

Aplicação de Ferramentas de Simulação
Estocástica na Área de Planeamento de
uma Empresa de Abastecimento de Água

Ana Raquel Santos Costa

Mestrado em Engenharia Civil – Ramo Gestão da Construção

Orientador: Professor Jaime Gabriel Silva

ISEP – 13 Julho de 2013

DEDICATÓRIA

À minha família e amigos

AGRADECIMENTOS

Finalizada a dissertação, quero fazer um agradecimento em especial às pessoas, que, de alguma forma, me orientaram e me ajudaram ao longo desta etapa.

Ao Professor Jaime Gabriel Silva um agradecimento, pelo tempo todo que disponibilizou para me acompanhar, orientar e pelas críticas e melhorias apresentadas, ao longo deste tempo. Um obrigado por toda a ajuda no desenvolvimento do modelo.

À Engenheira Joana Boaventura por ter aceite coordenar o estágio nas Águas do Douro e Paiva, por todas as informações que me disponibilizou e por todas as críticas que me ajudaram a melhorar a dissertação.

A todos os elementos da Águas do Douro e Paiva, por me receberem e ajudarem sempre que necessário, principalmente na recolha de dados e no tratamento dos mesmos para a conclusão desta dissertação.

A todos o meu sincero agradecimento.

RESUMO

No presente trabalho procura-se evidenciar algumas soluções para aplicação de simulação estocástica num contexto de gestão dos ativos, aplicado a um sistema de abastecimento de água, tirando partido da informação disponível sobre a manutenção que vem realizando, ao longo dos anos. Procura-se também descrever como estas metodologias podem ser aplicadas noutros casos, futuramente, beneficiando ainda da recolha de informação de colaboradores da empresa, com experiência no cargo e com elevado conhecimento do funcionamento das infraestruturas.

A simulação estocástica é uma área cujas ferramentas podem dar uma preciosa ajuda no processo de tomada de decisão. Por outro lado, as organizações preocupam-se, cada vez mais, com o tema da gestão de ativos e com os custos a si associados, começando a investir mais tempo e dinheiro nessa matéria com o objetivo de delinear estratégias para aumentar o período de vida útil dos seus ativos e otimizarem os seus investimentos de renovação. Nesse contexto, evidencia-se que um adequado plano de intervenções de manutenção e operação é uma boa metodologia, para garantir a redução de falhas no sistema de abastecimento de uma empresa desse setor, bem como garantir que as infraestruturas se encontram em condições de funcionamento. Contudo, esta abordagem tradicional não será suficiente para garantir as melhores práticas e os objetivos que se pretendem alcançar com uma gestão de ativos atual.

O trabalho inclui, ainda, um estudo de caso com que se aplicaram as ferramentas estudadas a um caso real de um grupo de bombagem, de uma das Estações Elevatórias da empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação Estocástica, Análise de Decisão, Gestão de Ativos, Gestão de Risco, Abastecimento de Água.

ABSTRACT

In the present work seeks-if highlight some solutions for simulation stochastic application in the context of asset management of a water supply company, in high, taking advantage of available information on the maintenance that has been performing over the years, in some pumping equipments in your system. Search also to describe how these methods could be applied in other cases, in the future, also benefit from gathering information from company employees with experience in office and high knowledge of the operation of infrastructure.

The stochastic simulation is an area which tools can provide valuable assistance in the process of decision making. On the other hand, the companies are concerned, more and more, with the theme of asset management and about the costs associated them, beginning to invest more time and money in this area, with the objective to define strategies to increase the the useful life of its assets and optimize their investments for renewal. In this context, it appears that an appropriate plan of maintenance and operation is a good methodology, to ensure the reduction of failures in the water supply system of a company, as well as ensuring that infrastructures are in working condition. Nevertheless, this traditional approach not is enough to ensure the best practices and the objectives to be achieved with a current asset management.

This work includes, therefore, a case of study that applied the tools to a real case of a pumping unit, one of the pumping stations of the company.

KEYWORDS: Stochastic Simulation, Decision Analysis, Asset Management, Risk Management, Water Supply.

