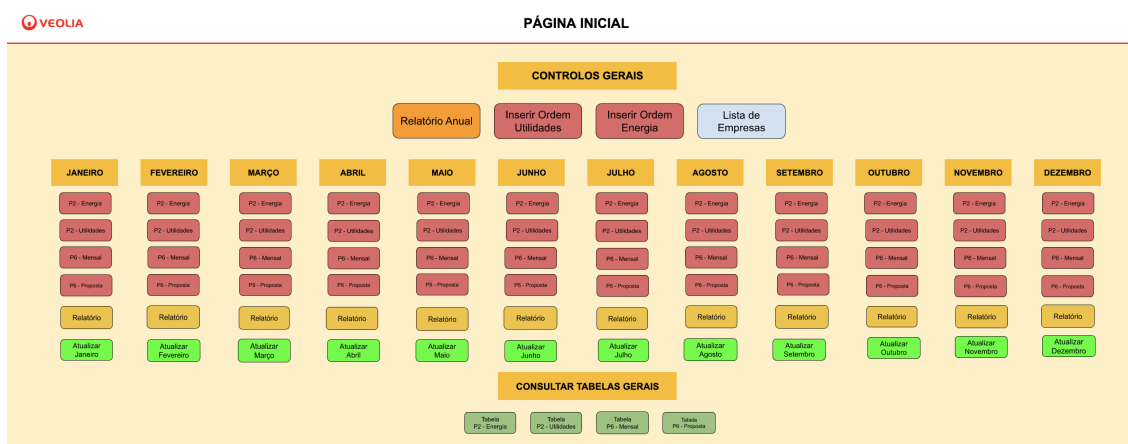


Figura 4.7: Página inicial da folha de registo de despesas

Para se cumprir o requisito RF5 criou-se um relatório de atualização dinâmica composto por um conjunto de gráficos e tabelas que expressam os valores dos KPI's requisitados. Por se tratar do elemento essencial na determinação do setor mais dispendioso da fábrica, o relatório é apresentado em detalhe na secção seguinte.

4.2 Determinação do setor mais dispendioso da fábrica

O relatório desenvolvido é composto por oito elementos de visualização que expressam os valores relativos a cinco KPI's distintos. A disposição destes elementos na folha de cálculo foi efetuada de forma a garantir a impressão do relatório em duas páginas, quando necessário.

O primeiro indicador de desempenho concebido corresponde à despesa total anual. Este indicador, avaliado em €, resulta da adição das despesas mensais de todos os tipos de tarefas e é apresentado num painel de visualização, juntamente com as contribuições efetivas e percentuais de cada tipo de tarefa.

A partir da análise deste indicador pode verificar-se que, nos cinco primeiros meses de 2022, a *Veolia Portugal* teve uma despesa de 132116,39€ nas manutenções associadas aos setores de produção de energia e gestão de utilidades. É também possível verificar que mais de metade deste valor foi proveniente de manutenções corretivas nas utilidades da fábrica do cliente (57,44%). O painel que sumariza estas considerações pode ser visto na Figura 4.8.

ENERGIA & UTILIDADES INDICADORES ANUAIS - DESPESA			
P2 - ENERGIA (€)	P2 - UTILIDADES (€)	P6 - MENSAL (€)	P6 - PROPOSTA (€)
36 642,08 €	75 889,49 €	17 432,36 €	2 152,46 €
P2 - ENERGIA (% de Total)	P2 - UTILIDADES (% de Total)	P6 - MENSAL (% de Total)	P6 - PROPOSTA (% de Total)
27,73%	57,44%	13,19%	1,63%
TOTAL (€)			
132 116,39 €			

Figura 4.8: Indicadores anuais de despesa da *Veolia Portugal* - valores referentes ao período de janeiro a maio de 2022

De forma a complementar a informação exposta no painel, criou-se um elemento de visualização específico para o KPI da distribuição anual de despesas por tipo de tarefa. Este elemento é o gráfico circular apresentado na Figura 4.9.

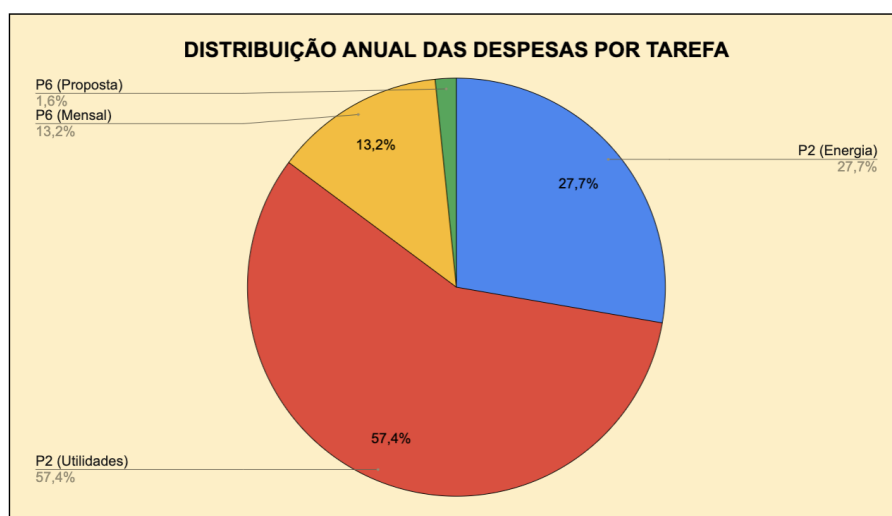


Figura 4.9: Distribuição anual das despesas por tipo de tarefa - valores referentes ao período de janeiro a maio de 2022

A interpretação dos valores extraídos destes dois indicadores de desempenho direcionam as atenções para o setor de utilidades da fábrica. Com este conhecimento, é importante para a *Veolia* garantir que os 13,2% despendidos em manutenções preventivas neste setor estão a ser bem utilizados. Os responsáveis da empresa acreditam que um bom trabalho preventivo será o fator decisivo para a redução dos custos provocados pela necessidade de manutenções corretivas.

Assim, de forma a analisar mais detalhadamente o trabalho de manutenção preventiva efetuado nas utilidades, desenvolveu-se um indicador que mostra a distribuição das despesas em manutenções do tipo “P6 Mensal” por centro de custo. O objetivo da inclusão deste KPI no relatório é conhecer qual a instalação da fábrica do cliente cujas manutenções preventivas efetuadas são mais dispendiosas. Os resultados obtidos apresentam-se na Figura 4.10.

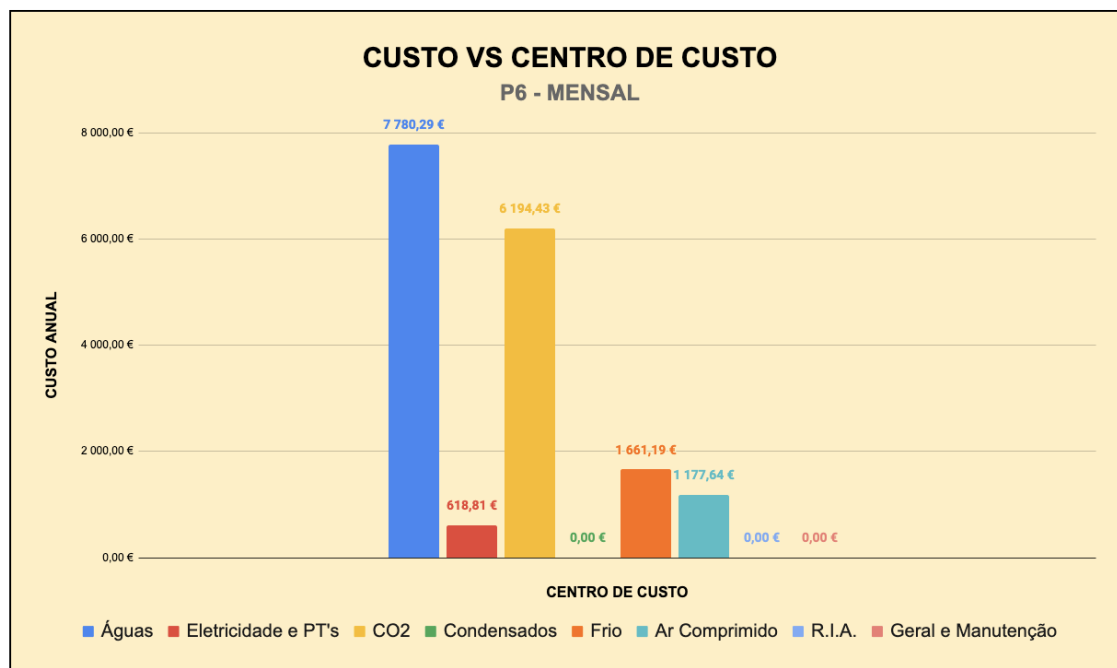


Figura 4.10: Distribuição das despesas do tipo de tarefa “P6 Mensal” por centro de custo - valores referentes ao período de janeiro a maio de 2022

Assim, é possível constatar que a Estação de Tratamento de Águas (ETA) da fábrica do cliente é o setor mais dispendioso da fábrica no que diz respeito a manutenções preventivas. Por este motivo, considera-se a ETA o setor crítico da fábrica e o objeto de estudo desta dissertação é reduzido aos equipamentos localizados neste setor.

4.3 A Estação de Tratamento de Águas e os seus processos

A ETA da fábrica do cliente é responsável por um conjunto de processos cujo objetivo é obter e tratar a água de forma a que possa ser incorporada no processo de fabrico, seja como auxiliar ou diretamente no produto final.

Os processos levados a cabo pela equipa da *Veolia Portugal* na ETA do cliente consistem na captação e armazenamento de água dos furos, pré-tratamento da água, produção de água industrial, produção de água desmineralizada, produção de água de diluição, produção de água de processo, produção de água da rede geral e armazenamento de químicos. Cada um dos tipos de água produzidos difere relativamente às propriedades químicas de que é dotado. A água industrial é a água

mais nobre produzida pela empresa e é incorporada no produto final. A água desmineralizada é utilizada nos aproveitamentos térmicos das caldeiras. A água de diluição e a água de processo são ingredientes auxiliares que intervêm em diferentes etapas do processo de fabrico. A água da rede geral, por sua vez, é utilizada para a rega dos jardins da fábrica e nas infraestruturas.

De forma a obter as diferentes composições químicas são necessários milhares de equipamentos que se distribuem por uma vasta área da fábrica. Perante o prazo estipulado para a realização da dissertação, achou-se conveniente reduzir o objeto de estudo a apenas um dos processos da ETA. Desta forma, é possível realizar um levantamento de todos os equipamentos que intervêm nesse processo e propor um modelo de codificação completo e atualizado para o SAP-PM. Um modelo destes garante as condições necessárias para uma monitorização eficaz de todas as atividades de manutenção preventiva realizadas nos equipamentos do processo selecionado.

A *Veolia Portugal* não dispõe de informações que permitam determinar com objetividade qual o processo mais dispendioso da ETA. Assim, contou-se com a experiência do staff da *Veolia Portugal* para definir qual o processo que mais carece de otimização no que diz respeito à gestão da manutenção, tendo-se definido que é o processo de produção de água industrial.

4.4 Proposta de modelo de codificação em SAP-PM

O processo de produção de água industrial é o processo da ETA mais avançado e complexo do ponto de vista tecnológico, sendo também o processo com mais restrições relativamente ao nível de qualidade da água produzida. Por este motivo, os equipamentos devem estar sempre em perfeitas condições de funcionamento e sujeitos a uma monitorização constante.

De forma a facilitar o levantamento dos equipamentos, começou por se identificar o fluxo seguido pela água ao longo deste processo. Para tal, criou-se o fluxograma apresentado na Figura 4.11.

