

**ADRIANA FILIPA GAGO ESPANHA**

**GESTÃO DE ATIVOS INFRAESTRUTURASIS – ANÁLISE  
MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAR INVESTIMENTOS NAS  
CONDUTAS ADUTORAS DO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE SANEAMENTO DO ALGARVE**

**Mestrado em Engenharia Civil  
Área de Especialização: Construção  
Dissertação**

Trabalho efetuado sob a orientação de:  
Professor Doutor Carlos Otero Águas da Silva  
Professor Doutor Miguel José Oliveira



**Março de 2021**



**GESTÃO DE ATIVOS INFRAESTRUTURAIS – ANÁLISE  
MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAR INVESTIMENTOS NAS  
CONDUTAS ADUTORAS DO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE SANEAMENTO DO  
ALGARVE**

Mestrado em Engenharia Civil

**DECLARAÇÃO DE AUTORIA DO TRABALHO**

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Adriana Filipa Gago Espanha

---



© **Copyright:** Adriana Filipa Gago Espanha

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*If you always do what you always did, you will always get what you always got.*

*Do the best you can, with what you have.*

D.H. Stamatis





## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar tenho de agradecer ao Presidente do Conselho de Administração da Águas do Algarve, S.A e ao meu Diretor Eng.º João de Sousa, pela pronta autorização para a realização deste trabalho e disponibilização de todos os meios necessários à sua prossecução.

Aos orientadores Professor Doutor Carlos Otero Silva e Professor Doutor Miguel José Oliveira, por terem aceitado este desafio e me orientarem da melhor maneira. Em particular pela disponibilidade de tempo para ensinar, divulgar a sua experiência e conhecimento, recomendar bibliografia, corrigir e incentivar.

Aos meus colegas Mestre Sandra Dias e Eng.º Manuel Victório que dispensaram parte do seu tempo, para me apoiar na pesquisa, no esclarecimento de dúvidas e recolha de dados.

À minha família, pelo apoio e estímulo que deram nesta realização profissional e pessoal, em especial ao meu esposo, aos meus filhos, à minha mãe e à minha sobrinha.

A todos os que não foram referidos e que de alguma forma, direta ou indiretamente, colaboraram para realização deste trabalho.



## **RESUMO**

Em Portugal, na década de 90 e na primeira década do século XXI foi o período onde se verificou um grande ciclo de investimentos em infraestruturização de sistemas de abastecimento de água e de recolha e transporte de água residual.

Este período coincidiu com a empresarialização do setor da água, ou seja, a criação dos sistemas multimunicipais, concessionados a Sociedades do setor empresarial do estado e com a integração do país na Comunidade Europeia. Estas Sociedades contribuíram grandemente para equilibrar as dissimetrias verificadas entre regiões do país.

Atualmente constata-se uma mudança de paradigma na gestão das infraestruturas construídas, passando para o ciclo de rentabilização e manutenção.

A partir da entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto, relativo ao regime dos serviços municipais de abastecimento de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos, foi estipulado que todas as entidades gestoras, que sirvam mais de 30 mil habitantes, devem promover e manter um sistema de gestão patrimonial de infraestruturas. Assim, a temática da gestão de ativos começou a merecer uma atenção cada vez maior.

No presente trabalho deu-se ênfase ao estudo e aplicação de uma metodologia de análise de risco (baseada na análise dos modos de falha e efeitos), conducente à seleção e priorização dos troços de conduta a intervencionar no sistema de abastecimento de água do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Algarve. Os resultados obtidos servirão de apoio à tomada de decisão e subsequentemente será produzido um plano de investimentos que fará parte do processo de orçamento e projeto tarifário quinquenal da empresa.

Para este efeito foram estudados e selecionados 6 critérios, atribuindo diferentes pesos, consoante a sua importância, obtendo um índice de avaliação para cada troço de conduta. Este índice quanto maior for o seu valor mais penalizador será para a conduta e ditará a prioridade de intervenção.

Após efetuar a ordenação desses índices serão identificadas as prioridades de atuação, por forma a maximizar o desempenho do sistema, minimizando os custos e os riscos. Desta forma, este trabalho será um contributo considerável na abordagem da gestão das condutas do sistema, tendo presente a alocação adequada dos recursos financeiros e também corresponder às exigências da entidade reguladora.

Palavras-chave: Águas do Algarve, S.A, Gestão de Ativos, Gestão Patrimonial de Infraestruturas, Método de Análise de Modo e Efeito de Falha



## **ABSTRACT**

In Portugal, in the 90's and in the first decade of XXI century there was a major cycle of investments in systems for water supply and for collecting and conveying wastewater.

This period corresponded with the corporatization of the water sector, i.e., the creation of multi-municipals systems, licensed to State corporate societies and with the country integration in the European Community. This societies contribute largely to balance the dissymmetry verified along the country regions.

Currently, it is possible to verify a paradigm shift in the management of the built infrastructures, moving on to the monetization and maintenance cycle.

From the approval of the Law decree nº 194/2009, 20 August, related to municipal water supply management, wastewater sanitation and urban waste management, it was stipulated that all water utilities, with more than 30 thousand inhabitants, should promote and maintain an infrastructure asset management system. Therefore, the topic of asset management started to receive more and more attention.

In the present work, emphasis was placed on the study and application of a risk analysis (based on the failure mode and effects analysis), leading to the selection and prioritization of the sections to intervene in the water supply system of the Multi-municipal System of Water Supply and Sanitation of Algarve. The obtained results will serve to support decision making and subsequently it will be produced an investment plan to be part of the company's five-year budget and tariff project process.

For this purpose, 6 criteria were study and selected, assigning different weights, depending on their importance, obtaining an evaluation index for each section of conduct. This index, the higher its value, the more penalizing it will be for the pipes and will dictate the priority of intervention.

After the ordering of these indexes the performance priorities will be identified to maximize the performance of the system, minimizing costs and risks. Thus, this work will make a considerable contribution in the approach to the management of the system piping, regarding the allocation of financial resources and meeting the requirements of regulatory authority.

Key-words: Águas do Algarve, S.A, Asset Management, Infrastructure Asset Management, Failure Mode and Effect Analysis Method



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	4
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 GESTÃO DE ATIVOS .....	5
2.1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	5
2.1.2 ATIVOS.....	14
2.1.3 CICLO DE VIDA DOS ATIVOS .....	16
2.1.4 PARTES INTERESSADAS PARA A GESTÃO DE ATIVOS.....	22
2.1.5 PAS 55 E ISO 55000.....	24
2.1.5.1 CICLO PDCA.....	27

2.1.6	GESTÃO DA INFORMAÇÃO .....	28
<b>2.2</b>	<b>GESTÃO DO RISCO .....</b>	<b>31</b>
<b>2.3</b>	<b>ISO 31000 .....</b>	<b>36</b>
<b>2.4</b>	<b>MÉTODOS DE APRECIÇÃO DO RISCO .....</b>	<b>40</b>
2.4.1	MÉTODO DE SUPORTE – BRAINSTORMING .....	44
2.4.2	MÉTODO DE SUPORTE – ENTREVISTAS ESTRUTURADAS E SEMI-ESTRUTURADAS.....	44
2.4.3	MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE CONTROLOS – ANÁLISE DE LAÇO (BOW-TIE).....	45
2.4.4	MATRIZ PROBABILIDADE/CONSEQUÊNCIA.....	46
2.4.5	MÉTODO DE ANÁLISE DE FUNÇÕES – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS.....	48
<b>3.</b>	<b>CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>55</b>
3.1	ENQUADRAMENTO .....	55
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUAS DO ALGARVE .....	58
3.3	DIAGNOSTICO ATUAL.....	61
3.4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA NA PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS NAS CONDUTAS ADUTORAS.....	69
3.5	RESULTADOS .....	74
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....</b>	<b>84</b>
<b>5.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>86</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Evolução do nível de cobertura dos serviços de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (1994-2011) (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2012).....	2
Fig. 2 - Esquema de ciclo de vida dos ativos infraestruturais (AdP, 2014) .....	3
Fig. 3 – Níveis de planeamento da gestão de ativos (Alegre et al., 2015) .....	8
Fig. 4 - Evolução da gestão de ativos e do pensamento industrial adaptado de (Coelho, 2015) .....	9
Fig. 5 – Esquema representativo entre custos, risco e esforço da gestão de ativos adaptado de (AdP, 2014; Silva & Serranito, 2014) .....	10
Fig. 6 – Fatores com possível influência na ocorrência de falhas em condutas de água – Adaptado de (Patil, 2012; Silva & Serranito, 2014) .....	13
Fig. 7 – Esquema de falhas/anomalias por naturezas e soluções possíveis de intervenção – adaptação (Alegre & Covas, 2010; Silva & Serranito, 2014) .....	13
Fig. 8 – Ativos físicos relação com os outros tipos de ativos adaptado de (IAM & BSI, 2008) .....	15
Fig. 9 – Relações entre os principais termos na gestão de ativos – extrato da NP ISO55001:2016 ...	16
Fig. 10 - Ciclo de vida dos ativos físicos, adaptado de (Hastings, 2015) .....	17
Fig. 11 – Gráfico curva de banheira – evolução da taxa de falhas de um ativo – (Reis & Andrade, 2009) .....	19
Fig. 12 – Evolução da condição dos ativos - (AdP, 2014) .....	20
Fig. 13 – Custos de manutenção - (AdP, 2014).....	20
Fig. 14 – Gestão total do ciclo de vida dos ativos físicos, adaptado de (Haffejee & Brent, 2019) .....	21
Fig. 15 – Ciclo PDCA – adaptado de (Zampoli, 2015).....	27
Fig. 16 – Gestão de ativos - Informação como base da tomada de decisão (Serranito & Silva, 2014)	31
Fig. 17 – Interconexões entre a crise de água e outras crises e situações de risco do mundo atual – adaptado de (WEF, 2020) .....	32
Fig. 18 – Princípios, Estrutura e Processo da Gestão do Risco – (NP EN 31000, 2018) .....	37
Fig. 19 – Técnicas e Ferramentas de apreciação do risco - (Duarte, 2018) .....	43

Fig. 20 – Esquema genérico do Método de Avaliação de Controlos da apreciação do risco – Análise de laço adaptado de (Assumpção, 2018) .....	46
Fig. 21 – Exemplo de parte de uma matriz de critérios de probabilidade – (NP EN 31010, 2016) .....	47
Fig. 22 – Mapa geral do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Algarve – Sistema de abastecimento de água.....	59
Fig. 23 – Materiais .....	63
Fig. 24 – Comprimentos por Diâmetros Nominais .....	64
Fig. 25 – Anos de serviços .....	64
Fig. 26 – N.º de Roturas por ano de ocorrência.....	65
Fig. 27 – N.º de Roturas por material.....	66
Fig. 28 – Montagem da análise de laço para uma rotura nas condutas do sistema .....	68
Fig. 29 – Montagem da metodologia para avaliação dos troços de adutora do sistema – Formulário FMEA.....	74
Fig. 30 – Visualização dos resultados da avaliação dos troços de adutora do sistema a intervir – Resultado da avaliação de risco RPN.....	75
Fig. 31 – Visualização do resultado da avaliação dos troços de adutora do sistema – troços com nível de risco de falha alto - Resultado da avaliação de risco RPN .....	77
Fig. 32 – Visualização do resultado da avaliação dos troços de adutora do sistema – troços com nível de risco de falha moderado a)Castro Marim b)Olhão - Resultado da avaliação de risco RPN.....	78
Fig. 33 – Visualização dos resultados da avaliação dos troços de adutora do sistema a intervir – Resultado da avaliação de risco SOD .....	79
Fig. 34 – Visualização do resultado da avaliação dos troços de adutora do sistema – Troços de adutora com nível de risco de falha alto – Resultado da avaliação de risco SOD.....	81

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Períodos de Vida Útil (Infraestruturas de Abastecimento de Água) (Contrato de Concessão da Águas do Algarve, S.A.) .....	22
Quadro 2 – Aplicabilidade das ferramentas e técnicas utilizadas para a apreciação de riscos – extraído da (NP EN 31010, 2016) .....	40
Quadro 3 – Método de Suporte à apreciação do risco - Brainstorming – vantagens e limitações – adaptado da NP (NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018) .....	44
Quadro 4 – Método de Suporte à apreciação do risco - Entrevistas estruturadas ou semiestruturadas – vantagens e limitações – adaptado da (NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018) .....	45
Quadro 5 – Método de Avaliação de Controlos da apreciação do risco – Análise de laço – vantagens e limitações – adaptado de (Assumpção, 2018; NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018) .....	46
Quadro 6 – Método de Matriz Probabilidade/Consequência – vantagens e limitações – adaptado da (NP EN 31010, 2016) .....	48
Quadro 7 – Comparação de resultados com o RPN tradicional e o SOD alternativo – adaptado de (Degen et al., 2010) .....	51
Quadro 8 – Método de Análise de Funções da apreciação do risco – Análise dos modos e efeitos – vantagens e limitações – adaptado da (NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018) .....	52
Quadro 9 – Informação cadastral para adutoras – adaptado de (CEGA, 2017; Silva & Serranito, 2014) .....	57
Quadro 10 – Comprimentos por Classe-Zona-Subsistema e Troço Principal .....	60
Quadro 11 – Caudais por Troços Principais .....	65
Quadro 12 – Quantificação das Roturas por evento e natureza .....	67
Quadro 13 – Critérios para avaliar os troços de adutora do sistema .....	71
Quadro 14 – Resultados dos troços de adutora com nível de risco de falha alto - Índice de avaliação de risco RPN .....	77
Quadro 15 – Resultados dos troços de adutora com nível de risco de falha moderado – Índice de avaliação de risco RPN .....	78
Quadro 16 – Análise de sensibilidade variando os pesos de cada critério .....	76
Quadro 17 – Resultados dos troços de adutora com nível de risco de falha alto – Índice de avaliação SOD alternativo .....	82

Quadro 18 – Investimento mínimo a prever para as intervenções prioritário ..... 83

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo I – Inquérito aplicado aos operadores da área de adução do sistema (Nascente e Poente);

Anexo II - Caudal médio diário do mês de maior consumo, período de 2015 a 2019

Anexo III – Listagem das Roturas ocorridas no sistema - uniformização da causa e associação de um fator e sua natureza

Anexo IV – Formulário FMEA do caso de Estudo

Anexo V - Listagem dos troços com risco de falha moderado – avaliação de risco SOD



## ACRÓNIMOS

AA	Abastecimento de Água
AdA	Águas do Algarve, S.A.
AdP	Águas de Portugal, SGPS, S.A.
AR	Águas Residuais
BA	Betão Armado
BPEAA	Betão Pré-esforçado de Alma de Aço
BSI	<i>British Standards Institution</i> (Instituto Britânico de Normalização)
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
EEAA	Estação Elevatória de Abastecimento de Água
EEAR	Estação Elevatória de Águas Residuais
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> (Comissão Eletrotécnica Internacional)
EN	<i>European Norm</i> (Norma Europeia)
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETA	Estação de Tratamento de Água, <i>Event Tree Analysis</i> (Análise por árvore de eventos)
ETAR	Estação de Tratamento de Água Residual
FB	Fibrocimento
FFD	Ferro Fundido Dúctil
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (Análise dos modos de falha e efeitos)
FMECA	<i>Failure Mode, Effects and Criticality Analysis</i> (Análise dos modos de falha, efeitos e criticidade)

FTA	<i>Fault Tree Analysis</i> (Análise em árvore de falhas)
GA	Gestão de Ativos
GPI	Gestão Patrimonial de Infraestruturas
IAM	<i>Institute of Asset Management</i> (Instituto de gestão de ativos)
IWA	<i>International Water Association</i> (Associação Internacional da Água)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MCDM	<i>Multi-criteria decision-making</i> (Tomada de decisão multicritério)
NP	Norma Portuguesa
PAS 55	<i>Publicly Available Specification 55</i> (Especificação publicamente disponível 55)
PEAASAR I	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2000-2006
PEAASAR II	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PENSAAR 2020	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020 (2014-2020)
PENSAARP 2030	Plano Estratégico para o Abastecimento de Água e Gestão de Águas Residuais e Pluviais 2030 (2021-2030)
PVC	Policloreto de Vinil
RASARP	Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal
RPN	<i>RisK Priority Number</i> (Número Prioritário de Risco ou Número de Prioridade do Risco)
SGPS	Sociedade Gestora de Participações Sociais



SIG	Sistema de Informação Geográfica
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i> (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças)
WEF	<i>World Economic Forum</i> (Fórum Económico Mundial)



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. ENQUADRAMENTO

Com a integração de Portugal na Comunidade Económica Europeia (CEE) em 1985, o País começou a definir estratégias profundas para o setor da água, resultando na adaptação e alteração do quadro legal e legislativo, na criação da empresa Águas de Portugal em 1993 e na abertura do setor a capitais privados. Com estas estratégias foi possível ultrapassar a fragmentação que caracterizava este setor, sob a alçada predominante do poder local (municípios). Nessa altura era urgente a criação de infraestruturas no país, visto que os níveis de cobertura eram muito baixos e existia muita fragilidade na qualidade e quantidade do serviço. Além disto, este serviço muitas vezes era desvalorizado pela sociedade civil, no seu dia-a-dia, pelo que o investimento era reduzido nesta área e as poucas infraestruturas existentes necessitavam de manutenção e renovação (Peças, 2013; Serra, 2011).

O caminho estava trilhado e com a disponibilização de financiamento vindo da União Europeia, parte a fundo perdido, o foco centrou-se na melhoria da qualidade da água, aumento das taxas de atendimento no sistema de abastecimento de água e no sistema de saneamento de águas residuais. A construção destes sistemas contribuíram para o equilíbrio das dissimetrias entre regiões e serviram para minimizar os problemas existentes aquando de aumentos de consumos em época alta. Estes consumos elevados condicionavam o normal abastecimento de água às populações, não existindo também sistemas de tratamento de águas residuais capazes de recolher e tratar os efluentes gerados.

Neste sentido, propiciou-se a facilidade de crédito investindo-se fortemente em Portugal, descurando-se a sustentabilidade económica dos sistemas e a gestão pelo retorno dos projetos de investimento. Nesse momento, esses projetos eram assentes em projeções muito otimistas em todas as vertentes, tanto na evolução demográfica como ao nível do crescimento das capitações de água (Peças, 2013).

Em suma, a grande infraestruturização do setor da água deveu-se em grande medida à disponibilidade financeira vinda da União Europeia, devido ao cumprimento dos objetivos fixados nos documentos de estratégia nacional da altura, designadamente o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais I (PEAASAR) (2000-2006) e II (2007-2013), onde colocou as taxas de atendimento dos efetivos populacionais, na ordem de 95% no sistema de abastecimento de água e 90% no sistema de saneamento de águas residuais.

Desta forma, os objetivos definidos no PEAASAR II, para os níveis de cobertura nacional dos sistemas de abastecimento de água foram atingidos e para os sistemas de saneamento de águas residuais aproximaram-se da meta imposta, como representado na Fig. 1 (MAOTE, 2015; Peças, 2013).

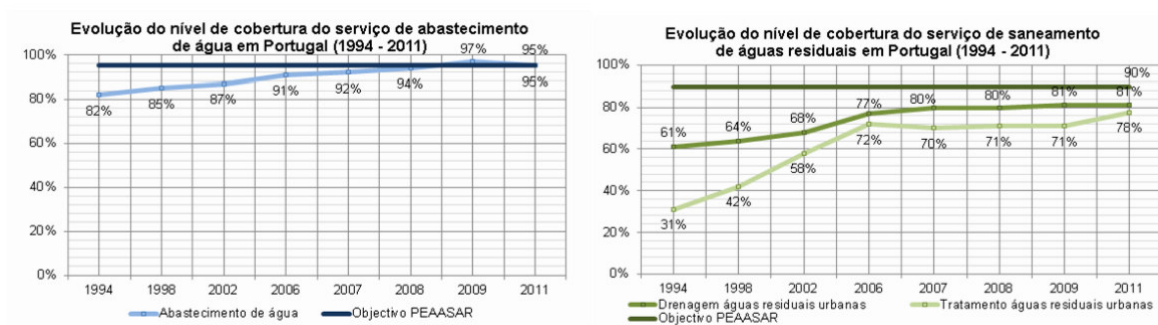


Fig. 1 - Evolução do nível de cobertura dos serviços de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (1994-2011) (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2012)

As taxas de cobertura conseguidas originaram, a longo prazo, impactes significativos nas sociedades, que conduziram à criação de metodologias para uma gestão racional das infraestruturas garantindo a sustentabilidade do serviço. A sustentabilidade tem como pilares de atuação as questões relacionadas com o envelhecimento das infraestruturas existentes, as mudanças de procura face às previsões e a entidade reguladora cada vez mais exigente, convergindo inevitavelmente para que as entidades gestoras implementem a gestão de ativos. Assim, converge-se para a pesquisa e aplicação das melhores práticas para preservar, manter e reabilitar o património infraestrutural, para que se atinga um bom nível de desempenho do serviço prestado, tanto no imediato como a longo prazo (Caetano, 2018).

Esta preocupação e exigência foi mais notória com a crise económica que assolou o país, entre os anos de 2008 e 2012, que afetou a atividade do setor da água, principalmente com a imposição de limitações ao nível financeiro. Nesta altura, houve lugar a um olhar sobre a gestão de ativos, tendo as decisões recaído no manter em vez de investir em novas infraestruturas (Alegre & Covas, 2010).

A gestão de ativos assenta nos princípios e metodologias aplicadas, de forma integrada, a todas as fases do ciclo de vida de qualquer ativo, isto é, desde a sua aquisição/conceção até à respetiva desativação ou abate. Apenas com esta abordagem será possível maximizar a rentabilidade dos ativos ao longo da sua vida e contribuir para o equilíbrio entre o desempenho, o risco e o custo associados aos diversos ativos que constituem os sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais (AdP, 2014).

Refere-se que aquando deste grande ciclo de investimentos, verificado por todo o país, as infraestruturas iniciaram o seu ciclo de vida (Fig. 2) na fase de planeamento/conceção, tendo de percorrer todo o ciclo até serem desmanteladas ou abatidas.



Fig. 2 - Esquema de ciclo de vida dos ativos infraestruturais (AdP, 2014)

Posto isto, no planeamento das ações e na decisão das intervenções, a levar a cabo nas infraestruturas geridas, é necessário equacionar fundamentalmente três vertentes: o risco do ativo ter problemas que coloquem em causa a sua função, com consequência no serviço prestado e nos restantes objetivos da entidade gestora; o custo associado ao ciclo de vida do ativo; e o desempenho do ativo (CEGA, 2017).

Torna-se evidente que a análise do risco de falha, de cada ativo no sistema, representará uma abordagem muito importante na qualidade do serviço prestado e na imagem da empresa a nível externo, pelo que existem várias metodologias em função do processo de avaliação de risco, algumas delas podem ser consultadas no Anexo A da Norma ISO 31010.

## 1.2. OBJETIVOS

A presente dissertação tem como objetivo avaliar o estado das condutas adutoras do sistema de abastecimento de água, no seguimento da implementação da gestão de ativos na Águas do Algarve, S.A., por forma a racionalizar e adequar os recursos, para a reabilitação e otimização destas infraestruturas em prol de novos investimentos e de acordo com prioridades.

Para atingir este objetivo principal considera-se relevante a conjugação dos seguintes objetivos específicos:

- Selecionar um conjunto de critérios que efetuem a avaliação das infraestruturas lineares do sistema de abastecimento de água, nomeadamente das condutas

adutoras, de água tratada, estabelecendo pontuações e intervalos, com determinada ponderação. Estes critérios relacionam-se com a idade das infraestruturas, o seu material constituinte, as roturas ocorridas, a redundância, a relevância de exploração e os fatores económicos.

- Identificar e priorizar os troços de adutora a intervir para fins de reabilitação e de aumento de desempenho global do sistema;
- Estimar os investimentos mínimos a realizar nos troços que obtiverem um nível de risco de falha alto.

### 1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado encontra-se organizada em quatro capítulos.

No primeiro capítulo efetua-se um enquadramento geral ao tema, onde são descritas as motivações do trabalho, apresentando-se os objetivos a cumprir, o âmbito e a estrutura da exposição da dissertação.

A revisão bibliográfica e a síntese de conhecimentos gerais, ao nível da base deste trabalho, nomeadamente a gestão de ativos e a gestão de risco são explicitados no segundo capítulo.

Após a exposição do estado de arte, ainda no segundo capítulo é efetuada uma reflexão sobre algumas metodologias existentes e aprofundada a metodologia proposta.

O terceiro capítulo relatará o ponto fulcral deste trabalho, o caso de estudo desenvolvido aplicando a Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA<sup>1</sup>), apresentada no terceiro capítulo, na priorização de investimentos a realizar nas condutas adutoras do Sistema Multimunicipal concessionado à Águas do Algarve, S.A. Este capítulo também servirá para mostrar resultados obtidos.

Por último, os resultados são analisados e retiradas as principais conclusões conjugando com uma breve exposição dos caminhos a seguir futuramente.

---

<sup>1</sup> Acrónimo da designação original *Failure mode effects analysis* mantido nesta dissertação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GESTÃO DE ATIVOS

#### 2.1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Historicamente, a primeira referência ao termo gestão de ativos efetuou-se, há mais de um século, no setor financeiro com a finalidade de caracterizar a atividade da banca de investimento. Nessa época e mesmo nos dias de hoje, o objetivo é otimizar a exposição aos riscos, rendimento, segurança de curto e longo prazo para um conjunto misto de liquidez, ações, obrigações e outros investimentos (Coutinho, 2017). Nesse momento, também no setor financeiro surgiu o termo portfólio para descrever a coleção de diferentes investimentos de cada entidade (Petchrompo & Parlikad, 2019).

Na década de 80, no setor da exploração petrolífera, começou-se a implementar a gestão de ativos para o ciclo de vida das plataformas, vistas como ativos, focando a gestão no desempenho, segurança e produtividade das mesmas (Coutinho, 2017). Também na indústria de energia, do Reino Unido, devido à maioria dos seus equipamentos atingirem um avançado estado de envelhecimento, foi urgente o diagnóstico da situação e elaboração de um plano de substituição de ativos. Assim, gradualmente começou a prática da gestão de risco baseada na condição do ativo, tendo sido desenvolvido *software* pela *EA Technology*, alicerçado numa base de dados, de propriedade do Reino Unido, do Centro de Reabilitação do Reino Unido e Norte Americano. Atualmente, esta tecnologia é utilizada no setor da energia em empresas da América do Norte, Austrália, Singapura, entre outras (ZhaoMA et al., 2014).

Ainda nos anos 80, na Nova Zelândia, apesar da manutenção convencional ter abordagens reativas, a gestão de ativos foi introduzida focando-se principalmente em ações proactivas relacionadas com as características dos ativos (Yazdandoost & Izadi, 2018).

Mais tarde, na Austrália e na Nova Zelândia a gestão de ativos foi iniciada no setor público, em virtude de se registar um baixo desempenho de alguns serviços, motivado pela inexistência de planeamento e subsequente necessidade de investimentos avultados (Coutinho, 2017).

Até há pouco tempo, a gestão de ativos não era uma atividade bem definida nas organizações, resultado do efeito de silo das diversas áreas que contribuem para a gestão de ativos. Eventualmente as áreas de desenvolvimento, construção e a financeira eram as que melhor se relacionavam, porque possuem a fase de planeamento e requer decisões de caráter financeiro (Hastings, 2010). Devido a esta consciência, no ano de 2002 no Reino Unido, o *Institute of Asset Management* (IAM) reuniu, num seminário, gestores de diversas indústrias e agências regulatórias e foi unanime a necessidade de se estabelecer uma linguagem comum para a gestão de ativos, tendo assim surgido a *Publicly Available Specification 55* (PAS 55) (Trombeta, 2017).

Na China, após a publicação da PAS 55, conjuntamente com o rápido desenvolvimento da rede elétrica no país, avançou-se com a gestão de ativos, com ênfase no desempenho dos

ativos, descurando a recolha e tratamento de dados de operação, sua monitorização e o seu valor (ZhaoMA et al., 2014).

A gestão de ativos pode ser definida como um conjunto de atividades sistemáticas e coordenadas através das quais uma organização gere de forma eficiente os seus ativos e seus desempenhos, riscos e gastos, associados ao longo de seu ciclo de vida. Esta gestão tem sempre como finalidade o atingir os objetivos da organização. Posto isto, a gestão de ativos é a gestão do ciclo de vida dos ativos físicos através da aquisição, operação, manutenção e abate. Assim, a gestão de ativos destina-se a alcançar o custo mínimo do ciclo de vida de um ativo, desde a sua conceção até ao abate/desativação (final do seu período de vida) (AdP, 2014; IAM & BSI, 2008; Sylvester, 2013).

As várias definições têm o mesmo propósito, isto é, a gestão de ativos deve sustentar a decisão de quais os ativos que se precisa para atingir os objetivos de negócios, nomeadamente as questões logísticas inerentes à aquisição e manutenção desses ativos, durante toda a sua vida até ao abate, aplicando as melhores práticas (Hastings, 2010).

Impõe-se assim que o rápido desenvolvimento deste conceito, em todo o mundo, é fruto de muitas visões sobre o que deve ser considerado na gestão de ativos. A parte comum dessas visões é o objetivo principal da manutenção, nomeadamente o nível desejado de serviço no ciclo de vida de um ativo a um custo mais baixo. Fatores diferentes incentivam a implementação de uma gestão de ativos, em muito países, quer pelo envelhecimento das infraestruturas, quer pela exigência de elevados níveis de serviço, quer pelo recursos limitados que dispõem, quer pela regulamentação mais rigorosa e não menos importante no caso do setor da água, a escassez da matéria-prima, a água (Yazdandoost & Izadi, 2018).

Segundo a International Water Association, (2011) e os Silva & Serranito (2014) o ponto de partida ideal da gestão de ativos, numa organização, deve ser através de um diagnóstico capaz de responder às seguintes questões:

- Quais os ativos que temos e em que condições eles estão?
- Qual é a vida útil remanescente dos ativos?
- Qual é a probabilidade e consequência de falha associada aos ativos críticos?
- Quais os ativos que devem ser priorizados e quando devem ser reabilitados?
- Qual é o custo total do ciclo de vida dos diferentes ativos, tendo em conta o seu investimento inicial e os custos de operação e manutenção.
- Qual é a abordagem mais económica e eficiente para reduzir o risco e a continuidade do fornecimento?

A implementação de gestão de ativos, para Farhad et al (2018) (no caso explicitado era para redes de distribuição de água, mas entende-se que é aplicável a todos os ativos físicos de uma organização), pode ser cronologicamente dividido em cinco categorias:

- 1) **Gestão de ativos baseada na condição**, atendendo às condições físicas e operacionais dos ativos;
- 2) **Gestão de ativos baseada no desempenho**, analisando se os ativos podem lidar bem com a sua função ou não. Se não, quais as intervenções que devem ser levadas a cabo e quanto eles são necessários;



- 3) **Gestão de ativos baseada no serviço ou nível de serviço**, avaliando se o conjunto de ativos pode fornecer níveis de serviço apropriados ou não;
- 4) **Gestão de ativos baseada no risco**, averiguando como os custos do ciclo de vida dos ativos podem ser minimizados assumindo um nível de risco (mínimo) suficiente, em termos económicos, ambientais e operacionais;
- 5) **Gestão de ativos baseada na sustentabilidade**, que traduz um patamar mais alto de gestão, em que critérios de sustentabilidade do serviço podem ser implementados, externalidades podem ser consideradas e níveis de risco aceitáveis em todas as dimensões.

Em linhas gerais, Sinha & Eslambolchi (2006) define que para alcançar as melhores práticas em gestão de ativos, as organizações devem conseguir demonstrar o seguinte:

- 1) Conhecimento dos níveis de serviço exigidos pelos clientes;
- 2) Capacidade de prever expansões/solicitações futuras para o serviço;
- 3) Localização e conhecimento dos ativos existentes;
- 4) Conhecimento da condição física dos ativos;
- 5) Conhecimento do desempenho e fiabilidade dos ativos;
- 6) Conhecimento da utilização e capacidade dos ativos;
- 7) Capacidade de prever os modos de falha e o tempo estimado de falha para os ativos;
- 8) Capacidade de analisar opções alternativas;
- 9) Capacidade de planeamento de investimentos em função da análise económica;
- 10) Capacidade de priorizar investimentos de acordo com o orçamento disponível;
- 11) Capacidade de desenvolver e rever os objetivos estratégicos para cada ativo;
- 12) Capacidade de otimizar as operações e atividades de manutenção.

Apesar dos diferentes objetivos e eventuais carências, de cada entidade, de determinado setor, verifica-se a necessidade de implementação adequada de gestão de ativos, mesmo que recorrendo a diferentes abordagens e metodologias. A integração de abordagens de gestão de ativos numa organização, em qualquer setor, é fundamental para a obtenção de resultados mais fiáveis, através das sinergias combinadas de diversas práticas, nomeadamente práticas financeiras, económicas e de engenharia (Neto, 2015).

A excelência da gestão de ativos não se atinge sectorialmente, pelo que as organizações devem promover o envolvimento de todas as áreas, requerendo vários níveis de decisão e planeamento, em particular o nível estratégico, o nível tático e o nível operacional (Alegre et al., 2015; Alegre & Covas, 2010; Carriço & Covas, 2016).

Estes níveis são abordados nos requisitos da norma ISO 55001<sup>2</sup> de forma abrangente, não exigindo a produção de um plano para cada nível, contudo é preferível não saltar etapas e reter os seus conceitos chave de planeamento, decisão e atuação (Alegre et al., 2015; Alegre & Covas, 2010).

---

<sup>2</sup> A família de normas ISO 5500X é o primeiro conjunto de normas internacionais que sustentam a implementação das melhores práticas na gestão de ativos. Esta norma será mais detalhada na secção 2.1.5

O nível estratégico tem como princípio definir a direção a seguir para a organização, baseado numa visão de longo prazo, estabelecendo objetivos estratégicos e metas para o âmbito da gestão de ativos. O nível tático tem em vista delinear o caminho a adotar a médio prazo, determinando as prioridades de intervenção e as soluções a implementar. O nível operacional é respeitante à execução, de curto prazo, das ações programadas (Alegre et al., 2015; Alegre & Covas, 2010; Carriço & Covas, 2016; Ferreira, 2017).

Para melhor perceção destes níveis de planeamento, da gestão de ativos, na Fig. 3 são ilustrados genericamente, para cada um, a escala, o âmbito, o tipo de ação e o horizonte temporal.