ÍNDICE GERAL

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. | CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... | 1 |
| 1.2. | OBJETIVOS E ÂMBITO DO TRABALHO | 2 |
| 1.3. | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 3 |
| 2. | A EMPRESA..... | 5 |
| 2.1. | A ESTRUTURA, A VISÃO, A MISSÃO E A POLÍTICA EMPRESARIAL DA ADDP..... | 7 |
| 2.2. | ESTRUTURA ORGANIZATIVA | 9 |
| 2.3. | PRINCIPAIS INDICADORES | 10 |
| 2.3.1. | CAPTAÇÃO DE ÁGUA | 10 |
| 2.3.2. | DESEMPENHO ECONÓMICO-FINANCEIRO | 11 |
| 2.3.3. | QUALIDADE DA ÁGUA | 13 |
| 2.3.4. | INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURAS | 13 |
| 2.3.5. | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONSUMO DE ENERGIA | 14 |
| 2.3.6. | DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA..... | 14 |
| 2.4. | CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA ADUTOR..... | 15 |
| 3. | APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO ESTOCÁSTICA NUM CONTEXTO DA GESTÃO DE ATIVOS..... | 21 |
| 3.1. | GESTÃO DE ATIVOS | 22 |
| 3.2. | GESTÃO DE RISCO | 40 |
| 3.3. | ANÁLISE DE RISCO: DOIS CASOS DE ESTUDO RETIRADOS DA BIBLIOGRAFIA..... | 45 |
| 3.3.1. | ANÁLISE DO ARTIGO | 45 |
| 3.3.2. | CASO DE ESTUDO: SUBSTITUIÇÃO DE UMA BOMBA CRÍTICA | 56 |
| 3.3.3. | DISTRIBUIÇÃO NORMAL | 59 |
| 3.3.4. | ANÁLISE DE RESULTADOS | 60 |
| 3.3.5. | OPORTUNIDADES DE MELHORIA..... | 73 |
| 3.3.6. | ABORDAGEM À UTILIZAÇÃO DA SOLUÇÃO INFORMÁTICA DE APOIO À ANÁLISE DE DECISÃO | 73 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.7. MELHORIAS OBTIDAS COM AS FERRAMENTAS INFORMÁTICAS (@RISK) | 82 |
| 3.4. CONCLUSÕES DESTE CAPÍTULO..... | 89 |
| 4. APLICAÇÃO DO CASO DE ESTUDO A DADOS DA ÁGUAS DO DOURO E PAIVA | 93 |
| 4.1. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO..... | 93 |
| 4.2. CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO..... | 99 |
| 4.3. NOTAS FINAIS DO CAPÍTULO 4..... | 107 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 110 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 114 |
| ANEXOS | 119 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 - Estrutura Organizativa [4]..... | 9 |
| Figura 2.2 - Volume de Água Captada [4]..... | 10 |
| Figura 2.3 - Volume de Água Distribuída [4] | 11 |
| Figura 2.4 - Vendas [4] | 12 |
| Figura 2.5 - Resultado Líquido [4]..... | 12 |
| Figura 2.6 – Consumo de Energia por Volume de Água Distribuída [4] | 14 |
| Figura 2.7 - Mapa do Sistema [41]..... | 15 |
| Figura 2.8 - Distribuição da Água Captada pelas Origens 2012 [4]..... | 18 |
| Figura 2.9 - Complexo de Lever [7] | 19 |
| Figura 3.1 – Conceitos da Gestão Patrimonial de Infraestruturas [10] | 27 |
| Figura 3.2 – Ciclo PDCA [17]..... | 32 |
| Figura 3.3 – Gestão de Ativos [9] | 33 |
| Figura 3.4 – Tipos de Manutenção da AdDP..... | 37 |
| Figura 3.5 – Controlo do Risco [22]..... | 41 |
| Figura 3.6 – Problema de Decisão [23] | 43 |
| Figura 3.7 – Risk Priority Number (Número Prioritário de Risco) [27] | 53 |
| Figura 3.8 – Exemplo duma Distribuição Normal [33] | 60 |
| Figura 3.9 - Probabilidade de Rotura Bomba Antiga (2005) | 65 |
| Figura 3.10 - Custo do Risco de Rotura (2005)..... | 66 |
| Figura 3.11 - Custos Totais da Bomba Antiga (2005) | 66 |
| Figura 3.12 - Probabilidade de Rotura Bomba Nova (2005)..... | 69 |
| Figura 3.13 - Custo Risco Rotura Bomba Nova (2005)..... | 69 |
| Figura 3.14 - Custos Totais da Bomba Nova (2005)..... | 70 |
| Figura 3.15 - Barra de Ferramentas @Risk | 74 |
| Figura 3.16 - Janela da Ferramenta @Risk | 75 |
| Figura 3.17 - Janela da Ferramenta com a Distribuição Weibull..... | 82 |
| Figura 3.18 - Janela da Ferramenta @Risk com a Distribuição Weibull | 83 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.19 - Sobreposição da Distribuição Normal e da Weibull..... | 84 |
| Figura 3.20 – Gráfico de Tendência da Distribuição Normal para a Bomba Antiga | 88 |
| Figura 4.1 – Custos de Manutenção da EE de Milheirós de Poiares, atualizados a 2013 | 101 |
| Figura 4.2 – Distribuição Pert..... | 103 |
| Figura 4.3 – Aplicação da Simulação Estocástica | 105 |
| Figura 4.4 - Distribuição Pert para o Aumento dos Custos | 105 |
| Figura 4.5 – Aplicação da Simulação Estocástica | 106 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 2.1 – Estrutura Acionista [2] | 7 |
| Quadro 2.2 – Órgãos dos Sistemas e Funções [6] | 16 |
| Quadro 2.3 – Infraestruturas em Funcionamento 2013 [4] | 19 |
| Quadro 3.1 – Vida Útil dos Componentes do Sistema [10]..... | 24 |
| Quadro 3.2 – Níveis de Planeamento [10]..... | 28 |
| Quadro 3.3 - Fases de desenvolvimento da ferramenta FMEA [28] | 51 |
| Quadro 3.4 - Fases de desenvolvimento da ferramenta FMECA [28]..... | 51 |
| Quadro 3.5 – Número Prioritário de Risco..... | 51 |
| Quadro 3.6 – Exemplo de Quadro para a Análise RPN [27] | 52 |
| Quadro 3.7 – Escala de Consequência [27] | 52 |
| Quadro 3.8 – Custos Totais para a Bomba Antiga (2005)..... | 62 |
| Quadro 3.9 – Atualização dos Preços Correntes para os Atuais | 63 |
| Quadro 3.10 – Cálculo da Probabilidade de Rotura..... | 64 |
| Quadro 3.11 - Custos Totais da Bomba Nova (2005) | 67 |
| Quadro 3.12 - Comparação Custos Conforme Artigo [1] e Calculados..... | 68 |
| Quadro 3.13 - Comparação Custos Bomba Antiga e da Bomba Nova..... | 70 |
| Quadro 3.14 - Custos Totais para as Duas Bombas..... | 72 |
| Quadro 3.15 – Utilização da Ferramenta @Risk e da Distribuição Normal | 86 |
| Quadro 4.1 – Número de Ordens de Trabalho | 97 |
| Quadro 4.2 – Custo Total para a EE de Milheirós de Poiares | 100 |
| Quadro 4.3 – Custos Totais Atualizados, por Ano, para o Conjunto das 3 Bombas | 101 |