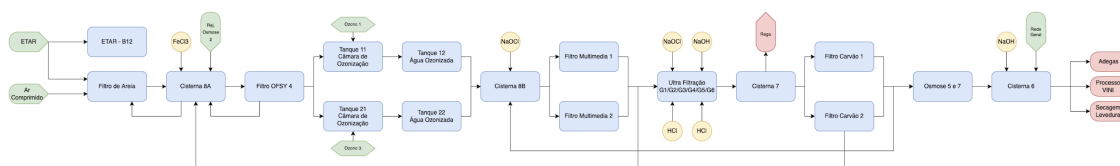


Figura 4.11: Fluxograma do processo de água industrial

A construção do fluxograma permite identificar os principais equipamentos do processo de água industrial. No entanto, existem diversos sub-equipamentos e instrumentos que carecem de identificação. A identificação destes equipamentos e instrumentos exige a recolha de uma série de informações tais como o modelo, o número de série, o fabricante e o diâmetro nominal. Geralmente, estas informações podem ser encontradas a partir da placa de identificação do equipamento. No entanto, quando os equipamentos não dispõem de placa de identificação ou esta se encontra degradada demais para se recolher as informações, é consultado o arquivo do cliente para se realizar

a identificação. Os equipamentos e instrumentos identificados são em seguida introduzidos num *Excel*, de acordo com a categoria a que pertencem.

A categorização dos equipamentos, sub-equipamentos e instrumentos obedece a um modelo hierárquico desenvolvido propositadamente para este projeto. O modelo genérico proposto é apresentado na Figura 4.12.

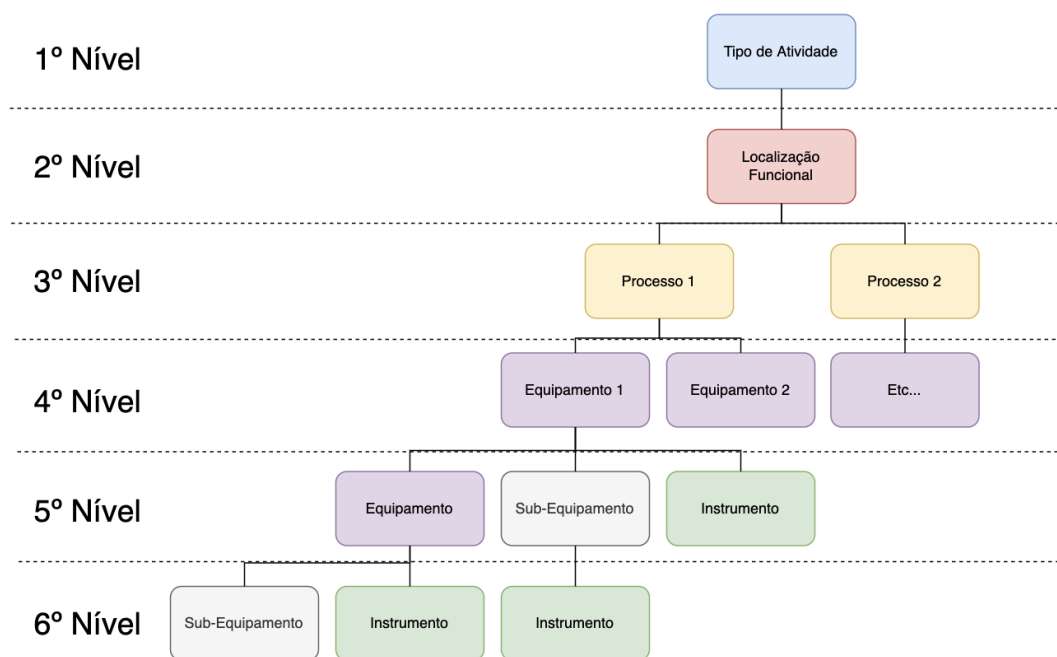


Figura 4.12: Modelo hierárquico genérico para a categorização dos equipamentos/instrumentos identificados

O tipo de atividade já se encontra estabelecido no SAP-PM do cliente e é “Energia e Fluídos”. A localização funcional, que corresponde à ETA, também já se encontra codificada no *software* sob o nome “Central de Águas”. No 3º nível estão já codificados os diferentes processos existentes na ETA, sendo que um deles é o processo de água industrial. No 4º nível, embora já se encontrem codificados alguns dos equipamentos principais, a estrutura encontra-se bastante incompleta e a linguagem utilizada não está padronizada. Assim, o trabalho de identificação efetuado consistiu em categorizar todos os equipamentos, sub-equipamentos e instrumentos do processo de água industrial ao longo dos 3 níveis finais da hierarquia (nível 4, nível 5 e nível 6), obtendo-se uma proposta de estrutura em forma de árvore para ser implementada em SAP-PM.

A estrutura proposta não pode ser imediatamente implementada no *software* porque a *Veolia* não possui permissões para editar a codificação efetuada pelo cliente. Assim, o modelo proposto foi estruturado em *Excel* e pode ser visto no Anexo B.1. Adicionalmente, foi realizado um levantamento de todas as válvulas que intervêm no processo de produção de água industrial, também incluído no Anexo B.2. Em suma, foram identificados 166 equipamentos, sub-equipamentos e instrumentos e 161 válvulas.

4.5 O equipamento crítico

Perante a identificação completa de todos os equipamentos envolvidos no processo de produção de água industrial estão reunidas as condições necessárias para se escolher o equipamento crítico para o qual se irá desenvolver o modelo de manutenção preditiva.

Uma vez mais, a *Veolia Portugal* não dispõe de ferramentas ou informações capazes de definir objetivamente o equipamento que mais carece de uma otimização na sua manutenção. Assim, a equipa da empresa foi fundamental na identificação das osmose inversas 5 e 7 como equipamentos críticos do processo em estudo. O motivo para tal prende-se com o facto das ações de manutenção preventiva que se realizam nestes dois equipamentos serem extremamente dispendiosas, as consequências da sua degradação serem danosas para o cliente e haver um desconhecimento de qual a melhor política de manutenção a ser aplicada.

Assim, o modelo de manutenção preditiva será desenvolvido para as osmose inversas 5 e 7.

Capítulo 5

Modelo de Manutenção Prescritiva nas Osmoses Inversas

Neste capítulo é apresentado o modelo de manutenção para as osmoses inversas 5 e 7. Por se tratar de um modelo que prescreve uma política de manutenção tendo em conta o estado de diversos parâmetros do equipamento, trata-se de um modelo prescritivo. A conceção deste modelo implica que se compreenda a função e o comportamento destes equipamentos, pelo que se efetua uma descrição e análise dos mesmos ao longo das duas primeiras secções deste capítulo. Na última secção apresenta-se a modelação efetuada a partir dos dados existentes na empresa.

5.1 Descrição do funcionamento das osmoses inversas

As osmoses inversas 5 e 7 fazem parte do processo de tratamento da água industrial e têm por objetivo remover os sais dissolvidos na água (cerca de 95% a 99%). Para tal, uma bomba é responsável por criar um aumento da pressão no lado com maior índice de salinidade que força a água através de um conjunto de membranas semi-permeáveis cuja função é reter os sais. Para uma maior eficácia do processo osmótico, as osmoses possuem 2 estágios - no primeiro existem 24 membranas e no segundo 12. Assim, cada osmose inversa possui 36 membranas.

As osmoses inversas 5 e 7 são capazes de produzir um caudal de 45 m^3 de água por hora, sendo que a osmose 5 é responsável por $15\text{ m}^3/\text{h}$ e a osmose 7 pelos restantes 30. Esta quantidade de água é essencial no processo de fabrico do cliente e, geralmente, cobre todas as necessidades da fábrica. No entanto, com o avançar do tempo, as osmoses sofrem uma degradação que tem repercussões no seu rendimento. Assim, se não ocorrerem ações de manutenção que previnam a degradação da osmose, a necessidade de água da fábrica rapidamente ultrapassa a produção da mesma e é necessário colmatar a diferença com água do Serviço Municipalizado de Água e Saneamento do Porto (SMAS), ao preço de 1,60€ por m^3 .

As ações de manutenção que podem ser realizadas nas osmoses são a substituição das membranas e limpezas químicas. A substituição das membranas tem um custo aproximado de 20000€

e obriga a um dia de paragem no funcionamento da osmose, com necessidade de reposição dos níveis de água com água do SMAS. No entanto, é expectável que após a substituição das membranas a capacidade inicial da osmose seja reposta. Uma limpeza química acarreta um custo de 1500€ e uma paragem de dois dias no funcionamento da osmose. Quando se efetua uma limpeza é expectável que haja um aumento de aproximadamente 4 a 7 m^3/h de água produzida, mas ressalva-se que há um impacto negativo na vida útil das membranas, em virtude dos danos que as substâncias químicas utilizadas na limpeza provocam nestas.

Por recomendação do fabricante, ambos os equipamentos devem estar equipados com membranas *Dow Filmetec BW30-400FR*, cujo tempo médio de vida útil é aproximadamente 5 anos. A aproximação do fim de vida das membranas é geralmente acompanhada por um aumento da condutividade da água produzida pela osmose, que permite a deteção da falha no equipamento.

Na Figura 5.1 é possível ver a osmose 7 de várias perspetivas.



Figura 5.1: Diferentes perspetivas da osmose inversa 7

5.2 Análise do comportamento das osmoses inversas

De forma a estipular todos os parâmetros e variáveis de decisão do modelo de manutenção é conveniente estudar o comportamento real das osmoses. A equipa da *Veolia Portugal* mantém registos diários do caudal de água produzido pelas osmoses inversas 5 e 7 desde 1 de janeiro de 2018, bem como do consumo de água do SMAS. Para além disto, a *Veolia* possui um arquivo onde é possível encontrar registos das limpezas químicas e substituições das membranas efetuados durante esse período. Com estes dados é possível traçar gráficos que acompanham a evolução

temporal do rendimento das osmose e do consequente consumo de água do SMAS, o que permite estimar a degradação natural dos equipamentos e a influência real das ações de manutenção efetuadas.

Para se traçar estes gráficos houve necessidade de se proceder a uma limpeza dos dados que consistiu em dois passos:

- **Preenchimento de valores em falta ou incorretos**

Para ambas as osmose verificou-se a existência de duas datas em que o registo diário não tinha sido efetuado (25/03/2022 e 26/03/2022) e uma terceira em que o valor lido era absurdo (27/04/2021).

Rapidamente se detetou que o valor absurdo se devia às propriedades do contador eletrónico a partir do qual os técnicos efetuam a leitura: o contador é cumulativo, adicionando todos os dias o caudal produzido ao valor do dia anterior. Assim, quando o valor é demasiado alto para ser visualizado no ecrã, o contador reinicia a contagem a partir do zero. Como a célula do *Excel* onde o registo é efetuado não está preparada para responder a esta situação, a fórmula de cálculo produziu um valor errado e desajustado. No entanto, com aritmética simples, é possível corrigir o erro e obter o valor verdadeiro.

Para as restantes datas com valores em falta, foi colocada a hipótese do registo ter sido efetuado manualmente, sem introdução posterior no *Excel*. Para verificar a validade desta hipótese consultou-se o arquivo que detém os registos manuais, tendo-se constatado que as leituras não foram mesmo efetuadas. Nestas circunstâncias, e uma vez que era essencial que todas as datas estivessem preenchidas com valores coerentes, optou-se por recorrer a um algoritmo de previsão para se obter os valores em falta.

O algoritmo de previsão escolhido foi o algoritmo de alisamento exponencial simples, que é capaz de prever valores tendo em conta valores reais e previsões passadas, bem como um fator de ponderação que afeta a influência de cada um destes. O algoritmo obedece à seguinte expressão:

$$F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1} \quad (5.1)$$

F_t é a previsão no dia t , α é a constante de alisamento e A é o valor real medido. A determinação do valor de α foi feita de forma empírica, analisando o desvio médio absoluto, em m^3/h , no final da aplicação do algoritmo. Por se tratar do valor que produzia o menor desvio, determinou-se que o α era 0,7. Nestas condições foi possível obter um valor válido e coerente para as duas datas com valores em falta.