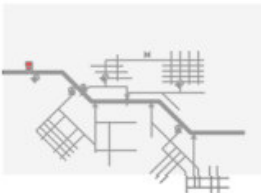
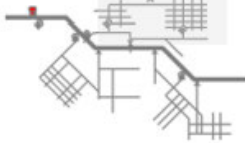
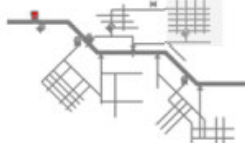






Níveis	Estratégico	Tático	Operacional
Escala	Macro-escala 	Escala intermédia 	Pormenor 
Âmbito	Sistema global 	Subsistemas e componentes críticos 	Grupos de componentes 
Tipo de ação	Define a direção 	Define o caminho 	Executa 
Horizonte temporal	Longo prazo 	Médio prazo 	Curto prazo 

Fig. 3 – Níveis de planeamento da gestão de ativos (Alegre et al., 2015)

Ao longo dos tempos, a gestão de ativos tem acomodado alterações profundas, tendo nos seus primórdios iniciado com registo em papel, prevalecendo ainda em algumas instituições. Depois progrediu para uma visão dos ciclos de vida dos ativos, permitindo o alinhamento da

gestão de ativos com os objetivos estratégicos organizacionais. A tendência futura é a integração da tecnologia nos próprios ativos, como já se verifica nos medidores de caudal, com a telemetria. A evolução da gestão de ativos, de cada organização, surge em consonância com a sua evolução da cultura corporativa e pode ser retratada pela Fig. 4 (Coelho, 2015).

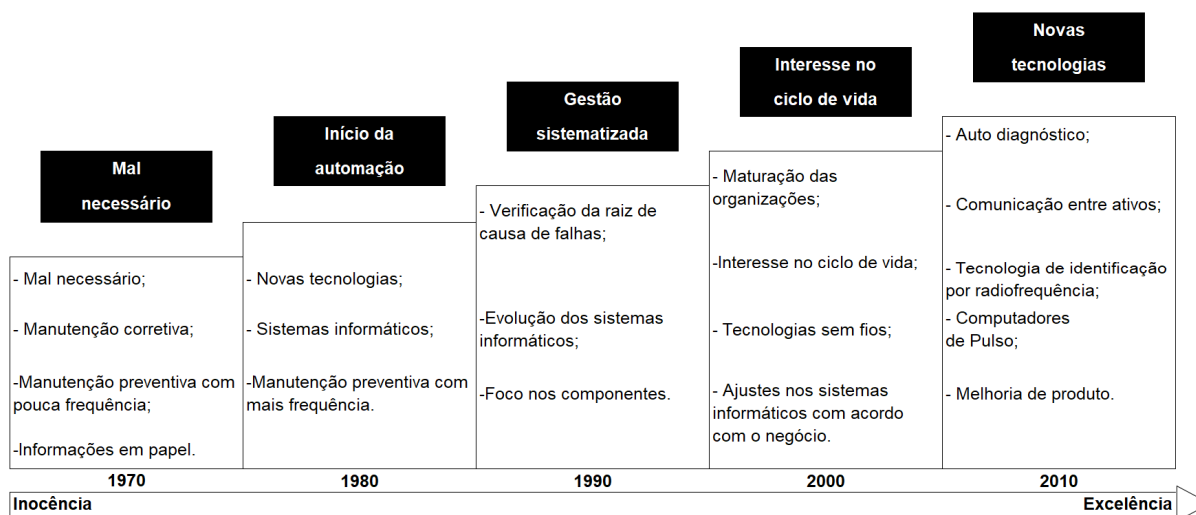


Fig. 4 - Evolução da gestão de ativos e do pensamento industrial adaptado de (Coelho, 2015)

Os gestores, perante a gestão de ativos, terão de considerar os *trade-offs*<sup>3</sup> entre a manutenção corretiva e a manutenção preventiva, entre as cobranças de curto prazo e as soluções de longo prazo, e entre os custos de hoje e os benefícios de amanhã (Giglio et al., 2018).

O conceito fundamental da gestão de ativos deve obedecer à relação entre as 3 curvas, representadas na figura Fig. 5, dos custos globais, do nível de risco e do esforço de gestão (eixos das ordenadas), em função dos momentos em que eventualmente podem acontecer, no tempo (eixo das abcissas), as intervenções de substituição/renovação de ativos (AdP, 2014).

A partir da Fig. 5, observam-se 3 zonas distintas de atuação, a zona 1 traduz uma atuação de substituição demasiado cedo, sem se preocupar com boas práticas de manutenção e minimização do esforço de gestão (redução do nível de risco). As intervenções correspondentes a esta zona talvez ocorressem quando existiam muitos recursos financeiros. Em situação inversa, localiza-se a zona 2 que reflete uma substituição tardia, acarretando um nível elevado de risco e manutenção reativa, levando a um maior esforço de gestão. Uma organização com boas práticas de gestão de ativos deve procurar atuar na zona 3, onde se verifica a posição mínima dos custos, mesmo possuindo um esforço de gestão mais elevado. Na zona 3 assume-se um nível de risco maior do que o da zona 1, contudo dentro de limites aceitáveis, identificados e medidos. Genericamente, a gestão de ativos é um exercício de otimização contínua, de análise do nível de risco e utilização corrente de indicadores que

<sup>3</sup> *Trade-offs* é uma expressão inglesa que significa o ato de escolher uma coisa em detrimento de outra e muitas vezes é traduzida como "relação de compromisso" ou "perde-e-ganha" <https://pt.wikipedia.org/wiki/Trade-off>.

possibilitem monitorizar. Salienta-se que é difícil atuar exatamente no momento mínimo da curva dos custos, subsistindo aproximações sucessivas, não havendo por isso uma fórmula milagrosa que nos identifique que chegou ao ponto 3 para a totalidade dos ativos de um sistema (AdP, 2014).

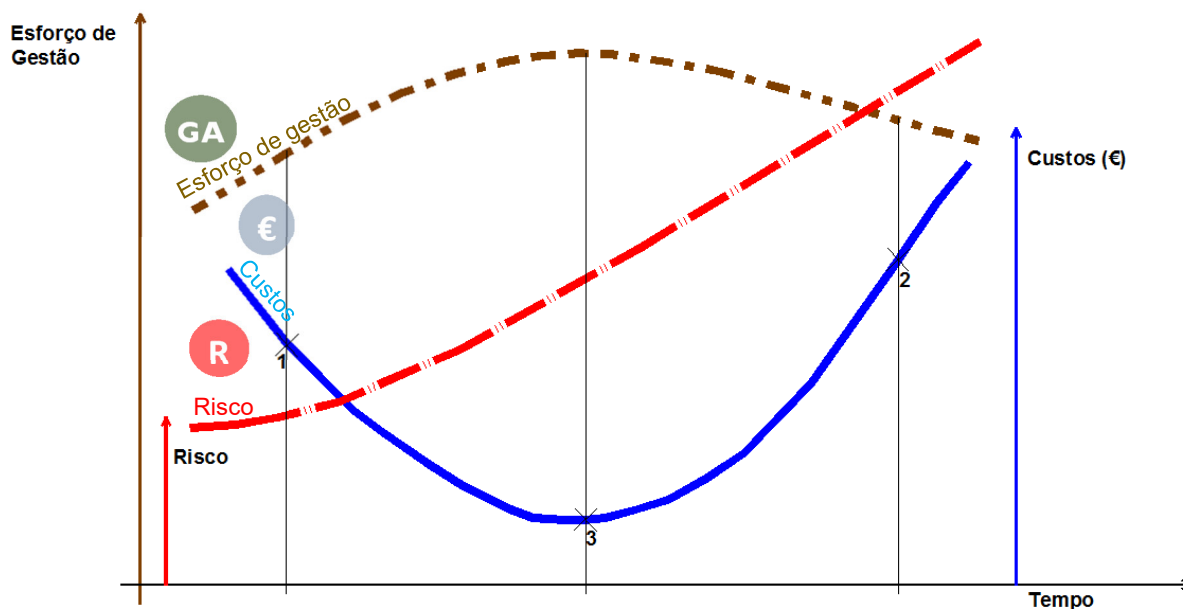


Fig. 5 – Esquema representativo entre custos, risco e esforço da gestão de ativos adaptado de (AdP, 2014; Silva & Serranito, 2014)

A gestão de ativos cada vez mais é considerada uma prática habitual numa empresa, principalmente naquelas empresas ativo-intensivas ou que dependem dos seus ativos para garantir um serviço, como é o caso das ligadas à energia, à água e indústrias de transformação. A implementação de gestão de ativos seguindo as boas práticas internacionais, possibilita além da monitorização do desempenho dos ativos, também contribui para a redução de custos de manutenção e minimização de ocorrência de falhas. Esta cultura não se revela somente nos aspetos técnicos e financeiros, mas também concorre para um envolvimento e conhecimento de todas as áreas da empresa, por forma a permitir uma partilha de toda a informação disponível sobre as suas infraestruturas (Azevedo, 2016; ICAB, 2018).

A dinâmica da gestão de ativos evolui com a recolha de comentários, tanto internos como externos, e a pesquisa constante de novas práticas e conhecimento mais atuais sobre a experiência ou implementação de outras organizações.

Todavia, existem várias variáveis que podem colocar em risco os resultados e a imagem da organização, em particular: a falta de fundamentação dos investimentos a realizar, o desconhecimento dos custos ao longo do ciclo de vida dos equipamentos, a ocorrência de falhas do serviço e a inexistência de uma gestão de risco apropriada. Estas variáveis associadas ou individualmente contribuem para que não sejam executados no devido tempo os investimentos necessários, sendo os mesmos protelados indefinidamente (Energy, 2018).

As empresas do setor da água tendem a ser vistas pelos outros sectores económicos e, em especial, pelas agências de financiamento, como organizações com alta inércia e baixa eficiência. Portanto, existe a necessidade de alcançar a eficiência de investimento, justificando clara e inequivocamente as prioridades de investimento e dando preferência a reabilitação de ativos existentes, em vez da construção de novos ativos, sempre que possível (Alegre, 2009).

A reabilitação de ativos existentes consiste numa qualquer intervenção física, de renovação ou de substituição, que prolongue a vida útil de um sistema ou melhore holisticamente o seu desempenho hidráulico, estrutural ou de qualidade da água (Castro, 2016).

Na família das normas ISO 5500x a função desempenhada pelo ativo, ao longo da sua vida, consta do topo da cadeia de decisão. No entanto, os sistemas de água são compostos por muitas infraestruturas que têm um comportamento holístico. Perante isto, a avaliação da qualidade de serviço deve ter em conta o sistema como um todo. É sabido que os ativos lineares, o caso das redes de distribuição e das condutas adutoras, por si só não fornecem um serviço, mas podem ser avaliados com diversos critérios que contribuirão para priorizar intervenções, pontuais ou setoriais. Estas intervenções permitirão aumentar a vida útil desses ativos, traduzindo-se diretamente na redução de falhas do serviço (Alegre et al., 2015).

É importante frisar que a opção deste estudo recai sobre as intervenções a realizar em condutas adutoras, visto que se encontram instaladas maioritariamente no subsolo, pelo que em condições normais de funcionamento, não estão incluídas em rotinas de manutenção preventiva, não sendo possível também realizar inspeções visuais ou de vídeo. As condutas adutoras, no seu conjunto perfazem um sistema complexo que tem grande impacto nos aspetos económicos, ambientais e sociais das sociedades, aquando da ocorrência de roturas. Atualmente conseguimos perceber que se caminha para abordagens mais pró-ativas e otimizadas para gerir sistemas de condutas subterrâneas, planeando as intervenções a longo prazo e reabilitando a curto prazo. Essas abordagens visam principalmente maximizar o retorno sobre o investimento, otimizando o orçamento disponível. O retorno sobre o investimento inclui maior desempenho de ativos, menor risco de falha e menor custo do ciclo de vida do ativo (Tee et al, 2014).

Como atrás referido o foco deste estudo, é a priorização de intervenções a realizar nas condutas adutoras de água tratada do sistema de abastecimento de água, pelo que é primordial explicar o seu conceito e envolvente.

### **Condutas adutoras – Conceito e envolvente**

Num Sistema Abastecimento de Água são chamados sistemas em alta, os sistemas compostos por um conjunto de componentes a montante de uma rede de distribuição, os quais fazem a ligação do meio hídrico (captação da água) até ao sistema em baixa. Por seu lado, os sistemas em baixa são formados por um conjunto de componentes que permitem prestar aos consumidores o serviço de abastecimento de água. Estes sistemas podem ser integrados quando a ligação entre a captação e o consumidor é garantida pelo mesmo sistema. Os pontos de entrega normalmente definem o limite do sistema em alta e o início do sistema em baixa, sendo o local onde se processa a entrega de água para consumo humano. É caracterizado por ser um local onde geralmente é colocado um medidor de caudal para fins de faturação, entre entidades gestoras (ERSAR & LNEC, 2020; Despacho n.º100/2011, 2011).

Entende-se como condutas adutoras, ou simplesmente adutoras ou condutas, o conjunto de tubos circulares montados em serie, de eixo retilíneo, ligados por acessórios. Destinam-se ao transporte de água, possuindo um escoamento sob pressão em regime permanente, por ação gravítica ou por ação de elevação mecânica (Marques & Sousa, 2014; Quintela, 2011). Realça-se que o escoamento, das condutas sob pressão, pode ser gravítico, elevado ou misto, este último se estiver a junção dos dois anteriores.

As condutas adutoras formam um sistema de adução, que é repartido segundo a qualidade da água que transportam, nomeadamente rede de água bruta ou rede de água tratada. A rede de água bruta compreende o transporte de água bruta, ou seja, não tratada, desde a captação até à Estação de tratamento de Água (ETA). Por sua vez, a rede de água tratada abrange as condutas adutoras que transportam a água, que já foi sujeita a um tratamento adequado e está pronta para consumo, indo desde a ETA até aos pontos de entrega. Os pontos de entrega do sistema em estudo precedem a rede de distribuição, correspondendo assim às extremidades das condutas adutoras da rede de água tratada. Este sistema de adução, da forma atrás descrita, designa-se por adução ramificada, isto é, transportam água através de uma conduta principal e podem possuir vários ramais até aos diversos pontos de entrega, localizados a cotas distintas, fazendo ligação com os reservatórios (Mariano, 2014).

Importa ainda notar que o escoamento nos sistemas de adução podem dar-se em superfície livre (por canais ou galerias, mais utilizado desde a captação até uma Estação de Tratamento de Água (ETA)) ou sob pressão (mais seguro para o transporte de água tratada até aos consumidores finais).

Normalmente, num sistema de abastecimento de água o sistema de adução apresenta a componente mais penosa de conceber, projetar e construir e a mais difícil de vigiar e reparar. Esta componente traduz-se num avultado investimento inicial e muito dispêndio de tempo para colocar em funcionamento (Sousa, 2001). Perante isto, é importante ter uma atuação proactiva e tentar agir a montante de eventuais problemas de operação, devendo-se estudar as possíveis causas e sintomas de falhas que as condutas podem padecer.

Para melhor compreender as causas e sintomas das falhas é necessário um processo de recolha, registo e tratamento dos dados referentes a todas falhas ou anomalias e avaliar os fatores que contribuem para as falhas/ roturas nas adutoras, como esquematizado na Fig. 6.

Em paralelo, é imprescindível realizar uma avaliação da natureza da falha ou anomalia, para se atuar implementando a melhor solução possível. A natureza das falhas ou anomalias podem ser: estrutural, hidráulica, de qualidade de água ou de operação e manutenção. Em síntese, esquematizam-se as naturezas das falhas/anomalias e as soluções possíveis de intervenção na Fig. 7 (Alegre & Covas, 2010; Silva & Serranito, 2014).

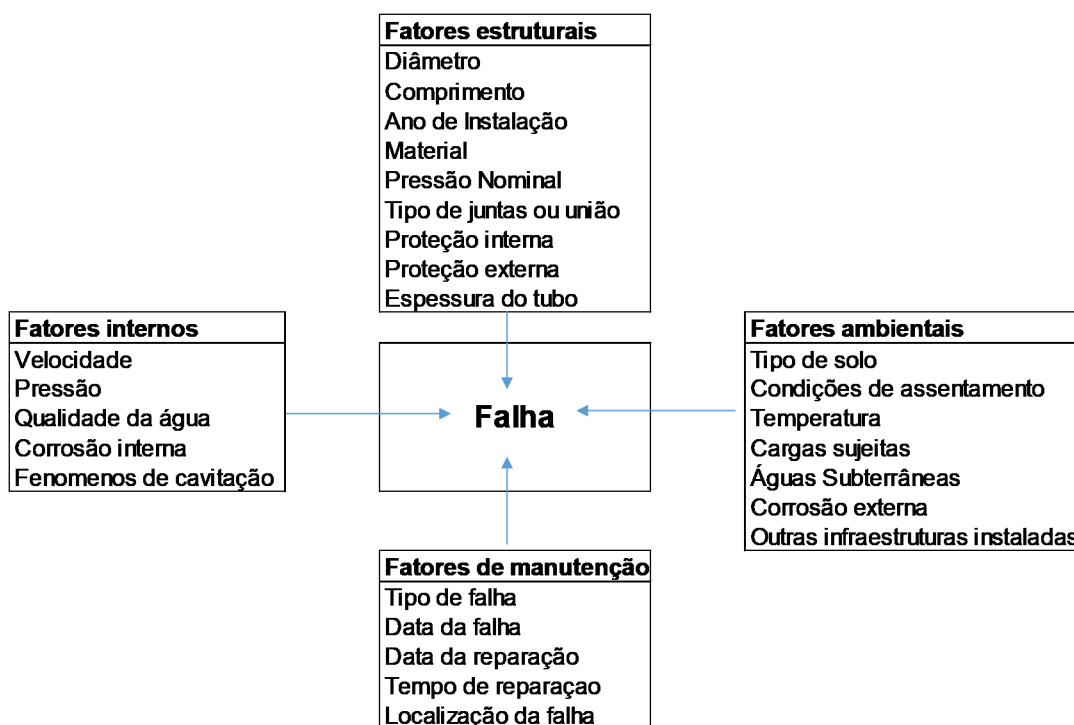


Fig. 6 – Fatores com possível influência na ocorrência de falhas em condutas de água – Adaptado de (Patil, 2012; Silva & Serranito, 2014)

Estrutural	Hidráulica	Qualidade da Água	Operação e Manutenção
Falta de estanquidade (renovação)	Insuficiente capacidade de transporte (renovação)	Degradação da qualidade de água devido à entrada de poluentes no sistema (renovação)	Ineficiência/degradação da operação e manutenção (renovação)
Perda de resistência estrutural (substituição)	Velocidade muito baixa (renovação)	Degradação da qualidade de água devido ao contacto com os materiais (substituição)	Insuficiência de fiabilidade do serviço (substituição)
	Velocidade excessiva (redução de caudal)	Degradação da qualidade de água no seio do escoamento (renovação)	
	Alterações Bruscas de Pressão (substituição)		

Fig. 7 – Esquema de falhas/anomalias por naturezas e soluções possíveis de intervenção – adaptação (Alegre & Covas, 2010; Silva & Serranito, 2014)

Em suma, o envelhecimento das condutas (idade), as características físicas da tubagem (material), o caudal que transportam (indiretamente a pressão e a velocidade) contribuem para a sua deterioração e eventual rotura, pelo que a previsão de desempenho destas

infraestruturas em função destes critérios, vão ser parte da base deste estudo, que ditará as intervenções prioritárias a realizar no sistema.

Antes de mais, um critério ou atributo pode ser considerado um modelo que engloba a informação essencial para integrar uma base de avaliação relativa (definir se uma ação é melhor ou pior que outra) ou absoluta (definir se uma ação é melhor ou pior que algum standard ou padrão). Cada critério terá uma escala sujeita aos dados disponíveis e à sua própria natureza (Castro, 2016; Rocha, 2011).

Salienta-se que cada critério deve cumprir as exigências respeitantes à interligação dos mesmos, fomentando a criação de uma família coerentes de critérios, (Castro, 2016; Rocha, 2011; Spackman et al., 2009), possuindo as seguintes propriedades:

- Mensurabilidade, no sentido de ser possível avaliar, pelo menos qualitativamente, até que ponto uma determinada opção funciona em relação ao critério.
- Exaustividade ou abrangência, garantindo que são incluídos todos os critérios necessários para comparar o desempenho das opções;
- Redundância – devem ser não redundantes, evitando a duplicação de critérios que frui como consequência a sobrevalorização da sua importância. Quando isto acontece deve ser removido esse critério;
- Operacionalidade - o critério deve ser definido suficientemente claro para ser avaliado, incluindo o tempo e o esforço disponíveis;
- Isolabilidade - Independência mútua de preferências, isto é, critérios independentes entre si. Sempre que vários critérios convergem para um único objetivo, devemos agregar num mesmo critério de avaliação.
- Necessários e suficientes (Tamanho): Um número excessivo de critérios leva a um esforço analítico adicional na avaliação dos dados introduzidos e pode tornar a análise mais difícil. Os critérios devem ser explicitamente ponderados, assegurando coerência entre o número de critérios escolhidos e os prováveis.

## 2.1.2 ATIVOS

A génese da gestão de ativos são os ativos, pelo que é necessário perceber do que se trata. O termo “ativo” é bastante utilizado em todas as organizações e na sociedade atual, sendo que, existem cinco tipos de ativos, que devem ser geridos de forma holística, nomeadamente: os físicos, os humanos, os de informação, os financeiros e os intangíveis (IAM & BSI, 2008).

Qualquer elemento de uma infraestrutura de um sistema, que tem valor potencial para as concessionárias ou entidades gestoras pode ser considerado como ativo. Alguns dos ativos mais conhecidos na distribuição de água são condutas, bombas, válvulas, reservatórios e medidores de caudal, entre outros. Cada um dos ativos tem as suas características de gestão, valores monetários e operacionais, período de vida útil, risco de falha e aspetos de custo e investimento variáveis (Yazdandoost & Izadi, 2018).

Os ativos físicos referem-se a equipamentos instalados no terreno e/ou localizados em armazém e imóveis (Zampoli, 2015).



Os ativos humanos compreendem a motivação, a experiência, responsabilidades e conhecimento humano. Por sua vez, os ativos de informação são os dados informativos de atividades, condição, dados em formato digital, informação empresarial e de clientes e informação de desempenho financeiro. Os ativos financeiros correspondem aos custos de ciclos de vida, ao critério de capital investido, aos custos de operação, aos lucros, às ações e às dívidas (Coelho, 2015).

Por último, os ativos intangíveis, que são os não físicos, como os alugueres, marcas, ativos digitais, propriedades intelectuais, licenças de uso, imagem e acordos (Zampoli, 2015).

Torna-se evidente que todos os tipos de ativos são importantes para a abordagem e eficácia da gestão de ativos, estando interrelacionados e atuando ativamente nos processos incluídos nessa gestão. Todavia, os ativos físicos são o centro da gestão de ativos e estão interdependentes dos outros tipos de ativos da organização, como ilustrado na Fig. 8.



Fig. 8 – Ativos físicos relação com os outros tipos de ativos adaptado de (IAM & BSI, 2008)

A norma NP ISO 55000:2016 veio caracterizar um ativo como um bem, algo ou entidade, que tem valor real ou potencial para uma empresa, podendo esse valor ser variável consoante a organização ou as partes interessadas, ser tangíveis ou intangíveis, financeiro ou não financeiro.

Ainda conforme essa norma, a gestão de ativos pode ser definida como atividades organizadas, de uma empresa, para gerar valor através dos seus ativos, envolvendo o equilíbrio entre os custos financeiros, ambientais e sociais, o risco, a qualidade de serviço e o desempenho associado.

O termo "atividade" encontra-se definido na norma como possuindo um significado vasto e abrange, por exemplo, a abordagem, o planeamento, os planos e suas implementações. Pode ainda englobar a estrutura da organização, funções e responsabilidades, operação, manutenção, desenvolvimento de competências e sistemas de informações.

De acordo com a NP ISO55001:2016, as relações entre as várias áreas de atuação da gestão de ativos, dentro de uma organização, pode ser representada pela Fig. 9. Segundo se pode observar na Fig. 9, a gestão de ativos incorpora um sistema de gestão de ativos responsável pela determinação da política e dos objetivos da gestão de ativos.

Resumidamente, a gestão de ativos é um processo integrado de tomada de decisão, planeamento e controlo quanto à aquisição, uso, proteção e abate de ativos, maximizando o seu potencial de resposta em serviço e seus benefícios. Este processo visa minimizar os níveis de risco que lhes estão associados e os respetivos custos, ao longo do seu ciclo de vida. A sustentabilidade da entidade gestora deve ser garantida, através da capacitação para satisfazer as necessidades atuais e futuras dos consumidores, através da manutenção dos ativos existentes (CEGA, 2017).

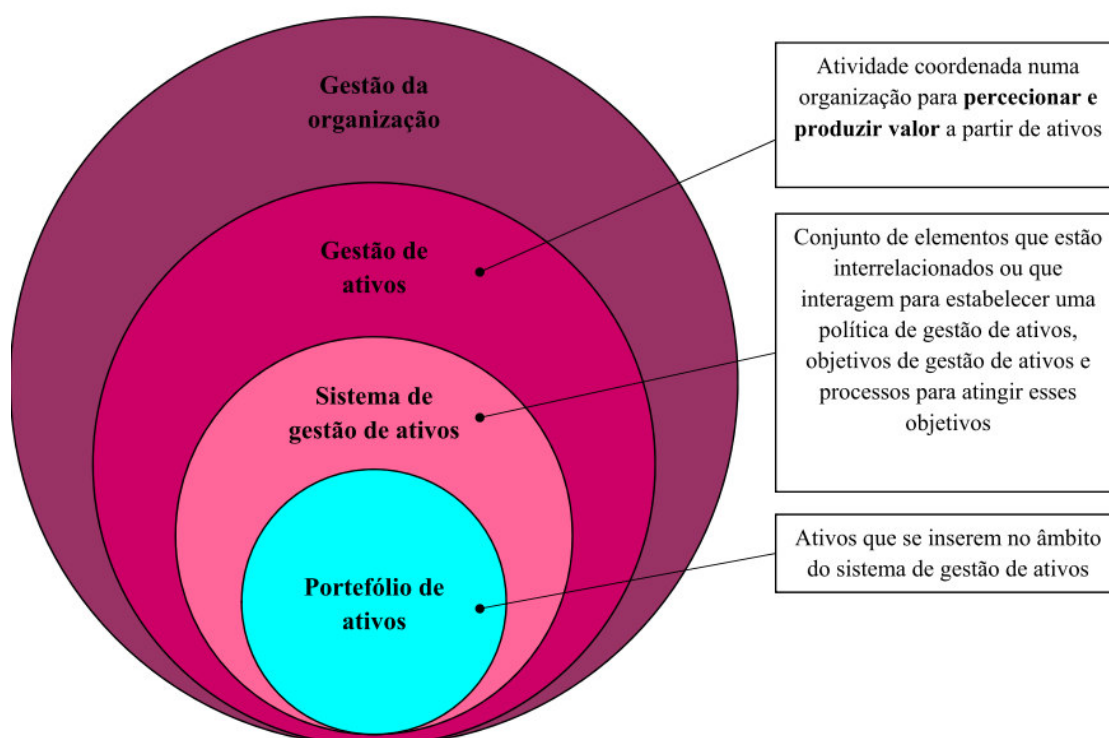


Fig. 9 – Relações entre os principais termos na gestão de ativos – extrato da NP ISO55001:2016

### 2.1.3 CICLO DE VIDA DOS ATIVOS

A gestão do ciclo de vida de ativos é definida como a combinação de práticas de gestão, financeiras, económicas, engenharia e outras, aplicadas ao longo do ciclo de vida dos ativos físicos, para fornecer o nível de serviço necessário, para os clientes presentes e futuros o mais económico possível. Sinteticamente, representa uma abordagem sistemática e holística para o desenvolvimento e a preservação de ativos, garantindo o máximo desempenho do serviço com custos mínimos do ciclo de vida (Giglio et al., 2018).

Entender que os ativos têm um ciclo de vida é um conceito chave dentro da gestão de ativos (Davis, 2012). A correta gestão do ciclo de vida dos ativos é sempre fundamental,

principalmente nas entidades com grande capital de ativos, na medida em que garante e mantém os ativos operacionais ao mais baixo custo. O subinvestimento na manutenção das infraestruturas ou ativos concorrem largamente para a iminência de falhas e a renúncia da adequada gestão do ciclo de vida dos mesmos (Giglio et al., 2018).

Os ativos passam por várias fases ao longo do seu ciclo de vida, correspondendo a determinadas partes da atividade. Assim, as organizações devem analisar o portfólio de ativos ao longo de todo o ciclo de vida, por forma a tomar decisões e poder definir a estratégia de ativos. A estratégia global a seguir para a gestão de ativos pode ser acompanhada de um programa de medição com indicadores de desempenho, avaliando as atividades e praticas implementadas (Coelho, 2015).

A representação esquemática, das diferentes fases do ciclo de vida dos ativos, pode ser observada de diversas formas, como representados por (AdP, 2014; Bento, 2015; CEGA, 2017; Davis, 2012; Giglio et al., 2018; Gonçalves, 2016; Hastings, 2015). No cômputo geral, têm em comum as fases de planeamento, de construção, de utilização (operação, manutenção) e de desativação. O esquema do ciclo de vida de um ativo físico, que se encontra mais detalhado é proposto por (Hastings, 2015), e que se apresenta na Fig. 10.



Fig. 10 - Ciclo de vida dos ativos físicos, adaptado de (Hastings, 2015)

Alguns dos diagramas, do ciclo de vida de ativos analisados, destacam a função de planeamento. Na Fig. 10 as fases de “Identificação de oportunidades e necessidade de negócio” e a “Análise pré-aquisição” englobam todas as atividades de planeamento, nomeadamente o projeto e as especificações do ativo. A aplicação adequada dessas atividades garante que o ativo é adequado ao objetivo (Davis, 2012).

Salienta-se ainda que as primeiras 2 etapas, ilustradas na Fig. 10, são fundamentais para o ciclo de vida dos ativos, uma vez que ao efetuar a correta seleção ou opção, de determinado ativo, conduz ao alinhamento dos objetivos estratégicos das organizações com os objetivos da gestão técnica dos ativos ou equipamentos, prevendo os custos do ciclo de vida total (Tancredo, 2018).

Na fase de aquisição e implementação, é necessário garantir que os ativos a construir, a instalar ou adquirir obedecem às especificações definidas anteriormente. Além disto, importa assegurar o acompanhamento das obras e o controlo de qualidade e de custos de execução. Também é importante a recolha de informação nesta fase, sobre o ativo, que deve ser mantida e tida em conta em intervenções posteriores e nos planos de manutenção (AdP, 2014). Ainda nesta fase, existe uma maior incidência de falha após a primeira instalação / construção de um ativo, devido a potenciais erros de instalação e defeitos nos materiais ou fabrico, refletindo-se na necessidade de supervisionar o funcionamento inicial do ativo (AdP, 2014; Davis, 2012).

A fase de operação e manutenção (utilização) normalmente corresponde à maior parte do ciclo de vida de um ativo durante o qual fornece a função para a qual foi designado. Durante esse período, o ativo deve estar sujeito a monitorização apropriada, manutenção, remodelação e potencial atualização para atender a qualquer mudança de condição ou requisito operacional. Para muitos ativos, essa fase é de décadas ou mesmo séculos. É a fase que muitos engenheiros estão mais familiarizados (Davis, 2012).

Assim, a fase de utilização condiz com a vida útil técnica dos ativos, muito importante para garantir a sua operacionalidade, cumprindo eficazmente a sua função. Desta forma, nesta fase pretende-se reduzir o número de falhas (garantia de serviço) com o menor custo possível, sendo este o papel da função "Manutenção" (AdP, 2014). Normalmente, a variação da taxa de falha dos ativos, durante o seu ciclo de vida, é muito inconstante ao longo do tempo, representa-se na Fig. 11 essa evolução, através da designada curva de banheira (*Bathtub Curve*).

A curva da banheira consiste em três períodos: um de mortalidade infantil com uma taxa de falha decrescente seguida por um período de vida normal (também conhecido como "vida útil técnica") com uma taxa de falha relativamente baixa e terminando com um período de desgaste que exhibe uma taxa de falha crescente (Wilkins, 2002).



Fig. 11 – Gráfico curva de banheira – evolução da taxa de falhas de um ativo – (Reis & Andrade, 2009)

O terceiro período da curva (Fig. 11), representa uma elevada frequência de falhas motivadas pela deterioração por envelhecimento, fadiga e/ou desgaste dos ativos. A tendência do crescimento da taxa de falhas é, em geral, exponencial, sendo normalmente indiciador do final da vida económica dos ativos, correspondendo à fase de desativação, desmantelamento ou alienação do ativo fixo. Nesta fase, os ativos apresentam um aumento significativo dos níveis de manutenção (preventiva e curativa), que deixam de ser justificáveis economicamente.

Na fase de utilização é crucial uma análise mais fina da condição dos ativos e do seu desempenho, em paralelo com os custos incorridos e a incorrer na manutenção. Devem ser ponderadas e justificáveis todas as deliberações sobre manter, reabilitar ou substituir e desativar, fomentando uma abordagem preventiva em vez de uma atuação curativa. Para tal, pode-se utilizar os gráficos ilustrados nas figuras Fig. 12 e Fig. 13, de evolução da condição dos ativos em função do modelo de manutenção adotado e dos custos de manutenção (AdP, 2014).

Da análise às Fig. 12 e Fig. 13, observa-se que quanto maior for o período temporal entre as intervenções de manutenção de um dado ativo, maior será a velocidade de deterioração do mesmo e o seu subsequente aumento da probabilidade de falha. Torna-se evidente que a prática da manutenção preventiva traz vantagens tanto ao nível dos custos globais envolvidos como na diminuição da probabilidade de falha e aumento do desempenho do ativo na sua função. A manutenção preventiva permitirá através de exames adicionais específicos aos equipamentos, conhecer melhor o comportamento dos diversos ativos, contribuindo para a criação de modelos preditivos, a aplicar nos mesmos prolongando a sua vida útil (AdP, 2014).