ÍNDICE DE FÓRMULAS

| | |
|---|----|
| Fórmula 3.1 - Fórmula da Distribuição Normal [31] | 59 |
| Fórmula 3.2 - Cálculo da Média da Distribuição Normal [32]..... | 59 |
| Fórmula 3.3 - Cálculo do Desvio Padrão [32]..... | 59 |
| Fórmula 3.4 - Distribuição Weibull [36] | 76 |
| Fórmula 3.5 – Cálculo da Média da Distribuição Weibull [37] | 77 |
| Fórmula 3.6 – Cálculo do Desvio Padrão da Distribuição Weibull [37] | 78 |
| Fórmula 3.7 - Confiabilidade da Distribuição Weibull [37] | 78 |
| Fórmula 3.8 – Distribuição Pert [38] | 81 |
| Fórmula 3.9 – Parâmetros da Distribuição Pert [38] | 81 |
| Fórmula 3.10 – Cálculo da Média da Distribuição Pert [38] | 81 |
| Fórmula 3.11 – Cálculo da Média da Distribuição de Pert Modificada [38] | 81 |

1. Introdução

1.1. Considerações Iniciais

O estudo realizado e descrito abaixo é realizado no âmbito do estágio curricular, desenvolvido na Área de Planeamento e Controlo de Gestão, da empresa Águas do Douro e Paiva, SA. O estágio teve a duração de seis meses e foi realizado no período de Janeiro a Julho de 2013.

Durante este tempo os elementos da empresa sempre se mostraram disponíveis para ajudar a responder a todas as questões levantadas, quer na recolha dos dados necessários ao estudo, bem como no tratamento desses dados e, conseqüentemente, no esclarecimento de dúvidas que iam surgindo.

O grupo Águas de Portugal, ao longo do tempo, tem mostrado uma preocupação acrescida com a temática da gestão de ativos. Em diversos países, como é o caso da Austrália, da Nova Zelândia, a temática da gestão patrimonial de infraestruturas já é vista como um investimento que pode trazer vantagens a longo prazo. Não só com a publicação de normas focalizadas na gestão de ativos, bem como na aplicação dessas normas às empresas do setor.

A simulação estocástica aparece no tema da gestão de ativos como um elemento capaz de ajudar no processo da tomada de decisão e, também, ser uma mais-valia nos modelos de gestão de ativos. Este instrumento de apoio à análise de decisão tem a capacidade de produzir variáveis aleatórias através de ferramentas computacionais, e, através das diferentes amostras, obter um conjunto de resultados para o problema em causa.

Por isso, é uma ferramenta que em parceria com a gestão de ativos e a gestão de risco pode ser uma vantagem para as empresas no processo de tomada de decisão. Para além disso, possibilita a utilização de ferramentas informáticas que facilitam a sua

implementação numa organização e, conseqüentemente, a garantia de melhorias nos seus processos.

Este é um tema que se enquadra no ramo de especialização da Gestão da Construção e que surge no âmbito do Mestrado como um complemento a disciplinas que o abordam numa forma muito superficial, sem explorar as potencialidades, quer da simulação estocástica, quer das ferramentas informáticas capazes de auxiliar no processo de tomada de decisão.

Numa altura em que é imperativo reduzir custos em todas as organizações a aplicação de modelos simples, mas com um nível de eficiência aceitável é uma excelente estratégia por parte das organizações no processo de tomada de decisão relativamente à gestão de ativos.

1.2. Objetivos e Âmbito do Trabalho

A presente dissertação tem como objetivo a análise de um artigo técnico-científico[1] , a sua implementação informática e a aplicação dos métodos apresentados a um caso de estudo na empresa Águas do Douro e Paiva.

Em Portugal, a temática da gestão de ativos, ou como alguns peritos tendem a chamar-lhe a gestão patrimonial de infraestruturas, tem vindo a ganhar um papel de maior relevância no interior das organizações, motivo pelo que se considerou ter interesse para a realização desta dissertação.

Os objetivos parcelares desta dissertação são então os seguintes:

- Estudar os processos de gestão de ativos, bem como a melhor forma de os integrar na política de uma organização;
- Detalhar a questão da gestão do risco de rotura de um ativo e como se enquadra na gestão de ativos;

- Analisar o artigo [1] e encontrar a sua metodologia de estudo;
- Por fim, aplicar as metodologias estudadas do artigo [1] a um caso de estudo de um ativo da empresa e perceber se é possível melhorar o seu desempenho.

Neste estudo não se realizam ajustes de dados para obter distribuições probabilísticas, uma vez que é necessário um elevado número de informações que ainda não estão disponíveis no histórico da empresa em número necessário. Neste contexto, também não foram aplicadas outras ferramentas informáticas, apesar de haver outras disponíveis, porque apenas o @Risk está disponível no Instituto Superior de Engenharia para ser utilizado.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, começando com uma introdução, em que se expõe o tema do presente trabalho, bem como se justifica a necessidade do mesmo e quais são os objetivos a atingir.