- **Agrupamento dos dados em intervalos mensais**

O intervalo de tempo dos registos diários analisados é de 4 anos e meio, o que corresponde a 1642 dias, um número de abcissas demasiado elevado para se representar num gráfico. De

forma a contrariar esta situação estudaram-se agrupamentos de dados semanais, bi-semanais e mensais, com o valor medido da produção de água a corresponder à média aritmética do intervalo.

Existe assim um *trade-off* entre obter uma melhor visualização dos dados e perder informação relativa a alterações bruscas no rendimento das osmose. Optou-se por escolher o agrupamento mensal dos dados, garantindo uma visualização de 53 períodos (meses). O motivo desta escolha prendeu-se com o facto de ter sido verificado que as osmose não sofrem alterações bruscas do seu rendimento com frequência, sendo um período mensal suficiente para representar a degradação do equipamento.

Uma vez limpos, os dados foram agrupados em tabelas e utilizados para o traçado de gráficos. Os gráficos obtidos representam a produção média de água industrial, em m^3/h , de cada uma das osmose ao longo dos 53 meses em estudo.

As Figuras 5.2 e 5.3 são referentes à produção de água industrial da osmose inversa 5 e 7, respetivamente.

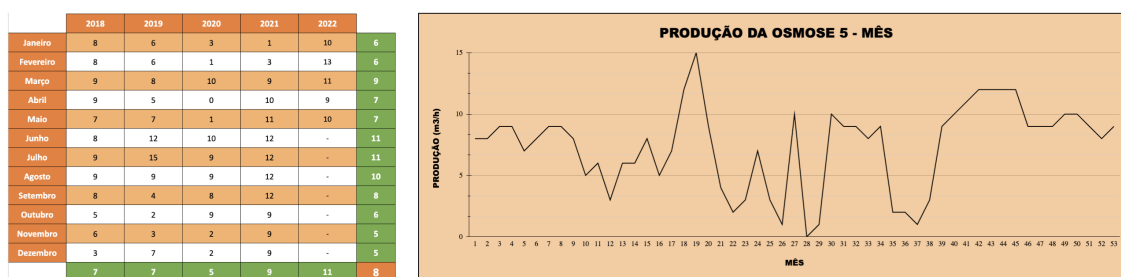


Figura 5.2: Tabela e gráfico relativos à produção de água industrial da osmose 5

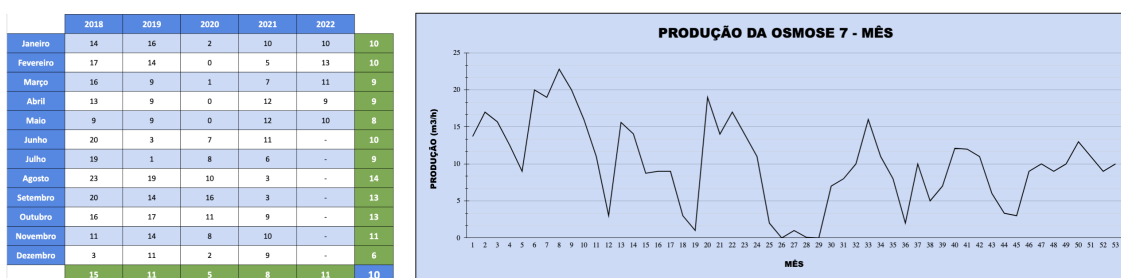


Figura 5.3: Tabela e gráfico relativos à produção de água industrial da osmose 7

De forma a visualizar o impacto combinado das osmose construiu-se uma tabela e um gráfico correspondentes à produção total destas, ou seja, à soma da produção da osmose 5 e da osmose 7 no período estudado. Adicionalmente, construiu-se uma tabela e um gráfico descritivos do consumo total de água industrial da fábrica.

Os dados referentes à produção total das osmose podem ser visualizados na Figura 5.4 e os dados que traduzem o consumo total de água industrial da fábrica são ilustradas pelas Figura 5.5.

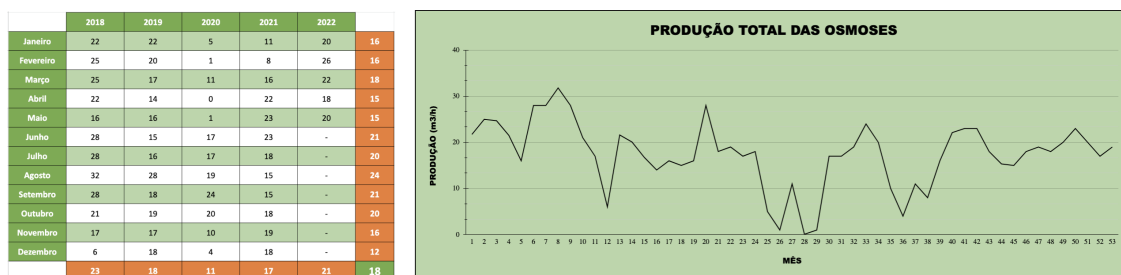


Figura 5.4: Tabela e gráfico relativos à produção de água industrial total das osmose

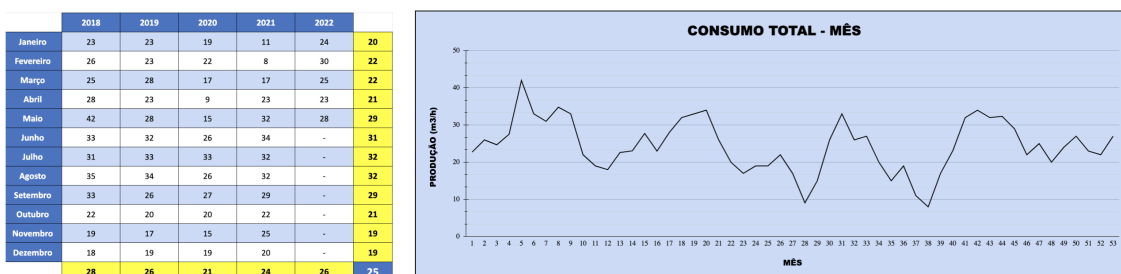


Figura 5.5: Tabela e gráfico relativos ao consumo total de água industrial da fábrica

A partir das tabelas e gráficos ilustrados é possível retirar algumas conclusões relativamente ao comportamento das osmose. A osmose 5 produziu uma média de $8 \text{ m}^3/\text{h}$ de água industrial nos últimos 4,5 anos. Este valor corresponde a um rendimento de aproximadamente 53% da sua capacidade inicial. Para o mesmo período de tempo, a osmose 7 produziu uma média de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ de água industrial, que corresponde a um rendimento de 33% da sua capacidade inicial.

Em consequência deste comportamento das osmose inversas, a produção média de água industrial desde janeiro de 2018 até maio de 2022 é de $18 \text{ m}^3/\text{h}$, o que corresponde a um aproveitamento de 40% da capacidade total das osmose. 55% deste aproveitamento é conseguido à custa da osmose 7 e 45% da osmose 5.

A visualização dos gráficos permite verificar o carácter cíclico da produção de água das osmose, mais vincado no caso da osmose inversa 7. Por confrontação com os registos de limpezas químicas e substituição de membranas arquivados, verifica-se que o reinício dos ciclos coincide sempre com uma destas ações de manutenção. Para a osmose 5 regista-se uma substituição de membranas a 12 de maio de 2020 e limpezas químicas em maio de 2019 e fevereiro de 2021. No caso da osmose 7 efetuaram-se substituições das membranas a 29 de julho de 2019 e a 5 de junho de 2020. As limpezas químicas da osmose inversa 7 tiveram lugar em maio de 2018, agosto de 2020, dezembro de 2020, março de 2021 e setembro de 2021.

Outra das conclusões obtidas é de que a fábrica do cliente consumiu, em média, $25 \text{ m}^3/\text{h}$ de água industrial nos últimos 4,5 anos. Verificou-se também que durante o período correspondente à pandemia COVID-19 (2020/2021), o consumo de água industrial reduziu uma média de $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$, que equivale a uma quebra de 17%, em virtude de uma perda de produção da fábrica do cliente. Nesse período, a osmose inversa 5 manteve o seu rendimento habitual, enquanto que a osmose 7 teve uma quebra de 50%.

Esta quebra abrupta da produção da osmose 7 ocorre após a última substituição das membranas e pode estar associada a 3 fatores principais:

- Deficiência das novas membranas;
- Foram introduzidas membranas mais baratas que o habitual, que podem comprometer o rendimento da osmose;
- Durante a pandemia, a fábrica do cliente aplicou cortes nos gastos com manutenção, pelo que o processo de água industrial pode estar comprometido. Assim, o eventual mau funcionamento de um dos equipamentos que antecede a osmose 7 pode afetar o rendimento desta;

5.3 O modelo de manutenção prescritiva

Do conhecimento extraído das conclusões expostas na secção anterior é possível desenhar um modelo prescritivo que serve de ferramenta de apoio à tomada de decisão da *Veolia Portugal* no panorama do planeamento e programação da manutenção das osmoses. Efetivamente, para o caso das osmoses inversas da fábrica do cliente, importa à *Veolia* saber qual a política de manutenção a seguir para minimizar os custos com o equipamento, ou seja, quando se deve realizar a substituição das membranas e as limpezas químicas de forma a obter a menor despesa possível.

5.3.1 Parâmetros

No sentido de obter a política de manutenção ótima, identificaram-se os parâmetros necessários para modelar o problema de minimização de custos relacionado com as osmoses. Estes parâmetros são os seguintes:

- d_t - Consumo total de água industrial da fábrica do cliente, em m^3/h , no mês t ;
- cap_0^5 - Capacidade produtiva inicial, em m^3/h , da osmose inversa 5;
- cap_0^7 - Capacidade produtiva inicial, em m^3/h , da osmose inversa 7;
- c_t^{sub-5} - Custo de substituição de membranas da osmose inversa 5, em €, no mês t ;
- c_t^{sub-7} - Custo de substituição de membranas da osmose inversa 7, em €, no mês t ;
- c_t^{limp-5} - Custo de limpeza química da osmose inversa 5, em €, no mês t ;

- c_t^{limp-7} - Custo de limpeza química da osmose inversa 7, em €, no mês t;
- $c^{água}$ - Custo do m^3 de água do SMAS, em €;
- $\Delta limp$ - Variação do caudal de água produzido, em m^3/h , provocada pela limpeza química das osmose;
- n - Fator de degradação mensal das osmose, em m^3/h ;
- n^{limp-5} - Número de limpezas químicas efetuadas na osmose inversa 5;
- n^{limp-7} - Número de limpezas químicas efetuadas na osmose inversa 7;

5.3.2 Variáveis de Decisão

Após estarem identificados os parâmetros do problema, foram estipuladas as variáveis de decisão. As variáveis de decisão são as incógnitas do problema e, por esse motivo, foram cuidadosamente escolhidas. Em seguida apresentam-se todas as variáveis de decisão do modelo prescritivo:

- X_t^{sub-5} - variável binária que assume o valor "1" caso se substituam as membranas da osmose 5 no mês t e o valor "0" caso isto não se verifique;
- X_t^{sub-7} - variável binária que assume o valor "1" caso se substituam as membranas da osmose 7 no mês t e o valor "0" caso isto não se verifique;
- X_t^{limp-5} - variável binária que assume o valor "1" caso se efetue uma limpeza química da osmose 5 no mês t e o valor "0" caso isto não se verifique;
- X_t^{limp-7} - variável binária que assume o valor "1" caso se efetue uma limpeza química da osmose 7 no mês t e o valor "0" caso isto não se verifique;
- P_t^5 - quantidade de água industrial produzida pela osmose 5, em m^3/h , no mês t;
- P_t^7 - quantidade de água industrial produzida pela osmose 7, em m^3/h , no mês t;
- $\bar{P}_t$ - consumo de água do SMAS, em m^3/h , no mês t;
- Cap_t^5 - capacidade produtiva da osmose 5, em m^3/h , no mês t;
- Cap_t^7 - capacidade produtiva da osmose 7, em m^3/h , no mês t;
- H_t^{sub-5} - efeito da substituição de membranas da osmose 5 no caudal produzido, em m^3/h , no mês t;
- $H_t^{\bar{sub}-5}$ - efeito da não substituição de membranas da osmose 5 no caudal produzido, em m^3/h , no mês t;
- H_t^{sub-7} - efeito da substituição de membranas da osmose 7 no caudal produzido, em m^3/h , no mês t;

- H_t^{sub-7} - efeito da não substituição de membranas da osmose 7 no caudal produzido, em m^3/h , no mês t ;

5.3.3 Função Objetivo

A função objetivo do modelo é a de minimizar os gastos com o equipamento. Isto implica que se considere o custo associado à substituição das membranas (ação de manutenção e perda de produção associada), limpezas químicas (ação de manutenção e perda de produção associada) e o custo associado ao consumo de água do SMAS, em virtude do rendimento insuficiente das osmoses.