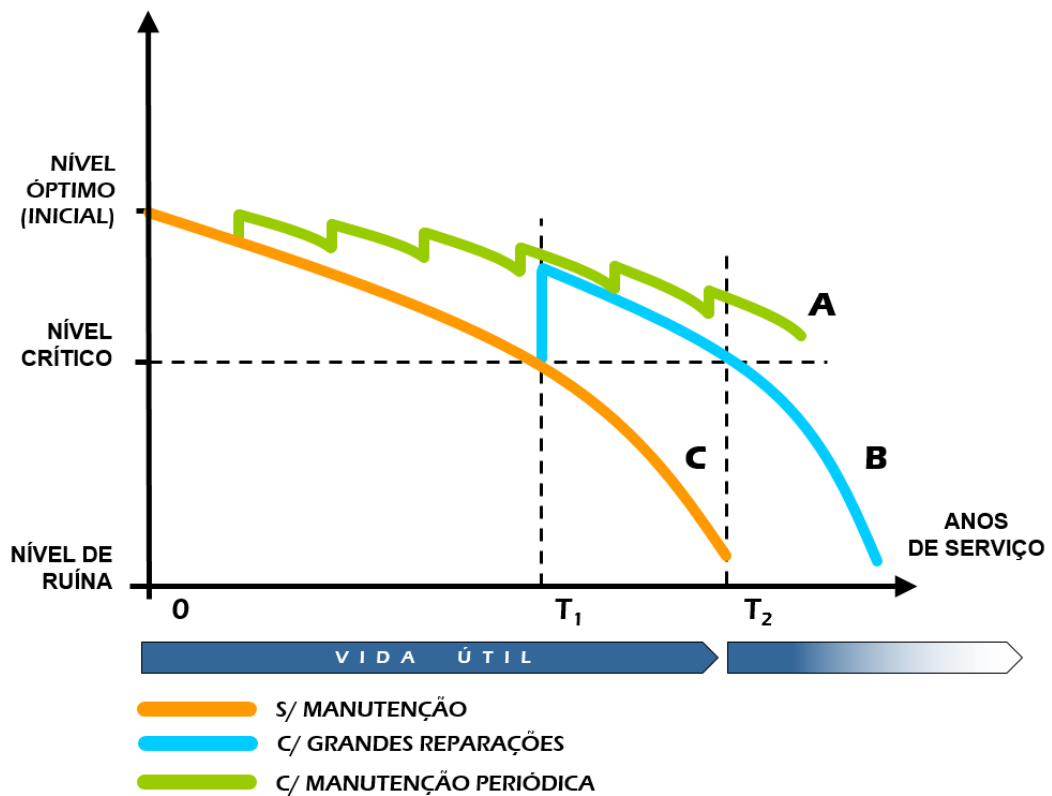


Fig. 12 – Evolução da condição dos ativos - (AdP, 2014)

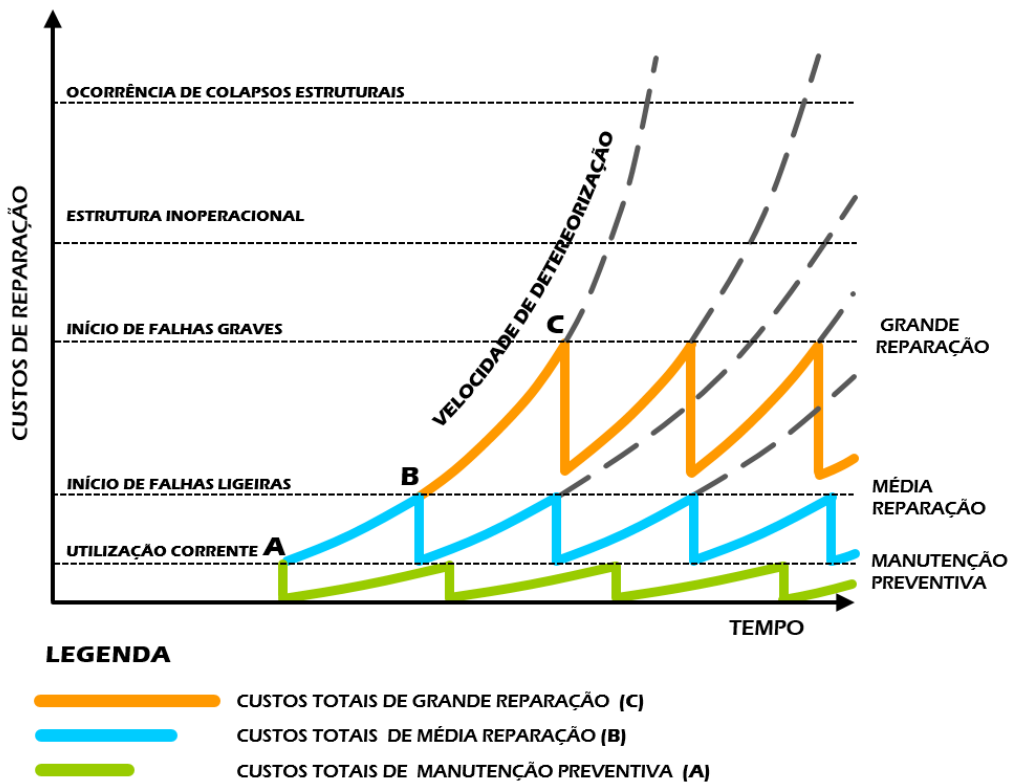


Fig. 13 – Custos de manutenção - (AdP, 2014)

A fase de desativação, desmantelamento ou alienação do ativo fixo é frequentemente a fase mais negligenciada. Os ativos podem durar além da vida humana e pode ser difícil considerar a alienação ou desativação de ativos, quando essa etapa está tão longe de se concretizar. A gestão de ativos ensina que ignorarmos qualquer estágio do ciclo de vida do ativo é um grande risco, sendo qualquer período importante na vida de um ativo. Atividades-chave durante este período incluem a remoção efetiva do ativo da operação; a eliminação ou reciclagem do ativo ou seus componentes; e alimenta o planeamento do ativo de substituição (se de uma substituição se tratar) para determinar os requisitos com base na eficácia da operação e os modos de falha encontrados (Davis, 2012). Esta fase, dependendo das condições físicas do ativo, poderá levantar algumas dificuldades na remoção eficaz (e.g., o caso de ativos ligados à produção de produtos químicos) (Bento, 2015).

Em suma, é vantajoso a conceção de um modelo de gestão do ciclo de vida dos ativos, físicos e estratégicos, incluindo todos os processos e métodos que concorrem para uma atuação eficaz no ativo. Este modelo deve abranger também a recolha de dados e a sua integração numa plataforma de dados sobre os ativos e registo de ativos.

A aplicação da abordagem da gestão do ciclo de vida dos ativos é pré-condição para a sustentabilidade da organização, tendo surgido em resposta à crescente preocupação com a influência que as atividades industriais modernas incidem sobre o ambiente. A gestão do ciclo de vida dos ativos não é uma ferramenta única ou metodologia, mas um quadro flexível de gestão integrada de conceitos, técnicas e procedimentos que incorporam aspetos ambientais, económicos, sociais e técnicos, conforme consta na Fig. 14 (Haffejee & Brent, 2019).

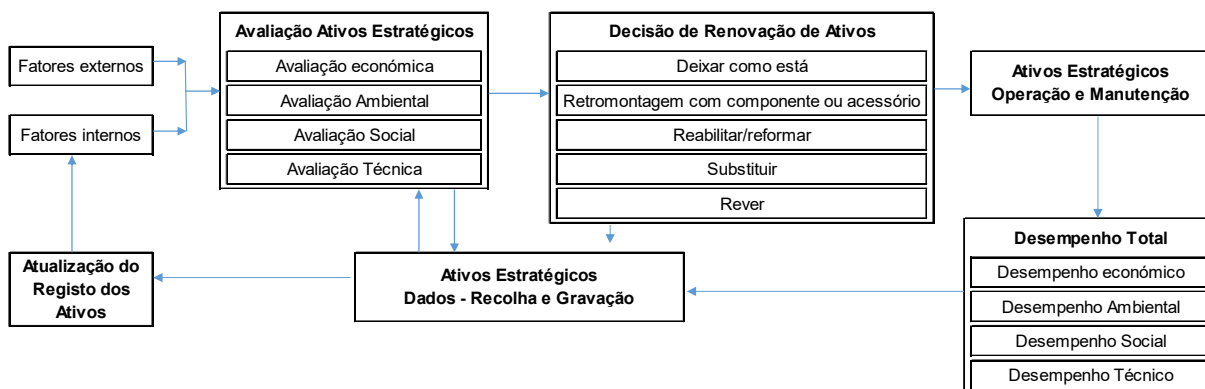


Fig. 14 – Gestão total do ciclo de vida dos ativos físicos, adaptado de (Haffejee & Brent, 2019)

Em termos gerais, a gestão do ciclo de vida dos ativos reflete um processo de orientação de planeamento, aquisição, uso e desativação de ativos, de modo a tirar o máximo proveito do benefício económico e gerir riscos e custos ao longo desse ciclo. Salienta-se que é importante recolher e registar os dados de desempenho total dos ativos, validando e gravando. Os dados são verificados em relação ao projeto e aos parâmetros de desempenho, adaptados às condições atuais de instalação. Com estes dados pode-se prever uma tendência de dados e possuir informação histórica da sua utilização. Este histórico conjugado com metodologias de predição será determinante para efetuar pequenos ajustes ou sinalizar o sistema relativamente ao desempenho do ativo, quando se deteriora a um nível inaceitável (Haffejee & Brent, 2019).

Nos dias de hoje, a gestão de ativos não é uma opção para as organizações de capital intensivo em ativos, mas sim uma obrigatoriedade. Em todo o mundo, cada sociedade enfrenta um significativo desafio de gestão de ativos, estando cada um no seu estágio (Davis, 2012), a saber:

- As economias emergentes estão a tentar identificar os menores custos que podem incorrer com vista ao maior retorno dos investimentos, por forma a obter o máximo benefício imediato;
- Os países desenvolvidos estão a compilar e compreender os custos do ciclo de vida das suas infraestruturas, para atuar em conformidade;
- As economias mais maduras estão a pesquisar e implementar práticas para prolongar a vida das suas infraestruturas, estudando também a adaptação a novos desafios globais, como as alterações climáticas.

Para se ter uma noção dos prazos de vida útil definidos para cada infraestrutura, do setor da água, apresentam-se no Quadro 1, com base no Decreto Regulamentar n.º 25/2009, de 14 de setembro.

Quadro 1 – Períodos de Vida Útil (Infraestruturas de Abastecimento de Água) (Contrato de Concessão da Águas do Algarve, S.A.)

Abastecimento de Água		Construção Civil e Material Hidráulico (anos)	Equipamentos e Outros Materiais (anos)
Barragens	Enrocamento e Terra	50	20
	Betão	60	20
Captações		40	20
Estações de Tratamento de Água		50	20
Postos de cloragem		30	15
Estações Elevatórias		50	20
Condutas Adutoras	FFD; Aço	50	-
	PVC; PEAD; Outros	30	-
Reservatórios		50	-
Telegestão		-	12

Ainda dentro do ciclo de vida do ativo, é de destacar a envolvente interna e externa, de toda a organização, não devendo ser descurado as expetativas das partes interessadas.

#### 2.1.4 PARTES INTERESSADAS PARA A GESTÃO DE ATIVOS

Na norma NP ISO 31000, 2018 a parte interessada é definida como uma pessoa ou organização que pode influenciar, ser influenciado ou sentir-se afetado por uma decisão ou atividades.



No caso do setor da água é importante identificar as partes interessadas que influenciam o sucesso da gestão de ativos. É um setor que se caracteriza como monopólio natural e legal e tem um grande impacto no ambiente e na qualidade de vida da população.

No setor da água, que é o setor do caso de estudo apresentado na secção 3, as partes interessadas são as seguintes:

- Internamente, existem diversos departamentos das entidades gestoras, com especial enfoque às áreas financeira e de contabilidade;
- Externamente, as principais partes interessadas neste processo, são (AdP, 2014):
  - Concedente, entidade competente para zelar pelo cumprimento do contrato de concessão no que concerne, entre outros aspetos, à avaliação da aptidão funcional das infraestruturas e à garantia da sustentabilidade do serviço a longo prazo.
  - Acionistas requerem a valorização dos ativos das empresas num contexto de sustentabilidade e eficiência.
  - Financiadores, entidade que deve ter confiança na organização, pelo que importa demonstrar o valor dos ativos de forma transparente e fiável.
  - Seguradoras, na medida em que as atividades exigem apólices para cobrir situações de força maior ou não previstas. Neste sentido, é necessário demonstrar a melhor gestão do desempenho, dos riscos e dos custos de uma forma muito eficaz e eficiente.
  - Regulador, uma vez que é um monopólio natural e legal que condiciona a concorrência, além dos aspetos descritos anteriormente, tem de ser assegurada a proteção dos interesses dos utilizadores, sem prejuízo da salvaguarda dos direitos das entidades gestoras. O modelo regulatório também se centra na valorização dos ativos, sustentabilidade e eficiência dos serviços.
  - Projetistas e Empreiteiros, visto que são prestadores de serviços que concorrem para o desempenho infraestrutural e devem, por isso, integrar nas suas práticas as metodologias de gestão de ativos adotadas pelas empresas.
  - Municípios serão os possesores das infraestruturas no final do prazo da concessão, e são simultaneamente clientes dos sistemas, ditos em “Alta”, a quem tem de ser prestado um serviço com o nível de qualidade exigido nos contratos.
  - Investigadores devem saber as preocupações do setor e os desafios futuros das empresas neste domínio, conducentes à inovação e melhoria das abordagens, sistemas e tecnologias na área de gestão de ativos.

Depois de identificadas as partes interessadas, é importante corresponder às suas expectativas e requisitos inerentes ao sistema de gestão de ativos, definindo claramente como se relacionam com o sistema e quais os objetivos que devem ser considerados. Relativamente aos requisitos das partes interessadas, deve ser tido em atenção o registo e documentação de informações financeiras e não financeiras pertinentes à gestão de ativos (Zampoli, 2015).

### 2.1.5 PAS 55 E ISO 55000

No final do século XX, e como referido atrás, atendendo aos requisitos que se impunham nos negócios da Europa, os quais requeriam a gestão de muitos ativos, aliado à falta de normas relevantes, o *Institute of Asset Management* (IAM) em conjunto com a *British Standard Institute* (BSI) desenvolveu uma especificação sobre a gestão de ativos, contando com 23 organizações, maioritariamente do Reino Unido, e em 2004, foi publicada a *Publicly Available Specification 55* (PAS 55). A PAS 55 constitui uma das primeiras especificações que efetua a abordagem da gestão de ativos físicos, baseando-se na metodologia do ciclo PDCA: *Plan-Do-Check-Act* (Planear-Executar-Verificar-Atuar), a qual é aprofundado na secção 2.1.5.1. (ZhaoMA et al., 2014).

Esta especificação era a única referência nesta área, pelo que provocou muito interesse no mercado. Foi revista e atualizada em 2008, com a participação de 50 organizações de 15 setores da indústria e envolvendo 10 países, tendo levado 6 anos a ser desenvolvida. Ao longo deste período, foram efetuadas revisões resultantes da experiência dos intervenientes na gestão dos ativos, das organizações envolvidas (IAM, 2019). A PAS 55 constituiu uma base organizada para coordenar processos de gestão de ativos e foi adotada e implementada em muitas indústrias, tanto no setor público como no privado e em diferentes países e contextos (CEGA, 2017). Foi aplicada em diversos sectores de atividade, como óleo, gás, eletricidade, água, resíduos, transportes, aviação, petrolífera, extração de minério, produção e distribuição, entre outros, conduzindo a melhorias substanciais no desempenho operacional e financeiro dos ativos (Hastings, 2010).

Nos Estados Unidos da América a preocupação sobre esta temática começou nos anos 90, quando o ex-presidente americano, Bill Clinton assinou uma diretiva do governo em junho de 1999, onde mencionava o requisito do custo do ciclo de vida de cada ativo e projeto. O Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica (EPRI), desse país, iniciou uma pesquisa da gestão do ciclo de vida da fábrica de energia nuclear, tendo em 1998 elaborado um guia de implementação. Posteriormente, em 2005, estudou a gestão de ativos na estrutura do sistema de energia e realizou uma série de casos de estudos, por forma a obter estratégias de gestão de ativos dos cabos subterrâneos. Após esses estudos esse instituto propôs o SAM (Smart Asset Management), e os métodos desenvolvidos para a sua gestão de ativos, semelhantes aos da PAS 55 (ZhaoMA et al., 2014).

No que se refere à PAS 55:2008 é constituída por dois documentos, um a PAS 55-1:2008 onde são descritos os requisitos e especificações a que deve obedecer a gestão de ativos físicos ao longo do seu ciclo de vida e a PAS 55-2:2008 é um guia de implementação contendo algumas orientações ou ferramentas que possibilitam a aplicação dos requisitos contemplados na PAS 55-1:2008. Estes documentos trouxeram linhas orientadoras, para lá das fronteiras britânicas, essenciais à gestão de ativos, mas não se destina a ser certificável.

Após a revisão da PAS 55, a Organização Internacional de Normalização (ISO), agarrou nesta especificação e foi o ponto de partida para o desenvolvimento da família de normas ISO 5500x, publicadas em 2014. Na elaboração destas normas, Portugal teve uma participação ativa, sendo as mesmas direcionadas para a gestão de ativos dos sistemas urbanos de água

(Alegre et al., 2015). Esta serie de normas foi transposta para norma portuguesa em 2016 e composta por três normas:

- NP ISO 55000:2016 – Gestão de ativos, visão geral e terminologia. É efetuada uma visão geral do tema da Gestão de ativos, dos seus princípios, terminologia e benefícios esperados.
- NP ISO 55001:2016 – Gestão de ativos. Sistemas de gestão. Requisitos. Especifica os requisitos para estabelecer, implementar, manter e melhorar um sistema de gestão focado na gestão de ativos eficaz.
- NP ISO 55002:2016 – Gestão de ativos. Sistemas de Gestão. Define linhas de orientação para a aplicação da ISO 55001 e para a aplicação de um sistema de gestão de ativos.

As três normas internacionais, atrás enumeradas, são bastante importantes, porque representam o consenso global na gestão de ativos e podem gerar valor em todas as organizações (IAM, 2019).

A relação entre os documentos da PAS 55 e os da Serie ISO 5500x, nomeadamente a ISO 55000 e ISO 55001 advém da PAS 55-1 e a ISO 55002 corresponde diretamente à PAS 55-2 (Coelho, 2015; ZhaoMA et al., 2014).

A ISO 55002:2014 desde a sua primeira publicação, em 2014, foi amplamente difundida e aplicada em mais de 30 países, pelo que a experiência adquirida na implementação da ISO 55001:2014, resultou na sua revisão, a qual foi republicada em novembro de 2018. Esta nova versão visa clarificar e detalhar os requisitos conducentes à aplicação da norma ISO 55001, nas suas quatro vertentes da gestão de ativos: valor, alinhamento, liderança e garantia (ISO & CT251, 2018).

É importante uma gestão eficiente e sustentável das organizações, em particular do portefólio dos ativos físicos das atividades produtivas que dependem deles, por forma a assegurar os níveis de serviços e a continuidade do serviço prestado (Alegre et al., 2015).

Importa frisar que a serie ISO 5500x permite uma certificação de acordo com os seus requisitos, sendo um referencial a qualquer tipo de organização independentemente da sua dimensão e dos ativos geridos (Alegre et al., 2015; APCER, 2016; ISO 5500x).

Como já referido anteriormente, esta norma teve como intenção a aplicabilidade em ativos tangíveis como: imóveis, equipamentos e infraestrutura, aviões, embarcações, veículos, recursos, jardins e parques; no entanto pode também ser aplicada a ativos intangíveis, isto é, não se direciona somente para os ativos físicos, mas para toda a classe de ativos (APCER, 2016). É uma norma internacionalmente reconhecida, que estabelece uma linguagem comum às organizações e um contexto verosímil para a tomada de decisão promovendo a consistência nas práticas de gestão de ativos. Esta norma alinhada com os outros sistemas de gestão, como ISO 9001 sistema de gestão da qualidade, ISO 14001 sistema de gestão ambiental, e a ISO 31000 sistema de gestão do risco, dota a organização de um conjunto coerente de práticas de gestão em todas as vertentes da sua atividade (Alegre et al., 2015; ISO & CT251, 2014).

Em suma, a adoção da norma ISO 55001:2018 numa organização demonstra uma filosofia proactiva de melhoria contínua que promove a eficácia e a eficiência, culminando na rentabilização de meios e recursos a partir dos seus ativos (ISO & CT251, 2014; Zampoli, 2015).

Em linhas gerais, (APCER, 2016; ISO & CT251, 2014) apontam como principais vantagens da aplicação da gestão de ativos, segundo este referencial, as seguintes:

- Otimização do desempenho financeiro, pela via de uma melhoria do retorno do investimento e um decréscimo dos gastos, em simultâneo o valor do ativo é preservado sem comprometer os objetivos de curto ou longo prazo da organização;
- Decisões de investimentos em ativos mais credíveis, definição e implementação de metodologias e critérios conducentes à melhor decisão na priorização de investimentos;
- Gestão do risco, diminuição de perdas financeiras, melhoria da saúde e da segurança, a reputação e imagem, contribuindo para uma eventual minimização de responsabilidade - como prémios de seguros e indemnizações;
- Otimização da prestação do serviço e dos resultados, aumento do desempenho dos ativos, com prossecução nas expectativas dos clientes, do regulador e das partes interessadas;
- Demonstração de responsabilidade social, consciencialização e adaptação às alterações climáticas, através de programas de redução da pegada ecológica;
- Demonstração de conformidade, transparência do cumprimento dos requisitos legais, normativos e outros subscritos pela organização;
- Aumento da reputação da organização, diretamente relacionada com a plena satisfação do cliente, fomentando a confiança entre as partes interessadas;
- Otimização da sustentabilidade da empresa, demonstrando a curto e longo prazo um alinhamento eficaz no trinómio risco, custo e desempenho;
- Melhoria da eficiência e eficácia da organização, através da análise, revisão e melhoria dos processos ISO 55000:2016.

Torna-se assim evidente o potencial da aplicação da serie das normas internacionais ISO 5500X em qualquer organização, em particular as entidades gestoras do setor da água, que possuem um leque diverso e intensivo de ativos.

A título de curiosidade, a empresa *Scottish Water*, serviços de água e saneamento de águas residuais, localizada na Escócia, tornou-se na primeira empresa do setor da água a ser certificada pela norma ISO 55001, lançada em 2014 (Aitkenhead, 2014).

No contexto nacional, no final de 2016 os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada foi a primeira empresa a obter a certificação, no sistema de gestão de ativos, da norma internacional ISO 55001:2014 (SMAS Almada, 2018).

Como nota final refere-se que a certificação ISO 55001 reflete que o sistema de gestão de ativos da organização foi avaliado e atestado como satisfazendo os requisitos aplicáveis desta norma. Todavia, a certificação só garante a conformidade aos requisitos normativos e não a excelência na gestão de ativos, havendo um caminho grande a percorrer. Esses requisitos

normativos impulsionam as melhores práticas que, quando bem aplicadas, levarão à produção de valor para as partes interessadas (Lafraia, 2016).

### 2.1.5.1 CICLO PDCA

O ciclo PDCA, apresentado na Fig. 15, é uma abordagem bastante utilizada nos sistemas de gestão permitindo a melhoria contínua. É também conhecido como Ciclo de *Shewhart* ou Ciclo de *Deming*, consistindo num método iterativo de gestão assente no controlo e melhoria dos processos e produtos, de forma contínua, não possuindo intervalos ou interrupções (Bezerra, 2014; Periard, 2011; Werkema, 2013).

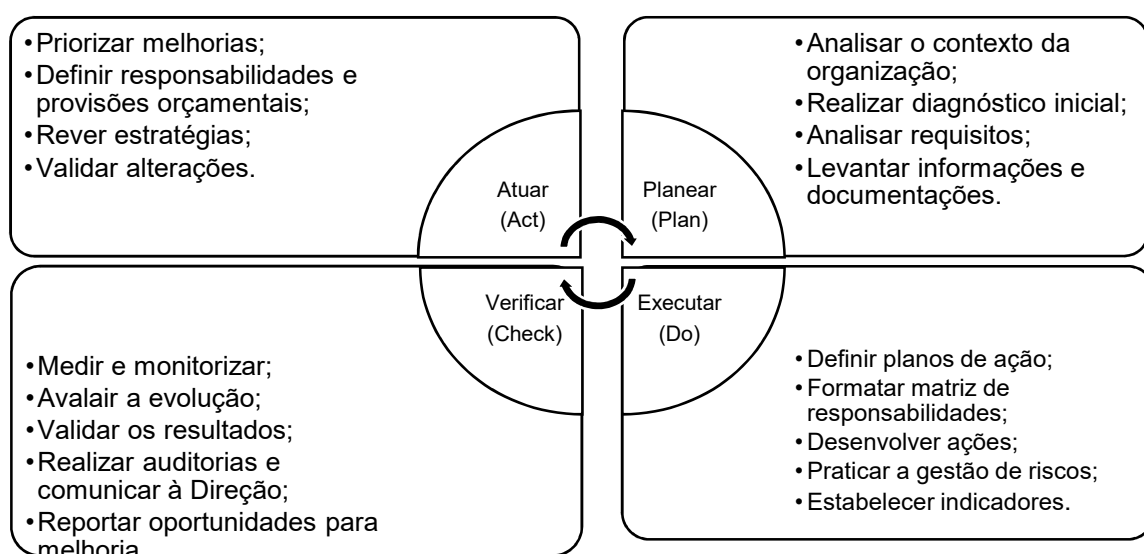


Fig. 15 – Ciclo PDCA – adaptado de (Zampoli, 2015)

É uma abordagem que visa a otimização e desenvolvimento sustentável, direcionado para indústrias intensivas em ativos e desempenha um papel importante na concretização dos objetivos definidos para a organização. É amplamente utilizada na implementação e monitorização dos requisitos dos sistemas de gestão, por exemplo os publicados pela ISO, nomeadamente:

- ISO 9001:2015 Sistema de Gestão de Qualidade;
- ISO 14001:2015 Sistema de Gestão Ambiental;
- ISO 22000:2018 Sistema de Gestão da segurança alimentar;
- ISO 45001:2018 e OHSAS 18001:2007/NP 4397:2008 Sistema de Gestão de segurança e saúde no trabalho;
- ISO 31000:2018 Sistema de Gestão de Riscos;
- ISO 50001:2011 Sistema de Gestão de Energia;
- ISO 55001:2014 Sistema de Gestão de Ativos;
- ISO/IEC 27001:2005 Sistema de Gestão da segurança da informação;
- Entre outras.

A integração dos vários sistemas de gestão de uma empresa, independentemente da sua área de atuação, foi contemplada pela ISO nas suas normas. Para esse efeito desenvolveu o Anexo SL, uma estrutura normativa presente em todas as normas revistas ou publicadas recentemente (CEGA, 2017; Segurado, 2015).

Salienta-se que este Anexo SL é uma diretriz para um sistema de gestão genérico, necessitando da definição dos requisitos específicos das áreas para se tornar numa norma de sistema de gestão da qualidade ou ambiental funcional. O Anexo SL possui os requisitos de sistemas de gestão numa estrutura com uma sequência lógica, composto por 10 seções pré definidas, que estão alinhadas com a abordagem PDCA, como sendo:

1. Âmbito
2. Referências normativas
3. Termos e definições
4. Contexto da organização
5. Liderança
6. Planeamento
7. Suporte
8. Operação
9. Avaliação de desempenho
10. Melhoria

A metodologia PDCA é constituída por quatro etapas, com início na fase de planear (Plan). Nesta etapa são definidos os objetivos e é elaborado o plano de ações necessárias para os atingir. Depois segue-se a fase de Executar (Do) que corresponde à implementação das medidas e/ou ações definidas no plano previamente efetuado. A seguir existe uma verificação/validação (Check) das ações executadas na fase anterior, monitorizando os resultados com os objetivos delineados, avaliando o cumprimento dos mesmos. A fase de Atuar (Act) servirá para rever e corrigir as ações caso exista algum desvio ou falha face ao inicialmente previsto. Após a correção ser efetuada, reinicia-se o ciclo, repetindo todas as etapas, promovendo a melhoria contínua dos processos (Bezerra, 2014; Periard, 2011; Werkema, 2013).

Importa salientar que esta metodologia é um ciclo, pelo que sempre que estejamos perante uma ação corretiva teremos de rever o plano, permitindo novamente uma análise e controle das ações executadas. Nesta metodologia um problema, que é identificado e solucionado, origina um processo que se eleva para um novo patamar de qualidade, revertendo um problema numa oportunidade de melhoria. Esta ferramenta tem bastante aplicação em diversas áreas e temáticas e contribui para melhorar a confiança e a eficiência dos processos da organização (Bezerra, 2014; Periard, 2011).

## 2.1.6 GESTÃO DA INFORMAÇÃO

Como referido na secção 2.1.2, os principais recursos que devem ser incrementados para atender os objetivos organizacionais são ativos financeiros, ativos humanos, ativos físicos, ativos intangíveis e ativos de informação. Os ativos de informação são um recurso crítico nos

negócios para a maioria das organizações, mas ainda são mal geridos e a sua otimização raramente é realizada, descurando os seus benefícios potenciais e tangíveis (Evans & Price, 2014).

A noção de informação como ativo tem aparecido em organizações internacionais, em regulamentos e diretrizes locais de gestão da informação, evidenciando a crescente consciencialização sobre a necessidade de definir políticas de padronização e coordenação para lidar e proteger informações valiosas dos ativos. Assim, uma das principais barreiras à implementação efetiva de gestão de ativos de informação é não existir um entendimento dos seus benefícios. Esta situação é motivada pela informação, dos ativos, ser incorporada nos múltiplos sistemas, processos e transações, não sendo fácil extrair benefícios individuais isoladamente de outros fatores, que influenciam o desempenho da organização (Shmagun, 2017).

A capacidade de gerar valor a partir dos ativos de informação depende das práticas de governança e gestão das organizações. Portanto, é extremamente importante que esses ativos sejam bem estruturados, administrados adequadamente e que desempenhem um papel central no processo de gestão estratégica (Evans & Price, 2014).

A base de uma boa gestão de ativos consiste na fiabilidade dos dados disponíveis associados aos ativos. O processo de recolha e arquivo dos dados relativos a cada ativo, poderão residir em vários sistemas de informação, sendo mais eficiente a análise se esses sistemas se interrelacionarem entre si. Por isso é importante que esteja bem definido o processo de recolha, sistematização, organização e de atualização da informação. Estes processos são fulcrais para o tratamento de dados e realização de sucessivas avaliações ao desempenho dos ativos por forma a justificar convenientemente a tomada de decisão sobre as intervenções a realizar ao longo do seu ciclo de vida (CEGA, 2017).

Silva & Serranito (2014) referem que a informação de suporte à tomada de decisão deve ser apenas a necessária e suficiente, existindo um trabalho prévio de conceção de procedimentos que cubram:

- a) A identificação dos dados relevantes, a sua recolha, análise e tratamento;
- b) A identificação de deficiências ou insuficiências da informação;
- c) A acessibilidade e disponibilização editável da informação, em plataformas ou aplicações informáticas;
- d) A uniformidade, sistematização e coerência dos dados (especificações e exigências para fornecedores e empreiteiros, entre outros).

A informação base para a realização do diagnóstico atual é vital, devendo possibilitar a caracterização do sistema em análise, sustentar a respetiva avaliação nas três dimensões de análise (i.e., desempenho, custo e risco) e permitir a previsão da evolução a médio e longo prazo, em particular as solicitações de serviço, a degradação da condição física dos componentes e a identificação de eventuais anomalias ou falhas (Ferreira, 2017).

Para Silva & Serranito (2014) os tipos de informação necessários para a gestão de ativos, no caso de entidades gestoras do setor da água, serão a informação cadastral, operacional, solicitações e contabilística, nomeadamente:

- Atributos físicos dos ativos e seus componentes;
- Dados operacionais sobre falhas e reparações;
- Dados operacionais relativos a inspeções, desempenho e intervenções de manutenção preventiva;
- Dados operacionais de manutenção e sobre o modo de funcionamento do sistema;
- Avaliação da criticidade dos ativos;
- Conhecimento sobre satisfação de clientes/partes interessadas e necessidades de consumo de água;
- Dados contabilísticos.

A gestão de ativos é o conjunto de vários processos complexos e holísticos e podem tomar grandes proporções, pelo que os sistemas de informação são fundamentais para repositório, integração e análise da informação, necessária e relevante, para implementação das estratégias a seguir e tomada de decisão, como esquematizado na Fig. 16. Torna-se assim fundamental, uma definição clara dos dados basilares à gestão da empresa, com especial enfoque na gestão de ativos, nomeadamente os sistemas de informação onde devem residir. Também é importante a nomeação de um responsável, pela recolha e atualização desses dados, sendo essencial a criação e implementação de processos e fluxos de informação conducentes à sua recolha, registo, organização, controle, disponibilização, análise e atualização (Silva & Serranito, 2014).

Em síntese, a gestão do ciclo de vida dos ativos baseada em risco requer uma base sólida para estratégias, processos e modelos de tomada de decisão. Este caminho está de acordo com os requisitos da especificação PAS 55 e da norma ISO 55000, que visam uma melhor compreensão e utilização dos dados e/ou informações, a fim de sustentar uma decisão mais informada e coerente. Para além da informação técnica, são importantes os aspetos económicos, o impacto social e implicações conexas. Uma base sólida de dados e informações permite extrair conhecimento efetivo, sobre ocorrência de falhas e comportamento dos equipamentos, essencial para a adequada tomada de decisão e otimização da gestão de ativos. Além disso, temos de ter presente que diferentes fontes de informação poderão ser estruturadas como um guia de auxílio à gestão de ativos para a identificação de relações entre os modos de falhas, processos de envelhecimento e consequências, permitindo a monitorização adequada à condição do ativo. A falta de alguma informação para apoiar a tomada de decisão, com base em riscos, pode levar a uma situação de risco e subestimar decisões que resultem em inconvenientes financeiros e ineficácia da organização, no que respeita à gestão do ciclo de vida dos ativos (Mehairjan et al., 2015).