Em seguida é feita uma breve descrição da empresa onde foi realizado o estágio curricular, a Águas do Douro e Paiva. São apresentados algumas das características mais importantes da empresa, bem como o seu enquadramento no setor do abastecimento de água e saneamento e alguns indicadores de desempenho da empresa, que evidenciam a sua importância no grupo Águas de Portugal.

Descreve-se, também o sistema adutor da empresa AdDP e são, ainda, identificadas algumas das suas grandes infraestruturas, as estações de tratamento de água.

No terceiro capítulo, é desenvolvido o tema da Aplicação da Ferramentas de Simulação Estocástica. Apresenta-se o tema da Gestão de Ativos e da Gestão de Risco e é analisado o artigo [1]. É descrita a metodologia de estudo apresentada, bem como os cálculos

apresentados. São ainda descritas as melhorias apresentadas ao modelo, bem como a aplicação das ferramentas informáticas.

Por fim, desenvolve-se a aplicação do modelo do artigo a um caso de estudo de um ativo da Águas do Douro e Paiva. No final do capítulo são ainda introduzidas algumas notas finais sobre a aplicação do método.

No último capítulo apresentam-se todas as conclusões obtidas na análise dos objetivos a atingir, propondo algumas melhorias que podem ser desenvolvidas em estudos futuros.

2. A Empresa

No final dos anos 80 e no âmbito do PGIRH/N – Projeto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos do Norte, em torno do Grande Porto foi reconhecida uma zona que, com cerca de 2 milhões de habitantes, era considerada de “pré-calamidade pública”, respeitante ao abastecimento público da água. Para colmatar essas necessidades foi, então, elaborado o “Estudo das Grandes Origens de Abastecimento de Água”, concluído em 1991, que estudou as necessidades das populações e estimou quais seriam as produtividades de água necessárias no período entre 1995 e 2020.

Para responder a estas necessidades e a este estudo foi nomeada uma comissão instaladora para o subsistema Sul, cuja responsabilidade foi realizar o projeto técnico, económico e institucional que, posteriormente, veio a ser formalizado sob a configuração empresarial de Águas do Douro e Paiva, S.A, através do Decreto-Lei nº 116/95, de 29 de Maio.

A AdDP é uma empresa do grupo Águas de Portugal, SGPS, S.A. cuja gestão do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água à Área Sul do Grande Porto está à sua responsabilidade, em regime de concessão, até ao ano de 2026. Este sistema fornece água aos Municípios de Amarante, Arouca, Baião, Castelo de Paiva, Cinfães, Espinho, Felgueiras, Gondomar, Lousada, Maia, Matosinhos, Oliveira de Azeméis, Ovar, Paços de Ferreira, Paredes, Porto, Santa Maria da Feira, São João da Madeira, Valongo e Vila Nova de Gaia.

Esta é uma empresa de capitais exclusivamente públicos e o seu objeto social é a construção, exploração e gestão do sistema multimunicipal de captação, tratamento e abastecimento de água criado para a área geográfica definida através do Decreto-Lei nº 379/93.

Deste a assinatura do contrato de concessão, a AdDP garante o fornecimento da totalidade dos volumes de água necessários, com a qualidade e quantidade exigíveis aos seus clientes. Ao longo do tempo, tem-se revelado uma empresa de referência no setor da indústria da água e participado de forma empenhada na sustentabilidade ambiental da área abrangida pelo seu sistema.

O processo de abastecimento foi construído gradualmente apoiado em sucessivos contratos de fornecimento. Inicialmente, começou por ser o sistema municipal de abastecimento à área sul do grande Porto, alargando numa segunda fase aos municípios do Vale do Sousa e, por último a extensão realizou-se aos municípios de Amarante e Baião.

Para além de todos os municípios já referidos, a AdDP fornece ainda o município de Vale de Cambra e, pontualmente fornece algumas áreas do município de Penafiel.

2.1. A Estrutura, a Visão, a Missão e a Política Empresarial da AdDP

A estrutura acionista da empresa está repartida de acordo com a seguinte tabela.

Quadro 2.1 – Estrutura Acionista [2]

| Acionistas | % | Nº Ações | Capital Realizado (€) |
|-----------------------------------|--------|-----------|-----------------------|
| Águas de Portugal – AdP | 51,00 | 2 132 055 | 10 660 275 |
| Município de Amarante | 2,99 | 124 800 | 624 000 |
| Município de Arouca | 0,29 | 11 997 | 59 985 |
| Município de Baião | 0,53 | 22 200 | 111 000 |
| Município de Castelo de Paiva | 0,27 | 11 084 | 55 420 |
| Município de Cinfães | 0,16 | 6 884 | 34 420 |
| Município de Espinho | 1,43 | 59 870 | 299 350 |
| Município de Felgueiras | 1,15 | 48 265 | 241 325 |
| Município de Gondomar | 4,03 | 168 437 | 842 185 |
| Município de Lousada | 0,69 | 28 665 | 143 325 |
| Município de Maia | 2,71 | 113 361 | 566 805 |
| Município de Matosinhos | 5,39 | 225 512 | 1 127 560 |
| Município de Oliveira de Azeméis | 1,63 | 68 321 | 341 605 |
| Município de Ovar | 0,91 | 38 075 | 190 375 |
| Município do Paços de Ferreira | 1,09 | 45 570 | 227 850 |
| Município de Paredes | 1,53 | 63 945 | 319 725 |
| Município de Porto | 13,31 | 556 244 | 2 781 220 |
| Município de Santa Maria da Feira | 2,33 | 97 254 | 486 270 |
| Município de S. João da Madeira | 0,37 | 15 531 | 77 655 |
| Município de Valongo | 2,75 | 115 048 | 575 240 |
| Município de Vila Nova de Gaia | 5,44 | 227 384 | 1 136 910 |
| Total | 100,00 | 4 180 500 | 20 902 500 |