Assim, a função objetivo traduz-se pela seguinte equação:

$$\min \sum X_t^{sub-5} * c_t^{sub-5} + \sum X_t^{limp-5} * c_t^{limp-5} + \quad (5.2)$$

$$\sum X_t^{sub-7} * c_t^{sub-7} + \sum X_t^{limp-7} * c_t^{limp-7} + \quad (5.3)$$

$$\sum \bar{P}_t * c^{água} \quad (5.4)$$

5.3.4 Restrições

Para completar o modelo, estabeleceram-se as restrições necessárias que permitem retratar o funcionamento real das osmoses e das ações que se podem efetuar nestas. Em seguida apresentam-se e explicitam-se todas as restrições, ressaltando-se desde já a condição de não-negatividade para todas as variáveis e parâmetros do modelo.

A primeira restrição, imposta pela equação 5.5, diz que o consumo total da fábrica num determinado mês tem de ser igual à soma de toda a água produzida pelas osmoses (5 e 7) e consumida do SMAS nesse mês.

$$d_t = P_t^5 + P_t^7 + \bar{P}_t \quad (5.5)$$

A segunda restrição impõe que a produção de cada uma das osmoses num determinado mês é maior ou igual à capacidade da osmose nesse mês, afetada de um fator de ponderação, em virtude das restrições de armazenamento existentes na fábrica do cliente. Esta restrição é garantida pelas equações 5.6 e 5.7, para as osmoses 5 e 7, respetivamente.

$$P_t^5 \leq Cap_t^5 * \alpha \quad (5.6)$$

$$P_t^7 \leq Cap_t^7 * \alpha \quad (5.7)$$

A terceira restrição estipula que a capacidade das osmose num determinado mês é igual à capacidade que a osmose tinha no mês anterior mais a variação de caudal provocada pela realização de uma limpeza química, o efeito da substituição da membrana e a degradação natural do equipamento (caso não ocorra a substituição da membrana nesse mês). A restrição para cada uma das osmose é dada pelas equações 5.8 e 5.9.

$$Cap_t^5 = Cap_{t-1}^5 + H_t^{sub-5} + \Delta limp * X_t^{limp-5} - n(1 - X_t^{sub-5}) \quad (5.8)$$

$$Cap_t^7 = Cap_{t-1}^7 + H_t^{sub-7} + \Delta limp * X_t^{limp-7} - n(1 - X_t^{sub-7}) \quad (5.9)$$

Sabe-se ainda que a capacidade produtiva de cada uma das osmose no mês anterior mais o efeito da substituição das membranas no caudal produzido e o efeito da não substituição das membranas nesse mesmo caudal é igual à capacidade inicial da osmose, tal como descrito pelas equações 5.10 e 5.11.

$$Cap_{t-1}^5 + H_t^{sub-5} + H_t^{sub-5} = cap_0^5 \quad (5.10)$$

$$Cap_{t-1}^7 + H_t^{sub-7} + H_t^{sub-7} = cap_0^7 \quad (5.11)$$

Outra restrição bastante natural do problema é a de que a capacidade atual das osmose nunca ultrapasse a sua capacidade nominal (ou inicial), e é dada pelas equações 5.12 e 5.13.

$$Cap_t^5 \leq cap_0^5 \quad (5.12)$$

$$Cap_t^7 \leq cap_0^7 \quad (5.13)$$

A sexta restrição do problema diz respeito ao efeito da substituição das membranas das osmose. Esta restrição faz com que este efeito seja menor ou igual à capacidade inicial da osmose afetada da condição de se ter efetuado ou não a substituição das membranas. A restrição está formalizada pelas equações 5.14 e 5.15.

$$H_t^{sub-5} \leq cap_0^5 * X_t^{sub-5} \quad (5.14)$$

$$H_t^{sub-7} \leq cap_0^7 * X_t^{sub-7} \quad (5.15)$$

Com um raciocínio análogo, entende-se que o efeito da não substituição das membranas num dado mês deve estar restringido a:

$$H_t^{sub-5} \leq cap_0^5 * (1 - X_t^{sub-5}) \quad (5.16)$$

$$H_t^{sub-7} \leq cap_0^7 * (1 - X_t^{sub-7}) \quad (5.17)$$

É também notório que a substituição de membranas de uma dada osmose e a sua limpeza química não podem ter lugar no mesmo mês. Assim, surgem as restrições impostas pelas equações 5.18 e 5.19.

$$X_t^{sub-5} + X_t^{limp-5} \leq 1 \quad (5.18)$$

$$X_t^{sub-7} + X_t^{limp-7} \leq 1 \quad (5.19)$$

Sabe-se também que, devido a restrições logísticas, é impossível para a *Veolia Portugal* realizar limpezas químicas numa osmose em meses consecutivos. Assim, de forma a prevenir esta situação, surgem as seguintes restrições:

$$X_{t-1}^{limp-5} + X_t^{limp-5} \leq 1 \quad (5.20)$$

$$X_{t-1}^{limp-7} + X_t^{limp-7} \leq 1 \quad (5.21)$$

Por fim, sabe-se que as limpezas químicas provocam um desgaste acentuado das membranas e, consequentemente, uma deterioração do seu tempo útil de vida. Desta forma, é estimado que após a realização de 7 limpezas químicas a membrana tem de ser substituída. As restrições que provocam este comportamento por parte do modelo são dadas por:

$$n^{limp-5} \leq 7 \quad (5.22)$$

$$n^{limp-7} \leq 7 \quad (5.23)$$

5.4 Cenário de Simulação

Na secção anterior definiu-se um modelo de programação linear que pode ser resolvido com recurso a ferramentas informáticas. Por conter 572 variáveis de decisão, o tradicional *Solver* do *Excel* não é suficiente para apresentar a solução ótima para o problema de minimização de custos. Assim, recorreu-se às funcionalidades do *Open Solver*, também ele incorporado no *Excel*, para se obter soluções.

No entanto, antes de se iniciar a resolução do modelo, é necessário definir valores ajustados para os parâmetros do problema. Estes valores resultam da análise do comportamento das osmose efetuada na secção 5.2.

Os valores do parâmetro referente ao consumo total de água industrial da fábrica em cada mês (D_t) são conhecidos e estão apresentados na figura 5.5. A capacidade inicial das osmose (Cap_0^5 e Cap_0^7) é apresentada na secção 5.1 e corresponde a $15 \text{ m}^3/\text{h}$ para a osmose inversa 5 e $30 \text{ m}^3/\text{h}$ para a osmose inversa 7. O custo de substituição das membranas (C_t^{sub-5} e C_t^{sub-7}) e das limpezas químicas (C_t^{limp-5} e C_t^{limp-7}) também é referido nessa secção, com o primeiro a corresponder a 20000€ mais a perda associada a um dia de paragem do equipamento e o segundo a ser igual a 1500€ mais a perda associada a dois dias de interrupção no funcionamento. O custo da água do SMAS ($C^{água}$) é de 1,60€ por m^3 .

Para os parâmetros referentes ao fator de degradação mensal das osmose (n) e ao aumento do caudal provocado pela limpeza química ($\Delta limp$) tiveram de se assumir valores que, embora baseados na observação dos dados de produção das osmose, dispõe de um intervalo de incerteza. Assim, assumiu-se que " n " é igual a $1 \text{ m}^3/\text{h}$ e " $\Delta limp$ " corresponde a $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Estes valores são idênticos em ambas as osmose.

Nestas condições, o modelo está preparado para ser resolvido pelo *software* e os resultados apresentam-se no capítulo seguinte.

Capítulo 6

Resultados Obtidos

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos para o problema de manutenção das osmose inversas 5 e 7. Inicialmente é apresentado o resultado real da empresa, obtido com recurso à aplicação da política de manutenção em vigor na *Veolia*. Segue-se a apresentação do resultado obtido com o modelo prescritivo em diversos cenários de simulação. O capítulo finaliza com a comparação entre os resultados originais e os resultados do modelo concebido.

6.1 O resultado original da *Veolia Portugal*

De forma a poder avaliar os impactos do modelo concebido é essencial conhecer os resultados originais da *Veolia Portugal* para o problema de manutenção das osmose inversas 5 e 7. Assim, efetuou-se o cálculo dos custos associados à falta de produtividade real das osmose e das ações de manutenção efetuadas sobre estas ao longo do período de 4,5 anos em estudo (referidas na secção 5.2).

Os resultados obtidos são apresentados na figura 6.1 e refletem as despesas mensais provocadas pelas osmose 5 e 7.

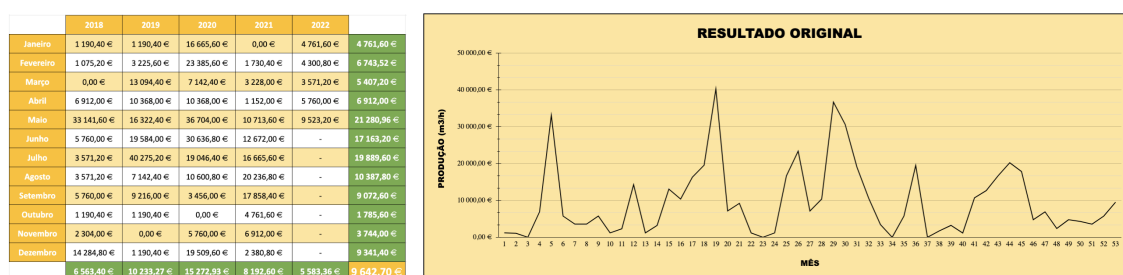


Figura 6.1: Resultado original da *Veolia Portugal* para o problema de manutenção das osmose

Tal como demonstrado, o resultado da política de manutenção existente na *Veolia Portugal* para as osmose inversas 5 e 7 é de aproximadamente 9642,70€ de despesa por mês, totalizando uma quantia de 511063,20€ no decurso dos 4,5 anos.

A distribuição de custos referente a esta quantia pode ser observada na figura 6.2 e é a seguinte: foram realizadas três substituições de membranas (uma na osmose 5 e duas na osmose 7), ascendendo a um total combinado de 60345,60€. Efetuaram-se sete limpezas químicas (duas na osmose 5 e cinco na osmose 7) com um custo total de 13648,80€. A restante despesa deve-se à falta de rendimento das osmoses, que implica a necessidade de compra de água do SMAS para satisfazer as necessidades da fábrica. Este valor corresponde a 437068,80€.