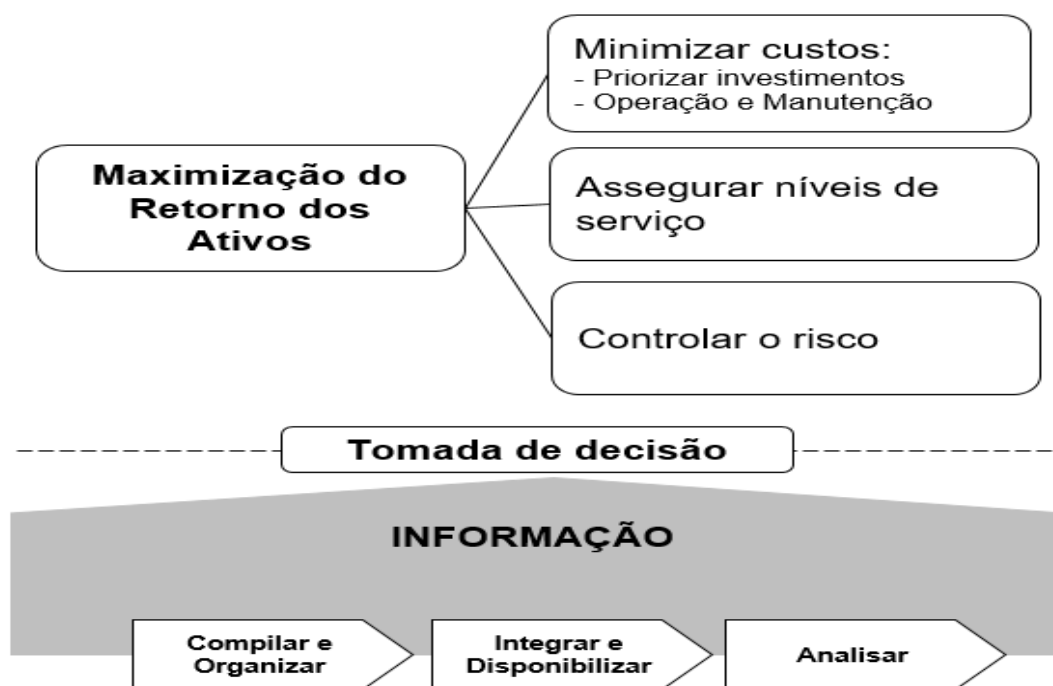


Fig. 16 – Gestão de ativos - Informação como base da tomada de decisão (Serranito & Silva, 2014)

Na secção 2.2 será aprofundada a definição e a abrangência da gestão do risco.

## 2.2 GESTÃO DO RISCO

No dia-a-dia, o risco existe e existirá e desde a sua existência que o Homem toma decisões, sem se aperceber, baseadas no risco, através da sua própria experiência e de dados históricos passados de geração em geração. Pode-se admitir que o risco é uma prática ancestral e, de maneira consciente ou inconsciente, é efetuada a gestão do risco, adotando-se estratégias para lidar com o risco (Neto, 2015).

Os riscos globais do mundo são abordados e discutidos anualmente numa reunião realizada em Davos, na Suíça, organizado pelo Fórum Económico Mundial, sendo publicado um relatório anual dedicado a esses riscos. Um risco global é um evento ou condição incerta que, se ocorrer, pode causar um impacto negativo significativo em vários países ou indústrias (Weltwirtschaftsforum & Zurich Insurance Group, 2019).

Neste relatório é apresentado a evolução dos riscos globais que assolam o mundo, sendo avaliados anualmente relativamente à probabilidade de ocorrência ou verosimilhança e à gravidade dos seus impactos.

Como seria expetável, a temática da água também tem riscos associados, sendo apresentados como riscos globais relacionados (Fig. 17), os seguintes: o fracasso de adaptação e mitigação das alterações climáticas, a crise alimentar, os eventos climáticos extremos, as catástrofes ambientais provocadas pelo homem, as catástrofes naturais, a perda de biodiversidade e colapso de ecossistemas, a falha de planeamento urbano, a falha de

infraestruturas críticas, a instabilidade social profunda, a migração involuntária em larga escala, o fracasso da governação regional ou mundial e a propagação de doenças infecciosas.

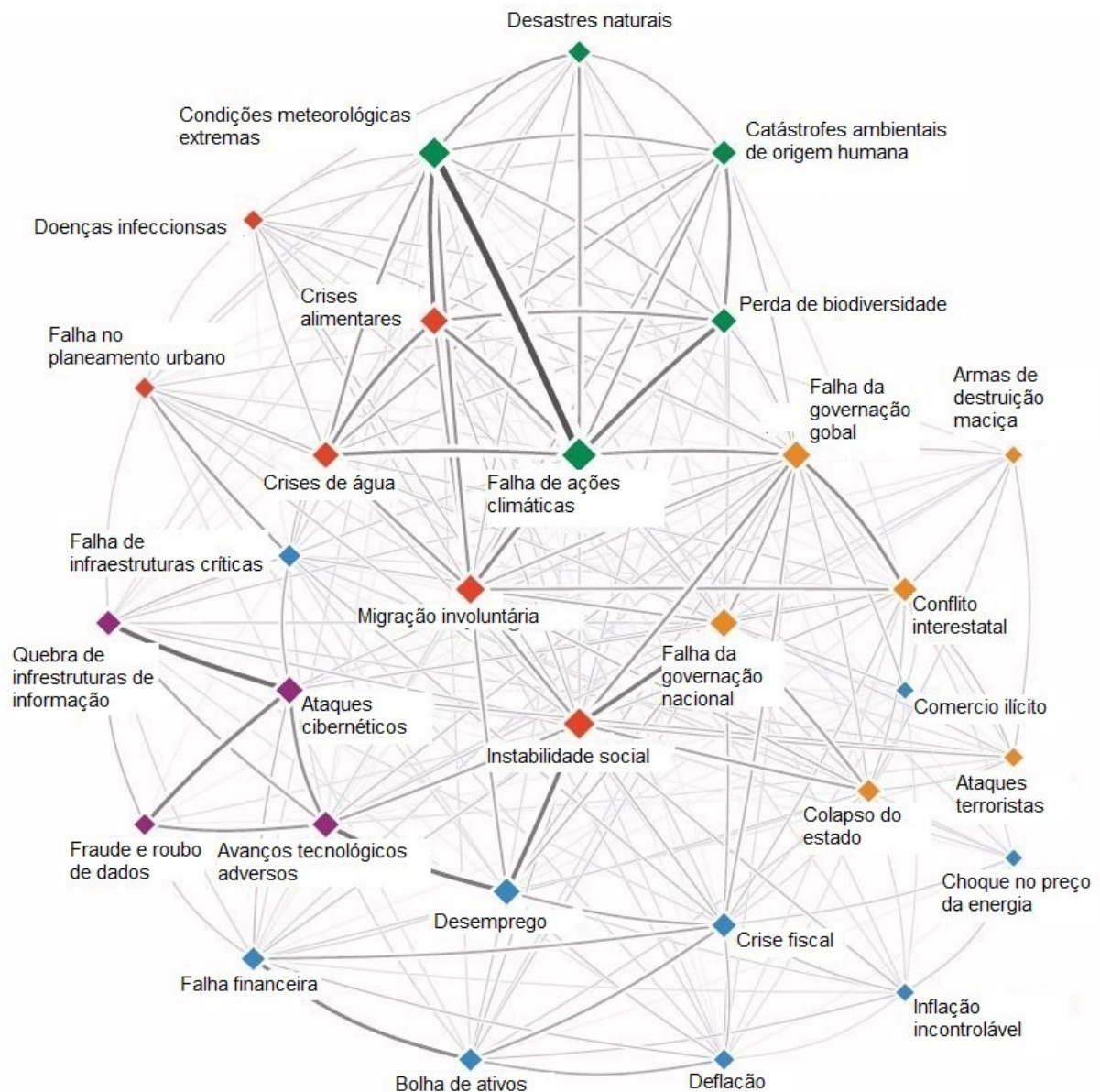


Fig. 17 – Interconexões entre a crise de água e outras crises e situações de risco do mundo atual – adaptado de (WEF, 2020)

Segundo esse relatório, desde 2015, que o risco “crises de água” começou a estar incluído nos 5 riscos com maior impacto e que ocorrem com maior probabilidade. Contudo, têm vindo a ser implementadas medidas e ações a nível mundial, que têm contribuído para que a média de impacto e verosimilhança estejam a diminuir.

Neste contexto, temos de encarar a minimização ou mitigação dos riscos globais dentro da organização. Todas as organizações estão sujeitas a fatores internos e externos que tornam incerto se, e quando, se atingem os objetivos previamente definidos (Trindade, 2015). O efeito (positivo ou negativo) de incertezas sobre os objetivos de uma organização é chamado de

risco, resultando em oportunidades ou ameaças, respetivamente (Cross, 2017; Lima et al., 2018).

A incerteza pode envolver falta de conhecimento, variabilidade, ambiguidade na linguagem e compreensão, indeterminação, imprevisibilidade e incerteza inerente à complexidade. Qualquer uma dessas formas de incerteza é uma fonte de risco. Uma forma importante de risco é quando os potenciais eventos podem ser identificados e os resultados podem ser previstos. A incerteza reside em saber se e quando um evento irá ocorrer e qual a magnitude do resultado. É possível fazer uma lista de tais riscos e de os hierarquizar por ordem de prioridade para efeitos de ação, de controlo ou de alocação de responsabilidades (Cross, 2017).

A gestão de riscos empresariais não é uma função ou departamento. É a cultura, as capacidades e práticas que a organização integra, com a finalidade de gerir o risco na criação, preservação e realização de valor. Todas as organizações precisam definir uma estratégia e ajustá-la periodicamente, sempre conscientes das oportunidades, visando constantemente a criação de valor e os desafios que ocorrerão na procura desse valor. A aplicação da gestão de riscos corporativos auxilia a construção da confiança e a suscitação da confiança nas partes interessadas, exigindo um maior escrutínio de como o risco está abordado e gerido (COSO, 2017).

Assim, a gestão do risco é implementada tendo presente a criação de valor, por meio da gestão e controlo de incertezas que condicionam os objetivos da empresa, com o propósito da continuidade da atividade ou serviço prestado (Duarte, 2018).

Perante isto, as organizações continuarão a enfrentar um futuro repleto de volatilidade, complexidade e ambiguidade, pelo que a implementação da gestão de riscos corporativos, em todas as entidades, segundo o COSO (2017) pode trazer muitos benefícios, em particular:

- Aumenta o leque de oportunidades: considerando todas as possibilidades - aspetos positivos e negativos do risco. A administração pode identificar novas oportunidades, oportunidades únicas e desafios associados às oportunidades atuais.
- Identifica e gere os riscos de toda a empresa: as empresas enfrentam uma infinidade de riscos que podem afetar muitas partes da organização. Às vezes, um risco pode ser originado numa área da entidade, mas afetar uma parte diferente. Consequentemente, a gestão identifica e gere esses riscos, em toda a empresa, para sustentar e melhorar o desempenho.
- Aumenta resultados e vantagens positivas enquanto reduz imprevistos negativos: a gestão de riscos corporativos permite às entidades melhorar a sua capacidade de identificar riscos e estabelecer respostas apropriadas, reduzindo surpresas e custos relacionados ou perdas, enquanto lucra com desenvolvimentos vantajosos.
- Reduz a variabilidade do desempenho: A gestão de riscos corporativos permite que as organizações antecipem os riscos que afetariam o desempenho e permite que elas implementem as ações necessárias para minimizar a interrupção e maximizar a oportunidade.
- Melhora a alocação de recursos: cada risco pode ser considerado um pedido de recursos. A obtenção de informação robusta no risco permite gerir recursos finitos,

avaliar necessidades de recurso totais, priorizar o desdobramento de recurso e realçar a alocação de recursos.

- Melhora a resiliência das empresas: a viabilidade a médio e longo prazo, de uma entidade, depende da sua capacidade de antecipar e responder à mudança. Não deve vislumbrar apenas a sobrevivência, mas também a ascensão e superação de expectativas. Torna-se assim cada vez mais importante gerir eficazmente os riscos corporativos, à medida que o ritmo das mudanças acelera e a complexidade do negócio aumenta.

Assim, a gestão do risco no setor da água é crucial, a todos os níveis, principalmente ao nível financeiro, cujo valor da água se relaciona com a fiabilidade com que podemos dispor dela. Neste contexto, as situações de escassez ou resseção contribuem para a valorização deste recurso ao contrário da abundância que leva à depreciação do seu valor. Hoje em dia, a inconstância dos processos hidro-meteorológicos está diretamente ligado às atividades associadas às utilizações da água e às práticas de gestão dos sistemas, na perspetiva de garantir níveis aceitáveis de fiabilidade dessas utilizações. Posto isto, um dos grandes riscos relaciona-se com a probabilidade de não dispor do recurso na quantidade e com a qualidade necessária, devido a razões naturais de índole hidro-meteorológica (alterações climáticas, catástrofes naturais, entre outras) ou por razões imputáveis às práticas de gestão (falha de planeamento urbano, falha de infraestruturas críticas, entre outras) (Oliveira et al., 2018).

Em suma, a gestão do risco possibilita uma maior solidez das organizações, uma vez que as torna menos suscetíveis a imprevistos e mitiga ou derroga os impactos das ameaças, maximizando as suas oportunidades. Atualmente existem diversas iniciativas mundiais dedicadas à definição de modelos de gestão do risco, por forma a controlar os riscos inerentes às empresas (Duarte, 2018). Os modelos mais utilizados são:

- *Risk Management Standard* (Norma de gestão de risco) – publicado pelo *Institute of Risk Management (IRM)*, *The Association of Insurance and Risk Manager (AIRMIC)* e pela *The Public Risk Management Association (Alarm)* em 2002;
- *Enterprise Risk Management* (Gestão de risco empresarial) (ERM) – *Integrated Framework* - publicado pelo *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO)* em 2004;
- *ISO 31000 – Risk Management Principles and Guidelines* (Gestão de risco linhas de orientação) – publicada pela ISO em 2009 e revista em 2018;
- *ISO/IEC 31010 – Risk Management – Risk Assessment and Techniques* (Gestão de risco técnicas de apreciação do risco) - publicada pela ISO em 2009 e em revisão atualmente;
- *ISO Guide 73 - Risk Management – Vocabulary* (Guia ISO 73 Gestão de risco – Vocabulário);
- *ISO/TR 31004:2013 – Risk Management – Guidelines for implementation of International organization for standardization* (Gestão de risco - Diretrizes para a implementação de organizações internacionais de normalização) (ISO) 31000;
- *Software OCEG Red Book GCR (Governança, Conformidade e Riscos) Capability Model 2.1* - publicado pelo *Open Compliance & Ethics Group (OCEG)* em 2012.

O *Enterprise Risk Management* (ERM) é um modelo integrado de gestão de risco desenvolvido pela *PricewaterhouseCoopers* (PwC) e publicado pelo *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission* (COSO) em 2004. Esta publicação foi recentemente revista, tendo como foco apoiar as entidades a alcançar um equilíbrio ótimo entre crescimento e metas de retorno e riscos relacionados, alocando corretamente recursos na prossecução dos objetivos da entidade (COSO, 2017; Duarte, 2018).

O modelo integrado ERM enumera princípios para cobrir toda a organização, desde a governação até à monitorização. Estes princípios têm de ter um tamanho viável para serem geridos e descrevem práticas que podem ser aplicadas de diferentes maneiras para diferentes organizações, independentemente do tamanho, tipo ou setor. A adesão a estes princípios pode proporcionar à gestão de topo uma razoável expectativa de que a organização entenda e se esforce para gerir os riscos associados à sua estratégia e objetivos de negócio (COSO, 2017).

Por sua vez, a norma ISO 31000 apresenta direções e linhas orientadoras (princípios) sobre a forma como as empresas podem incorporar a tomada de decisão baseada no risco, nomeadamente na governação, no planeamento, na gestão, no reporte, nas políticas, nos valores e na sua cultura. Em geral, as normas ISO são reavaliadas de cinco em cinco anos e caso se revele necessário são revistas. Desta forma, é garantido que se mantêm atuais e adaptadas à evolução do mercado e dos novos desafios que os negócios e as organizações enfrentam. Como exemplo pode-se apontar, a crescente sofisticação dos sistemas económicos e dos fatores dos riscos emergentes, em particular as moedas digitais, os quais apresentam novos e diferentes tipos de risco às organizações, numa escala internacional (IRM, 2018; ISO, 2018).

Independentemente do modelo de gestão de risco seguido, é fundamental, que um sistema de gestão de ativos seja baseado no risco. Desta forma, são recolhidas informações relevantes com base na importância do fluxo de valor e essas informações são utilizadas para tomar decisões fiscalmente responsáveis que, por sua vez, criarão maior valor para a organização. As fases do modelo de gestão de ativos baseado no risco são críticas para o sucesso da estratégia. Quando se combina a estratégia com processos de negócios suportados pelas melhores práticas, consegue-se produzir informação crítica para tomada de decisões. De acordo com o LCE (2014) estas decisões devem ser apoiadas por uma cultura corporativa, voltada para a melhoria contínua, podendo alcançar-se os seguintes resultados:

- Os colaboradores reconhecem o valor da melhoria contínua e demonstram a sua confiança nas suas ações.
- Os fatores limitantes são identificados e reduzidos por ordens de grandeza.
- Investimentos de capitais substanciais são evitados através da melhoria da capacidade e da disponibilidade.
- Redução significativa no custo da manutenção e operação.

Os danos à reputação ou marca, crimes cibernéticos, o risco político e o terrorismo são alguns dos riscos que as organizações públicas e privadas de todos os tipos e tamanhos em todo o mundo devem enfrentar com frequência crescente. O risco entra em todas as decisões na vida, mas claramente algumas decisões precisam de uma abordagem estruturada. Desta

forma, lidar com o risco faz parte da governança e liderança e é fundamental para que uma organização seja gerida a todos os níveis (Tranchard, 2018).

As práticas de gestão de risco de ontem não são mais adequadas a lidar com o hoje, o grande desafio é identificar e mitigar todos os riscos associados à organização. Se o risco avaliado por qualquer método for considerado aceitável, pouco mais há a fazer pelo gestor de riscos. No entanto, um risco inaceitável deve ser gerido. O ideal seria gerir a um nível aceitável e, quando isso não puder ser efetuado, ele deve ser gerido a um nível tolerável. Yoe (2019) menciona seis estratégias amplas para a gestão do risco, nomeadamente:

1. Tomada de risco;
2. Prevenção de riscos;
3. Reduzir a probabilidade do evento de risco (prevenir) e aumentar a probabilidade de um ganho potencial (aumentar);
4. Reduzir a consequência do evento de risco (mitigar) e aumentar a consequência de um ganho potencial (intensificar);
5. Agrupamento e partilha de riscos;
6. Reter o risco.

### **2.3 ISO 31000**

O processo de gestão de riscos descrito na norma ISO 31000 assume que os riscos podem ser identificados individualmente e permite que cada risco seja comparado com um critério pré-definido. Em geral, presume-se que o critério para determinar uma ação relativa às necessidades de risco, deve ter um nível de risco medido, combinando as consequências para os objetivos com a probabilidade que estas consequências podem ocorrer. A ISO 31000 não exige o critério de tratamento do nível de risco. Nesta norma, a avaliação de riscos envolve a identificação de riscos, compreendendo-os e decidindo se o controlo adicional é ou não necessário (tratamento de risco). Tanto a avaliação como o tratamento dos riscos são processos iterativos (Cross, 2017). Ou seja, de acordo com a norma ISO 31000 a gestão de risco é suportada pelos vetores, descritos na mesma, como os princípios, a estrutura e os processos, interagindo entre si (Fig. 18).

Dentro da organização, estes componentes poderão existir, totalmente ou parcialmente, todavia haverá necessidade de os adaptar ou melhorar para que a gestão do risco seja eficiente, eficaz e robusta.

De acordo com a norma, os princípios deverão auxiliar a organização a gerir os efeitos da incerteza nos seus objetivos, sendo a base para a gestão do risco. Esses princípios deverão ser tidos em conta no estabelecimento da estrutura e nos processos da gestão do risco.

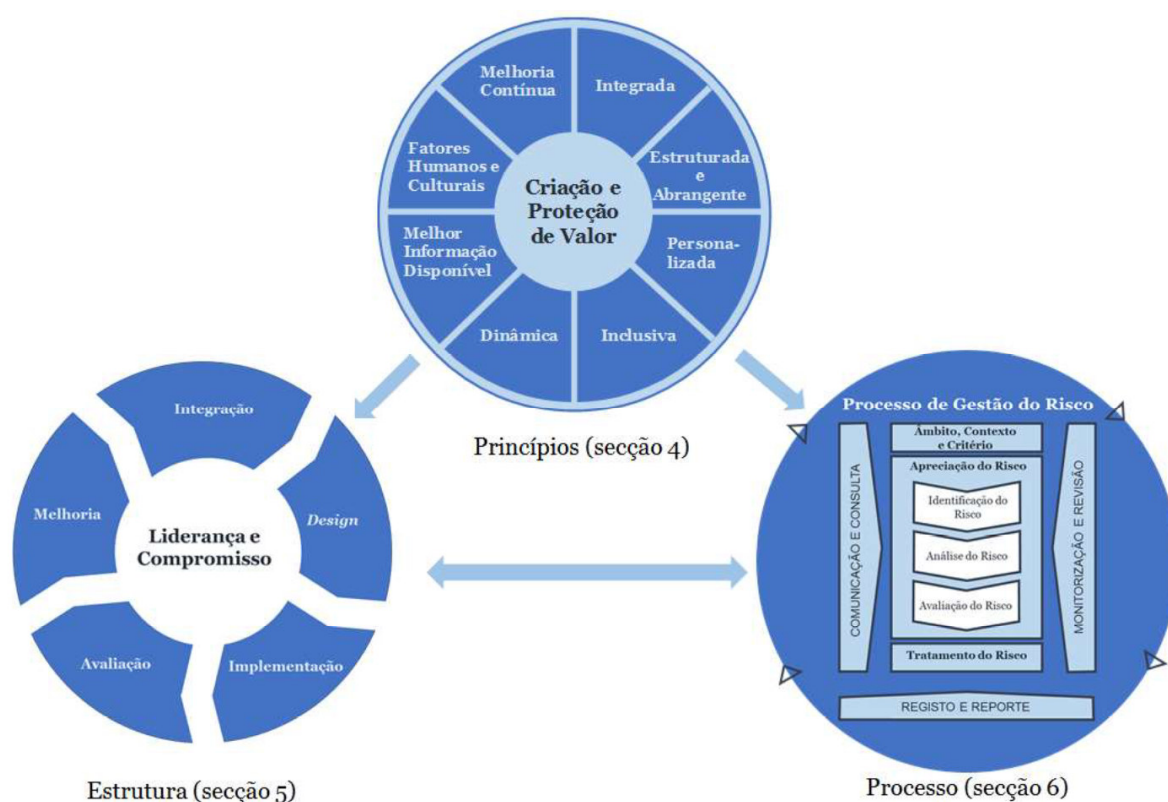


Fig. 18 – Princípios, Estrutura e Processo da Gestão do Risco – (NP EN 31000, 2018)

A estrutura faculta as bases para incorporação da gestão do risco na gestão da organização, envolvendo o apoio eficaz na implementação de processos da coordenação e controlo dos riscos nos vários níveis da organização. A estrutura também garante que a informação a respeito do risco seja devidamente documentada e que servirá de base para a tomada de decisão (Chu, 2014). Por sua vez, o processo faz parte integrante da gestão incorporado na cultura e adaptado à organização.

A ISO 31000 foi originalmente publicada em 2009 e foi atualizada e publicada em fevereiro de 2018 (IRM, 2018; ISO, 2018; Tranchard, 2018). Contudo, a finalidade desta norma continua a ser a mesma, integrando a gestão do risco numa perspetiva estratégica e operacional no sistema de gestão. A versão 2018 é muito semelhante à versão original, mas identificam-se as principais alterações das diretrizes:

- Os princípios de gestão de risco foram revistos, tais como a chave dos critérios para uma gestão de risco bem-sucedida;
- É destacada a importância da liderança por parte da gestão de topo, assim como a integração da gestão de risco, começando com a governança da organização;
- É dado maior ênfase à natureza iterativa do risco, uma vez que novos conhecimentos e análises conduzem à revisão de processos, ações e controles;
- O conteúdo é racionalizado com maior ênfase em sustentar um modelo de sistemas abertos para atender a múltiplas necessidades e contextos, privilegiando a troca de informação com regularidade com o seu ambiente externo.

- A norma possui uma linguagem mais simples e mais clara, definindo objetivamente os fundamentos da gestão do risco, de uma forma esclarecedora para que o leitor possa compreendê-los.
- A terminologia é agora mais precisa, com alguns conceitos a transitarem para o Guia ISO 73 – Gestão do Risco - Vocabulário, que lida especificamente com a terminologia da gestão do risco e é para ser usado em conjunto com a ISO 31000.

Assim, a recente norma ISO 31000 inclui melhorias, tais como a importância de fatores humanos e culturais na realização dos objetivos de uma organização e reforça a integração da gestão dos riscos no âmbito do processo de decisão. Não obstante disto, a ISO 31000 não utiliza a expressão "apetite de risco", difundida em muitas bibliografias, apesar de estar referida no Guia ISO 73. A apetência ao risco é definida neste guia como a quantidade e o tipo de risco que uma organização está disposta a seguir ou a reter. A expressão 'apetência ao risco' é usada por muitas organizações e é frequentemente descrita no relatório e contas anuais de uma vasta gama de diferentes tipos de organização. A ISO 31000 fornece orientações sobre o conceito de "critérios de risco", mas nenhuma orientação específica para a conceito mais comumente utilizado de "apetência ou appetite ao risco". Neste momento, estão a ser dados os primeiros passos para produzir uma norma de terminologia e um guia de implementação no sentido de melhorar a compreensão e aplicação desta norma (IRM, 2018; ISO, 2018; Tranchard, 2018).

No contexto de cada entidade, a gestão do risco é um conjunto de atividades coordenadas, que intentam o controlo da organização ao nível do risco, devendo entrar na fase de planeamento e não no modo de resposta depois da ocorrência de eventos desfavoráveis. Ainda no processo de gestão do risco deve estar determinado o nível de risco aceitável e qual o tratamento mais adequado a efetuar (Neto, 2015).

Foi criado o comité ISO/TC 262 *Risk Management*, que é responsável pela revisão da ISO 31000 e onde está incluída a Comissão Técnica 180-Gestão do Risco, portuguesa, criada em 2009 pelo Organismo de Normalização Nacional do Instituto Português da Qualidade. O comité ISO/TC 262 desenvolve normas internacionais no campo da gestão de riscos, para apoiar as organizações em todas as suas atividades de gerir e minimizar os efeitos de acidentes, desastres e falhas em sistemas técnicos. Também se debruça sobre a resposta e a recuperação de grandes riscos disruptivos. Este comité é composto por 55 países participantes e 18 países observadores. A BSI no Reino Unido é responsável pelo secretariado deste comité (ISO, 2016).

A ISO/TR 31004:2013, a IEC/ISO 31010 e o Guia ISO 73 fazem parte da família ISO 31000. A IEC/ISO 31010 é mais ampla que a ISO 31000. A incerteza é definida de forma mais ampla e a avaliação de risco é considerada para qualquer tipo de decisão, e não apenas a de tratar um risco. As técnicas descritas por Cross (2017) são utilizadas em 4 circunstâncias diferentes, nomeadamente:

- a) Identificar e analisar riscos específicos e decidir, se e como, tratá-los.
- b) Porque alguém quer compreender um risco sem uma decisão particular em mente. Este pode ser o regulador ou a comunidade ou qualquer uma das partes interessadas de um sistema.



- c) Para fazer uma escolha entre as opções, onde cada opção é associada a incertezas sobre onde os resultados podem ser positivos ou negativos ou ambos. Uma decisão é baseada no potencial positivo e no potencial negativo, tendo em conta todas as formas de incerteza.
- d) Compreender o risco de forma mais ampla como pano de fundo para o planeamento. Isso resultará em ações para reduzir o risco, mesmo que riscos específicos não possam ser identificados.

Realça-se que o êxito da gestão de ativos envolve também a tomada de decisão baseada no risco. A tomada de decisão no campo de ação da gestão de ativos inclui binómios como a operação do ativo ou a manutenção/beneficiação do ativo, os investimentos de otimização ou custos de exploração, benefícios de curto prazo ou sustentabilidade de longo prazo (Coutinho, 2017).

Neste sentido, a gestão de ativos está diretamente relacionada com a gestão do risco, entrando em conta o equilíbrio do trinómio custo, desempenho e risco, nomeadamente analisando a probabilidade de ocorrência de um evento e quais as suas consequências adversas.

O cálculo dos riscos identificados (qualitativa ou quantitativa) considera a estimativa da probabilidade do seu aparecimento, assim como a sua frequência e as consequências da concretização do perigo e a sua gravidade ou severidade (Chu, 2014).

De acordo com a norma IEC/ISO 31010:2009, traduzida para a NP EN 31010:2016, relativa à gestão do risco, são enumeradas várias metodologias a aplicar em cada fase do processo de apreciação do risco. As metodologias que podem ser aplicáveis ao presente estudo, consoante a fase do processo de apreciação do risco, são as identificadas no Quadro 2, extraído do Quadro A.1 da (NP EN 31010, 2016).

A NP EN 31010 (2016) refere que a escolha da ferramenta ou da técnica mais adequada, à apreciação do risco, deve basear-se no seguinte:

- Objetivos da análise, contribuindo diretamente para a escolha da técnica, se requiere um nível elevado de detalhe ou se é suficiente uma análise mais geral;
- As necessidades que o decisor manifesta, de obtenção de resultados mais ou menos detalhados e comparáveis;
- Natureza e grau de incerteza, tendo presente a informação disponível;
- A magnitude potencial das consequências;
- Alocação dos recursos necessários, tanto temporalmente como ao nível de conhecimento;
- Avaliar a informação e os dados que são precisos e estimar eventuais custos envolvidos na sua obtenção;
- A facilidade de alteração ou atualização da apreciação do risco, existindo técnicas mais permissivas que outras;
- Imposições contratuais e/ou regulamentares.

Quadro 2 – Aplicabilidade das ferramentas e técnicas utilizadas para a apreciação de riscos – extraído da (NP EN 31010, 2016)

Ferramentas e Técnicas	Identificação do Risco	Análise do Risco			Avaliação do Risco (Decisão)
		Consequência	Probabilidade	Nível do Risco	
Brainstorming	FA	NA	NA	NA	NA
Entrevistas estruturadas e semi-estruturadas	FA	NA	NA	NA	NA
Análise de Laço (Bow-tie)	NA	A	FA	FA	A
Matriz Probabilidade/Consequência	FA	FA	FA	FA	A
Análise dos modos de falha e efeito (FMEA) e análise dos modos de falha, efeitos e criticidade (FMECA)	FA	FA	FA	FA	FA

FA (Fortemente Aplicável); A (Aplicável); NA (Não Aplicável)

A abordagem selecionada deve ser justificada e adequada ao fim em vista e à organização, devendo fornecer uma boa compreensão da natureza do risco e da forma como pode ser tratado. A metodologia deve ainda ser usada de modo a que seja rastreável, repetível e verificável, permitindo também uma hierarquização dos riscos e comparação dos resultados obtidos (NP EN 31010, 2016).

## 2.4 MÉTODOS DE APRECIÇÃO DO RISCO

A apreciação do risco, exposta na NP ISO 31010 (2016), consiste num processo global de identificação do risco, análise do risco e sua avaliação, baseada numa metodologia sistemática, iterativa e colaborativa, tendo presente o conhecimento e o ponto de vista das partes interessadas.

Na identificação do risco a organização deve efetuar uma lista extensa e exaustiva de riscos que possam condicionar os seus objetivos. Esta lista não deve ser fixa devendo ser melhorada, por forma a acomodar novos riscos associados a novas fontes de risco que irão aparecer. A análise do risco corresponde à fase onde se definem as consequências e as probabilidades dos eventos do risco, listados na fase anterior. Devem ser combinadas entre si para calcular o nível de risco e assim servir de entrada para as decisões de tratamento do risco. Por fim, na avaliação do risco o nível de risco deve ser avaliado e hierarquizado para a tomada de decisão de ações a implementar (Duarte, 2018).

Na etapa de análise do risco podem ser utilizadas diversas técnicas, separadas ou conjugadas, para calcular a verosimilhança e as consequências, nomeadamente: técnicas qualitativas, semi-quantitativas e quantitativas (Chu, 2014; NP EN 31010, 2016; Neto, 2015).

No que se refere a um método qualitativo a consequência, a probabilidade e o nível do risco são avaliados segundo uma escala por níveis de significância, por exemplo, alto, médio e baixo, revertendo-se em critérios qualitativos (NP EN 31010, 2016).

As técnicas brainstorming, técnica Delphi, listas de verificação, entrevistas e análise preliminar de perigos são alguns exemplos de avaliação qualitativa do risco (Duarte, 2018; Neto, 2015).

Estes métodos revelam-se adequados a avaliações simples, que não necessitam de quantificação nem cálculos, pelo que pode-se iniciar a avaliação de risco com este método e subsequentemente ser complementado com outro tipo de método (Mendonça, 2013).

A necessidade fundamental é gerir o risco intencionalmente e fazê-lo melhor do que foi feito no passado. A avaliação quantitativa dos riscos nem sempre é possível ou necessária, pelo que a avaliação qualitativa dos riscos é frequentemente uma opção viável e valiosa. Um processo qualitativo de avaliação de risco compila, combina e apresenta evidências para auxiliar uma estimativa e descrição não numérica de um risco (Yoe, 2019).

A abordagem quantitativa prevê resultados numéricos da magnitude do risco, em unidades específicas, atribuindo-se valores realistas nas consequências e nas probabilidades (NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018; Mendonça, 2013). Isto é, a avaliação quantitativa mede a consequência e a probabilidade sob a forma de escalas numéricas absolutas e contínuas (Neto, 2015). Sendo assim, esta avaliação pode tornar-se onerosa, necessitando de coligir dados históricos ou experimentais, com a respetiva fiabilidade e representatividade (Mendonça, 2013).

Por exemplo, a avaliação quantitativa do risco utiliza dados da taxa de falha para desenvolver o tempo médio entre probabilidades de falhas para tipos de ativos ou classes específicas. Com dados históricos adequados e dados disponíveis, este método pode ser utilizado para a predição dos riscos (LCE, 2014).

Por último, se a avaliação qualitativa não for suficiente para determinar o nível de risco e os métodos quantitativos se revelarem muito complexos e dispendiosos, a opção pode recair pela adoção de métodos semi-quantitativos (Mendonça, 2013).

A avaliação semi-quantitativa é um método que envolve escalas numéricas de consequência e de probabilidade, combinando-as através de uma fórmula para obter o nível de risco. Estas escalas podem ser lineares, logarítmicas ou adaptadas a cada situação e o resultado é adimensional, permitindo a comparação e hierarquização dos níveis de risco (Chu, 2014; NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018; Neto, 2015).

As abordagens semi-quantitativas e quantitativas podem ser conseguidas com o recurso às ferramentas de análise de eventos, de análise em árvores de falhas, de apreciação de toxicidade, análise e efeitos de falhas, análise de laço, matriz de riscos e análise de sensibilidade e simulação, entre outras (Duarte, 2018; Neto, 2015).

Qualquer dos métodos adotados para a análise do risco, mesmo os que possuem uma quantificação pormenorizada dos níveis do risco, os seus resultados serão sempre estimativas (Chu, 2014).