A visão da empresa é “Ser uma empresa de referência no sector da indústria da água e um instrumento eficaz para o desenvolvimento da região em que se insere” [3].

A missão da empresa passa por “Conceber, construir e gerir o sistema de captação, tratamento e adução de água em alta do Grande Porto Sul, garantindo aos municípios aderentes o fornecimento das quantidades necessárias de um produto de qualidade, através de processos de produção eficientes e respeitadores dos valores sociais e ambientais mais elevados” [3]

A Águas do Douro e Paiva dispõe o seu empenho de forma a cumprir das obrigações e responsabilidades sociais para com os acionistas, clientes, colaboradores, concedente, fornecedores e comunidade, para isso compromete-se a contribuir para o sustentado desenvolvimento dos serviços do abastecimento de água e para o cumprimento das metas estabelecidas para o sector.

Ciente do seu papel a empresa tem em atenção a proteção do meio ambiente e a valorização do mesmo junto da comunidade. Assim, a AdDP assume um plano de negócio com base nos seguintes princípios [3]:

- Satisfação do Cliente: Antecipar e corresponder às necessidades e expectativas do cliente, bem como ter como objetivo a melhoria contínua do serviço concedido aos clientes;
- Motivação dos Colaboradores: Fomentar e impulsionar o desenvolvimento pessoal e profissional dos colaboradores adequando as competências, formação e melhoria das condições de trabalho, visando o seu envolvimento, responsabilidade individual e criatividade;
- Gestão Responsável dos Processos: Otimizar os processos de forma a garantir a qualidade e segurança do produto, a continuidade do fornecimento, bem como o uso eficiente e sustentável dos recursos. É, também, uma meta minimizar os impactes ambientais, bem como prevenir a poluição, dos acidentes graves com substâncias perigosas. Respeitar e cumprir todos os requisitos da legislação aplicável, segundo as normas ISO9001, NP4397/OHSAS18001, ISO14001, NP EN ISO/IEC 17025 e SA8000, e outros que a AdDP subscreva;
- Melhoria Contínua e Inovação: Investir na aprendizagem permanente e no aprofundamento do conhecimento, como uma maneira de assegurar a investigação,

o desenvolvimento e a inovação que se mostram indispensáveis à melhoria contínua do SGI da AdDP;

- Comunicação de Desempenho: Desenvolver uma postura de clareza de forma a partilhar a política empresarial, como os interessados, bem como os objetivos estabelecidos e o desempenho atingido nas diferentes áreas do desenvolvimento sustentável: económica, social e ambiental.