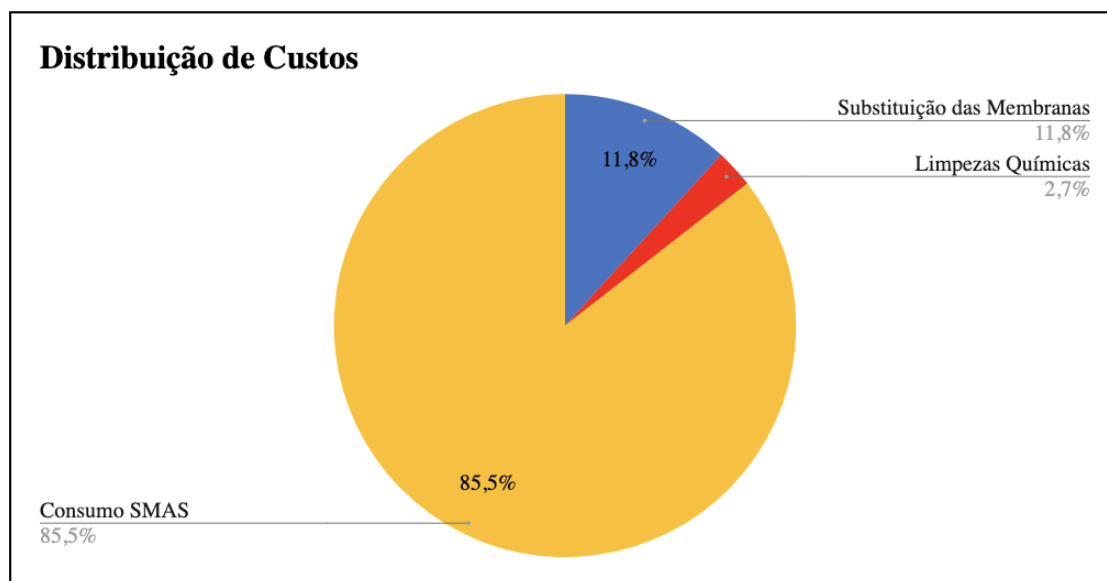


Figura 6.2: Distribuição percentual dos custos originais das osmoses

Conclui-se assim, que o valor exorbitante despendido nestes equipamentos se deve, numa proporção de 85,5% ao fraco rendimento das osmoses.

6.2 O resultado do modelo de manutenção prescritiva

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos com o modelo prescritivo criado. Estes resultados implicam um esclarecimento da política de manutenção recomendada para o cenário de simulação inicial e a exposição do impacto financeiro desta política. Para além disto, analisam-se os resultados de outros cenários de simulação, com vista a prevenir variações dentro do intervalo de incerteza de alguns parâmetros, ou seja, apresentam-se análises de sensibilidade.

6.2.1 Resultados do cenário de simulação inicial

O cenário de simulação inicial apresentado na secção 5.4 combina os valores mais prováveis para todos os parâmetros do problema, pelo que a aplicação do modelo nestas condições resulta na estimativa mais provável da política ótima a adotar pela *Veolia Portugal*.

Tal como efetuado com os resultados originais da empresa, os resultados do modelo prescritivo são apresentados com recurso a uma tabela e a um gráfico que podem ser visualizados na figura 6.3.

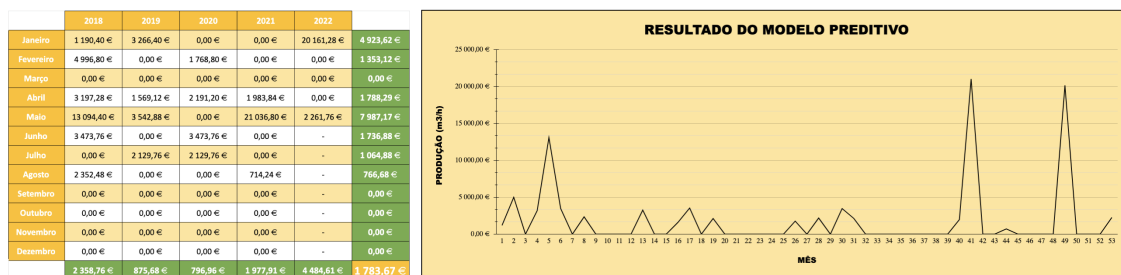


Figura 6.3: Resultado do modelo de manutenção preditiva para as osmose (cenário inicial)

Os resultados do modelo mostram uma despesa mensal média de 1783,67€, o que totaliza um valor de 94534,72€ de custos relacionados com as osmose, caso se adote a política de manutenção que é a solução ótima recomendada pelo modelo prescritivo. Esta política de manutenção consiste no seguinte conjunto de ações:

- **Para a osmose inversa 5:**

O modelo recomenda sete limpezas químicas, as quais deveriam ser realizadas nos seguintes meses: fevereiro e agosto de 2018, abril e julho de 2019, fevereiro e julho de 2020 e abril de 2021. O modelo recomenda ainda uma substituição de membranas em janeiro de 2022. Verifica-se assim a existência de uma política cíclica e sazonal de limpeza das osmose, com duas limpezas anuais a serem realizadas, em que uma ocorre sempre no verão, predominantemente no mês de julho, e a outra alterna entre fevereiro e abril.

- **Para a osmose inversa 7:**

São recomendadas sete limpezas químicas da osmose 7, nas seguintes datas: fevereiro, abril e junho de 2018, janeiro e junho de 2019 e abril e junho de 2020. Após estas limpezas se realizarem, é recomendada uma substituição de membranas em maio de 2021. Nesta osmose verifica-se a necessidade constante de realizar uma limpeza química durante o verão e é possível observar o impacto positivo e duradouro da substituição das membranas, com nenhuma ação de manutenção a ser realizada um ano após esta ocorrer.

Tal como para o resultado original, efetua-se em seguida uma análise da distribuição dos custos. Esta análise permite verificar que é gasto um valor de 41198,08€ com substituições das membranas e que há uma despesa de 36075,84€ com limpezas químicas. Adicionalmente, são gastos 17260,80€ em água do SMAS necessária para suprir a fábrica do cliente. Estes valores podem ser visualizados no gráfico da figura 6.4.

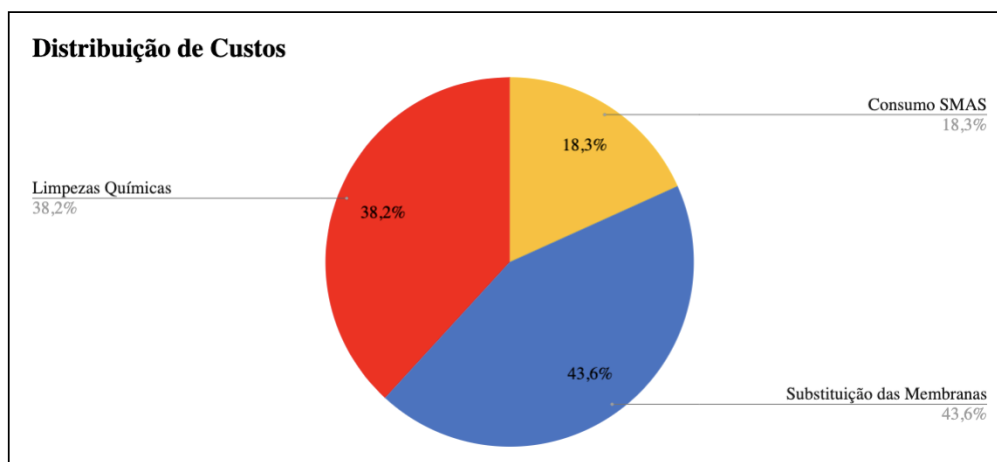


Figura 6.4: Distribuição de custos resultantes do modelo de manutenção preditiva para as osmose (cenário inicial)

6.2.2 Análises de sensibilidade

Tal como reportado na secção 5.4, os parâmetros de degradação mensal das osmose (n) e de variação do caudal por efeito das limpezas químicas (Δ_{limp}) apresentam um intervalo de tolerância relativamente ao valor utilizado na construção do cenário inicial. Uma vez que alterações nestes valores produzem soluções ótimas diferentes daquela que é apresentada na subsecção anterior, é conveniente realizar análises de sensibilidade para a gama de valores admissíveis para estes parâmetros.

O fator de degradação mensal pode variar entre $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Com auxílio do *Open Solver* do *Excel*, calculou-se a solução ótima para o modelo com os diferentes valores que este parâmetro pode assumir. Na figura 6.5 apresentam-se os resultados obtidos, destacando-se o cenário de simulação inicial.

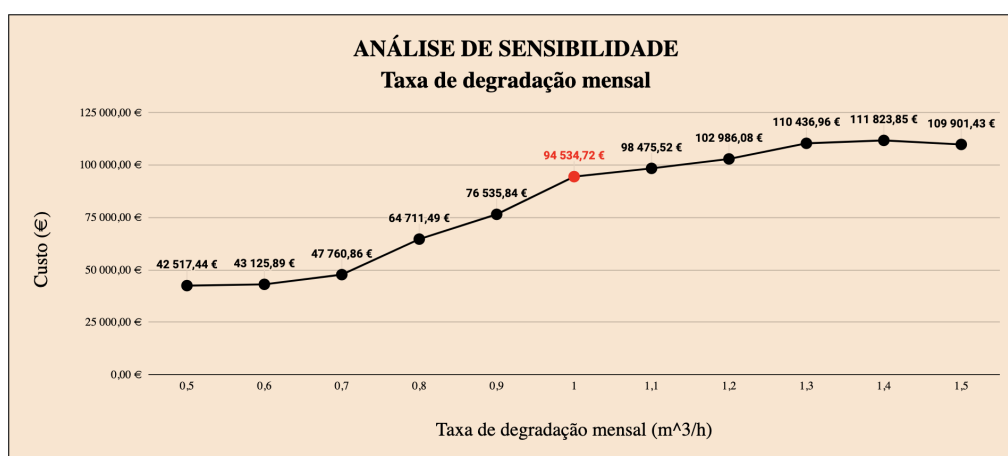


Figura 6.5: Análise de sensibilidade para o fator de degradação mensal

Observa-se que a gama de resultados pode variar entre 42517,44€ e 111823,85€, o que corresponde a uma variação de aproximadamente -45% a 15% relativamente ao resultado da simulação com o cenário inicial. Isto demonstra uma tendência dos resultados melhorarem de forma mais expressiva quando o parâmetro é melhor do que piorarem quando o parâmetro apresenta um valor pior, ou seja, uma taxa de degradação mais alta. Esta constatação é positiva porque revela que o cenário inicial foi escolhido seguindo um perfil de decisão mais conservador.

De igual forma, calcularam-se as soluções ótimas do modelo para variações do Δlimp de 4 m^3/h a 8 m^3/h . Os resultados encontram-se apresentados na figura 6.6, com o cenário de simulação inicial em destaque.

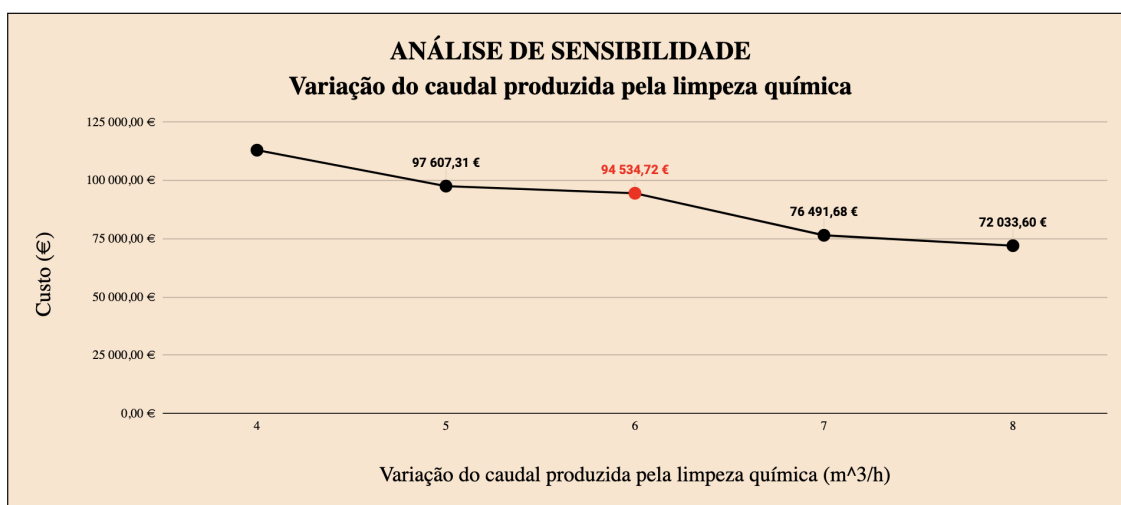


Figura 6.6: Análise de sensibilidade para o efeito da limpeza química na variação do caudal produzido

Para variações neste parâmetro verificam-se resultados entre os 72033,60€ e os 113038,72€. Neste caso, a variação dos resultados é equilibrada para valores melhores ou piores do parâmetro em estudo, correspondendo a aproximadamente $\pm 20\%$.