O resultado da apreciação do risco é um dado para os processos de tomada de decisão das organizações, revelando-se de extrema importância na gestão de ativos. As técnicas e ferramentas de avaliação do risco, de acordo com a ISO 31010, reparte-se em seis categorias, nomeadamente: métodos de pesquisa, métodos de suporte, análise de cenários, análise de funções, avaliação de controlos e métodos estatísticos. Na Fig. 19 são apresentadas estas técnicas segundo a sua categoria (Duarte, 2018).

A implementação de estratégias de avaliação do risco impõe que cada organização desenvolva critérios do risco específicos, com a finalidade de identificar e caracterizar os riscos que pode ou não permitir, tendo presente os valores e recursos da organização (Neto, 2015). Na definição destes critérios também deve ser tido em conta as exigências efetuadas pelo regulador ou legislador, podendo ser incluídos os seguintes fatores (NP EN 31000, 2018):

- Natureza e tipo de consequências que podem influenciar os resultados e objetivos, assim como atividades de monitorização das mesmas;
- Aceção de medidas para a determinar a verosimilhança;
- Definição dos diferentes níveis de risco;
- Determinação dos níveis de risco que se consideram aceitáveis;
- Definição dos níveis de risco a partir dos quais se considera necessário atuar;
- Decisão relativa à combinação e sequência de múltiplos riscos.

Seguidamente apresentam-se cada uma das técnicas, de apreciação do risco, da NP ISO 31010, 2016 aplicáveis ao presente estudo (Quadro 2).

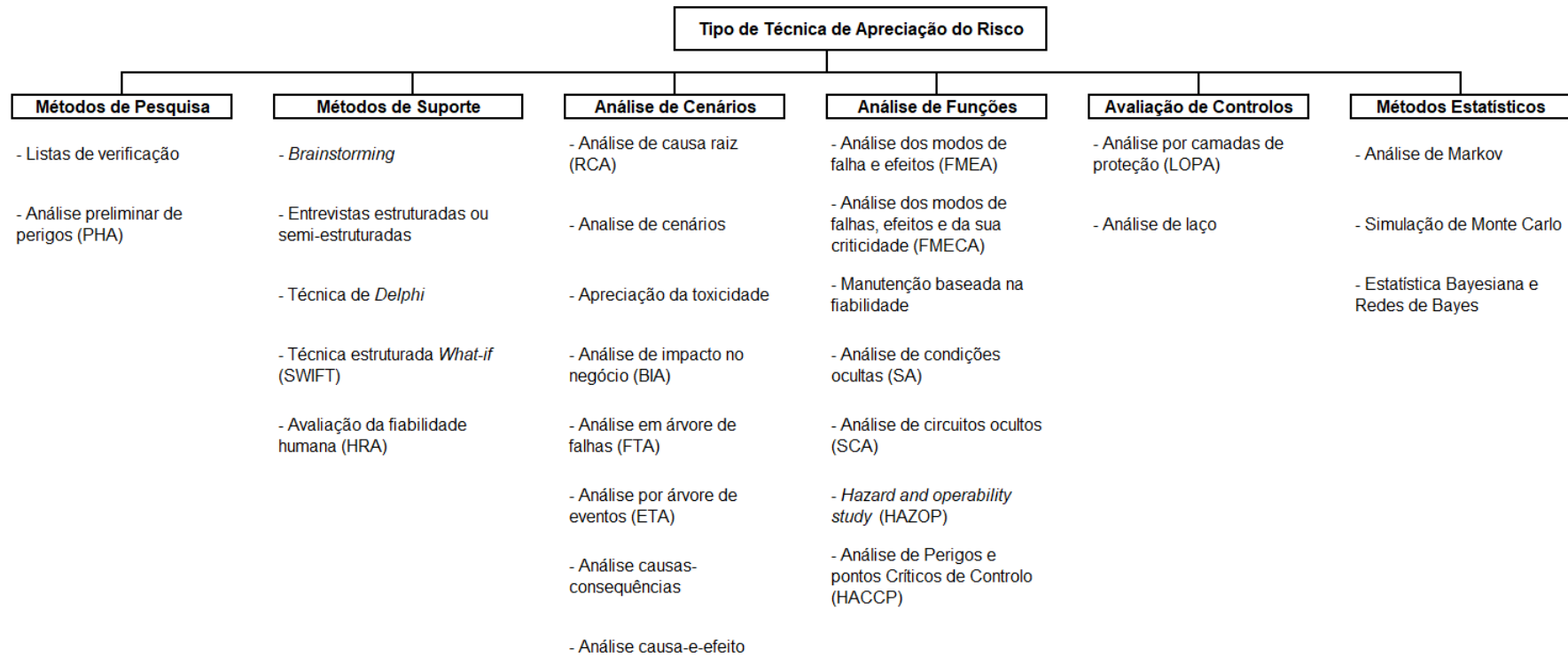


Fig. 19 – Técnicas e Ferramentas de apreciação do risco - (Duarte, 2018)

## 2.4.1 MÉTODO DE SUPORTE – BRAINSTORMING

A base da técnica de *Brainstorming* é a estimulação e desenvolvimento de uma conversa livre entre um grupo de pessoas, com conhecimentos em determinado tema. Esta conversa propicia uma dinâmica de grupo que permite identificar potenciais modos de falhas e os perigos, riscos, critérios para decisões e alternativas de soluções para o seu tratamento. Esta técnica abrange métodos específicos de fazer despoletar a imaginação das pessoas em função dos pensamentos e afirmações de outros no grupo (NP EN 31010, 2016).

É uma metodologia qualitativa e pode ser aplicada isoladamente ou em conjunto com outros métodos de apreciação de riscos.

As suas principais vantagens e limitações são as descritas no Quadro 3.

Quadro 3 – Método de Suporte à apreciação do risco - Brainstorming – vantagens e limitações – adaptado da (NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018)

<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
Estimula a imaginação, permitindo identificar novos riscos e soluções inovadoras.	Os participantes poderão não possuir competências e conhecimento necessário para haver um contributo eficaz.
Inclui as partes interessadas importantes e patrocina a comunicação global.	Dificuldade em provar que o processo foi abrangente e todos os riscos foram identificados, visto estarmos perante um método relativamente não estruturado.
Rápido e fácil de realizar.	Possibilidade de algumas pessoas com conhecimentos válidos não intervirem em grupo.
Pode ser conjugado com outros métodos ou isolado em qualquer fase do processo da gestão do risco ou do ciclo de vida de um sistema.	

## 2.4.2 MÉTODO DE SUPORTE – ENTREVISTAS ESTRUTURADAS E SEMI-ESTRUTURADAS

A metodologia de entrevistas estruturadas e semiestruturadas é qualitativa e aplicada quando não é possível juntar todas as pessoas para realizar um brainstorming. Outra possibilidade de utilização é quando o tema ou situação não é apropriada para uma discussão livre num grupo. Este método visa inquirir as pessoas, a coberto de um questionário previamente elaborado com uma lista de sugestões que direcionam e motivam a abordagem do assunto numa forma diferente da habitual, promovendo a identificação de riscos nessa perspetiva (NP EN 31010, 2016). Apresentam-se no Quadro 4 as principais vantagens e limitações desta técnica.

Quadro 4 – Método de Suporte à apreciação do risco - Entrevistas estruturadas ou semiestruturadas – vantagens e limitações – adaptado da (NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018)

<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
Facilitador de reflexão atempada por parte do entrevistado.	Exige muito dispêndio de tempo para obter múltiplas opiniões.
A entrevista presencial pode despoletar opiniões mais profundas dos assuntos em análise.	A parcialidade é tolerada não sendo totalmente eliminada pela discussão de grupo.
São utilizados para identificar riscos ou para efetuar uma avaliação da eficácia dos controlos existentes na fase da análise do risco.	Pode não ser atingida a imaginação necessária.
Possibilita a participação de um maior número de partes interessadas em relação ao <i>Brainstorming</i> .	

#### 2.4.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE CONTROLOS – ANÁLISE DE LAÇO (BOW-TIE)

A análise de laço ou correntemente designada de análise *Bow-tie* é uma metodologia que é representada esquematicamente em forma de laço (Fig. 20), colocando-se no centro o evento crítico a escarpelizar, do lado esquerdo são elencadas as eventuais causas que podem produzir esse evento e do lado direito são traçadas as potenciais consequências do mesmo evento. Ainda do lado esquerdo são identificadas as barreiras ou controlos de prevenção do evento e no lado direito são definidas as barreiras ou controlos de mitigação ou recuperação do evento. O enfoque desta análise encontra-se nas barreiras entre a causa e o risco e entre o risco e a consequência (Assumpção, 2018; NP EN 31010, 2016).

As técnicas de análise em árvore de falhas e de análise por árvore de eventos compõem a análise de laço (Fig. 20), sendo que também são métodos gráficos que representam as verosimilhanças e os impactos de um evento, respetivamente. Em síntese, o diagrama da análise de laço pode ser criado a partir da junção das análises em árvores: de falhas, geralmente usada na análise da causa de um evento e de eventos, utilizada para analisar as consequências de um evento, normalmente são construídas diretamente de uma sessão de *Brainstorming*.

Esta metodologia é semi-quantitativa ou quantitativa e é aplicada para se visualizar os caminhos do risco, delineando-se um caminho claro e independente que conduz à falha, através da representação de uma gama de possíveis causas e consequências (Assumpção, 2018).

Apresenta como principais vantagens e limitações as constantes do Quadro 5.

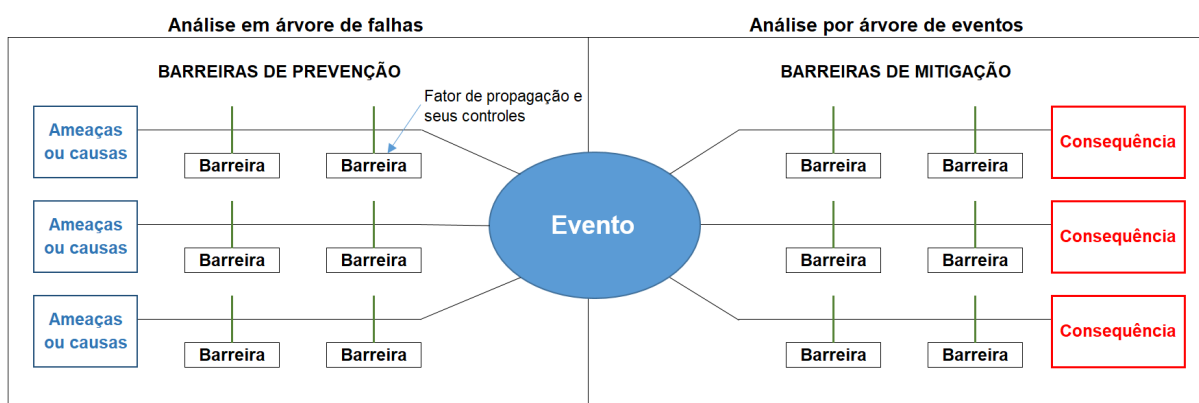


Fig. 20 – Esquema genérico do Método de Avaliação de Controlos da apreciação do risco – Análise de laço adaptado de (Assumpção, 2018)

Quadro 5 – Método de Avaliação de Controlos da apreciação do risco – Análise de laço – vantagens e limitações – adaptado de (Assumpção, 2018; NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018)

<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
Facilidade na visualização, sequência lógica e entendimento dos caminhos de um risco, desde as causas às consequências.	Não pode apresentar múltiplas causas a ocorrer simultaneamente como causa das consequências.
Evidencia os controlos necessários tanto para a prevenção como para a mitigação e sua eficácia.	A representação gráfica pode ser simples demais para situações complexas, em particular quando se tenta uma quantificação.
Pode ser usado para consequências desejáveis.	A eficácia da análise depende totalmente da qualidade do processo de análise e dos analistas e especialistas que participam.
Pode ser utilizado a toda a gama de causas (riscos inerentes) e controlos proactivos (riscos residuais) podem ser analisados e discutidos.	
Não precisa de elevado nível de conhecimentos especializados.	

#### 2.4.4 MATRIZ PROBABILIDADE/CONSEQUÊNCIA

Este método consiste na combinação de classificações qualitativas e semi-quantitativas de consequência e probabilidades com o objetivo de obter um nível de risco ou classificação de risco.



A forma e definição da matriz depende do contexto em que é utilizado pretendendo-se classificar os riscos, fontes de risco ou tratamento do risco, resultando num nível de risco. No caso de muitos riscos serem identificados é um método eficaz para a seleção de quais os riscos que deverão ser alvo de atenção reforçada, apoiando a comunicação no entendimento do risco, alinhados com a apetência ao risco da organização (Assumpção, 2018; NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018).

A matriz possui normalmente uma estrutura simples, flexível, aparentemente fácil para a realização da análise dos riscos (Fig. 21). Esta ferramenta também é eficaz na obtenção de resultados para priorizar ativos críticos.

Classificação das probabilidades	E	IV	III	II	I	I	I
	D	IV	III	III	II	I	I
	C	V	IV	III	III	II	I
	B	V	IV	III	III	II	I
	A	V	V	IV	III	II	II
		1	2	3	4	5	6
		Classificação das consequências					

IEC 2076/09

Fig. 21 – Exemplo de parte de uma matriz de critérios de probabilidade – (NP EN 31010, 2016)

Existem muitas referências bibliográficas que, para esta matriz, propõem o recurso a métodos quantitativos para determinação dos riscos, através de tabelas relacionais que usam pesos e experiência profissional para a quantificação da verosimilhança e impactos (Assumpção, 2018).

A presente metodologia pode ser usada para análise da criticidade em Análise dos modos de falhas, efeitos e da sua criticidade (FMECA<sup>4</sup>) (abordado na secção 2.4.5), em situações de dados insuficientes para uma análise mais pormenorizada ou quando o tempo e esforço não justificam uma análise quantitativa (NP EN 31010, 2016).

O êxito desta técnica depende da especialização da equipa e da qualidade dos dados disponíveis para ajudar nas avaliações de consequência e probabilidade (Chu, 2014).

No Quadro 6 sintetizam-se as vantagens e limitações apresentadas por este método.

<sup>4</sup> Acrónimo da designação original *Failure mode, effects and criticality analysis*, mantido nesta dissertação.

Quadro 6 – Método de Matriz Probabilidade/Consequência – vantagens e limitações – adaptado da (NP EN 31010, 2016)

Vantagens	Limitações
Facilidade na utilização, uma vez que possui uma estrutura simples, flexível, aparentemente fácil.	A matriz deve ser adaptada às circunstâncias da organização e elaborada para cada situação específica, sendo difícil existir somente um sistema comum a aplicar a toda a gama de riscos.
Os riscos são avaliados por diferentes níveis de significância, permitindo uma ordenação rápida dos mesmos.	Dificuldade na definição de escalas sem ambiguidade.
Os resultados gozam de boa visualização gráfica de uns em relação a outros.	Torna-se num método subjetivo que depende do classificador.
	Os riscos não podem ser agrupados.
	Dificuldade na comparação ou combinação do nível de risco para diferentes categorias de consequências.

#### 2.4.5 MÉTODO DE ANÁLISE DE FUNÇÕES – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

A Análise dos Modos de Falha e Efeitos, tem como termo em inglês *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA), e é um método usado para definir, identificar e eliminar a conhecida e/ou potencial falha, problema, erro, entre outros, de um sistema, de uma conceção, de um processo, e/ou de um serviço (Stamatis, 2003). Permite avaliar de que forma os componentes, os sistemas ou os processos podem falhar no cumprimento da função para que foram produzidos.

A FMEA teve início no departamento de defesa dos Estados Unidos e foi transposto para o procedimento militar MIL-P-1629, publicado em 9 de novembro de 1949 e substituído pelo MIL-P-1629A (*Military procedure MIL-P-1629: Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis*), atualmente descontinuados (Chu, 2014; Dias et al., 2011; Miguéis, 2010; Zorzan et al., 2013).

Salienta-se que a MIL-P-1629A descreve a técnica como Análise dos Modos de Falhas, Efeitos e da sua Criticidade (FMECA<sup>5</sup>) distinguindo-se da FMEA devido à agregação de um índice de criticidade que orienta a prioridade nas ações a serem executadas pela organização (Dias et al., 2011).

<sup>5</sup> Acrónimo da designação original *Failure mode, effects and criticality analysis* mantido nesta dissertação.

Na década de 60, este método passou a ser aperfeiçoado pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA<sup>6</sup>) no programa Apollo, contribuindo para a sua vasta utilização nos setores aeronáuticos. Depois de 1976 foi empregada no ramo automobilístico, manifestando-se numa ferramenta basilar para as empresas fornecedoras deste segmento (Liu, 2016; Miguéis, 2010; Zorzan et al., 2013).

Ainda em 1975 a FMEA foi integrado no setor nuclear e, em 1978, a companhia Ford Motor foi a primeira empresa a introduzir a FMEA na garantia da qualidade (segurança e regulamentação) (Chu, 2014; Zorzan et al., 2013).

Atualmente a FMEA é usado nos diversos ramos e atividades, por empresas de componentes, automobilísticas, metalo-mecânica, farmacêuticas, laboratórios medicinais, hospitais, entre outras (IEC, 2006; Zorzan et al., 2013).

A FMEA é uma ferramenta dinâmica de melhoria porque, independentemente da fase inicial, utilizará a informação para melhorar o sistema, conceção, produto, processo ou serviço. É continuamente atualizada com a frequência possível e necessária (Stamatis, 2003).

A FMEA ou FMECA é uma metodologia de ampla utilização, sendo aceite 5 tipos, (NP EN 31010, 2016; Stamatis, 2003), nomeadamente:

- Da Conceção (ou do produto) que é aplicada para componentes e produtos;
- Do Sistema que é usada para sistemas;
- Do Processo que é empregada para processos de fabrico e de montagem;
- Dos Serviços;
- Do Software.

É importante frisar que a FMECA é uma extensão da FMEA para incluir um meio de classificar a gravidade de cada modo de falha identificado. Esta classificação pode ser efetuada através da combinação da medida de gravidade e de frequência da ocorrência, para produzir uma métrica chamada criticidade. Esta criticidade pode ser calculada em função das taxas de falhas reais, com a possibilidade de recorrer a escalas qualitativas ou semi-quantitativas (NP EN 31010, 2016; IEC, 2006).

A FMEA é iniciada com a constituição de uma equipa e não pode ser feita numa base individual. A equipa deve ser definida como apropriada para um projeto específico e não pode servir como a equipa universal ou da empresa. O conhecimento que é necessário para o problema específico é único para esse problema. Por conseguinte, a composição da equipa deve ser multifuncional e multidisciplinar para cada FMEA (Stamatis, 2003).

Salienta-se que os membros da equipa FMEA podem não possuir um nível de conhecimento suficiente sobre o problema da análise de riscos, devido à crescente complexidade dos produtos, projetos, processos e/ou serviços. Nesses casos, eles geralmente acarretam alguma incerteza nas suas apreciações sobre os modos de falha considerados, o que faz com

---

<sup>6</sup> Acrónimo da designação original *National Aeronautics and Space Administration* e será utilizado nesta dissertação

que os resultados da avaliação de risco possam exibir características de incerteza e imprecisão (Liu, 2016).

A equipa ideal deve conter entre quatro e seis pessoas, mas o número mínimo de pessoas é ditado pelo número de áreas que são afetadas pela FMEA. Cada área (produção, engenharia, manutenção, materiais, serviço técnico) deve ser representada na equipa. O cliente quer interno quer externo à organização, pode constituir-se numa mais-valia à avaliação, pelo que pode ser proposto para aderir à equipa (McDermott et al., 2009).

Na FMECA, a equipa dispõe de 3 formas diferentes de classificar a criticidade de cada modo de falha. Genericamente, pode recorrer ao índice de criticidade do modo, ao nível do risco ou ao número prioritário de risco ou número de prioridade do risco (RPN<sup>7</sup>). O índice de criticidade do modo é uma mensuração da probabilidade do modo considerado conduzir a uma falha do sistema no seu conjunto. Este índice é determinado pela multiplicação de 3 variáveis, nomeadamente: probabilidade do efeito da falha, taxa de falha do modo e tempo de funcionamento do sistema. Os termos que concorrem para este índice podem ser definidos quantitativamente. É uma metodologia normalmente empregue em falhas de equipamento cujos modos de falha têm todos a mesma consequência. Por sua vez, o nível do risco resulta da combinação das consequências de um modo de falha sucedido com a probabilidade da falha. É utilizado em sistemas de equipamentos ou a processos e mediante as consequências dos diversos modos de falha diferirem entre si. Este nível pode assumir uma classificação qualitativa, semi-quantitativa ou quantitativa. Por último, o número prioritário de risco (RPN) é uma avaliação semi-quantitativa da criticidade, definida pelo produto de números de escalas de classificação (frequentemente entre 1 e 10) para a verosimilhança da falha (O), consequência da falha (S) e a capacidade para detetar o problema (D) (NP EN 31010, 2016).

Realça-se que as escalas de classificação podem tomar valores numéricos de 1 a 5 ou 1 a 10, sendo a gama de 1 a 10 a mais comum. Não existe uma linha diretriz de classificação comum para o sistema FMEA, devendo ser adaptada caso a caso (Stamatis, 2003).

No caso prático desenvolvido no âmbito desta dissertação, apesar de ser possível efetuar o estudo através do índice de criticidade do modo, a opção será de efetuar a priorização dos modos de falha com base no RPN, uma vez que é a metodologia mais frequentemente utilizada na FMEA OU FMECA.

A medida RPN usado na FMEA tradicional tem sido alvo de críticas por ter muitos defeitos inerentes, afetando sua efetividade e limitando suas aplicações reais. Assim, enumeram-se algumas limitações identificadas, (Liu, 2016), como sendo:

- a) A importância relativa entre os fatores de risco (O, S e D) não são levados em conta, porque são tratados com o mesmo peso;
- b) Uma combinação diferente de O,S e D pode produzir exatamente o mesmo valor de RPN, mas as suas implicações de risco podem ser totalmente diferentes. Isto pode provocar um desperdício de recursos e de tempo ou, em alguns casos, uma falha de alto risco devido a modos que passaram despercebidos.

---

<sup>7</sup> Acrónimo da designação original *Risk priority Number* mantido como referência na dissertação.

- c) Os três fatores de risco podem ser difíceis de determinar com a precisão adequada, pelos membros da equipa FMEA. Muitas informações na FMEA são frequentemente incertas ou vagas e podem ser expressas qualitativamente, de forma linguística, como "provável", "importante" ou "muito elevada".
- d) A expressão matemática para o cálculo de RPN é discutível e carece de uma base científica. Não existe uma lógica associada à multiplicação do O, S, e D para produzir o RPN.
- e) As relações diretas e indiretas entre os modos de falha e as causas de fracasso não são tidos em consideração.
- f) Os três fatores de risco são avaliados de acordo com escalas ordinais discretas, mas o cálculo da multiplicação não tem significado em escalas ordinais.
- g) A fórmula matemática adotada para o cálculo de RPN é fortemente sensível à variação nas avaliações dos fatores de risco. Pequenas variações podem levar a efeitos muito diferentes no valor de RPN.
- h) O método RPN apenas mede o ponto de vista do risco, ignorando a importância das ações corretivas. Este método não pode ser usado para medir a eficácia das ações corretivas.

Para colmatar algumas destas limitações, em particular o mencionado na alínea b), pode-se recorrer a um método de triagem simples, utilizado o índice SOD<sup>8</sup>. Esta medida é alternativa ao RPN e consiste na agregação não aritmética das classificações de gravidade (S), ocorrência (O) e detetabilidade (D), onde o valor de S é usado para o dígito das centenas, o de O é usado para o dígito das dezenas e o de D é usado para o dígito das unidades (Yeh & Chen, 2014).

Relembra-se que no índice RPN tradicional, da FMEA, distintos valores de avaliação da severidade, da ocorrência e da detetabilidade podem produzir exatamente o mesmo valor de RPN, refletindo-se em exposições ao risco totalmente díspares. Como tal existe a alternativa SOD, como exemplificado no Quadro 7.

Quadro 7 – Comparação de resultados com o RPN tradicional e o SOD alternativo – adaptado de (Degen et al., 2010)

<b>Severidade (S)</b>	<b>Ocorrência (O)</b>	<b>Detetabilidade (D)</b>	<b>RPN tradicional</b>	<b>SOD alternativo</b>
5	4	3	60	543
4	3	5	60	435
3	5	4	60	354

Ao longo das últimas décadas, além da alternativa SOD, muitos investigadores para resolver as deficiências e melhorar o desempenho da FMEA tradicional têm estudado uma série de modelos alternativos de prioridade de risco. Os métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM<sup>9</sup>) são uma das abordagens mais populares utilizadas para priorizar os modos de falha reconhecidos na FMEA. O recurso ao MCDM pode aumentar a eficácia e o valor empírico dos resultados da avaliação de risco. Apesar da existência de outros tipos de FMEA (como programação matemática e inteligência artificial), a FMEA baseada em MCDM tem vantagens

<sup>8</sup> É acrónimo da designação original *Severity-Occurrence-Detection* e será mantida esta referência na dissertação.

<sup>9</sup> É acrónimo da designação original *Multi-criteria decision-making* e será mantida esta referência na dissertação.

únicas, como a capacidade de modelar interações de critérios e a capacidade de gerar modelos hierárquicos, para resolver problemas complexos de tomada de decisão. Este FMEA pode não só lidar com a subjetividade e a imprecisão, tanto na determinação dos pesos dos fatores de risco quanto na avaliação dos modos de falha (Liu, 2016).

Em linhas gerais, qualquer que seja a abordagem a utilizar, a base do método FMEA assenta em três índices para classificar o risco, podendo ser atribuído por uma análise pessoal, por empirismo com suporte em dados históricos ou por método indutivo com base em taxas de falhas ou outros parâmetros estudados.

Após a determinação do RPN, a avaliação começa com base na definição do risco. Normalmente, este risco é definido pela equipa, com as devidas adaptações consoante a situação, como baixo, moderado, alto (elevado) e crítico (Stamatis, 2003), como por exemplo:

- Sob risco baixo, não é tomada qualquer medida.
- Sob risco moderado, tem de ser planeada alguma ação.
- Sob alto risco, requer mais atenção e um planeamento de ações a curto prazo.
- Sob risco crítico, exige ações imediatas e é necessário alterações no sistema, conceção, produto, processo, e/ou serviço.

Relativamente às vantagens e limitações, desta metodologia, são as descritas no Quadro 8.

Quadro 8 – Método de Análise de Funções da apreciação do risco – Análise dos modos e efeitos – vantagens e limitações – adaptado da (NP EN 31010, 2016; Duarte, 2018)

Vantagens	Limitações
Utilizável nos modos de falha humana, de equipamentos e de sistemas e para <i>hardware</i> , <i>software</i> e procedimentos.	Usadas para identificar modos de falha singulares e não combinações de modos de falha.
Identificam os modos de falha dos componentes, suas causas e efeitos no sistema ou processo e apresenta-os num formato facilmente legível.	As análises podem ser muito consumidoras de tempo e de custo elevado a menos que sejam adequadamente controlados e focados.
Tendem a prever tudo o que é necessário, evitando custos elevados de alterações de equipamentos em serviço.	Tornam-se difíceis e monótonas para sistemas complexos com diversos níveis.
Identifica precocemente problemas no processo de conceção.	
Resultam dados para o desenvolvimento de programas de monitorização.	

Por último, resumidamente para conduzir uma FMEA de forma eficaz, é necessário seguir uma abordagem sistemática, dividida genericamente em oito etapas:

1. Selecionar a equipa e brainstorming - Certificar-se que a equipa inclui membros de todas as áreas envolvidas. Inicia-se a abordagem com uma tempestade de ideias, diagrama de

- afinidade, método do livro de histórias, e/ou um diagrama de causa-e-efeito para tomar uma direção.
2. Diagrama de blocos funcionais e/ou fluxograma do processo - proporcionar uma visão geral e um modelo das relações e interações dos sistemas, subsistemas, componentes, processos, montagens, e/ou serviços com a finalidade de apoiar a compreensão do sistema, concepção, produto, processo, e/ou serviço.
  3. Prioridade - Depois de a equipa compreender o problema, começa a análise.
  4. Recolha de dados - É aqui que a equipa começa a recolher os dados das falhas e categoriza-as adequadamente. Neste momento, a equipa começa a preencher o formulário FMEA. As falhas identificadas são os modos de falha da FMEA.
  5. Análise - Agora os dados são utilizados para uma resolução. A razão para os dados é obter informação que é utilizada para obter conhecimento. Em última análise, esse conhecimento contribui para a decisão. A informação desta etapa será utilizada para preencher as colunas do Formulário FMEA em relação aos efeitos da falha, controlos existentes, e discutir a estimativa da gravidade, ocorrência e deteção.
  6. Resultados - O tema aqui é orientado pelos dados. Com base na análise, os resultados são derivados. A informação desta etapa será utilizada para quantificar a severidade, ocorrência, deteção, e RPN. As colunas apropriadas da FMEA será concluída.
  7. Confirmar/avaliar/medir - Após os resultados terem sido registados, é tempo de confirmar, avaliar, e medir o sucesso ou o fracasso. Esta avaliação toma a forma de três perguntas básicas:
    - A situação é melhor do que antes?
    - A situação é pior do que antes?
    - A situação é a mesma de antes?A informação desta etapa será utilizada para recomendar ações e para ver os resultados dessas ações nas colunas correspondentes do Formulário FMEA.
  8. Faça tudo de novo - independentemente da forma como o passo 7 é respondido, a equipa deve procurar melhorar tudo de novo por causa da subjacente filosofia da FMEA, que é a melhoria contínua.

Salienta-se que o formulário FMEA não é universal nem normalizado. Cada empresa tem o seu próprio formulário que reflete as necessidades da organização e as preocupações das partes interessadas (Stamatis, 2003).

Todas as considerações qualitativas gerais apresentadas para a FMEA serão aplicáveis ao FMECA, uma vez que esta última é uma extensão da outra.

Em resumo, este método permite avaliar o risco associado aos modos de falha e priorizá-los para intervenções proativas, definindo medidas preventivas para as questões mais graves, que carecem de melhoria ou de aumento de fiabilidade e segurança (Liu, 2016).

Um dos pontos fortes desta metodologia é o tornar robustas e concisas as decisões superiores, com base em critérios conhecidos e gerais, não se privilegiando assim interesses particulares de uma ou outra área da empresa (ainda que legítimos). Este método também terá de ter obrigatoriamente o envolvimento das áreas operacionais no processo, facilitando ainda a aceitação generalizada das decisões, a disseminação do conhecimento do estado

dos ativos e das ações propostas, bem como a instalação de uma cultura de gestão do risco, muito importante no negócio da água (Espanha et al., 2012, 2013).



## 3. CASO DE ESTUDO

### 3.1 ENQUADRAMENTO

A gestão de ativos não constitui uma novidade na Águas do Algarve, S.A. (AdA), visto que é imposto no contrato de concessão, a construção, a manutenção e a conservação do património gerido. Neste contexto, no seio da AdA sempre foi efetuada esta gestão, existindo mesmo uma Direção de gestão de ativos, responsável pelo planeamento, construção e manutenção/reabilitação dos ativos.

Em termos globais, a AdA gasta anualmente, em média, cerca de 2,7 milhões de euros, na manutenção total do sistema de abastecimento de água, sendo 1,7 milhões de euros em regime de *outsourcing*<sup>10</sup> e 1,0 milhão de euros em regime de *insourcing*<sup>11</sup>. Deste valor, aproximadamente 2.3% correspondem a gastos com reparação de roturas, o qual pode ser otimizado. Nesta ótica, para minimizar esta contribuição de gastos surge este estudo, pelo que é necessário proceder à seleção da abordagem adequada para priorizar os investimentos a efetuar nas condutas adutoras, podendo ter como ponto de partida os seguintes fatores:

- a. Dimensão do problema e os métodos necessários para analisá-lo;
- b. Avaliação da quantidade de informação disponível e suficiente para atingir essa priorização;
- c. Quantidade de recursos necessários, em termos de tempo e nível de conhecimento especializado, conjugado com os dados ou custo;
- d. Os resultados obtidos serão quantitativos ou qualitativos.

#### **a) Dimensão do problema e os métodos necessários para analisá-lo;**

O presente trabalho será centrado nas condutas adutoras de água tratada, porque num cenário de rotura ou falha implica restrições de acesso da água aos consumidores finais (domésticos, comerciais, industriais, públicos), tornando-se num problema de saúde pública, entre outros. Já as condutas adutoras de água bruta, deste sistema, possuem redundância de utilização de captações, pelo que caso exista alguma anomalia numa rede de água bruta, pode-se recorrer a outras origens de água.

Outro motivo para o estudo incidir nas adutoras de água tratada é devido ao facto de a água transportada já incorporar os gastos de transporte, desde a captação até à ETA e os gastos do processo de tratamento da água.

---

<sup>10</sup> *Outsourcing* é um termo inglês que indica a externalização de serviços, ou seja, as organizações recorrem aos serviços de empresas externas para desenvolverem determinados trabalhos sem necessidade de efetuarem contratações internas. <https://www.economias.pt/outsourcing/>

<sup>11</sup> *Insourcing* é um termo inglês que significa utilização de meios e/ou recursos internos da organização.

Relativamente às metodologias empregues neste estudo podem ser qualquer uma das descritas na secção 2.4, uma ou mais conjugadas entre si. O estudo iniciou com a formação de um grupo, passando para uma sessão de *brainstorming* sobre os modos de falha das condutas e seus efeitos. Posteriormente foram efetuadas entrevistas semi-estruturadas, na forma de inquérito e conversação com os operadores do sistema. Com base nos resultados obtidos nas metodologias *brainstorming* e entrevistas semi-estruturadas foi construída a Análise de laço (Fig. 28).

Estes passos foram importantes para perceber a dimensão do problema, visualizando esquematicamente a sequência lógica e compreendendo os caminhos do risco, desde a causa até à consequência. Agora falta selecionar a metodologia principal para atingir o objetivo de estabelecer as prioridades de intervenção nas condutas do sistema.

Atendendo a que estamos na presença da análise de um só evento, o de rotura nas condutas, é importante recorrer a uma metodologia prática que possa ser implementada antes deste modo de falha ocorrer.

Por outro lado, é indicada como técnica fortemente aplicável em todas as etapas da apreciação do risco, a FMEA/FMECA, tendo sido já implementados os pontos 1 a 3 descritos na secção 2.4.5. Além disto, este método permite manipular uma grande quantidade de dados, neste caso avaliar 1094 troços de conduta, que no caso da matriz probabilidade/consequência não se conseguiria visualizar graficamente todos os resultados, uns em relação a outros. A FMEA/FMECA possui a análise suficiente para este problema e tem a facilidade de se proceder a alterações a qualquer momento do processo, sem que isso se traduza em custos elevados ou perda de tempo.