2.2. Estrutura Organizativa

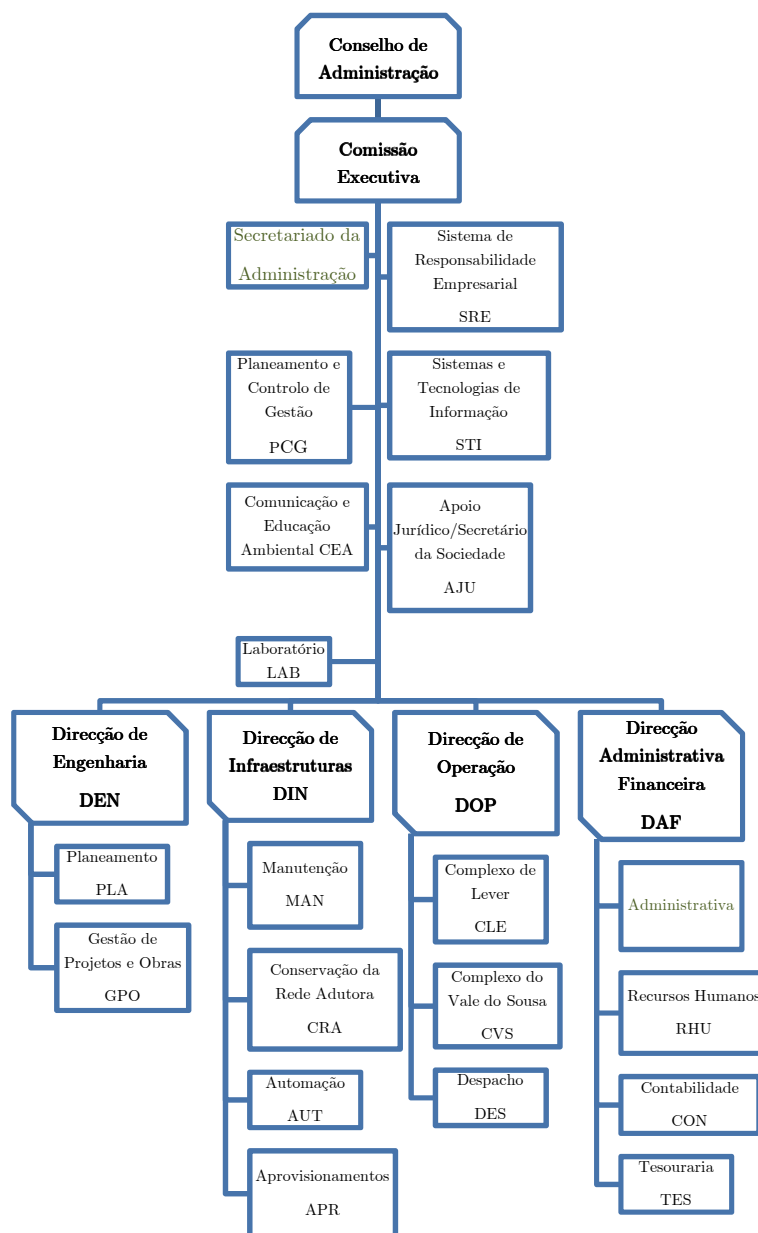


Figura 2.1 - Estrutura Organizativa [4]

2.3. Principais Indicadores

2.3.1. Captação de Água

Para responder às necessidades dos Clientes, a empresa necessita de captar água do meio ambiente. Em 2012, o volume total de água distribuída foi de 101 milhões de metros cúbicos, do qual 93,5% corresponde a água captada no rio Douro. Com a entrada em funcionamento da captação com origem no rio Ovil com uma capacidade de 1 728 m³/dia são servidos, atualmente, pela AdDP 1,55 milhões de habitantes [4].

A água captada pela Águas do Douro e Paiva é proveniente de 6 origens superficiais: Rio Douro, Paiva, Ferreira, Ferro, Vizela e Ovil. O volume de água distribuída aos consumidores tem tendência a diminuir, acompanhando, assim, a diminuição do volume total de água distribuída. O gráfico seguinte representa a quantidade de água que é necessária captar para fornecer as populações abrangidas pelo sistema da AdDP.

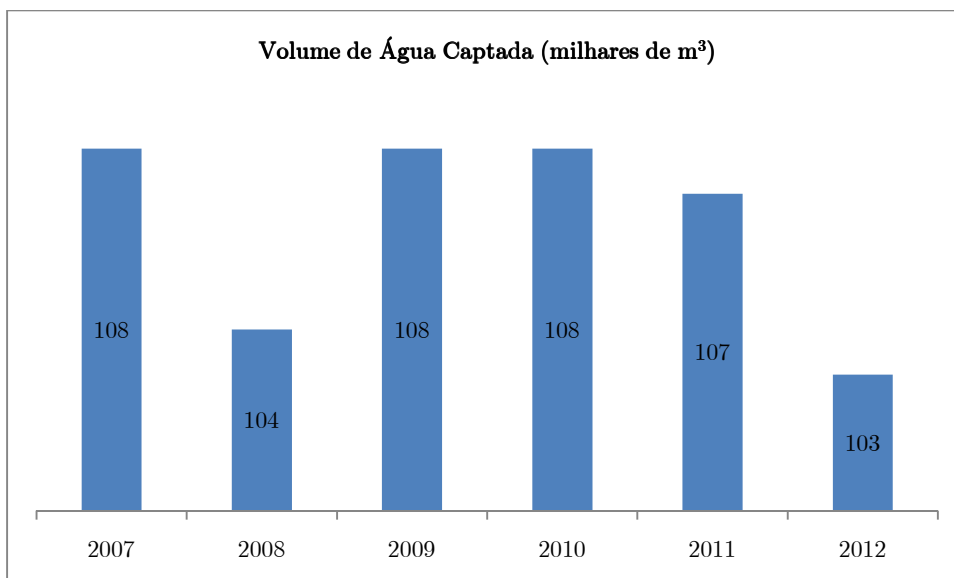


Figura 2.2 - Volume de Água Captada [4]

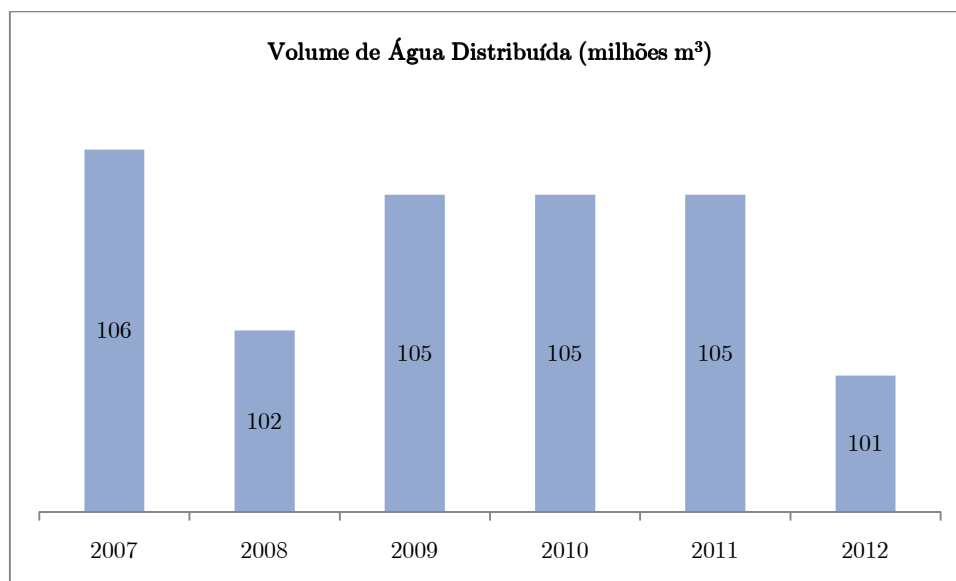


Figura 2.3 - Volume de Água Distribuída [4]

O volume de água não faturada mantém-se baixo quando comparado com o que é habitual em sistemas de adução de água, ficando abaixo do valor de referência da ERSAR para empresas de abastecimento em alta, isto é, inferior aos 5%.