Com o conhecimento destes resultados importa ainda considerar as soluções para modelos em que a variação ocorra simultaneamente em ambos os parâmetros. Desta forma, obtém-se uma visão integral dos valores passíveis de ser obtidos com a aplicação das políticas recomendadas pelo modelo. As soluções resultantes da combinação de diferentes valores dos parâmetros variáveis são amostradas na matriz de sensibilidade exposta na figura 6.7, a qual abrange 55 cenários de simulação distintos.

Da matriz exposta verifica-se que a manutenção das osmose ao longo do período estudado pode custar entre 29880,00€ e 182279,04€. O valor mais alto é obtido num cenário de simulação em que a taxa de degradação mensal é de 1,5 m^3/h e o efeito da limpeza química na variação do caudal produzido é igual a 4 m^3/h . Por sua vez, o valor mais baixo é garantido por um cenário em que a taxa de degradação mensal é de 0,7 m^3/h e o efeito da limpeza química na variação do caudal produzido é de 8 m^3/h .

		VARIAÇÃO DO CAUDAL PROVOCADA PELA LIMPEZA QUÍMICA				
		4	5	6	7	8
FATOR DE DEGRADAÇÃO MENSAL	0,5	58 528,32 €	46 596,48 €	42 517,44 €	38 778,72 €	51 329,28 €
	0,6	74 098,59 €	50 416,70 €	43 125,89 €	36 876,48 €	45 792,86 €
	0,7	84 706,30 €	73 553,81 €	47 760,86 €	54 979,20 €	29 880,00 €
	0,8	101 685,72 €	82 204,16 €	64 711,49 €	58 124,26 €	59 243,81 €
	0,9	105 143,58 €	99 369,10 €	76 535,84 €	61 058,11 €	62 093,28 €
	1	113 038,72 €	97 607,31 €	94 534,72 €	76 491,68 €	72 033,60 €
	1,1	126 215,58 €	101 318,50 €	98 475,52 €	87 565,95 €	83 165,47 €
	1,2	135 705,38 €	108 109,80 €	102 986,08 €	104 129,54 €	86 477,22 €
	1,3	144 670,81 €	114 406,52 €	110 436,96 €	101 737,94 €	115 687,17 €
	1,4	169 131,85 €	123 751,94 €	111 823,85 €	109 212,45 €	112 403,16 €
	1,5	182 279,04 €	131 920,97 €	109 901,43 €	112 123,81 €	112 123,16 €

Figura 6.7: Matriz de sensibilidade para diferentes valores de n e Δ_{limp}

6.3 Comparação dos resultados

Uma vez apresentados os resultados produzidos pela política de manutenção em vigor na *Veolia Portugal* e pelo modelo prescritivo elaborado nesta dissertação, é possível comparar os dois.

A primeira conclusão a retirar dos resultados obtidos é a de que as políticas de manutenção propostas pelo modelo permitem à *Veolia Portugal* e ao cliente reduzir os custos com as osmose num montante de 328784,16€ a 481183,20€, dependendo do cenário que é aplicado. Esta quantia representa uma poupança significativa de 64% a 94% do valor gasto com a política de manutenção atual.

Verifica-se ainda que a distribuição dos custos passa a ser muito distinta no modelo prescritivo, face àquela que é encontrada atualmente na empresa. O modelo tende a maximizar o rendimento das osmose através de um maior investimento em ações de manutenção, enquanto que a política atual da *Veolia* procura reduzir os custos relacionados com as manutenções e operar abaixo do rendimento nominal, conduzindo por vezes a situações de carência abrupta de água na produção do cliente, que são compensadas com a aquisição de água do SMAS.

Uma outra conclusão que se pode retirar a partir da interpretação das análises de sensibilidade efetuadas é que o modelo produz, em geral, soluções melhores para valores de degradação mensal das osmose mais baixos e para valores do efeito da limpeza química no caudal produzido mais altos, tal como esperado teoricamente.

Por fim, verifica-se que a sazonalidade observada com a política de manutenção atual da *Veolia Portugal* sofre um ligeiro adiantamento para os meses que antecipam o verão quando utilizado o modelo prescritivo no cenário de simulação inicial. É possível constatar ainda que, para esse caso, o modelo é 100% eficaz na eliminação da despesa após o verão.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo enumeram-se as principais conclusões extraídas do desenvolvimento da dissertação e sugerem-se tarefas futuras que podem ser levadas a cabo pela empresa para aprimoramento dos seus serviços nos tópicos relacionados com a manutenção de equipamentos.

A principal conclusão do trabalho apresentado é que as ferramentas de manutenção preditiva/prescritiva devem integrar o portefólio de soluções da *Veolia*, tendo potencial de alterar o seu modelo de negócio e incrementar a qualidade do serviço prestado aos clientes. Esta conclusão surge, naturalmente, dos resultados expressivos que a adoção do modelo prescritivo criado garante. Estes resultados, que consistem numa poupança de 64% a 94% para os cofres da *Veolia Portugal* acarretam ainda a garantia da prestação de um serviço muito mais fluído, consistente e de qualidade melhorada ao seu cliente. Perante estes dados, que foram obtidos para um equipamento singular, e tendo em conta a vasta gama de equipamentos críticos que a fábrica dispõe, é consistente afirmar que o investimento no desenvolvimento de modelos de manutenção preditiva pode render à *Veolia* uma redução significativa da despesa e uma reformulação total do planeamento e programação das suas atividades de manutenção. É ainda possível afirmar que o objetivo central desta dissertação foi cumprido.

Subjacente a esta conclusão, sugere-se à *Veolia Portugal* a identificação de novos equipamentos críticos e o desenvolvimento de modelos preditivos ou prescritivos para planear a manutenção dos mesmos. Para a realização desta tarefa futura, a metodologia de trabalho e as ferramentas desenvolvidas nesta dissertação são propostas: primeiramente, a folha de registo de despesas desenvolvida na dissertação e apresentada na secção 4.1 encontra-se apta a auxiliar o processo. De facto, o relatório geral produzido por esta folha permite identificar, com facilidade, os setores da fábrica mais dispendiosos. Em seguida, a elaboração de diagramas de fluxo dos processos, tal como o diagrama apresentado na secção 4.4, constitui um passo fundamental na identificação dos equipamentos críticos, bem como a catalogação e identificação de todos os equipamentos do setor. Esta catalogação pode ser elaborada com recurso ao modelo de codificação proposta na secção 4.4.

Assim, conclui-se que esta dissertação fornece ao proponente uma metodologia de trabalho completa que se estende desde a análise de custos até à identificação de equipamentos críticos, com

ferramentas e modelos aptos a ser utilizados e reproduzidos. Desta forma, a profundidade deste trabalho de dissertação prova não só a eficácia do modelo desenvolvido para as osmoses, mas também nutre a empresa de um conjunto de conhecimentos e ferramentas facilmente ajustáveis para a produção de novos modelos a ser aplicados noutros equipamentos.

No que diz respeito ao modelo desenvolvido nesta dissertação, sugere-se a continuidade da recolha de dados, de forma a definir com clareza o cenário que melhor modela a situação real. Até à data, e tendo por base o trabalho realizado nesta dissertação, sugere-se o cenário de simulação inicial como o mais adequado e recomenda-se a aplicação da política de manutenção apresentada na secção 6.2.1, com efeito imediato. No entanto, qualquer política de manutenção sugerida pelo modelo prescritivo terá um impacto positivo para a *Veolia Portugal* visto que todos os cenários simulados representam uma melhoria drástica dos resultados da empresa.

Adicionalmente, sugere-se à *Veolia* e ao cliente que estabeleçam uma parceria no sentido de elaborar de uma estimativa fidedigna do consumo mensal de água industrial da fábrica para meses futuros. Desta forma, é possível obter resultados ainda mais precisos com o modelo e antecipar os trabalhos de manutenção com bastante antecedência.

Do ponto de vista académico sugere-se o estudo do impacto de ferramentas de inteligência artificial no aprimoramento do modelo concebido, sobretudo com vista a reduzir o tempo de simulação de certos cenários.

Finalmente, conclui-se que esta dissertação representa um trabalho integrador de conhecimentos de diversas áreas, com especial foco na gestão da manutenção e análise de dados e reitera-se a importância do pensamento crítico, da observação e do método, todos eles essenciais à atividade de um engenheiro.

Referências

- [1] Veolia em Portugal. URL: <https://www.veolia.pt/veolia-em-portugal>.
- [2] Apresentação corporativa - veolia Portugal. URL: <https://www.veolia.pt/sites/g/files/dvc1931/files/document/2021/07/2021-apresentacao-corporativa-veolia-portugal.pdf>.
- [3] British Standards Institution. Publicly available specification - asset management. part 1: Specification for the optimized management of physical infrastructure assets (pas 55-1:2008). 2008.
- [4] International Organization for Standardization (ISO). *Gestão de Ativos - Sistemas de Gestão - Visão Geral, princípios e terminologia, NP EN ISO 55000:2016*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2016.
- [5] International Organization for Standardization (ISO). *Gestão de Ativos - Sistemas de Gestão - Linhas de orientação para a aplicação da ISO 55001, NP EN ISO 55002:2016*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2016.
- [6] Khairy AH Kobbacy, DN Prabhakar Murthy, et al. *Complex system maintenance handbook*. Springer, 2008.
- [7] Pedro Miguel Fazenda Bastos. Implementação de um plano de manutenção preventiva numa unidade de produção de cerveja. 2017.
- [8] EN e NP. Manutenção - terminologia da manutenção, np en 13306:2010. *CEN, Novembro*, 2010.
- [9] Inderpreet P Singh Ahuja e Jaimal Singh Khamba. Total productive maintenance: literature review and directions. *International journal of quality & reliability management*, 2008.
- [10] Steven Borris. *Total productive maintenance*. McGraw Hill, New York, 2006.
- [11] José Paulo Saraiva Cabral. Gestão da manutenção de equipamentos, instalações e edifícios. *Biblioteca Industria & Serviços, LIDEL*, 2009.
- [12] Mohamed Ben-Daya, Salih O Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic, e Daoud Ait-Kadi. *Handbook of maintenance management and engineering*, volume 7. Springer, 2009.
- [13] Veolia Portugal - linha do tempo. URL: <https://www.veolia.pt/sobre-nos/linha-do-tempo>.
- [14] Institute of Asset Management. Asset management - an anatomy. 2015.