Julga-se que este método é o mais adequado face aos dados que se dispõe para identificar os troços de conduta a intervir. Realça-se que a abordagem realizada será uma variante à FMEA tradicional, conjugando com o método de MCDM. Com esta metodologia a importância relativa dos fatores de risco será tida em conta, com a atribuição de pesos diferentes.

Em resumo, o modo de falha a analisar é a rotura de conduta, sendo calculado para cada troço um número prioritário de risco (RPN). Assim, cada troço é classificado através do produto entre a verosimilhança da falha - ocorrência (O), consequência da falha - severidade (S) e a capacidade para detetar o problema - detetabilidade (D). Posto isto, estes termos serão definidos com base em critérios selecionados, assentes em dados históricos. Normalmente, neste método são usadas escalas qualitativas de 1 a 10, mas como no presente estudo se vão utilizar escalas semi-quantitativas, as gamas das escalas foram reduzidas para metade, 1 a 5 (Stamatis, 2003). Esta redução permite avaliar mais rapidamente e claramente cada troço, descartando alguma incerteza na avaliação com escalas maiores.

Face ao exposto, a priorização dos investimentos a realizar nestes ativos infraestruturais, as condutas, será conduzido pelo método FMECA.

**b) Avaliação da quantidade de informação disponível e suficiente para atingir essa priorização**

Visualizado o problema, é necessário avaliar a informação disponível na Empresa e qual deve ser a informação mínima que se deve recolher. Para tal, resumiu-se a informação cadastral para tipo de ativo em análise, como enumerado no Quadro 9 (CEGA, 2017; Serranito & Silva, 2014).

Quadro 9 – Informação cadastral para adutoras – adaptado de (CEGA, 2017; Silva & Serranito, 2014)

<b>Informação mínima necessária</b>		
<b>Dado</b>	<b>Disponível na AdA (Sim/Não)</b>	<b>Fonte</b>
- Localização	Sim	SIG <sup>12</sup>
- Comprimento	Sim	SIG
- Diâmetro	Sim	SIG
- Material	Sim	SIG
<b>Informação complementar</b>		
- Data de entrada em serviço	Sim	SIG
- Cota piezométrica mínima a satisfazer nos pontos notáveis	Sim	Esquema Altimétrico do Sistema
- Tipo de junta	Não	
- Qualidade de construção (qualitativa)	Não	
-Data e tipo de intervenções generalizadas de reabilitação	Sim	Sistema de Manutenção e Gestão de Ativos

A AdA, no que se refere às condutas adutoras, possui a informação mínima necessária e alguma da informação complementar, como indicado no Quadro 9. É importante a partir desses dados, obter informação relevante para a gestão estratégica desta infraestrutura, designadamente a gestão de interferência com outras infraestruturas instaladas/a instalar no subsolo, avaliação das intervenções efetuadas/a efetuar em cada troço, análise de condições para aumento de cobertura do sistema, predição das ações de reabilitação a realizar em determinado troço de conduta, entre outras. Estas estratégias serão previamente planeadas, avaliadas e priorizadas consoante a gravidade e a disponibilidade financeira.

**c) Quantidade de recursos necessários, em termos de tempo e nível de conhecimento especializado, conjugado com os dados ou custo**

Os recursos necessários para esta FMECA são os seguintes:

<sup>12</sup> Sistema de Informação Geográfica

- Equipa formada por 4 elementos;
- 1 Computador para introduzir e processar os dados recolhidos;
- Sistema de Informação Geográfica – recolha de dados geográficos e de características de cada troço;
- Sistema de Manutenção e Gestão de Ativos – recolha de dados de ordens de trabalho de reparação de roturas e custos associados;
- Sistema de Operação – Recolha de caudais máximos do mês de maior consumo;
- Formulário FMEA.

**d) Os resultados obtidos serão quantitativos ou qualitativos**

Os resultados obtidos serão semi-quantitativos, uma vez que advém de uma combinação de escalas numéricas, através de uma fórmula. Assim, cada troço de adutora terá um índice de risco associado, o RPN tradicional ou o SOD alternativo. Esse número quando mais elevado for mais crítico é o troço de adutora, sendo que mais premente é a sua substituição/reabilitação.

### **3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUAS DO ALGARVE**

A AdA é a concessionária, em regime de exclusividade, da exploração e da gestão, do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Algarve (adiante abreviado por sistema), para captação, tratamento e fornecimento de água para consumo público e para recolha, tratamento e rejeição dos efluentes, dos municípios de Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Monchique, Olhão, Portimão, São Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo e Vila Real de Santo António, que foi criado recentemente pelo Decreto-Lei n.º 93/2019, de 15 de julho. É uma entidade gestora em “Alta”, responsável pela gestão do Sistema de Abastecimento de Água e do Sistema de Saneamento de Águas Residuais.

O sistema, da responsabilidade da AdA, engloba as infraestruturas da rede de abastecimento em alta e detém uma dimensão territorial regional, distribuída ao longo do Algarve abrangendo uma superfície de 5.000 km<sup>2</sup> (Fig. 22).

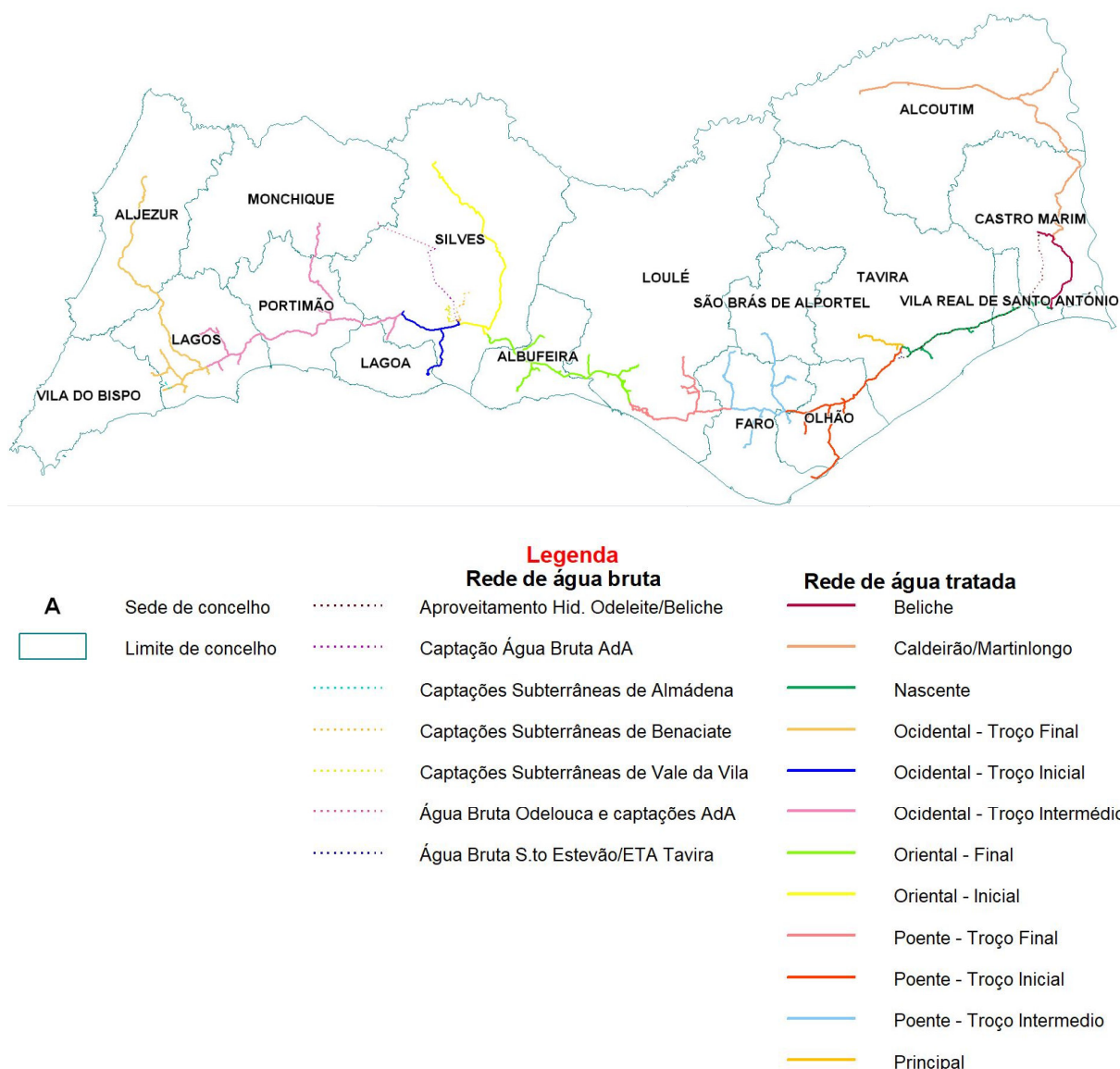


Fig. 22 – Mapa geral do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Algarve – Sistema de abastecimento de água

A AdA possui ativos estratégicos que desempenham um papel direto na captação, produção, elevação, transporte e reserva de água, sendo que a sua falha resulta na não entrega de água ao cliente. Assim, devem ser determinados critérios para a tomada de decisão de atuação, nomeadamente os papéis e as responsabilidades de cada membro da equipa de gestão de ativos.

Neste sentido, debruçando somente no Sistema de Abastecimento de Água, é importante a definição de objetivos no âmbito da gestão de ativos, que são os seguintes:

- Fornecimento do serviço em condições normais e de emergência (assegurando o abastecimento contínuo de água para consumo humano a todos os consumidores, em condições normais de funcionamento, e aos consumidores críticos ou áreas críticas

- em situações de emergência, e restabelecer o abastecimento com a brevidade possível em caso de interrupção);
- Sustentabilidade da entidade gestora (assegurando que o património infraestrutural é mantido e tem capacidade para satisfazer as necessidades atuais e futuras dos consumidores);
  - Promover o desenvolvimento sustentável da comunidade (ou seja, contribuir para o crescimento e para a melhoria da qualidade de vida da comunidade, sem pôr em causa a utilização dos recursos naturais pelas gerações futuras).

A conceção do Sistema de Abastecimento de Água passou por várias fases de construção e ampliação da área de cobertura, desde 1995 até aos dias de hoje, obedecendo a diversos condicionalismos e fatores técnicos, ambientais e geológicos. Foi projetado para servir uma população, em época alta, de cerca de 1,26 milhões, sendo composto por 3 barragens, 24 captações, 5 estações de tratamento de água, 31 estações elevatórias, 18 reservatórios próprios, 79 pontos de entrega e aproximadamente 526km de condutas. Este sistema é caracterizado por possuir condutas interligadas, de uma ponta à outra do Algarve, formando uma rede ramificada. Está organizado em duas zonas de exploração, a Nascente e a Poente, 5 subsistemas e 20 troços principais.

Os subsistemas correspondem à área de adução de cada Estação de Tratamento de Água (ETA), tanto de água bruta como de água tratada. A Área de adução, da Empresa, incorpora a operação das condutas sob pressão, de escoamento quer gravítico quer elevatório, constituídas por tubagens de secção circular e distribuídas pelos troços principais, dispostos conforme o Quadro 10.

Quadro 10 – Comprimentos por Classe-Zona-Subsistema e Troço Principal

Classe	Zona	Subsistema	Troço Principal	Comprimento (km)
Rede de Água Bruta	Zona Poente	ETA de Almádena - JK8	Captações Subterrâneas de Almádena	1.03
			Água Bruta Odelouca e captações AdA	8.22
		ETA de Alcantarilha	Captação Água Bruta AdA	11.19
			Captações Subterrâneas de Benaciate	4.18
			Captações Subterrâneas de Vale da Vila	6.35
	Zona Nascente	ETA de Beliche	Aproveitamento Hid. Odeleite/Beliche	0.93
			Água Bruta S.to Estevão/ETA Tavira	1.84
		ETA de Tavira	Aproveitamento Hid. Odeleite/Beliche	28.11
<b>Subtotal</b>				<b>61.84</b>
Rede de Água Tratada	Zona Poente	ETA de Alcantarilha	Ocidental - Troço Inicial	17.51
			Ocidental - Troço Intermédio	47.25
			Ocidental - Final	50.41
			Ocidental - Inicial	37.41
	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	14.99
			Caldeirão/Martinlongo	60.43
	Zona Poente	ETA de Fontainhas	Ocidental - Troço Final	55.73
			Ocidental - Troço Intermédio	22.17
	Zona Nascente	ETA de Tavira	Nascente	29.06
			Poente - Troço Final	38.62
			Poente - Troço Inicial	38.84
			Poente - Troço Intermédio	43.84
			Principal	8.16
<b>Subtotal</b>				<b>464.44</b>
<b>Total</b>				<b>526.28</b>

### 3.3 DIAGNOSTICO ATUAL

No seguimento do exposto anteriormente, após constituição da equipa de FMEA foi efetuada uma sessão de *brainstorming* resultando parte do esquema da análise de laço e uma análise sistémica da empresa, através da análise SWOT. Esta metodologia permite aferir a informação relativa ao contexto externo (global e específico dos intervenientes no serviço de abastecimento de água) e ao contexto interno. Também permite enumerar as principais oportunidades e as principais ameaças, a nível de contexto externo da AdA, bem como os principais pontos fortes e fracos, a nível de contexto interno, por forma a encaminhar a abordagem a levar a cabo no presente estudo.

A primeira análise SWOT da AdA, no contexto da gestão de ativos, foi efetuada em 2014 com a elaboração do Plano Estratégico de Gestão Patrimonial de Infraestruturas da Águas do Algarve, S.A., (Espanha & Dias, 2014). Neste momento, esta análise foi revisitada e adaptada para o presente diagnóstico.

Como contexto interno identificam-se os seguintes pontos:

- **Pontos Fortes:**

- ↪ Boa estrutura organizacional que permite desenvolvimento de estudo e análises, conducentes ao cumprimento dos objetivos.
- ↪ Bom cadastro global, com informação detalhada sobre os diferentes componentes do sistema (macro e micro escala).
- ↪ Boa relação e coordenação entre os recursos humanos da organização e os recursos humanos de *outsourcing*.
- ↪ Disponibilidade e fiabilidade de dados relativos a ocorrências de operação e manutenção das infraestruturas.
- ↪ Visão integrada de gestão de recursos hídricos (a nível regional - Multimunicipal), com operação e manutenção permanente ao longo de todo o ciclo urbano da água, consequentemente, economia de escala.
- ↪ Empresa certificada de acordo com vários referenciais para Água e Saneamento (Qualidade, Ambiente, Segurança, Responsabilidade Social, Produto Água).
- ↪ Capacidade interna para realização de intervenções e obras necessárias e manutenção geral.
- ↪ Existência de redundâncias de origem do sistema face a um cenário de contingência.

- **Pontos Fracos:**

- ↪ Sistema dimensionado para os períodos críticos, isto é época alta, com consequências negativas a nível de tarifas a praticar.
- ↪ A ausência de gestão integrada de todas as componentes do sistema de água e de saneamento, em particular articulação dos sistemas alta/baixa, que afeta a eficiência da gestão dos sistemas.
- ↪ O valor da população flutuante não é totalmente fidedigno.
- ↪ A contabilidade não detalha o valor de cada infraestrutura isoladamente, não sendo fácil saber o valor real de cada infraestrutura em determinado momento.
- ↪ Reservas de água insuficientes no sistema para responder adequadamente a caudais de ponta.

Relativamente ao contexto externo destacam-se as oportunidades e ameaças, nomeadamente:

- **Oportunidades**

- ↪ Proximidade de zona costeira (mais clientes, maior consumo nas épocas altas).
- ↪ Região fortemente turística, com elevadas exigências a nível de qualidade ambiental, o que exige um elevado desempenho dos sistemas.
- ↪ Elevada potencialidade de implementação de projetos de reutilização de água residual tratada para rega de campos de golfe e espaços verdes - contribuindo para o fecho do ciclo urbano da água.
- ↪ Integração do serviço de águas em baixa.
- ↪ Possibilidade de criar alternativas de origem de água vinda do mar.

- **Ameaças**

- ↪ Elevado nível de qualidade ambiental exigido à região, devido ao turismo, afetando as tarifas a praticar.
- ↪ Resultados económico-financeiros dependem fortemente da atividade turística.
- ↪ Os sistemas de informação, existentes na Empresa, não estão interligados entre si, não permitindo a devida sinergia dos mesmos.
- ↪ Possibilidade de zonas de intrusão salina, na rede em baixa, o que promove a inibição do tratamento biológico das águas residuais, diminuindo a qualidade da água tratada nas Estações de Tratamento de Águas Residuais.
- ↪ Efeitos das alterações climáticas na procura e na qualidade da água.

Prosseguindo o diagnóstico atual foram realizadas entrevistas semi-estruturadas, por via da aplicação de um questionário (Anexo I), aos operadores da área de adução do sistema. Nesta fase identificaram-se os seguintes problemas:

- Zona Nascente:

- Subsistema da ETA de Beliche, no Troço Caldeirão/Martinlongo – existência de estrangulamentos no abastecimento de água, a partir do reservatório de Vale do Gato, com especial incidência no eixo de fornecimento desde a estação elevatória de Balurcos até ao Ponto de Entrega de Martinlongo. Esta situação está associada a pressões baixas e redução de secção da conduta de Giões para Martinlongo.
- Subsistema de Beliche, no Troço de Beliche - verificam-se perdas de água.

- Zona Poente:

- Subsistema da ETA de Alcantarilha, no Troço Ocidental – Intermédio - restrições de caudal devido à redução da secção disponível, a montante da ETA de Fontainhas.
- Subsistema da ETA de Fontainhas, no Troço Ocidental – Intermédio - a jusante da ETA, em situação de caudal de ponta na época alta, contata-se estrangulamento de caudal, para alguns pontos de entrega.
- Subsistema da ETA de Alcantarilha, no Troço Oriental – Final - dificuldades na estação elevatória de Boliqueime, quando se aumenta significativamente o caudal na estação elevatória Reversível para Nascente.



A seguir foram compiladas e estudadas as características físicas das condutas adutoras do sistema, como o material, o diâmetro, os anos de serviço e também o caudal que transportam e o número de roturas ocorridas.

As adutoras são constituídas por 8 tipos de materiais: Aço, Betão Armado, Betão Pré-esforçado / Alma de Aço (BPAA), Europipe, Ferro Fundido Dúctil (FFD), Fibrocimento, Policloreto de Vinilo (PVC) e Polietileno de Alta Densidade (PEAD), correspondendo à distribuição consoante o seu comprimento, como apresentadas na Fig. 23.

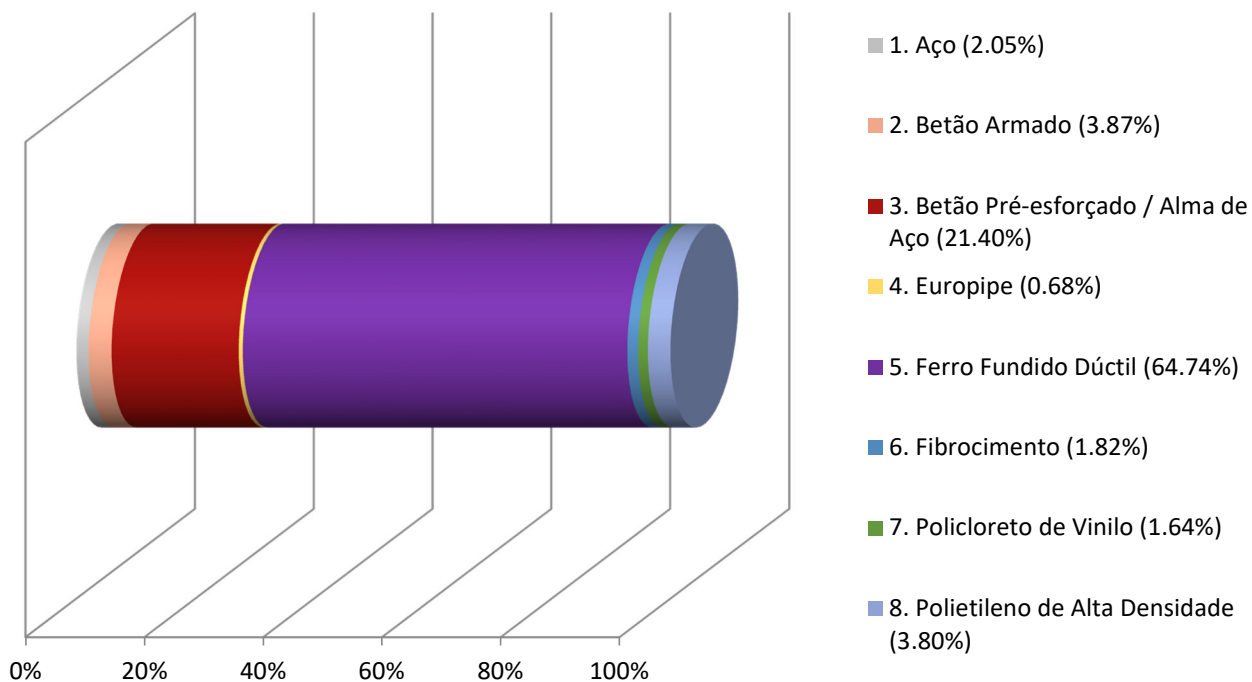


Fig. 23 – Materiais

No que se refere ao comprimento das adutoras, do sistema, estão divididas em aproximadamente 62km da rede de água bruta e cerca de 464km da rede de água tratada, como indicado no Quadro 10.

Os seus diâmetros oscilam entre DN60mm e o DN3000mm, com os comprimentos representados na Fig. 24.

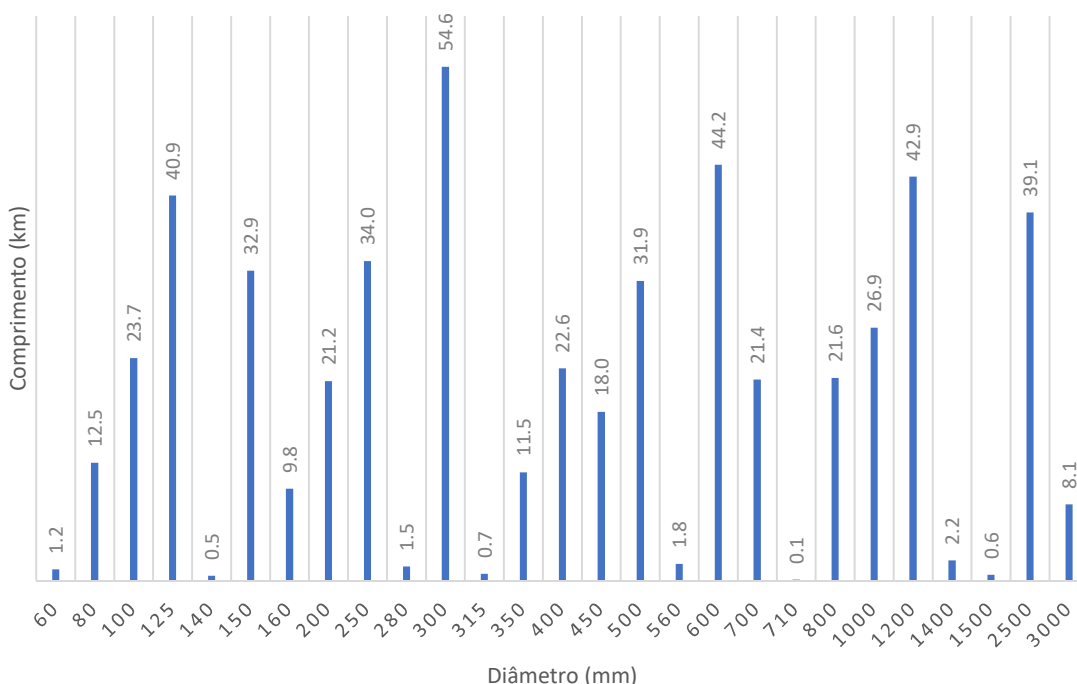


Fig. 24 – Comprimentos por Diâmetros Nominiais

Da Fig. 23 constata-se que o sistema é composto maioritariamente por tubagens de material ferro fundido dúctil, rondando os 65%. Por outro lado, da Fig. 24 verifica-se que aproximadamente 40% do sistema possui os diâmetros da gama de DN125mm, DN300mm, DN600mm, DN1200mm e DN2500mm.

Relativamente aos anos de serviços ou idade, das condutas adutoras, verifica-se que 98% do comprimento total do sistema possui até 30 anos, sendo que 4% dessas têm idade jovem, até 10 anos, como ilustrado na Fig. 25. Atendendo que as condutas terão como vida útil cerca de 50 anos, o sistema encontra-se na fase de estabilização, sendo oportuno olhar para os troços que deverão ser reabilitados/substituídos.

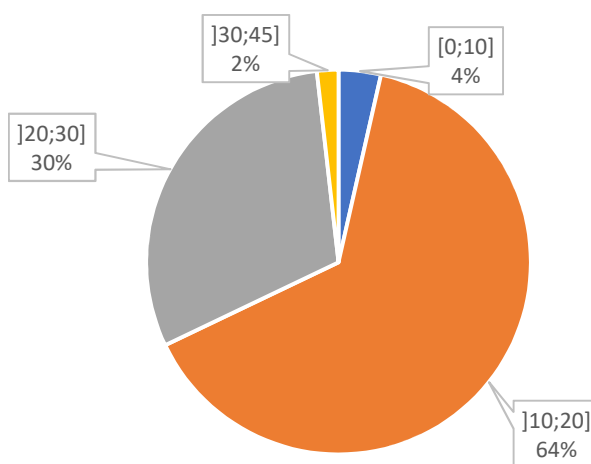


Fig. 25 – Anos de serviços

Outra variável importante de analisar nas condutas é o caudal, pelo que se determinou a média do histórico dos últimos 5 anos, de 2015 a 2019, do caudal médio diário do mês de maior consumo, ilustrado no Quadro 11, por Troço principal. Esta média obteve um erro padrão baixo, refletindo uma amostra homogénea e confiável, estando estes valores apresentados no Anexo II.

Quadro 11 – Caudais por Troços Principais

Troço Principal	Caudal médio (m <sup>3</sup> /dia)
Beliche	3.346
Caldeirão/Martinlongo	1.405
Nascente	26.870
Ocidental - Troço Final	15.265
Ocidental - Troço Inicial	10.729
Ocidental - Troço Intermédio	75.634
Oriental - Final	79.882
Oriental - Inicial	8.956
Poente - Troço Final*	62.368
Poente - Troço Inicial*	38.169
Poente - Troço Intermedio*	48.811
Principal	368

\*Estas condutas adutoras transportam a água que se transfere do lado Nascente para o lado Poente

Um dado também relevante para o diagnóstico das condutas são as roturas ocorridas, desde o início da atividade do sistema. Como atrás referido, os dados foram recolhidos, georreferenciados, registados, analisados e tratados, tendo-se verificado que o seu pico ocorreu em 2016. Este pico deveu-se maioritariamente a perda de resistência estrutural das condutas, em grande parte das condutas que abastecem os reservatórios de Mosqueira e Bemparece. Perante tal situação, em 2017 a substituição destes troços de condutas foi inevitável, tendo normalizado o padrão da ocorrência de roturas.

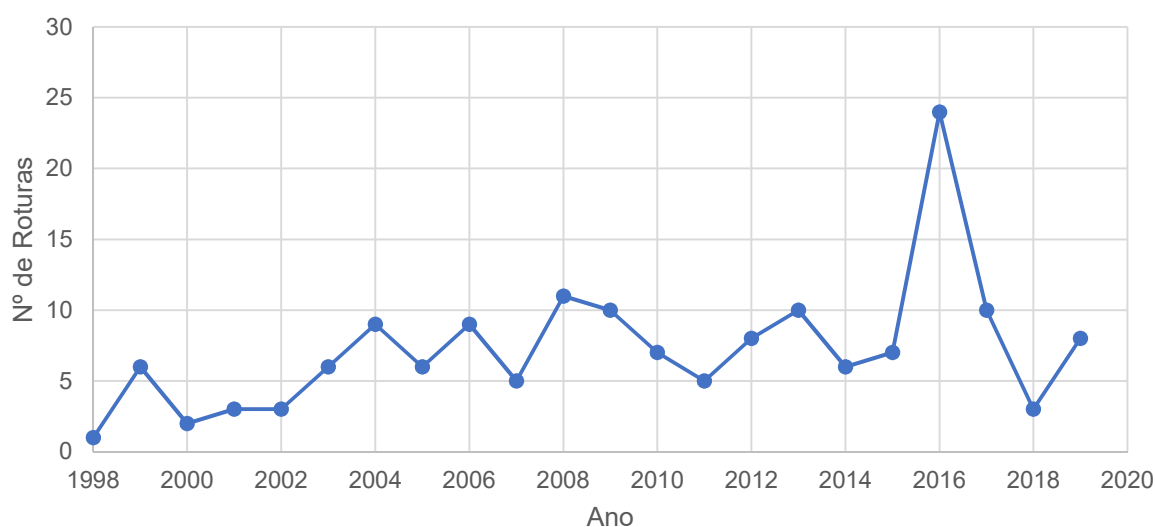


Fig. 26 – N.º de Roturas por ano de ocorrência

Neste diagnóstico, na componente de roturas, também se observa que as condutas PEAD e de fibrocimento são as que apresentam mais roturas (Fig. 27). Esta constatação é estritamente válida para o sistema em estudo.

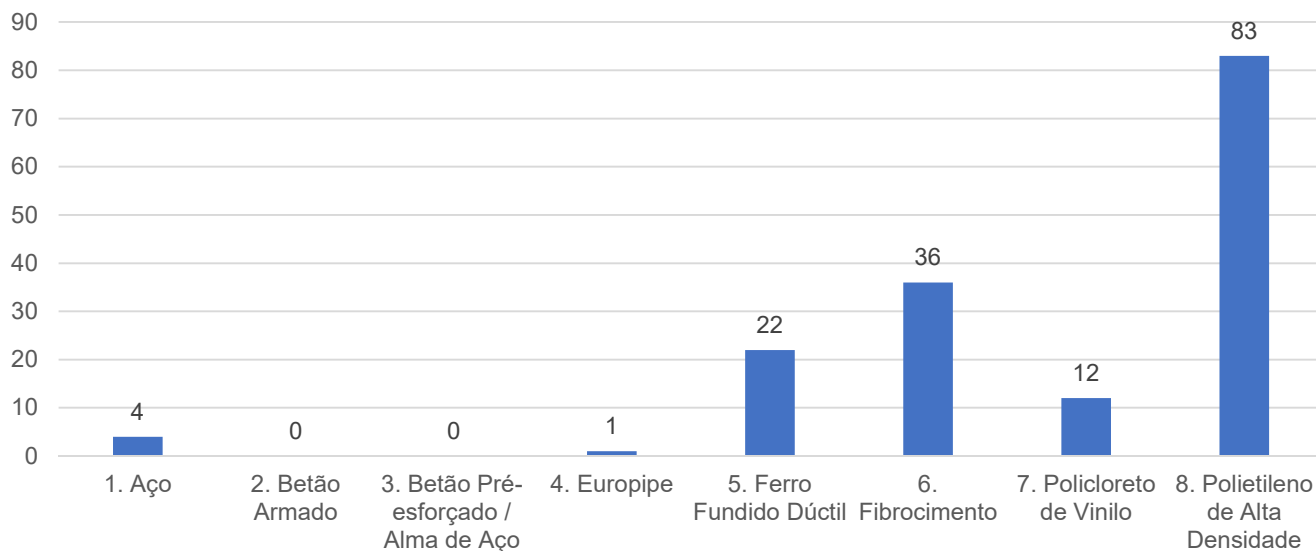


Fig. 27 – N.º de Roturas por material

As roturas sucedidas nas condutas de material PEAD, segundo as ordens internas de trabalho da manutenção, iniciaram-se logo no período de mortalidade infantil, devido a uma junção de fatores, como deficiente instalação inicial da conduta (i.e. assentamento das condutas sobre pedras, má conceção originada pelo perfil inadequado - com pequenos altos sem ventosas) e má qualidade/construção do tubo de PEAD (de referir que estas tubagens foram das primeiras a ser fabricadas no país na altura).

Por sua vez, como a tubagem em fibrocimento apresenta uma taxa de falha elevada julga-se que já se encontra no período de desgaste. O fibrocimento neste sistema foi instalado na década de 80, talvez por ser um material de baixo custo em relação a outros materiais, possuindo como características a leveza, a resistência à corrosão, a baixa condutividade térmica e baixa rugosidade. Neste material as roturas dão-se principalmente por assentamento diferencial dos solos ou pelo incremento das cargas externas, em especial o tráfego rodoviário ou as raízes das árvores (Castro, 2016). Considera-se que o conjunto destes fatores estão na base das roturas registadas nas condutas do sistema.

Salienta-se que nesta análise, as roturas contabilizadas nas condutas do sistema assumido pela AdA, também se incluem as fugas ou roturas de água observadas no sistema de adução, defeitos em válvulas ou acessórios (por exemplo juntas), situações que levam à interrupção do serviço e necessitam de reparação ou renovação (Grilo, 2007).

Para o tratamento adequado dos dados das roturas, carregadas no SIG e nas ordens internas de serviço de manutenção, procedeu-se à uniformização da causa e associou-se um fator e sua natureza (Anexo III).

Relativamente às roturas que aconteceram nas condutas de água tratada, escalpelizando o fator e a sua natureza, como ilustrado no Quadro 12, pode-se verificar que a sua maioria são de natureza estrutural, motivado pela perda de resistência estrutural, tendo como intervenção a substituição da conduta danificada.

Quadro 12 – Quantificação das Roturas por evento e natureza

<b>Fator</b>	<b>Natureza</b>	<b>N.º Roturas</b>
Perda de resistência estrutural (substituição)	Estrutural	99
Alterações Bruscas de Pressão (substituição)	Hidráulica	44
Rotura provocada por ação externa	Reparado sem análise	15
<b>Total</b>		<b>158</b>

Destas roturas, as que são importantes para este estudo são as que ocorreram naturalmente, sem intervenções provocadas por terceiros e que se encontram sobre troços de conduta que ainda não foram substituídos ou desviados, isto é, que ainda não tiveram uma intervenção de reabilitação ou de substituição. Nesta situação ficam 72 roturas para integrar os critérios de avaliação das intervenções a levar a cabo nas condutas do sistema.

Posteriormente, para ter uma noção do que poderia estar envolvido numa rotura, recorreu-se à análise de laço esquematizando-se o risco em análise, centrando a rotura. Num lado listou-se eventuais causas e do outro lado o seu impacto ou possíveis consequências, como representado na Fig. 28.

Após a representação gráfica é necessário considerar controlos ou barreiras de prevenção no lado das causas, atribuindo um responsável para cada e também identificar os controlos de mitigação ou recuperação do lado das consequências, também nomeando um responsável. A título de exemplo como controlos de prevenção pode-se ter o conhecimento do operador, os sistemas de alarmes, a pressão. Como controlos de mitigação indicam-se o sistema de deteção, o controlo da pressão, as equipas de prevenção, entre outros.