2.3.2. Desempenho Económico-Financeiro

A Águas do Douro e Paiva encarrega-se de vender a cada município a quantidade de água necessária para fazer o abastecimento às populações.

No ano de 2012 a tarifa praticada pela empresa aos municípios foi de 0,3593€/m³ [4].

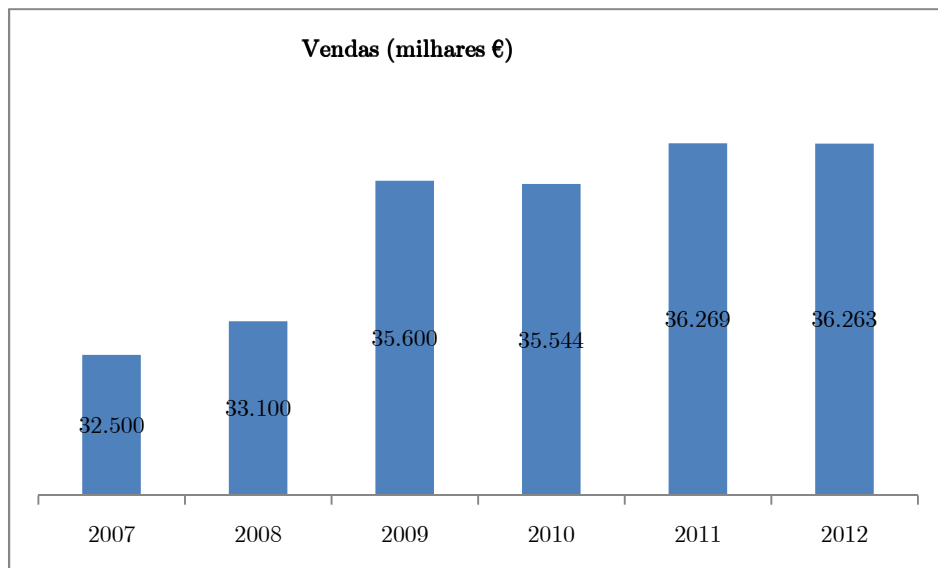


Figura 2.4 - Vendas [4]

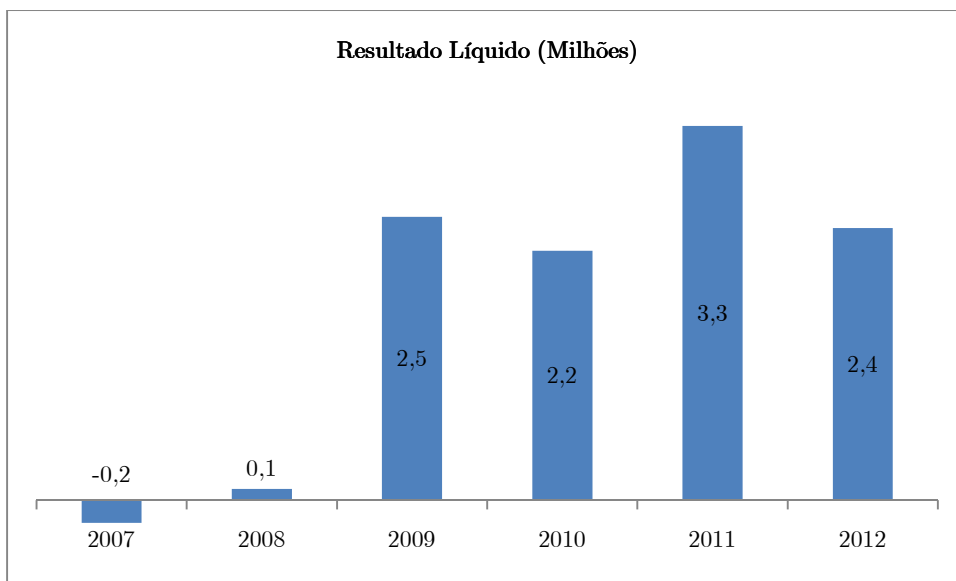


Figura 2.5 - Resultado Líquido [4]

Segundo as orientações dadas às empresas do setor e em cumprimento dos objetivos de sustentabilidade as tarifas estabelecidas devem estar dentro dos padrões do socialmente aceitáveis. Os tarifários estabelecidos para o abastecimento de água, para o saneamento de águas residuais urbanas e para a gestão de resíduos urbanos têm a finalidade de permitir a

recuperação tendencial dos custos económicos e financeiros resultantes da sua provisão, sem que para isso seja colocada em causa a qualidade do serviço prestado e a sustentabilidade das entidades gestoras [5].

2.3.3. Qualidade da Água

Como todas as organizações a AdDP trabalha de forma a satisfazer as necessidades e expectativas dos seus clientes, sendo que desde 2006 que mantém um Plano de Segurança da Água. Este atua numa questão de gestão do risco de forma a evitar fontes poluidoras que possam diminuir a qualidade da água do sistema. Assim, e abordando todas as fases do sistema, desde a captação, tratamento, até ao abastecimento da água aos consumidores é feita uma monitorização da qualidade da água pela Águas do Douro e Paiva. O valor do indicador qualidade da água fornecida tem estado sempre acima de 99,9%, valor bastante acima do valor referência da ERSAR para qualidade do serviço boa (98,5%).