- [15] Mohammad Shahidehpour e Roberto Ferrero. Time management for assets: chronological strategies for power system asset management. *IEEE Power and Energy Magazine*, 3(3):32–38, 2005.
- [16] Rui Coutinho. Gestão de ativos físicos aplicada às infraestruturas. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*, 3(4):113–118, 2017.
- [17] Gerardo W Flintsch e JW Jr Bryant. *Asset management data collection for supporting decision processes*. Federal Highway Administration, 2006.
- [18] Andreas Bower, Herr Jones, Michael Hammond, e Phil Jones. Risk based decision at the heart of a modern asset management structure. *Maintec Conf.*, páginas 1–9, 2000.
- [19] Thatshayini Premanathan e Damitha Rajini. Physical asset management in sri lankan organisations: findings of expert interviews. 12 2017.
- [20] International Organization for Standardization (ISO). *Gestão de Ativos - Sistemas de Gestão - Requisitos, NP EN ISO 55001:2016*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2016.
- [21] Khaled El-Akruti e Richard Dwight. A framework for the engineering asset management system. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2013.
- [22] Carlos Varela Pinto. *Organização e gestão da manutenção*. 2002.
- [23] LA Ferreira. Uma introdução à manutenção (1a edição). *Porto: Publindústria, Edições Técnicas*, 1998.
- [24] Adriano A Santos e António C Brito. Modelo de fiabilidade aplicado ao histórico de avarias—tratamento analítico. *VII Congresso de Mecânica Aplicada e Computacional*, 2003.
- [25] John Moubray. *Reliability-centred maintenance*. Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam [etc.], 2nd edição, 1997.
- [26] Viviane Pereira de Faria e Osvaldo Luíz Gonçalves Quelhas. Manutenção 4.0: uma revisão da literatura da base scopus.
- [27] Jay Lee, Hung-An Kao, e Shanhu Yang. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia cirp*, 16:3–8, 2014.
- [28] Jon Bokrantz, Anders Skoogh, Cecilia Berlin, Thorsten Wuest, e Johan Stahre. Smart maintenance: an empirically grounded conceptualization. *International Journal of Production Economics*, 223:107–534, 2020.
- [29] Peter Söderholm, Mattias Holmgren, e Bengt Klefsjö. A process view of maintenance and its stakeholders. *Journal of quality in maintenance engineering*, 2007.
- [30] Kaizen institute consulting group, 2022. URL: <https://pt.kaizen.com/recursos#glossary>.
- [31] Seiichi Nakajima. Introduction to tpm: total productive maintenance.(translation). *Productivity Press, Inc.*, 1988, página 129, 1988.
- [32] Tokutarō Suzuki. *TPM in process industries*. Routledge, 2017.

- [33] Peter Willmott e Dennis McCarthy. *TPM-: A Route to World Class Performance*. Newnes, 2001.
- [34] Oğuzhan Yavuz, Ersin Doğan, Ergün Carus, e Ahmet Görgülü. Reliability centered maintenance practices in food industry. *Procedia Computer Science*, 158:227–234, 2019.
- [35] Clair A Schwan. Introduction to reliability centered maintenance. Em *Proceedings of Reliability Centered Maintenance for Substations, Transmission and Distribution Conference*, páginas 3–12. Electric Utility Consultants, Inc., 1999.
- [36] Randall G Wilmeth e Michael W Usrey. Reliability-centered maintenance: A case study. *Engineering Management Journal*, 12(4):25–31, 2000.
- [37] José António Faria e Henriqueta Nóvoa. Acetatos de apoio à unidade curricular de sistemas de qualidade e fiabilidade. *FEUP*, 2021.
- [38] Peter Muchiri, Liliane Pintelon, Ludo Gelders, e Harry Martin. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1):295–302, 2011.
- [39] Albert HC Tsang, Andrew KS Jardine, e Harvey Kolodny. Measuring maintenance performance: a holistic approach. *International Journal of Operations & Production Management*, 1999.
- [40] César Duarte Freitas Gonçalves, José António Mendonça Dias, e Virgílio António Cruz Machado. Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 10(3):215–223, 2015.
- [41] EN e NP. Manutenção - indicadores de desempenho da manutenção, np en 15341:2009. 2009.
- [42] Overall equipment effectiveness. URL: <https://www.oeo.com/>.
- [43] Wilson Roberto Marcorin e Carlos Roberto Camello Lima. Análise dos custos de manutenção e de não-manutenção de equipamentos produtivos. *Revista de ciência & tecnologia*, 11(22):35–42, 2003.
- [44] MP Martins, Armando LF Leitão, e Quinta de Santa Apolónia-Bragança. Predição de falhas no apoio à decisão na gestão da manutenção. *Bragança-PT. Universidade da Beira Interior*, 2009.
- [45] Mohamed Ben-Daya, Uday Kumar, e DN Prabhakar Murthy. *Introduction to maintenance engineering: modelling, optimization and management*. John Wiley & Sons, 2016.
- [46] Bernardo Almada Lobo. *Acetatos de apoio à cadeira de Gestão da Manutenção*. FEUP, 2012.
- [47] Jan Terje Kvaløy e Bo Henry Lindqvist. Ttt-based tests for trend in repairable systems data. *Reliability Engineering & System Safety*, 60(1):13–28, 1998.
- [48] Armando Leitão. *Manutenção Industrial*. 1991.
- [49] Patrick O'Connor e Andre Kleyner. *Practical reliability engineering*. John Wiley & Sons, 2012.

- [50] Aditya Parida, Uday Kumar, Diego Galar, e Christer Stenström. Performance measurement and management for maintenance: a literature review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2015.
- [51] Isabel Lopes, Patrícia Senra, Sandrina Vilarinho, Vera Sá, Catarina Teixeira, João Lopes, Anabela Alves, José A Oliveira, e Manuel Figueiredo. Requirements specification of a computerized maintenance management system—a case study. *Procedia Cirp*, 52:268–273, 2016.
- [52] José Torres Farinha, Inácio Fonseca, Rúben Oliveira, e Hugo Raposo. Cmms—an integrated view from maintenance management to on-line condition monitoring. Em *Proceedings of Maintenance Performance Measurement and Management (MPMM) Conference*, 2014.
- [53] Ashraf W Labib. World-class maintenance using a computerised maintenance management system. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1998.
- [54] JE Amadi-Echendu e FCP De Wit. Technology adoption: A study on post-implementation perceptions and acceptance of computerised maintenance management systems. *Technology in Society*, 43:209–218, 2015.
- [55] Marcello Braglia, Gionata Carmignani, Marco Frosolini, e Andrea Grassi. Ahp-based evaluation of cmms software. *Journal of manufacturing technology management*, 2006.
- [56] Michael Wienker, Ken Henderson, e Jacques Volkerts. The computerized maintenance management system an essential tool for world class maintenance. *Procedia Engineering*, 138:413–420, 2016.
- [57] Artur Blaszczyk e Zbigniew Wisniewski. Requirements for it systems of maintenance management. Em *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, páginas 531–539. Springer, 2018.
- [58] John T. Renwick e Paul E. Babson. Vibration analysis—a proven technique as a predictive maintenance tool. *IEEE Transactions on Industry Applications*, IA-21(2):324–332, 1985. doi:10.1109/TIA.1985.349652.
- [59] Sadettin Orhan, Nizami Aktürk, e Veli Celik. Vibration monitoring for defect diagnosis of rolling element bearings as a predictive maintenance tool: Comprehensive case studies. *Ndt & E International*, 39(4):293–298, 2006.
- [60] Subramaniam Bagavathiappan, BB Lahiri, T Saravanan, John Philip, e T Jayakumar. Infrared thermography for condition monitoring—a review. *Infrared Physics & Technology*, 60:35–55, 2013.
- [61] Ali MD Younus e Bo-Suk Yang. Intelligent fault diagnosis of rotating machinery using infrared thermal image. *Expert Systems with Applications*, 39(2):2082–2091, 2012.
- [62] Nishit Srivastava e Sandeep Mondal. Development of a predictive maintenance model using modified fmea approach. *The IUP Journal of Operations Management*, 13(2):7–16, 2014.
- [63] Umair Ahmed, Silvia Carpitella, e Antonella Certa. An integrated methodological approach for optimising complex systems subjected to predictive maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 216:108022, 2021.
- [64] Thyago P Carvalho, Fabrizzio AAMN Soares, Roberto Vita, Roberto da P Francisco, João P Basto, e Symone GS Alcalá. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 137:106024, 2019.

Anexo A

A.1 Folha de Despesas Inicial - Relatório Mensal

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3							
4					Janeiro 2020		
5	Data	Custo	Material	C.Custo	Tarefa	Colaborador	
6	11/01/2022	993,60 €	- €	C03412	Retirar e colocar Bomba no Furo 26	Maintphi	
7	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
8	27/01/2022	1 158,86 €	- €	C03442	Contadores multifuncionais siemens	Armasul	
9	00/01/1900	- €	- €	#N/D	0	0	
10	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	0	#REF!	
11	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
12	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
13	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
14	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
15	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
16	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
17	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
18	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
19	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
20	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
21	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	
22		#REF!	#REF!	#REF!			
23	TOTAL		#REF!				
24			Águas	C03412		993,60 €	
25			Electricidade e PT's	C03442		1 158,86 €	
26			Condensados	C03482		- €	
27			Frio	C03532		- €	
28			Ar Comprimido	C03542		- €	
29			R.I.A	C03322		- €	
30			Ench.CervejaLB	C03202		- €	
31			CO2	C03582		- €	
32							
33			Eduardo Fernandes		Pedro Frias		
34							

Figura A.1: Folha de Despesas Inicial - Relatório Mensal

A.2 Folha de Despesas Inicial - Manutenções Corretivas (Utilidades)

Mês	Data OT	Data Início	Data Conclusão	OT	SAP	Orçamento Forneecedor	C	CC	Trabalho	Empresa	Despesa			Requisição	OC	Data OC	Recepção OC
											Serviço	Materiais	Total				
Janeiro	04/01/2022							c	035382	P-Reparação do motor G2 sistema movel	Sacaz	246,06 €		2022100109			
	10/01/2022							a	030412	P-Rolamentos para motores da agua industrial	Rolpedra	372,424	372,42 €	2022100086			
	11/01/2022							e	035332	P-Rolamento do motor NH3	Manitinh	645,00 €		20221000481			
	13/01/2022							a	030412	P-Casquilhos em nylon para oomose 7	Ferrez	50,00 €	50,00 €	20221000482			
	13/01/2022							a	030412	P-Desmontagem e analise de bombas	Idasma	180,00 €		2022100020			
	14/01/2022							c	035382	P-FABRICO DE PERMUTADOR CO2	TTI	3.340,00 €		20221000742			
								IN/D		Rolamentos para motor eletrico blower	Rolpedra	51,12 €	51,12 €	20221001068			
								IN/D		Correias para o blower	Janior	10,764	10,76 €	20221001140			
								a	030412	P-Reparação faga de vapor	Fanemi	228,16 €		20221001270			
								a	030412	P-Instalação de pizagem para sonda oomose	Fanemi	222,59 €	222,59 €	20221001371			
								a	030412	P-Reparação da tubagem da oomose 7	Fanemi	309,48 €		20221001272			
								a	030412	P-Reparação da tubagem da oomose 5	Fanemi	567,744		20221001273			
								A	030412	P-Válvula Premier para UF	Idasma	124,117 €		20221001449			
								A	030412	P-Accessorio para Tubagem Al ETAR	Store&Co	165,00 €		20221001547			
								IN/D					0,00 €				
								IN/D					0,00 €				
								IN/D					0,00 €				
Sub Total												6.452,24 €					
Fevereiro								f	035342	P-Intervenção Compressor 2R160N5D	Adias Copco	117,64 €		20221001590			
								a	030412	P-Ventilador variadone Al	TUEL	17,92 €	17,92 €	20221001600			
								a	030412	P-Est reparação bomba grandes CNR2	Idasma	290,80 €	290,80 €	20221001669			
	02/02/2022							a	030412	P-Recolha de candeia da ETA	vooila	35,30 €	35,30 €	20221001881			
	22/02/2022							a	030412	P-Rolamentos 6410-C3	Indopreda	114,10 €		20221002749			
								a	030412	P-Empanque Medidor para bomba 31P2	sealtec	350,60 €	350,60 €	20221002794			
								a	030412	P-Reparar vito e corpo da bomba 31P2	Ferrez	175,00 €		20221002795			
								a	030412	P-Pecas para as oomoses	Protect Armazem	125,00 €		20221002797			
								IN/D					0,00 €				
								IN/D					0,00 €				
								IN/D					0,00 €				
								IN/D					0,00 €				
								IN/D					0,00 €				
													3.745,30 €				
	02/03/2022							a	030412	P-Rolamento bomba da Bta	Rolpedra	20,08 €	20,08 €	20221000516			
								a	030412	P-Rolamentos motor eletrico agua das cisternas	Rolpedra	43,61 €	43,61 €	20221000368			
								a	030412	P-Válvula reguladora de vapor	spirax	926,75 €	926,75 €	20221000328			
							c	035382	P-Válvula sequeadora compressao co2	Valcomet	280,08 €	280,08 €	20221000368				
							c	035382	P-Rolamento para motor eletrico vapor CO2	Ferrez	232,23 €	232,23 €	20221000368				
							a	030412	P-Válvula de daftagem UF	Store n ego	258,00 €	258,00 €	20221000392				
							a	030412	P-Manipulador para eletrico	BOCCA	27,47 €	27,47 €	20221000398				
							b	030442	P-Ventilador P27	France Air	618,81 €	618,81 €	20221000660				
►	P2 UNICER 2022	2022 UEA	TOTAL ANUAL	P2 Utilidades2022	P Manut. Correctiva	P2			Manut. Correctiva 2022	Propostas a 1000,0	Propostas a 1000,0	Propostas a 1000,0	Propostas a 1000,0	Propostas a 1000,0	Propostas a 1000,0	Propostas a 1000,0	Propostas a 1000,0