O entendimento do funcionamento do sistema e a sua visualização geográfica é fundamental para a gestão de risco. Neste contexto, utilizaram-se os sistemas de informação implementados na AdA.

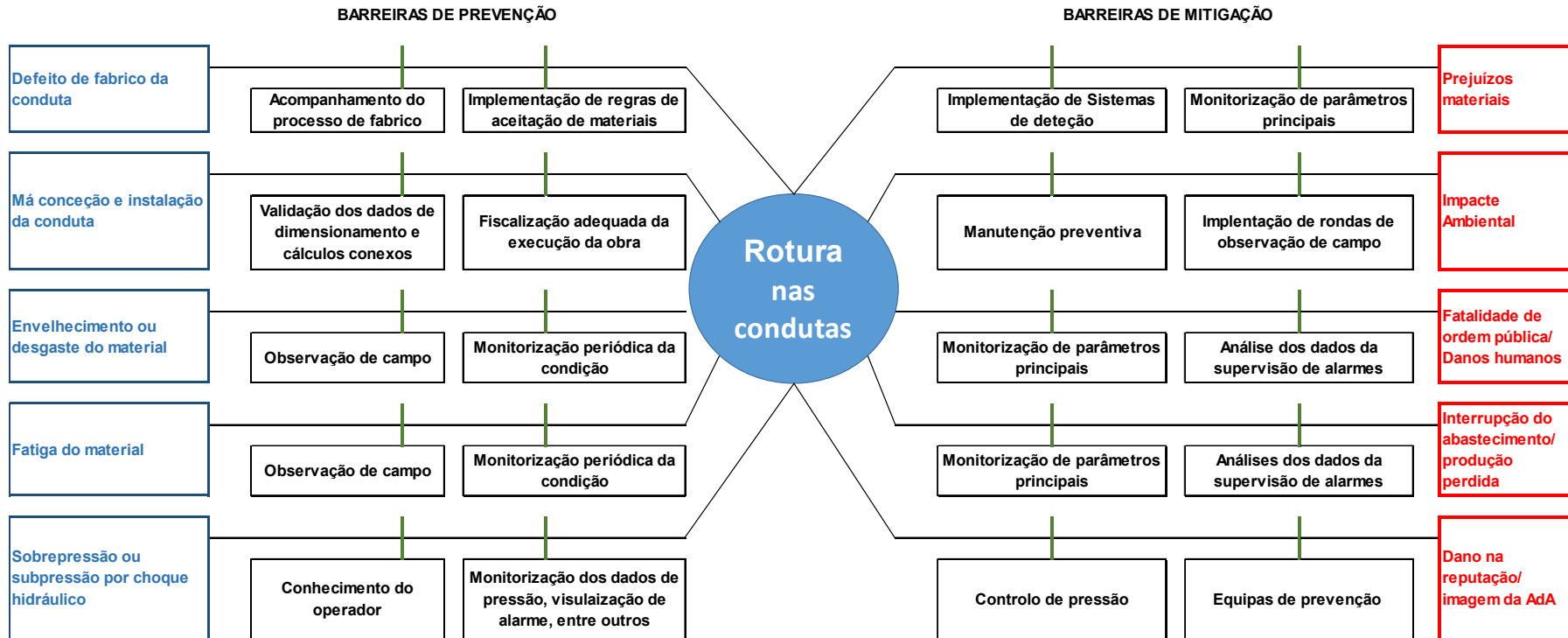


Fig. 28 – Montagem da análise de risco para uma rotura nas condutas do sistema

### 3.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA NA PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS NAS CONDUTAS ADUTORAS

Nesta secção, serão apresentadas e fundamentadas as metodologias disponíveis para a gestão do risco inerente ao portefólio de ativos da AdA, tendo como foco as condutas adutoras da rede de água tratada.

Refere-se que o objetivo principal deste estudo é priorizar as intervenções de reabilitação das condutas adutora do sistema, que se encontram em pleno funcionamento, mediante a seleção de critérios, atribuindo escalas de pontuação ou pesos a cada um.

A seguir, é apresentado o referencial dos métodos utilizados nessa análise, explicando de forma detalhada os dados iniciais, sendo importante a obtenção de informação sobre falhas de ativos, a qual, em muitas situações, pode assumir grande relevância ao nível do conhecimento da condição desses ativos.

Como referido anteriormente, a metodologia deste estudo será através da conjugação de 6 critérios, prevista no método FMEA, para seleção das intervenções necessárias realizar. Os dados disponíveis dizem respeito ao período compreendido entre o ano de 1998 e 2019, totalizando cerca de duas décadas de histórico, que correspondem à data de início de exploração do sistema até à presente data.

A abordagem proposta passou por efetuar uma recolha, levantamento e caracterização das condutas adutoras. Esta caracterização integrou a sua localização geográfica, comprimento de cada troço, média dos caudais fornecidos nos últimos 5 anos, as roturas ocorridas por desgaste de material ou assentamentos. Como se referiu anteriormente, na análise das roturas ocorridas são descartadas as provocadas por terceiros.

Com base nos 6 critérios escolhidos, será possível avaliar os resultados e analisar as condutas adutoras que deverão ser sujeitas a ações de reabilitação, tendo como premissa, mais uma vez, o prolongamento da sua vida útil ou a sua substituição definitiva.

Assim, os critérios que integram a matriz de avaliação para os 1094 troços de conduta adutora da rede de água tratada, em exploração, são recolhidos de sistemas de informação existentes na AdA, que centralizam e arquivam dados que suportam as seguintes atividades:

- Planeamento de investimentos, análise de expansões/interferências e preparação e controlo de obras: o SIG;
- Manutenção: o Sistema de Manutenção e Gestão de Ativos (SMGA);
- Operação: Plataforma colaborativa de Operação, onde são centralizadas as variáveis de instrumentação e medição de caudal do sistema.
- Financeira: sistema integrado empresarial (ERP<sup>13</sup>), onde se processa toda a contabilidade analítica da Empresa.

---

<sup>13</sup> Planeamento de recursos corporativo – *Enterprise Resource Planning* (ERP)

É importante referir que este estudo visa eliminar ou minimizar o evento rotura, sendo efetuada a análise para identificar os troços mais suscetíveis à rotura, propondo um plano de substituição desses troços.

Para a implementação da metodologia FMEA/FMECA, como referido na secção 3.1 já se avançaram os 3 primeiros passos, tendo sido também respondidas quatro questões fulcrais que resumem o caminho a percorrer, nomeadamente:

- O objetivo da avaliação:
  - Risco de quê? De interrupção do serviço de abastecimento de água para consumo humano;
  - Risco para quem? Para a população e serviços (Consumidores de água);
  - Risco devido a quê? De rotura numa conduta que transporta água;
- O nível de detalhe para a avaliação: os sistemas de informação da AdA têm dados desagregados correspondendo a um ponto forte, o bom cadastro global;
- Os recursos disponíveis:
  - Recursos humanos: 1 Técnico coordenador, 1 técnico de adução e 1 técnico de manutenção; 1 Técnico de Cadastro/SIG.
  - Recursos técnicos: Computador, Sistema de Manutenção e Gestão de Ativos, Sistema de Informação Geográfica, Microsoft Excel, Microsoft Word.
- A natureza dos perigos e respetiva complexidade:
  - O perigo de rotura da conduta pode ser originado por vários fatores, como sendo: de índole meteorológico, da envolvente local da conduta, das características da conduta (má conceção, inadequada instalação, inadequada exploração) ou obras/intervenções de terceiros.
  - Ao nível da complexidade: ao ocorrer uma rotura numa conduta aumenta a probabilidade de interrupção do serviço ao consumidor final, afetando a imagem a Empresa.

Posto isto, é necessário o desenvolvimento de escalas de graduação para os critérios de risco encontrados para avaliar os índices da ocorrência, da detetabilidade e da severidade, a utilizar na metodologia adotada.

Salienta-se que será apurado o RPN de cada troço de conduta em função do produto dos números de escalas de classificação de cada critério, neste caso de 1 a 5, que originam os valores dos 3 índices: severidade (S), ocorrência (O) e detetabilidade (D), utilizando a equação (1).

$$RPN=S \times O \times D \quad (1)$$

Assim, pode obter-se uma classificação do RPN de 1 a 125, sendo 1 um baixo risco e 125 um risco crítico.

Devido à limitação da combinação de diferentes S, O e D, puder alcançar o mesmo RPN e dado que a expressão matemática para o seu cálculo é discutível e tem falta de fundamentação científica, de acordo com Liu (2016), neste estudo também se analisará os resultados obtidos pela SOD alternativa, dada pela agregação dos valores individuais de S, O e D.



Os critérios de risco (Quadro 13) conducentes à classificação de cada índice, atrás indicado, foram escolhidos, no seio da equipa, tendo presente os dados disponíveis na Empresa e a facilidade de os recolher, tratar e organizar.

Quadro 13 – Critérios para avaliar os troços de adutora do sistema

Índice de avaliação	Critério	Peso	Indicador	Métrica	Pontuação	Fonte de dados
Severidade	Fator Económico	70%	Custo renovação vs Custo reparação	>=20	1	Sistema de Manutenção e Gestão de Ativos (custos de reparação)
				11-20	2	
				6-10	3	
				2-5	4	
				0-1	5	
	Relevância	30%	Qad/Qfor (caudal fornecido pela adutora/caudal que entra no subsistema)	0,0 - 0,2	1	SIG da AdA (Operação)
				0,2 - 0,3	2	
				0,3 - 0,4	3	
				0,4 - 0,5	4	
				0,5 - 1	5	
Ocorrência	Probabilidade de Rotura - Idade	60%	Idade	0-10	1	SIG da AdA
				10-20	2	
				20-25	3	
				25-30	4	
				>30	5	
	Probabilidade de Rotura - Material	40%	Tipo de Material	FFD, Aço, Europipe	1	SIG da AdA
				PEAD	2	
				Betão	3	
				PVC, PRV	4	
				Fibrocimento	5	
Detetabilidade	Roturas	80%	N.º Roturas por 10km	0-1	1	SIG da AdA
				2	2	
				3	3	
				4	4	
				>5	5	
	Redundância	20%	Alternativa de abastecimento	Sim	1	SIG da AdA
				Não	5	

Com base nestes seis critérios, considerados os mais adequados para o estudo, cada índice de risco será combinado em simultâneo e orientados para a tomada de decisão, uma vez que é possível efetuar uma análise comparativa, levando também em conta o conhecimento adquirido pelos diversos setores da Empresa ao longo dos anos de exploração do sistema.

Realça-se que esses critérios têm um peso atribuído, o qual teve como ponto de partida o definido num documento interno para planeamento de investimentos para os ativos do grupo Águas de Portugal (Luís et al., 2015). A conjugação destes pesos, de cada critério, serve para efetuar a avaliação de cada troço de adutora, permitindo a ordenação decrescente do RPN e subsequente seleção dos valores mais elevados, que integrarão um plano de reabilitação da AdA.

Estes critérios obedecem a uma família coerente de critérios, ou seja, são independentes entre si, mensuráveis, suficientes e abrangentes para o julgamento das opções resultantes; operacionais, possuem um tamanho adequado e são não redundantes, uma vez que não existe duplicação de critérios (Castro, 2016; Rocha, 2011; Spackman et al., 2009).

A seguir descreve-se como se obtém cada índice de avaliação, começando pelo índice de avaliação da **severidade** onde serão conjugados os critérios de fator económico e de relevância.

Atendendo que na presença de uma rotura têm de ser alocados recursos e dispêndio de tempo, consequentemente uma paragem do serviço, isto leva a um impacto financeiro, quer pelos custos que envolve a própria reparação quer pela perda da água tratada e não faturada, não entregue ao cliente. Este tipo de situações interfere na reputação e na imagem da empresa, além de alterar prémios de seguros e eventuais necessidades de suportar indemnizações por danos causados (APCER, 2016; ISO & CT251, 2014).

Por outro lado, para um troço onde ocorra constantemente roturas, além de se avaliar as condições de funcionalidade e de estrutura, também deve-se avaliar o binómio dos custos incorridos com reparações versus o seu investimento de substituição, por forma a controlar a sua sustentabilidade.

Neste sentido, uma gestão eficaz e eficiente dos ativos é primordial e assenta na alocação devida de recursos e numa manutenção planeada, evitando paragens forçadas do serviço.

Assim, o fator económico será penalizador neste método e relaciona o investimento de substituição do troço de adutora e os custos incorridos na reparação desse troço, caso tenha existido uma rotura no mesmo. As expressões que servem de base para o cálculo do custo de substituição, dos troços de adutora, são as publicadas no Guia Técnico da ERSAR n.º23 (GT23) (Covas et al., 2020). Por sua vez, os valores envolvidos na reparação são extraídos das ordens de trabalho, criadas e mantidas no Sistema de Manutenção e Gestão de Ativos. Assim, o fator económico obtém-se pela aplicação da equação (2).

$$\text{Fator económico} = \frac{\text{Investimento de substituição (€)}}{\text{Custo de Reparação (€)}} \quad (2)$$

A relevância é conseguida pela razão entre o caudal fornecido pelo troço de adutora em análise e o caudal que entra no subsistema a que esse troço pertence, conforme equação (3).

$$\text{Relevância} = \frac{\text{Caudal médio fornecido no troço}}{\text{Caudal médio que entra no sistema}} \quad (3)$$

Os valores dos caudais, em causa, foram retirados da Plataforma Colaborativa de Operação, do período compreendido entre o ano 2015 e o ano 2019, tendo sido efetuada uma média aritmética por ponto de entrega. Este caudal refere-se ao caudal médio diário do mês de maior consumo resultante da divisão do volume total de água gasta no mês de maior consumo, de

cada ponto de entrega pelo número de dias desse mês. O valor médio obtido é fiável uma vez que o seu erro padrão é insignificante.

Após o tratamento destes dados, os mesmos foram carregados no Sistema de Informação Geográfica e exportada uma listagem de todos os troços do sistema, contendo as suas características.

Assim, a severidade será o resultado da aplicação da equação (4)

$$\text{Severidade} = 70\% \times \text{Fator económico} + 30\% \times \text{Relevância} \quad (4)$$

Quanto aos critérios de risco propostos para o índice de avaliação da **ocorrência** são a idade e o material.

A falha surge por uma conjunção de fatores, mas para este fim foi escolhida a idade da conduta, isto é, os seus anos de funcionamento. A idade ocorre ao longo o tempo e leva ao envelhecimento natural dos componentes, provocando desgaste natural ou incrustações nas condutas. Estes dados são extraídos do SIG onde se atribuí uma escala que é mais penalizadora consoante o avanço da idade da infraestrutura.

O segundo critério para a probabilidade de rotura é o material constituinte da conduta, dado que também é obtido através do SIG. É sabido que o material e a sua data de fabrico e instalação são fatores que interfere no desempenho global da conduta. O fibrocimento caiu em desuso devido à presença de amianto, todavia, nas condutas este material não é um perigo para a saúde pública, salvo se o tubo se danificar ou partir, com a exposição dessas fibras. Assim, este material tem o número mais elevado da escala, indo diminuindo à medida da robustez do material.

Perante isto, a equação que concede o índice de avaliação de **ocorrência** será a (5).

$$\text{Ocorrência} = 60\% \times \text{Idade} + 40\% \times \text{Material} \quad (5)$$

Para classificar o índice de avaliação da **detetabilidade** foram escolhidos os critérios de risco de Roturas por 10 km e Redundância.

Neste momento a AdA já possui um histórico associado às incidências de roturas em determinados troços de adutora. Neste sentido, este critério é resultante da quantidade de roturas verificadas num troço de adutora por 10 km de extensão de conduta do subsistema. Estas roturas são as que têm origem natural, não planeadas, sobre os troços que não foram substituídos ou desviados. Este critério é obtido pela equação (6).

$$\text{Roturas por 10 km de conduta} = \frac{\text{N.º de roturas do troço de adutora}}{\text{Extensão das condutas do subsistema}} \quad (6)$$

Em caso de rotura, é de extrema importância a existência de redundância de abastecimento de água, garantindo assim a continuidade do serviço. Isto é, haver uma alternativa do

transporte de água até aos consumidores municipais, sem comprometer eventual interrupção deste abastecimento. Neste propósito, os troços onde não se verifique a alternativa de abastecimento de água serão avaliados com a escala máxima deste critério, o 5, devido ao objetivo último de não existir falha ou interrupção do serviço. A detetabilidade será dada pela equação (7).

$$Detetabilidade = 80\% \times Roturas + 20\% \times Redundância \quad (7)$$

Após selecionados e descortinados os critérios, seus pesos e suas combinações, para produzir um índice de avaliação severidade, ocorrência e detetabilidade para cada troço de adutora, estamos aptos para seguir a metodologia a implementar, apresentando seguidamente os passos de recolha de dados, análise e resultados, mencionados na secção 3.5 como passos 4, 5 e 6.

### 3.5 RESULTADOS

Esta secção inicia-se com a implementação da metodologia proposta, exposta na secção 3.4, para a seleção da melhor opção de reabilitação ou substituição de condutas do sistema, através da aplicação de seis critérios apresentados no Quadro 13. Posteriormente, serão comparados os números prioritários de risco e indicados quais os troços de adutora que devem ser integrados num plano de reabilitação.

Inicia-se assim o passo 4 de recolha de dados, sendo os dados compilados, tratados e carregados numa folha de cálculo do programa *Microsoft Office Excel*, com a configuração da Fig. 29. Esta folha de cálculo constitui o formulário FMEA (Anexo IV).

Codigo	Subsistema	Ano de instalação	Classe	Material	Diâmetro (mm)	Caudal médio (m³/dia)	Somatório Comprimento (m)	Ocorrência		Detetabilidade		Severidade		Resultado		
								0,60	0,40	0,80	0,20	0,70	0,30		0,50	
243 743	Ocidental - Final	2000	Rede de Água Tratada	Ferro fundido - diârit	600	2102	1548	1	1	1,00	5	2,60	1	1,30	3,38	
198 528	Ocidental - Troço Final	2007	Troço de Água Tratada	Ferro fundido - diârit	300	195	11819	2	1	1,60	5	2,60	1	1,00	4,16	
229 232	Poente - Troço Inicial	2008	Rede de Água Tratada	Polietileno de alta densidade	300	374	1822	2	3	2,40	1	2,60	4	1,10	19,34	
228 229	Poente - Troço Inicial	2008	Rede de Água Tratada	Polietileno de alta densidade	300	374	1822	2	3	2,40	1	2,60	1	1,00	6,24	
228 221	Poente - Troço Inicial	2008	Rede de Água Tratada	Polietileno de alta densidade	300	374	1822	2	3	2,40	1	2,60	1	1,00	6,24	
225 710	Poente - Troço Inicial	1998	Rede de Água Tratada	Polietileno de baixo	200	2295	1812	4	3	3,60	1	2,60	1	1,00	9,36	
225 710	Poente - Troço Inicial	1998	Rede de Água Tratada	Polietileno de baixo	200	2295	1812	4	3	3,60	1	2,60	1	1,00	9,36	
128 625	Ocidental - Final	1998	Rede de Água Tratada	Ferro fundido - diârit	600	2104	1648	2	1	1,60	1	1,00	1	1,00	1,60	
43 120	Ocidental - Troço Intermediário	1999	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	4303	2424	2	3	2,40	1	2,60	1	5	2,20	13,73
190 101	Ocidental - Troço Final	2000	Rede de Água Tratada	Ferro fundido - diârit	300	4248	11819	2	1	1,60	1	2,60	1	2	1,30	5,41
190 100	Ocidental - Troço Final	2000	Rede de Água Tratada	Ferro fundido - diârit	300	4248	11819	2	1	1,60	1	2,60	1	2	1,30	5,41
40 800	Ocidental - Troço Intermediário	1999	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	40745	2024	2	3	2,40	1	2,60	1	5	2,20	13,73
40 800	Ocidental - Troço Intermediário	1999	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	40745	2024	2	3	2,40	1	2,60	1	5	2,20	13,73
40 771	Ocidental - Troço Intermediário	1999	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	3929	1848	2	2	2,00	1	2,60	4	1	3,10	16,12
42 800	Ocidental - Troço Intermediário	1999	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	39003	1848	2	3	2,40	1	2,60	1	4	1,90	11,86
42 860	Ocidental - Troço Intermediário	1998	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	39096	1828	2	2	2,00	1	2,60	1	4	1,90	9,88
42 864	Ocidental - Troço Intermediário	1998	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	39096	1828	2	2	2,00	1	2,60	1	4	1,90	9,88
128 625	Ocidental - Troço Intermediário	1998	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	4303	4871	2	3	2,40	1	2,60	1	5	2,20	13,73
128 627	Ocidental - Troço Intermediário	1998	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	32003	1848	2	3	2,40	1	2,60	1	4	1,90	11,86
43 871	Ocidental - Troço Intermediário	1999	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	39003	1848	2	1	1,60	1	2,60	1	4	1,90	7,90
44 900	Ocidental - Troço Intermediário	1998	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	39096	1828	2	2	2,00	1	2,60	1	4	1,90	9,88
40 710	Ocidental - Troço Intermediário	1998	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	39096	1828	2	5	3,20	1	2,60	1	4	1,90	15,81
40 041	Ocidental - Troço Intermediário	1998	Rede de Água Tratada	Ferro fundido - diârit	600	60480	610	2	1	1,60	1	2,60	1	5	2,20	9,15
40 190	Ocidental - Troço Intermediário	1998	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	20547	1828	2	2	2,00	1	2,60	1	2	1,30	6,76
40 190	Ocidental - Troço Intermediário	1998	Rede de Água Tratada	Dezida pré-entregada / alma de	500	20547	1828	2	2	2,00	1	2,60	1	2	1,30	6,76

Fig. 29 – Montagem da metodologia para avaliação dos troços de adutora do sistema – Formulário FMEA

Do SIG, da AdA, extraíram-se os dados de cada troço de adutora, nomeadamente código único do troço, subsistema, ano de instalação, classe, material, diâmetro (mm), caudal médio (m³/dia) dos anos 2015 a 2019 e o comprimento (m). Depois, introduziram-se na folha de

cálculo esses dados e configuraram-se todos os critérios de risco e os seus pesos, por forma a automatizar os cálculos de atribuição da pontuação de cada critério a cada troço, bem como o valor de cada índice de avaliação de risco e respetivo RPN individualizado.

Após obtenção do RPN individual de cada troço, programaram-se um conjunto de comandos (macro) alocados a um botão, que ao clicar permite copiar a coluna de código único do troço e o resultado da avaliação de risco RPN para um novo ficheiro. Este passo serviu para relacionar o RPN com a base de dados do SIG, através do código único do troço, permitindo assim efetuar a visualização semafórica dos resultados, cuja escala vai desde a menor probabilidade de falha ou risco baixo de falha (cor verde), à maior probabilidade de falha ou risco alto de falha (cor vermelha), como mostra a Fig. 30.

Importa referir que o objetivo deste estudo é identificar os troços com RPN mais elevados e por via da reabilitação dos mesmos reduzi-los.

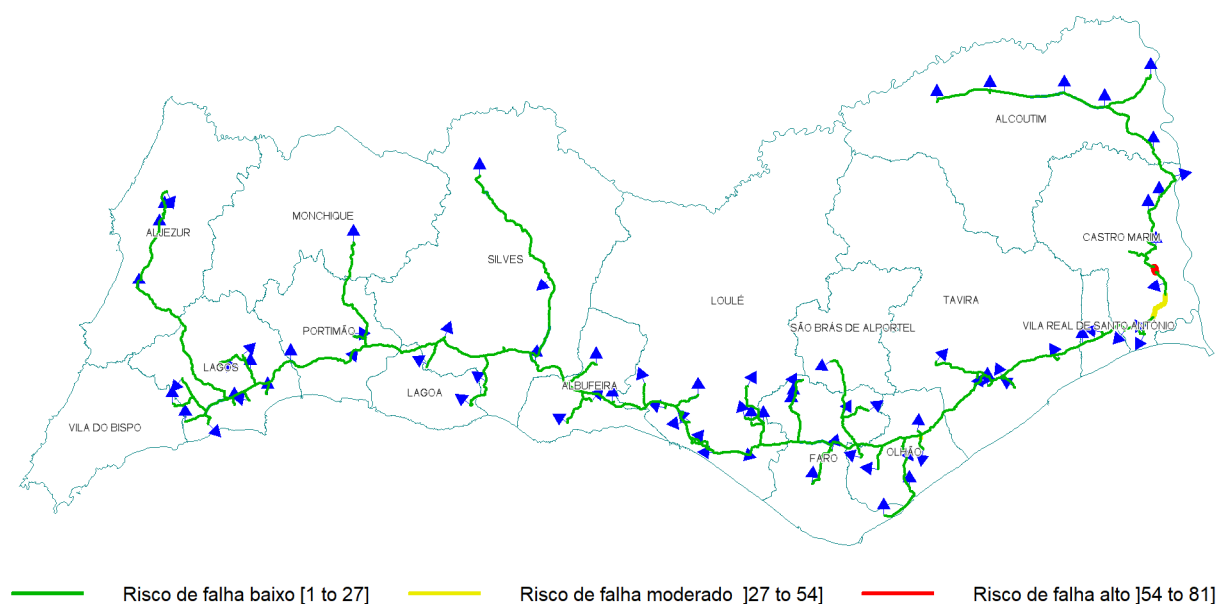


Fig. 30 – Visualização dos resultados da avaliação dos troços de adutora do sistema a intervir – Resultado da avaliação de risco RPN

Perante isto, passando aos passos 5 e 6, a avaliação de risco dos troços de adutora do sistema, segundo o RPN, ficaram categorizados da seguinte forma:

- Nível de risco de falha alto (vermelho), troços de adutora com RPN compreendido entre 54 e 81. Estes valores implicam ações imediatas, correspondendo a um nível elevado de prioridade de intervenção, que corresponde 3 troços (Fig. 31 e Quadro 15);
- Nível de risco de falha moderado, (amarelo), associado a valores de RPN maiores que 27 e menores ou iguais a 54. Este nível de risco que requer uma monitorização frequente da infraestrutura e exige implementação de medidas a curto prazo. Neste patamar é imprescindível o estudo do custo/benefício de 4 troços (Fig. 32 e Quadro 16);

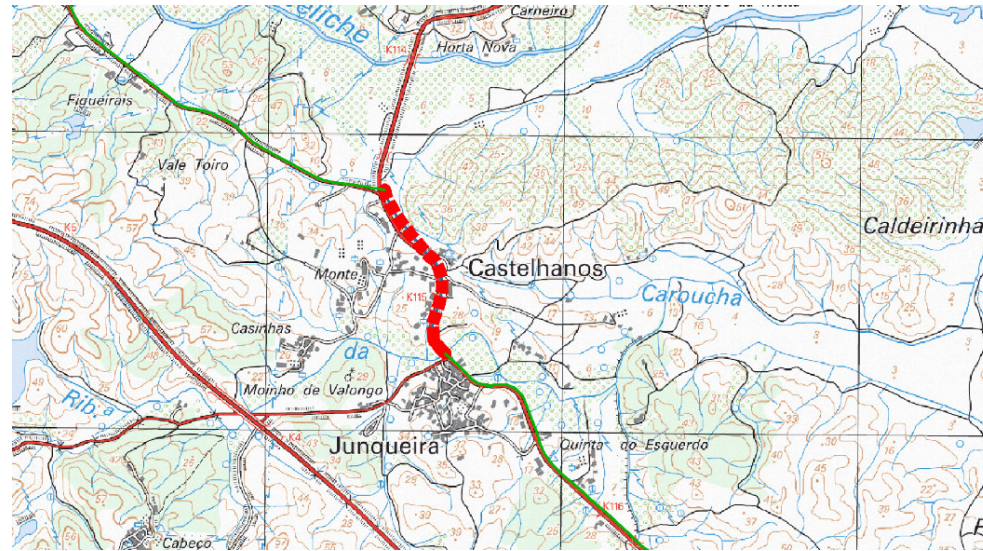
– Nível de risco de falha baixo (verde), cujos valores de RPN situam-se entre 1 e 27, sendo um risco mínimo de falha, considerado desprezável. Estes troços serão apenas monitorizados por inspeção visual à superfície ou pela pressão ao nível da supervisão de 1086 troços.

Em suma, para a avaliação de risco RPN, através da conjugação dos 6 critérios seleccionados para a avaliação do estado das condutas, identificaram-se desde já três troços de adutora (Fig. 31 e Quadro 15), assinalados a vermelho, que deverão ser intervencionados, constando no primeiro nível de prioridade de investimento, assim como 4 troços de risco de falha moderado (Fig. 32 e Quadro 16).

Convém realçar que os pesos, atribuídos a cada critério, tiveram como base o descrito num documento interno para planeamento de investimentos para os ativos do grupo Águas de Portugal (Luís et al., 2015) e passaram por uma análise de sensibilidade. Esta análise subsistiu na variação dos pesos de cada critério, conforme Quadro 14 e verificada a afetação do resultado. Com a metodologia RPN, os resultados obtidos encontram-se todos na mesma ordem de grandeza.

Quadro 14 – Análise de sensibilidade variando os pesos de cada critério

N.º de Versão	Ocorrência		Detetabilidade		Severidade	
	Idade	Material	Roturas	Redundância	Fator económicos	Relevância
1	0.55	0.45	0.65	0.35	0.55	0.45
2	0.70	0.30	0.70	0.30	0.70	0.30
3	0.60	0.40	0.80	0.20	0.70	0.30
4	0.50	0.50	0.75	0.25	0.75	0.25
5	0.60	0.40	0.80	0.20	0.60	0.40
6	0.60	0.40	0.60	0.40	0.60	0.40
7	0.70	0.30	0.80	0.20	0.60	0.40
8	0.50	0.50	0.80	0.20	0.60	0.40
9	0.60	0.40	0.80	0.20	0.50	0.50
10	0.55	0.45	0.75	0.25	0.55	0.45
11	0.50	0.50	0.75	0.25	0.50	0.50
12	0.60	0.40	0.70	0.30	0.60	0.40
13	0.65	0.35	0.75	0.25	0.55	0.45
14	0.55	0.45	0.75	0.25	0.65	0.35
15	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50



**Códigos únicos: 290040, 290045 e 290048**

Fig. 31 – Visualização do resultado da avaliação dos troços de adutora do sistema – troços com nível de risco de falha alto - Resultado da avaliação de risco RPN

Quadro 15 – Resultados dos troços de adutora com nível de risco de falha alto - Índice de avaliação de risco RPN

Código único	Ano de instalação	Zona	Subsistema	Troço Principal	Designação de adutora	Concelho	Freguesia	Caudal médio diário (m <sup>3</sup> /dia)	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Material	RPN
290040	1988	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	3346	574.5	600	Fibrocimento	79.2
290045	1988	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	3346	54.99	600	Fibrocimento	79.2
290048	1988	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	3346	4.73	600	Fibrocimento	79.2

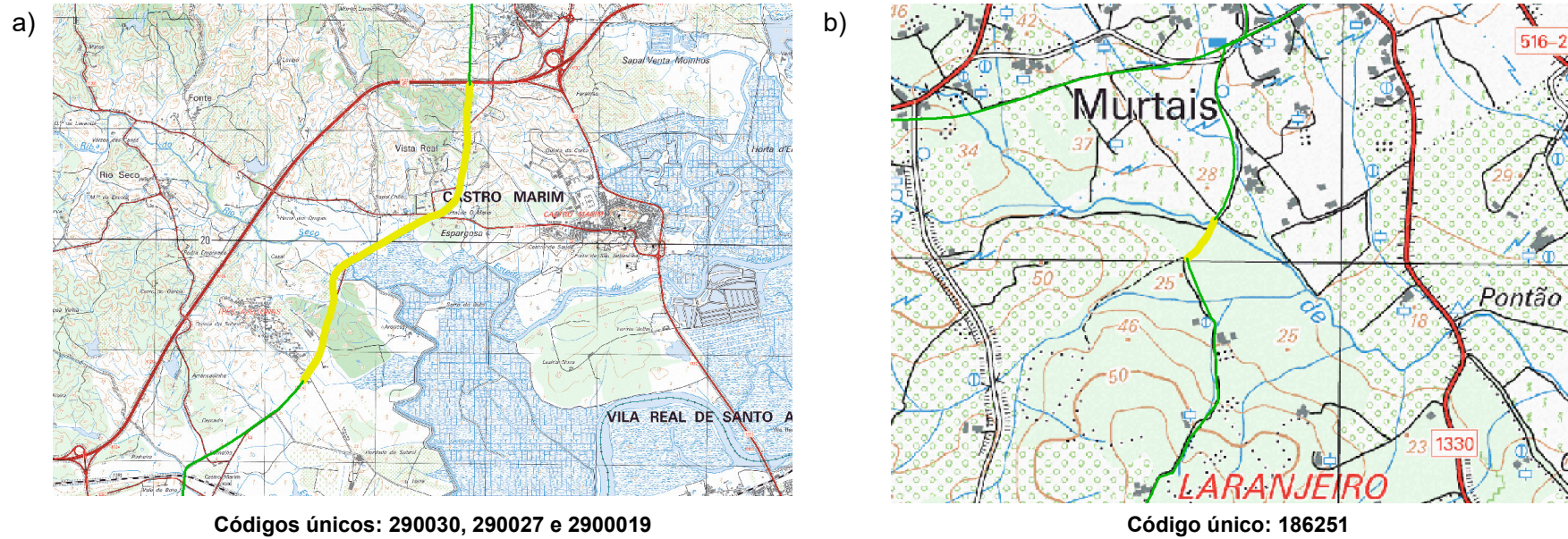


Fig. 32 – Visualização do resultado da avaliação dos troços de adutora do sistema – troços com nível de risco de falha moderado a)Castro Marim b)Olhão - Resultado da avaliação de risco RPN

Quadro 16 – Resultados dos troços de adutora com nível de risco de falha moderado – Índice de avaliação de risco RPN

Código único	Figura	Ano de instalação	Zona	Subsistema	Troço Principal	Designação de adutora	Concelho	Freguesia	Caudal médio diário (m³/dia)	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Material	RPN
186251	32b	1994	Zona Nascente	ETA de Tavira	Poente - Troço Inicial	Ramal de Murtais	Olhão	Moncarapacho e Fuseta	2396	92.52	250	Policloreto de vinilo	29.0
290030	32a	1988	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	1169	2142.11	600	Fibrocimento	40.0
290027	32a	1988	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	1169	6.02	600	Ferro fundido dúctil	40.0
290019	32a	1988	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	1169	1231.46	600	Fibrocimento	40.0



Atendendo que na análise de sensibilidade realizada, com a alteração dos pesos, não se observa uma grande variação dos resultados, apesar da versão 3 ser a mais próxima da perceção da área de operação e manutenção, considerou-se a possibilidade de dar ênfase à severidade utilizando a metodologia SOD alternativo. A priorização com base nesta medida assenta na ordenação decrescente da severidade, inerente a cada troço de adutora. O SOD alternativo consiste na combinação dos índices de risco sem cálculo matemático e privilegia, como já referido, a severidade, sendo o principal indicador de risco, por representar a criticidade do modo de falha e especialmente o impacto do risco no cliente, com a interrupção do serviço.