Figura A.2: Folha de Despesas Inicial - Manutenções Corretivas (Utilidades)

A.3 Folha de Despesas Inicial - Manutenções Corretivas (Energia)

[illegible]

Figura A.3: Folha de Despesas Inicial - Manutenções Corretivas (Energia)

Anexo B

B.1 Proposta da Estrutura para o SAP

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	SAP	Equipamento			Modelo	Tipo	Tipos de Objeto	Tamanho	Peso	Fabricante	País	Ano Const.	NP Paq de Fabricante	Nº Série
2	300 009 967	Filtro de Arco	Nível 4	Nível 5	Nível 6									
3	300 009 962		Bomba CBAA03		B6612235P11320	ASTRALAND AB-500-25	0150	29 m3	3000 kg	NaturalSolutions Pequenos	DK	2006	2914.01/270.500	0001
4	300 009 963		Analizador de Turbidez T804	Motor Elétrico da Bomba	MG1121MC2-28F1130-D1	CRN02-3 A-F-G-E-HQZV	0016			Grundfos	Hungria			85015413
5					Ujiwey M					Endress + Hauser	Alemanha			8502005500
6	300 000 912	Cisterna 8A					0014	105 m3						
7	300 009 979		Bomba CBAA01		A96124238P10607	CRN90-2-2 A-F-G-V-HQZV	0020			Grundfos	DK			0002
8	300 009 980		Bomba CBAA02	Motor Elétrico da Bomba	MG100MCA-28F130-D1	CRN90-2-2 A-F-G-V-HQZV	0016			Grundfos	Hungria			0002
9	300 009 977				A96124238P10607		0020			Grundfos	DK			
10	300 009 978			Motor Elétrico da Bomba	MG100MCA-28F130-D1	CRN90-2-2 A-F-G-V-HQZV	0016			Grundfos	Hungria			
11					GA1A1005PV720HUA045000		0018			ProMinent	Alemanha	2010		2010104994
12			Bomba Doseadora CBAB001		FTU230E					Endress + Hauser	Alemanha			8502005500
13			Sensor de Nível Ultrassônico LTA		Ujiwey M					Nuova Fima	Itália	2009		29787
14			Medidor de pH EQ1010112		PD340			63		Endress + Hauser	Alemanha			81116119000
15			Mandmetro EQ1010694		Cerabar T					Shabberg Aut	Dinamarca	2015		172211
16			Caudalimetro CBAT101		EN 837-1					Endress + Hauser	Alemanha			470806101052
17			Caudalimetro CBAT102											
18			Transmissor de Pressão CBATP01											
19			Mandmetro EQ1010346											
20		Filtro OFSY 100 - 1º estágio				FILTER HF9 UF 100 SPECIAL	0150			CULIGAN	IT	1997		069711587506METALSAB06
21			Mandmetro EQ1010348		EN 837-1									
22			Mandmetro EQ1010346		EN 837-1									
23		Filtros OFSY 100 - 2º estágio				FILTER HF9 UF 100 SPECIAL	0150			CULIGAN	IT	1997		069711588509METALSAB06
24			Mandmetro EQ1010347											
25			Mandmetro EQ1010345											
26		Bomba M3		Motor Elétrico da Bomba										
27		Bomba M4		Motor Elétrico da Bomba										
28														
29	300 012 499	Produtor de Ozono 1			BONA 2D / AR1 - N07100		0022			ProMinent	Alemanha	2008		4008000624
30			Relâmetro											
31			Mandmetro		EN 837-1					Nuova Fima	Itália	2009		11901
32			Mandmetro											
33		Produtor de Ozono 3			CZMA03AF1AEN00001100		0022			ProMinent	CZ	2015		6015001619
34			Relâmetro											
35			Mandmetro											
36			Mandmetro											
37					EM 562					Empco	Alemanha			
38		Tanque 11 - Câmara de Oxidação			T.A. 15000L		0130	15000 L		ANSOP	PT	2015	144643/2	
39	300 012 495		Bomba T211M01	Motor Elétrico da Bomba	A96123118P10834	CRN45-2 E A-F-G-E-HQZE	0020		45 kg	Grundfos	DK			0002
40	300 012 496				MG1125MCA-28F130-D1		0016			Grundfos	Hungria			85017417
41	300 012 497		Bomba T211M02	Motor Elétrico da Bomba	A96101048P10607	CRN15-03 A-F-G-E-HQZP	0020		25 kg	Grundfos	DK			0015
42	300 012 498				MG100LC2-28F1130-D1		0016			Grundfos	Hungria			85015510
43	300 012 500	Tanque 12 - Água Oxoxidada			T.A. 15000L		0130	15000 L		ANSOP	PT	2008		135966
44			Mandmetro EQ1010229		EN 837-1					Nuova Fima	Itália	2009		30069
45			Mandmetro		EN 837-1					Nuova Fima	Itália			82021001052
46			Transmissor de Pressão		Cerabar T					Endress + Hauser	Alemanha			
47			Mandmetro		EN 837-1					Nuova Fima	Itália			
48			Detector de Ozono EQ1011674			Gas monitor GMA 36 Ozono				ProMinent	Alemanha	2008		2008113429
49	300 012 501	Destrutor Catalítico de Ozono T2120201			LYCOR 7 - 110		0022		105 kg	ProMinent	CZ	2008		1027238
50		Destrutor Catalítico de Ozono T2120102			LYCOR 3 - 20		0022		25 kg	ProMinent	CZ	2015		1019155
51		Tanque 21 - Câmara de Oxidação			T.C. 15000L		0130	15000 L		ANSOP	PT	2015	144643/1	
52	300 009 974		Bomba T221M01		A96123143P10607	CRN45-2-2 A-F-G-V-HQZV	0020			Grundfos	DK			0001

Figura B.1: Proposta de Estrutura para o SAP - Excerto

B.2 Lista de Válvulas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Equipamento Superior	Válvula	Model	País	Fabricante	Nº Série	Ano Const.	Tamanho	Atuador	Model2	Fabricante2	Nº Série2	Ano Const.2	Tamanho2
1	Filtro de Areia (parte inferior)	Válvula de Eclisa			Genbre									
2		Válvula PVC												
3		Válvula PVC												
4		Válvula PVC												
5		Válvula PVC												
6		Válvula PVC												
7		Válvula PVC												
8		Válvula PVC												
9	Sistema BA (Água Fluvial)	Válvula Borboleta			KSB			DN 125						
10	Sistema BA (Junto da parede)	Válvula Borboleta e/ Válvula			KSB			DN 200						
11	Sistema BA (Junto da parede 2)	Válvula Borboleta			Nossels			DN 100						
12	Sistema BA - Bomba CBAM01	Válvula Borboleta			FA			DN 100						
13	Sistema BA - Bomba CBAM02	Válvula Borboleta			FA			DN 100						
14	Sistema BA - Bomba CBAM03	Válvula Borboleta			FA			DN 100						
15	Bomba CBAM01	Válvula Borboleta			FA			DN 80						
16	Bomba CBAM01	Válvula de Retenção						DN 80						
17	Bomba CBAM02	Válvula Borboleta			FA			DN 80						
18	Bomba CBAM02	Válvula de Retenção						DN 80						
19	Bomba CBAM03	Válvula Borboleta			FA			DN 80						
20	Bomba CBAM03	Válvula de Retenção						DN 80						
21	Sistema BA (Água de ETA)	Válvula PVC												
22	Sistema BA (Água de ETA)	Válvula PVC												
23	Sistema BA (Água de ETA)	Válvula PVC												
24	Sistema BA (Água de ETA)	Válvula PVC												
25	Sistema BA (Água de ETA)	Válvula PVC												
26	Sistema BA	Válvula de Retenção	SR 12-2	Solap	Georg Fischer			DN 50						
27	Sistema BA	Válvula Reguladora de Pressão	DMV 712-R	Alemman	KSB	121887		DN 10						
28	Filtro QFSY 100 - 1º Estágio	V413 - Válvula Borboleta e/ Atuador			KSB			DN 100	Atuair 25		KSB			
29	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio	V413 - Válvula Borboleta e/ Atuador			KSB			DN 100	Atuair 25		KSB			
30	Filtro QFSY 100 - 3º Estágio	V414 - Válvula Borboleta e/ Atuador			KSB			DN 150	Atuair 25		KSB			
31	Filtro QFSY 100 - 1º Estágio (entrada)	Válvula Borboleta			KSB			DN 150						
32	Filtro QFSY 100 - 1º Estágio (entrada)	Válvula de Eclisa			Valcontrol									
33	Filtro QFSY 100 - 1º Estágio (parte superior)	Válvula de Eclisa			Genbre			DN 20						
34	Filtro QFSY 100 - 1º Estágio (parte inferior)	Válvula de Eclisa			Genbre			DN 20						
35	Filtro QFSY 100 - 1º Estágio (PM01)	Válvula de Eclisa			Valcontrol									
36	Filtro QFSY 100 - 1º Estágio (PM02)	Válvula de Eclisa			Valcontrol									
37	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio	V421 - Válvula Borboleta e/ Atuador			KSB			DN 100	Atuair 25		KSB			
38	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio	V422 - Válvula Borboleta e/ Atuador			KSB			DN 150	Atuair 25		KSB			
39	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio	V423 - Válvula Borboleta e/ Atuador			KSB			DN 150	Atuair 25		KSB			
40	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio	V424 - Válvula Borboleta e/ Atuador			KSB			DN 150	Atuair 25		KSB			
41	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio	V425 - Válvula Borboleta e/ Atuador			KSB			DN 150	Atuair 25		KSB			
42	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio (Produção)	Válvula Borboleta			KSB			DN 150						
43	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio (parte superior)	Válvula de Eclisa			Genbre			DN 20						
44	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio (parte inferior)	Válvula de Eclisa			Genbre			DN 20						
45	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio (PM03)	Válvula de Eclisa			Valcontrol									
46	Filtro QFSY 100 - 2º Estágio (PM04)	Válvula de Eclisa			Valcontrol									
47	Sistema BB (Junto da parede)	Válvula de Eclisa			Valcontrol									
48	Sistema BB (Junto da parede)	Válvula Borboleta			KSB			DN 200						
49	Sistema BB (Junto da parede 2)	Válvula Borboleta			Nossels			DN 100						
50	Sistema BB - Bomba CBAM01	Válvula Borboleta			FA			DN 100						
51	Sistema BB - Bomba CBAM02	Válvula Borboleta			FA			DN 100						
52	Sistema BB - Bomba CBAM03	Válvula Borboleta			FA			DN 100						

Figura B.2: Lista de Válvulas - Excerto