A abordagem agora proposta fornece a sequência de troços apresentados na Fig. 33, listando-se os troços com risco de falha alta no Quadro 17 e os troços com risco de falha moderado no Anexo V.

Ao longo desta secção apresentam-se as avaliações obtidas segundo os índices de risco RPN tradicional e SOD alternativo, para os níveis de risco alto e de risco moderado. Efetuando uma análise comparativa dos resultados obtidos em cada índice de risco, temos troços em comum para o mesmo nível de risco e troços que no RPN estão assinalados a amarelo e no SOD são indicados a vermelho.

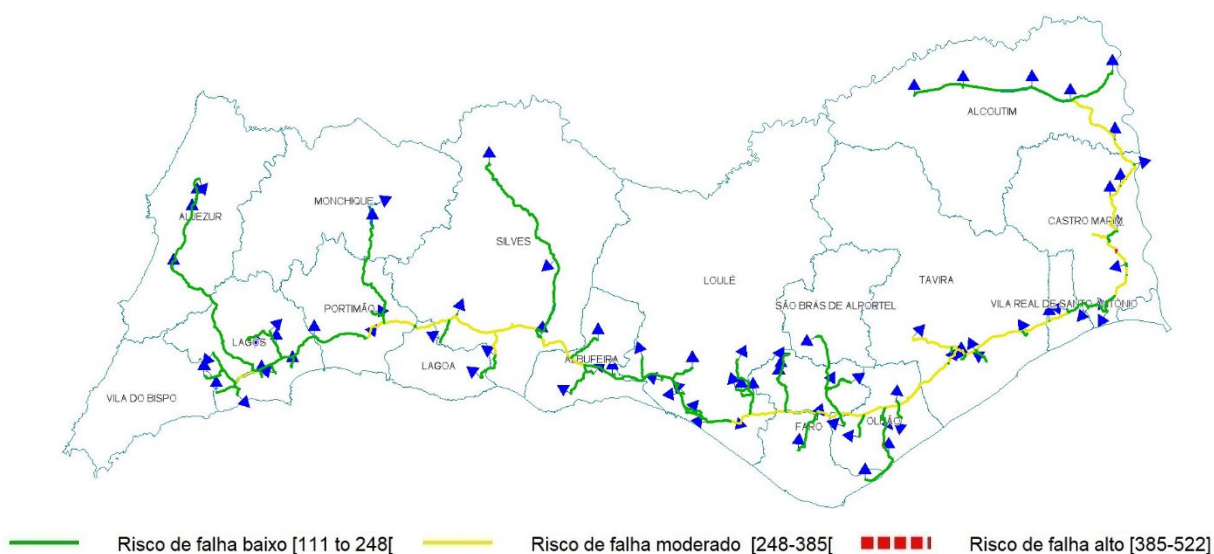


Fig. 33 – Visualização dos resultados da avaliação dos troços de adutora do sistema a intervir – Resultado da avaliação de risco SOD

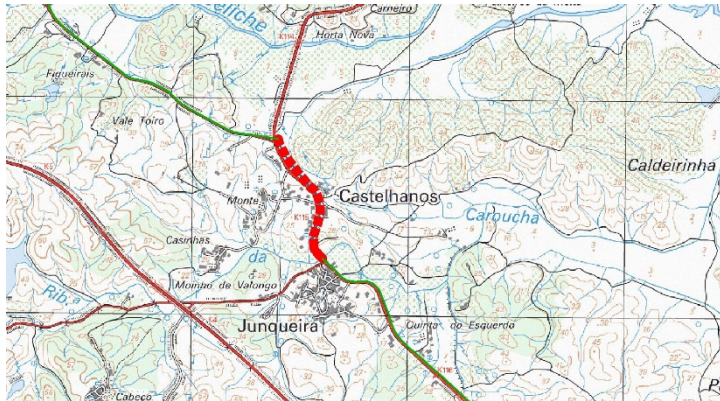
Analisando os troços a incluir no plano de reabilitação, obtidos pela metodologia SOD, verifica-se que são indicados 3 troços que pela sua dimensão são penalizados erradamente, pelo que não vão ser considerados no referido plano. Esses troços serão desprezados, a saber, com os códigos únicos: 186599, 247779 e 240615.

Salienta-se que os troços comuns às duas formas de cálculo do índice de avaliação de risco, cujo nível de risco de falha é alto, são com os códigos únicos: 290040, 290045, 290048. Estes

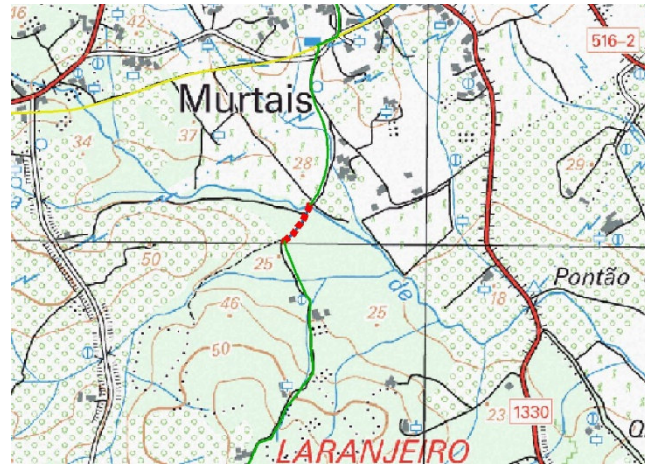
troços pertencem ao subsistema ETA de Beliche, zona Nascente, troço principal Beliche, sendo uma das questões identificadas no inquérito aplicado no início do estudo.

Outro troço também identificado no inquérito é o de código 40111 relativo ao subsistema de Alcantarilha, zona Poente, troço principal Ocidental - Troço Intermédio, sendo o início da redução de secção.

Também se pode verificar que o único troço que altera o nível de risco de falha de RPN para SOD, respetivamente, de falha moderado para falha alto, é troço com o código único 186251 do Ramal de Murtais.



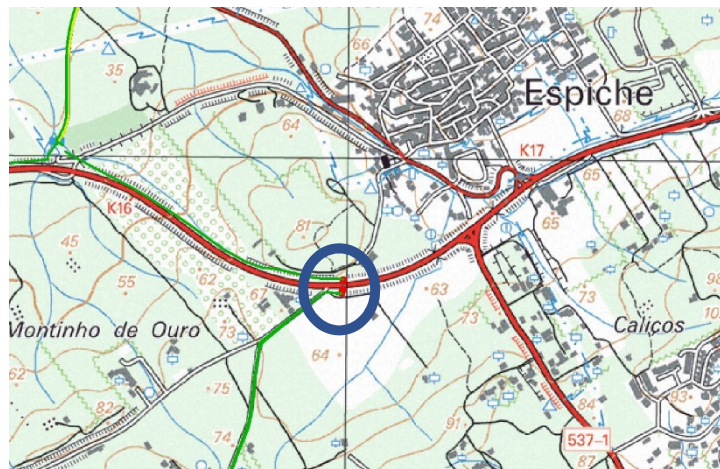
Códigos únicos: 290040, 290045 e 290048



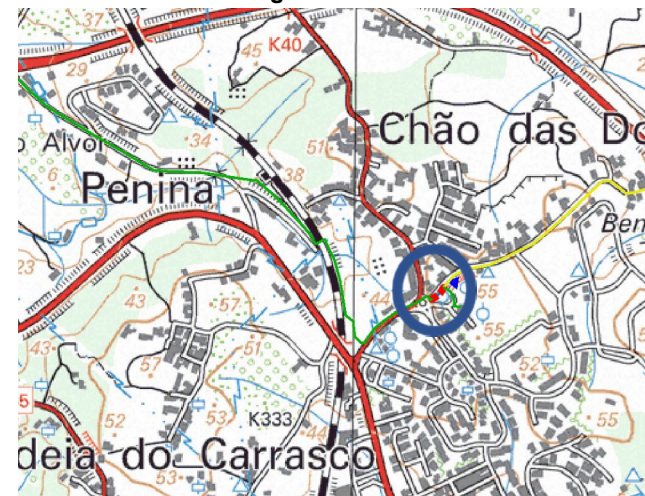
Código único: 186251



Código único: 237462



Código único: 44430



Código único: 40111



Código único: 228232

Fig. 34 – Visualização do resultado da avaliação dos troços de adutora do sistema – Troços de adutora com nível de risco de falha alto – Resultado da avaliação de risco SOD

Quadro 17 – Resultados dos troços de adutora com nível de risco de falha alto – Índice de avaliação SOD

Código único	Ano de instalação	Zona	Subsistema	Troço Principal	Designação de adutora	Concelho	Freguesia	Caudal médio diário (m <sup>3</sup> /dia)	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Material	SOD
237462	2007	Zona Nascente	ETA de Tavira	Poente - Troço Inicial	Ramal Ilhas	Olhão	Quelfes	861	570.53	250	Polietileno de alta densidade	423
186599	2016	Zona Poente	ETA de Fontainhas	Ocidental - Troço Final	Ramal de Aljezur	Aljezur	Aljezur	1926	2.87	200	Ferro fundido dúctil	423
44430	1999	Zona Poente	ETA de Fontainhas	Ocidental - Troço Final	Ramal de Monte Lemos	Lagos	Luz	5537	33.82	400	Aço	423
40111	1999	Zona Poente	ETA de Alcantarilha	Ocidental - Troço Intermédio	Adutor Ocidental / Intermédio	Portimão	Portimão	9829	31.84	1000	Aço	423
228232	2008	Zona Nascente	ETA de Tavira	Poente - Troço Inicial	Ramal Ilhas	Faro	Faro (Sé e São Pedro)	374	89.23	160	Polietileno de alta densidade	433
247779	2003	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	1169	5	600	Fibrocimento	441
186251	1994	Zona Nascente	ETA de Tavira	Poente - Troço Inicial	Ramal de Murtais	Olhão	Moncarapacho e Fusetas	2396	92.52	250	Policloreto de vinilo	443
290040	1988	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	3346	574.5	600	Fibrocimento	455
290045	1988	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	3346	54.99	600	Fibrocimento	455
290048	1988	Zona Nascente	ETA de Beliche	Beliche	Adutor do Beliche	Castro Marim	Castro Marim	3346	4.73	600	Fibrocimento	455
240615	2008	Zona Nascente	ETA de Beliche	Caldeirão/ Martinlongo	Ramal de Alcoutim	Alcoutim	Alcoutim e Pereiro	315	0.52	80	Ferro fundido dúctil	523

 Troços, de adutora, excluídos da análise

Assim, como passo 7 este estudo sugere um investimento de substituição de troços de adutora, cuja seleção, foi discutida no seio da equipa e o seu resultado reflete, neste momento, a melhor opção de reabilitação do sistema. Após a execução das intervenções aqui propostas teremos garantias que o sistema responderá melhor do antes.

Em função deste estudo serão contactados projetistas da área para aprofundar a necessidade de intervenção e a forma como esta deve ser efetuada.

Contudo, tendo presente os resultados da avaliação de risco SOD, procedeu-se à estimativa do investimento mínimo necessário para efetuar a substituição dos troços obtidos, para o nível de risco de falha alto. Como pressupostos para esta estimativa temos a manutenção dos diâmetros, a alteração do material para FFD e as intervenções serão com recurso à abertura de vala.

Neste sentido, recorrendo às funções de custo indicadas no Guia técnico da ERSAR N.º23 (Covas et al., 2020) perspetiva-se um investimento total na ordem de 449 mil euros (Quadro 18). É importante frisar que estas funções de custo referem-se ao ano de 2016 como tal procedeu-se à sua atualização considerando os Índice de Preços no Consumidor (IPC) entre 2016 até 2020 ( x 1.027) (INE, 2021). Além deste facto, também foi contabilizada uma verba de cerca de 11%, que se encontra incluído no valor total indicado, respeitante aos estudos, projetos, assessorias e fiscalização.

Quadro 18 – Investimento mínimo a prever para as intervenções identificadas de nível de risco de falha alto – SOD

<b>Código único</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Material a utilizar</b>	<b>Investimento estimado GT23 (€)</b>	<b>Investimento estimado GT23* (€)</b>
228232	89.23	150	Ferro fundido dúctil	6 031.99 €	6 195.54 €
186251	92.52	250	Ferro fundido dúctil	11 136.40 €	11 438.35 €
237462	570.53	250	Ferro fundido dúctil	68 673.27 €	70 535.25 €
44430	33.82	400	Ferro fundido dúctil	8 142.77 €	8 363.55 €
290040	574.5	600	Ferro fundido dúctil	274 784.50 €	282 234.90 €
290045	54.99	600	Ferro fundido dúctil	26 301.83 €	27 014.96 €
290048	4.73	600	Ferro fundido dúctil	2 262.37 €	2 323.71 €
40111	31.84	1000	Ferro fundido dúctil	38 761.06 €	39 812.01 €
<b>Total</b>					<b>449 069.12 €</b>

## **4. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS**

Importa referir que a Águas do Algarve, S.A. tem como mote promover a universalidade, a continuidade e a qualidade dos serviços de água, concorrendo para a sustentabilidade do setor e para a proteção dos valores ambientais.

A eficiência e resiliência do sistema é fundamental para o Algarve, constituindo-se num fator decisivo para o dinamismo socioeconómico desta região, uma vez que se torna num critério diferenciador para a indústria do turismo, que é a atividade económica predominante.

Este estudo contribuiu para efetuar um diagnóstico ao estado geral das infraestruturas operadas, que se encontram no subsolo, culminando na seleção de troços a intervir, dando lugar a um plano de investimento, que permitirá o aumento do desempenho global do sistema.

Assim, a abordagem proposta, através da FMEA, procedendo à conjugação de seis critérios, com a finalidade de avaliar os troços de adutora a substituir ou reabilitar, mostrou ser eficiente, identificando-se claramente os ativos em risco de falha alta. Desta forma, torna-se um método eficaz e credível que traduz robustez na decisão de priorização dos investimentos.

Salienta-se que o FMEA tradicional recorre ao uso de um valor de referência RPN, resultante da multiplicação dos três índices de risco (S, O, D), para cada troço de conduta. Este método foi o inicialmente pensado, mas ao longo do estudo foram consultadas várias bibliografias (Degen et al., 2010; Liu, 2016; Yeh & Chen, 2014) que sugeriram avaliações de risco alternativas, como por exemplo a alternativa SOD. Assim, foram aplicados os dois índices de avaliação de risco (RPN e SOD) concluindo-se que com o RPN somente três troços de adutora foram avaliados com nível de risco de falha alta e com o SOD além destes três troços, também foram identificados mais 5. Assim, conclui-se que esta alternativa, que considera a Severidade em primeiro lugar, vai ao encontro do pretendido para a seleção dos troços de conduta a substituir/reabilitar.

Também se retém que o recurso à visualização semafórica dos resultados, no SIG, sobrepondo ao cadastro geográfico existente, suporta mais rapidamente a identificação dos troços com maiores necessidades de intervenção.

É provável que atributos adicionais possam melhorar ainda mais o desempenho das previsões de reabilitação ou substituição, nomeadamente com a realização de inspeções vídeo ao interior das condutas, para avaliar o estado de conservação das mesmas. Contudo, isso levaria à paragem do serviço, o que não é viável quando não existe redundância de abastecimento de água.

Reforça-se que na metodologia de gestão de ativos, o que tem maior peso, é a apropriada estratégia de manutenção, uma vez que possui um conjunto de procedimentos destinados a garantir a atividade do negócio da empresa, tendo em conta o ponto de vista administrativo e técnico.

Também se concluiu que é importante um bom cadastro global, com informação detalhada sobre os diferentes componentes do sistema e com disponibilidade de dados, fiáveis e uniformizados, relativos a ocorrências de operação e manutenção das infraestruturas.

Outro aspeto importante é que atualmente caminha-se para elevados padrões qualitativos dos níveis de serviço, colidindo com as restrições financeiras, pelo que se torna razão suficiente, para que, todas as entidades apostem neste método, levando em conta a quantificação do valor real das infraestruturas versus a eficiência da operação e a intervenção nos sistemas. Esta quantificação do valor real das infraestruturas será o passo seguinte a dar, tendo em conta o incorporado no imobilizado bruto da Empresa.

Futuramente, como o sistema já possui um período representativo de ocorrência de roturas nas condutas, perspectiva-se a criação de modelos preditivos de falhas, onde se modelam as tendências de taxa de falhas calculadas em cada troço de adutora, para prever o tempo aproximando da ocorrência de roturas. Estes modelos também serão validados pela análise dos dados reais com os dados simulados (Martins & Leitão, 2007).

Salienta-se que este trabalho servirá de base para a elaboração de um plano de investimentos, com um horizonte temporal de 5 anos, descrevendo-se as soluções construtivas a levar a cabo nos troços de risco de falha alto. Por se tratar de um método dinâmico, este plano deverá ser revisto anualmente, por forma a identificar eventuais desvios e promover as respetivas ações corretivas de melhoria, dando continuidade ao “Faça tudo de novo” referido no passo 8 da secção 3.5.

## **5. BILIOGRAFIA**

- AdP. (2014). *Gestão de Ativos Águas de Portugal—Guia Metodológico* (Grupo Águas de Portugal). Águas de Portugal, SGPS, S.A.
- Aitkenhead, G. (2014). Scottish Water are using ISO 55001 certification to manage physical assets efficiently and boost customer service levels. *Asset Management, BSI Case Study Scottish Water*, 2.
- Alegre, H. (2009). Current drivers, challenges and trends of infrastructure asset management. *Japan Sewage Works Association*, 11. RCAAP.
- Alegre, H., Brito, R. S., Neves, C., & Almeida, R. (2015). *Normalização na Gestão Patrimonial de Infraestruturas*. Encontro Nacional de Entidades Gestoras, Porto.
- Alegre, H., & Covas, D. (2010). *Gestão Patrimonial de Infraestruturas de Abastecimento de Água. Uma abordagem centrada na reabilitação* (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos e Instituto Superior Técnico).
- APCER. (2016). *APCER - ISO 55001*. Associação Portuguesa de Certificação. <https://www.apcergroup.com/pt/certificacao/pesquisa-de-normas/186/iso-55001>
- Assumpção, A. L. (2018). *Estrutura conceitual para análise de risco nas operações de corte, transbordo e transporte: Estudo de caso em uma empresa paulista do setor sucroenergético* [Mestrado em Administração], Universidade Estadual Paulista. CDU 658:631.3.



- Azevedo, G. (2016). *Otimização do processo de gestão de ativos da EDP Distribuição* [Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial]. Instituto Superior Técnico.
- Bento, A. I. O. (2015). *Gestão Económica de Ativos Fixos Tangíveis Uma Aplicação à Empresa H.B. Fuller* [Mestrado em Economia]. Universidade do Porto.
- Bezerra, F. (2014). Ciclo PDCA: Do conceito à aplicação. *Portal da Administração*.  
<https://www.portal-administracao.com/2014/08/ciclo-pdca-conceito-e-aplicacao.html>
- Caetano, J. P. (2018). *Avaliação e reabilitação de sistemas públicos de abastecimento de água com base na gestão patrimonial de infraestruturas – caso de estudo da Quinta do Lago* – [Mestrado em Engenharia Civil]. Universidade do Algarve.
- Castro, I. F. D. (2016). *Aplicação de matrizes de risco para priorização de intervenções nas condutas adutoras da Águas do Norte* [Mestrado em Engenharia Civil - Ramo infraestruturas]. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- CEGA. (2017). *Guia Prático de Aplicação de Gestão de Ativos a Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais* (Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas).
- Chu, J. N. (2014). *Análise de Riscos nas Indústrias Petroquímicas—Atmosferas explosivas* [Mestrado em Segurança e Higiene no trabalho]. Instituto Politécnico de Setúbal.
- Coelho, R. W. S. (2015). *Aplicação do conceito de Gestão de Ativos Físicos numa Estação Elevatória de Águas* [Mestrado em Engenharia Mecânica]. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

NP EN 31010, Gestão do Risco - Técnicas de apreciação do risco, Instituto Português da Qualidade (2016).

NP EN 31000, Gestão do Risco - Linhas de orientação, Instituto Português da Qualidade (2018).

COSO. (2017). *Enterprise Risk Management: Integrating with Strategy and Performance*. Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission.

Coutinho, R. (2017). Gestão de ativos físicos aplicada às infraestruturas. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Revista portuguesa de engenharia de estruturas*(Série III N.º4), 113–118.

Covas, D., Cabral, M., Pinheiro, A., Marchionni, V., Antunes, S., Lopes, N., Mamouros, L., & Brôco, N. (2020). *Custos de construção de Infraestruturas associadas ao ciclo urbano da água (Guias Técnicos ERSAR N.º23)* (Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos).

Cross, J. (2017). ISO 31010 Risk assessment techniques and open systems. *Sixth Workshop on Open Systems Dependability*, 15–18.

Davis, R. (2012). *An Introduction to Asset Management—A simple but informative introduction to the management of physical assets*. EA Technology / Institute of Asset Management. [www.eatechnology.com](http://www.eatechnology.com)

Degen, E. de A., Borchardt, M., Pereira, G. M., & Sellitto, M. A. (2010). Proposta de um método para avaliação de riscos em fmea considerando o custo de ocorrência do modo de falha. *XXX Encontro Nacional DE Engenharia de Produção*, 14.

- Dias, A., Calil, L., Rigoni, E., Ogliari, A., Sakurada, E., & Kagueiama, H. (2011). *Metodologia para análise de risco: Mitigação de perda de SF6 em disjuntores* (Fábio Bruggemann).
- Duarte, R. P. (2018). *Definição de um sistema de gestão de ativos: Um caso de estudo na rede de distribuição de gás* [Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais]. Universidade do Porto.
- Energy, L. (2018). *Gestão de Ativos e a ISO 55001 – Leonardo Energy Brasil*.  
<https://www.leonardo-energy.org.br/iniciativas/gestao-de-ativos-e-a-iso-55001/>
- ERSAR, & LNEC. (2020). *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores* (ERSAR, LNEC). Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos e Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Espanha, A., & Dias, S. (2014). *Plano Estratégico de Gestão Patrimonial de Infraestruturas da Águas do Algarve, S.A.* (Interno N. 01; p. 14).
- Espanha, A., Dias, S., Lucas, H., & Sousa, J. (2012). *Aplicação da Gestão Patrimonial de Infraestruturas nos Sistemas Multimunicipais de Abastecimento de Água e de Saneamento de Efluentes do Algarve*. Encontro Nacional de Saneamento Básico, Évora.
- Espanha, A., Dias, S., Lucas, H., & Sousa, J. (2013). *Matrizes Multicritério aplicadas à Gestão Patrimonial de Infraestruturas da Águas do Algarve, S.A.*. Encontro Nacional de Entidades Gestoras, Coimbra.
- Evans, N., & Price, J. (2014). Responsibility and Accountability for Information Asset Management (IAM) in Organisations. *The Electronic Journal Information System Evaluation*, 17(1), 113–121.

- Giglio, J. M., Friar, J. H., & Crittenden, W. F. (2018). Integrating lifecycle asset management in the public sector. *Business Horizons*, 61(4), 511–519. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.03.005>
- Gonçalves, E. C. (2016). *Custo do ciclo de vida como ferramenta para a gestão de ativos físicos – Aplicação ao aquartelamento Sede da Academia Militar* [Mestrado em Engenharia Militar]. Instituto Superior Técnico.
- Grilo, T. V. (2007). *Técnicas de Reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água* [Mestrado em Engenharia Civil]. Instituto Superior Técnico.
- Haffejee, M., & Brent, A. C. (2019). Evaluation of an integrated asset life-cycle management (ALCM) model and assessment of practices in the water utility sector. *Water SA*, 34(2), 285. <https://doi.org/10.4314/wsa.v34i2.183651>
- Hastings, N. A. J. (2010). *Physical asset management*. Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-1-84882-751-6>
- Hastings, N. A. J. (2015). *Physical asset management: With an introduction to ISO 55000* (Second Edition). Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-14777-2>
- IAM. (2019). *BSI PAS 55*. Institute of Asset Management. <https://theiam.org/knowledge/Knowledge-Base/pas/>
- IAM, & BSI. (2008). *Asset management*. Institute of Asset Management, British Standards Institution.

- ICAB. (2018). *Gestão de Ativos e a ISO 55001: Por que mudar a forma de administrar ativos?* International Copper Association Brazil.
- IEC. (2006). *IEC 60812*. International Electrotechnical Commission.
- INE. (2021). *Portal do INE* [Índice de Preços no Consumidor-Atualização de valores]. Instituto Nacional de Estatística. <https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ipc>
- IRM. (2018). *A Risk Practitioners Guide to ISO 31000: 2018*. Institute of Risk Management.
- ISO. (2016). *Risk Management 2013 -2018*. International Organization for Standardization/Technical Committee 262. <https://isotc262.org/>
- ISO. (2018). *ISO 31000 Gestão do Risco*. International Organization for Standardization.
- ISO, & CT251. (2014). *Sobre CT251*. International Organization for Standardization. <https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources/portugues.html>
- ISO, & CT251. (2018). *ISO 55002*. International Organization for Standardization. <https://committee.iso.org/sites/tc251/home/projects/published/iso-55002.html>
- Lafraia, J. R. (2016). *3.6 Gestão de Ativos—Certificação na ISO 55.001 | LinkedIn* [Rede linkedin]. 3.6 Gestão de Ativos - Certificação na ISO 55.001 | LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/36-gest%C3%A3o-de-ativos-certifica%C3%A7%C3%A3o-na-iso-55001-jo%C3%A3o-ricardo/>
- LCE. (2014). *The Value of Risk-Based Asset Management*. Life Cycle Engineering. <https://www.lce.comThe-Value-of-RiskBased-Asset-Management-1234.html>

- Lima, E., Lorena, A. L., & Costa, A. P. (2018). Structuring the Asset Management Based on ISO 55001 and ISO 31000: Where to Start? *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 3094–3099. <https://doi.org/10.1109/SMC.2018.00524>
- Liu, H.-C. (2016). *FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods*. Springer Singapore. <http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-1466-6>
- Luís, A., Laginha, P., & Vinagre, V. (2015). *Gestão de Ativos—Manual de planeamento do investimento em ativos*. Águas de Portugal, SGPS, S.A.
- Despacho n.º100/2011*, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 184 (2011) (testimony of MAOT).
- MAOTDR. (2007). *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais II (2007-2013)* (Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional).
- MAOTE. (2015). *PENSAAR 2020—Uma nova estratégia para o sector de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais* (Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia).
- Mariano, J. (2014). *Adutoras Puras e Mistas – Análise Técnico-económica* [Mestrado em Engenharia Civil - Construção urbana]. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Marques, J. A. A. de S., & Sousa, J. J. de O. (2014). *Hidráulica Urbana—Sistemas de abastecimento de água* (3.<sup>a</sup> edição). Imprensa da Universidade de Coimbra.

- Martins, M. P. G., & Leitão, A. L. F. (2007). Predição de Falhas no Apoio à Decisão na Gestão da Manutenção. *Instituto Politécnico de Bragança, Departamento de Gestão Industrial*.
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2009). *The Basics of FMEA* (2nd Edition). Productivity Press.
- Mehairjan, R. P. Y., Fantana, N. L., & Smit, J. J. (2015). Information and Risk-based Strategies for Lifetime Asset Management. *PSI: Life Cycle Asset Management*. CIGRE For power system expertise, Nagoya. <https://www.cigre.org/>
- Mendonça, A. L. (2013). *Métodos de Avaliação de Riscos—Contributo para a sua aplicabilidade no setor da construção civil* [Mestrado em Engenharia do Ambiente]. Universidade do Algarve.
- Miguéis, B. (2010). *Aplicação do FMEA a sistemas de construção de viadutos* [Mestrado em Engenharia Civil]. Universidade de Aveiro.
- Neto, A. A. C. (2015). *Gestão de ativos de sistemas de drenagem com informação do risco* [Mestrado em Engenharia Civil]. Instituto Superior Técnico.
- Oliveira, F., Marques, F., Rodrigues, G., Godinho, R., Fernandes, F., Zenha, J. H. S., Batista, M. J., Marreiros, R., de Sá, C. P., Nemésio, J., & Lemos, V. (2018). O Valor da Água. *Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, Revista APDA*(11), 70.
- Patil, P. (2012). *Forecasting the failures probability for water mains* [Mestrado em Engenharia Sanitária]. Cranfield University.

- Peças, J. M. de A. P. (2013). *Economias de escala no setor das águas em Portugal: Uma reflexão Crítica* (Lisboa) [Mestrado em Ciências Empresariais]. Instituto Superior de Economia e Gestão.
- Periard, G. (2011). *O Ciclo PDCA e a melhoria contínua—Sobre Administração*.  
<http://www.sobreadministracao.com/o-ciclo-pdca-deming-e-a-melhoria-continua/>
- Petchrompo, S., & Parlikad, A. K. (2019). A review of asset management literature on multi-asset systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 181, 181–201.  
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.09.009>
- Quintela, A. de C. (2011). *Hidráulica*. Fundação Calouste Gulbenkian. Serviço de Educação e Bolsas.
- Reis, L. O. R., & Andrade, J. J. (2009). Análise de falhas e da posição na curva da banheira de moldes empregados em equipamentos de injeção. *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 11.
- Rocha, M. C. (2011). *Métodos de Classificação Multicritério com classes parcialmente ordenadas* [Doutoramento em Gestão]. Universidade de Coimbra.
- Segurado, M. (2015). *APCER - A estrutura comum nas novas normas ISO*. Associação Portuguesa de Certificação. <https://www.apcergroup.com/pt/newsroom/346/a-estrutura-comum-nas-novas-normas-iso>
- Serra, P. C. (2011). Política da Água: Da progressiva harmonização do quadro legal e institucional à operacionalização das estratégias de intervenção. *Breve Balanço das políticas públicas para o sector*, 28.



- Serranito, F., & Silva, J. G. (2014). *Identificação da informação de base com relevância para a Gestão de Ativos* [Curso Gestão Patrimonial I da Academia de Águas Livres - Módulo 3]. Gestão de Ativos do Grupo Águas de Portugal, Lisboa.
- Shmagun, H. (2017). The role of information assets in Electronic Government Systems. *2017 Fourth International Conference on EDemocracy & EGovernment (ICEDEG)*, 279–281. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2017.7962551>
- Silva, J. G., & Serranito, F. (2014). *Avaliação Funcional de Ativos Operacionais* [Curso Gestão Patrimonial I da Academia de Águas Livres - Módulo 1]. Gestão de Ativos do Grupo Águas de Portugal, Lisboa.
- Sinha, S. K., & Eslambolchi, S. S. (2006). Bridging the Gap: An Educational Primer on Sustainable Water Infrastructure Asset Management. *Municipal Water & Wastewater Infrastructure Asset Management Primer, University Park, PA U.S.A.* <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.34996.30084>
- SMAS Almada. (2018). *Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada—História*. <http://www.smasalmada.pt/web/portal/historia>
- Sousa, E. R. de. (2001). *Saneamento Ambiental I - Sistemas de Adução*. Instituto Superior Técnico.
- Sousa, P. E. (2014). *Gestão Patrimonial de Ativos I*. Workshop de Gestão de Ativos para Administradores, Academia de Águas Livres.
- Spackman, M., Phillips, L. D., & Pearman, A. D. (2009). *Multi-criteria analysis: A manual*. (Department for Communities and Local Government-Great Britain). Communities

and Local Government.

<http://www.communities.gov.uk/documents/corporate/pdf/1132618.pdf>

Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution* (2nd ed., rev.expanded). ASQ Quality Press.

Sylvester, E. (2013). *PToject 2013 group 2*.

Tancredo, F. V. P. (2018). *Modelo para determinação da Maturidade de uma organização na Gestão de Ativos Físicos*. 103.

Tee, K. F., Khan, L. R., Chen, H. P., & Alani, A. M. (2014). Reliability based life cycle cost optimization for underground pipeline networks. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 43, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2014.04.007>

Tranchard, S. (2018). *The new ISO 31000 keeps risk management simple*. ISO. <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/news/2018/02/Ref2263.html>

Trindade, N. (2015). *Gestão do Risco— Princípios e orientações de acordo com a ISO 31000:2009*. Profitability Engineers.

Trombeta, Me. A. (2017). *Manutenção e Gestão de Ativos... Qual a diferença?* <https://www.linkedin.com/pulse/manuten%C3%A7%C3%A3o-e-gest%C3%A3o-de-ativos-qual-diferen%C3%A7a-trombeta-mba/>

WEF. (2020). *Global risks 2020: Insight report: Vol. WEF-World Economic Forum* (Committed to improving the state of the world). WEF Geneva.

- Weltwirtschaftsforum, & Zurich Insurance Group. (2019). *Global risks 2019: Insight report: Vol. 14th Edition* (Committed to improving the state of the world). WEF Geneva.  
[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf)
- Werkema, C. (2013). *Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas*.  
<http://www.sciencedirect.com/science/book/9788535254297>
- Wilkins, D. J. (2002). *The Bathtub Curve and Product Failure Behavior (Part 1 of 2)*.  
<https://www.weibull.com/hotwire/issue21/hottopics21.htm>
- Yazdandoost, F., & Izadi, A. (2018). An asset management approach to optimize water meter replacement. *Environmental Modelling & Software*, 104, 270–281.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.03.015>
- Yeh, T.-M., & Chen, L.-Y. (2014). Fuzzy-based risk priority number in FMEA for semiconductor wafer processes. *International Journal of Production Research*, 52(2), 539–549. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.837984>
- Yoe, C. (2019). *Principles of Risk Analysis: Decision Making Under Uncertainty*. Second Edition. <https://iccn.loc.gov/2018044466>
- Zampoli, M. (2015). *Gestão de Ativos—Guia para aplicação da Norma ABNT NBR ISO 55001* (Brasil). International Copper Association Latin America.
- ZhaoMA, LimeiZHOU, & WanxingSHEN. (2014). *Analysis of The New Asset Management Standard ISO 55000 AND PAS 55*. China International Conference on Electricity Distribution.

Zorzan, F., Dorneles, L., Ângelo, U.-S., & Servat, M. E. (2013). *FMEA: orientações conceituais para a aplicação de uma ferramenta de antecipação de falhas*. 10.