2.3.4. Investimento em Infraestruturas

Ao longo dos anos a Águas do Douro e Paiva tem investido na construção das infraestruturas necessárias que sejam capazes de responder às necessidades de abastecimento das populações. Em 2012, foram investidos cerca de 3 milhões de euros, maioritariamente usados para o subsistema do Baixo-Tâmega.

2.3.5. Eficiência Energética e Consumo de Energia

Para o tratamento, elevação e distribuição de água a AdDP utiliza a eletricidade como principal fonte de energia. Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento do consumo de energia por parte da empresa. Verifica-se que, apesar da população estar a diminuir, com as entradas de novos municípios no sistema, Baião e Amarante, é necessário elevar a água para cotas bastante mais altas. Este facto aliado ao contínuo aumento do custo da eletricidade, provoca uma despesa acentuada com a energia.

2.3.6. Distribuição do Consumo de Energia Elétrica

Do total de energia elétrica consumida, cerca de 85% é consumida nas instalações da Estação de Tratamento de Água de Lever e Estações Elevatórias de Lever Jusante, Lever Montante, Jovim e Ponte da Bateira.

O aumento do consumo de energia, que se tem vindo a verificar, tem sido atenuado por medidas de eficiência energética dos equipamentos e de redução da energia reativa.

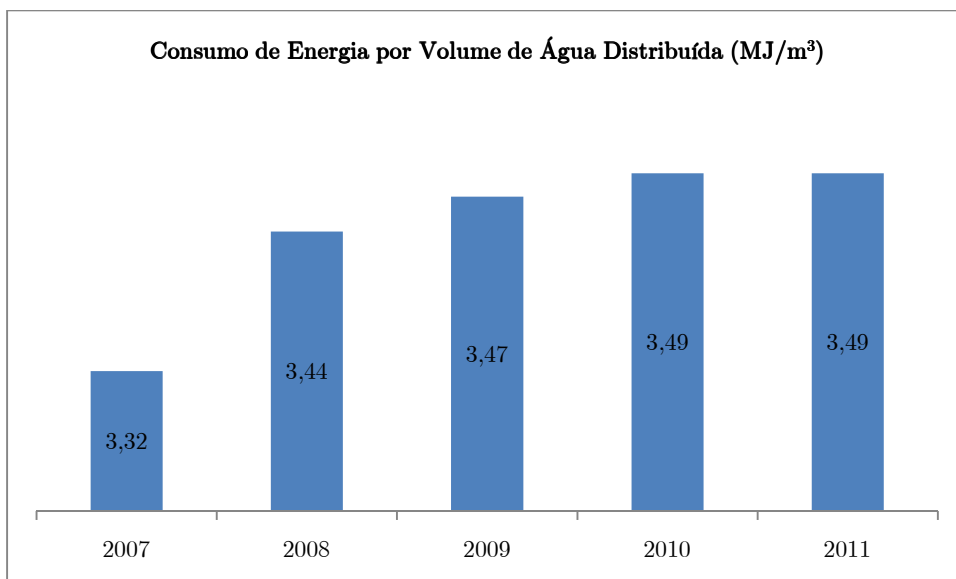


Figura 2.6 – Consumo de Energia por Volume de Água Distribuída [4]

2.4. Caracterização do Sistema Adutor

O seguinte mapa representa as regiões do país abrangidas pelo sistema de abastecimento da Águas do Douro e Paiva. É possível visualizar cinco pontos fundamentais, representados a verde, que são as estações de tratamento de água (ETA) indispensáveis ao funcionamento do sistema.



Figura 2.7 - Mapa do Sistema [41]

Atendendo às diferentes especificações de um sistema adutor é importante começar por caracterizar os componentes desse sistema, bem como as funções de cada componente no sentido de compreender o comportamento da rede e o seu controlo, de acordo com [6]:

Quadro 2.2 – Órgãos dos Sistemas e Funções [6]

| Sistema | Órgãos | Função |
|-----------------------|---------------------------------------|---|
| Captação | Obras de captação | O objetivo é captar água bruta nas diferentes origens, em alguns sistemas superficial ou subterrânea, perante as necessidades de abastecimento. |
| Elevação | Estações Elevatórias | Bombear a água desde a cota mais baixa até um ponto de cota mais alta. |
| Adução | Adutores, aquedutos e canais | Transporte da água desde a captação até à entrada das redes municipais de abastecimento de água: <ul style="list-style-type: none"> • Em pressão; • Com superfície livre. |
| Tratamento | Estações de tratamento de águas | A partir da água bruta, trata-la e produzir água potável, de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos pelas entidades competentes. |
| Armazenamento | Reservatórios | Auxiliar na regularização, de forma a compensar as flutuações de consumo face à adução; Conter reservas de emergência; Regularizar o funcionamento das bombas. |
| Distribuição | Rede pública de abastecimento de água | Conjunto de tubagens e elementos acessórios, como (juntas, válvulas de seccionamento e de descarga, redutores de pressão, ventosas, bocas de rega e lavagem, hidrantes e instrumentação) destinados a transportar água para distribuição. |
| Ligação Domiciliária | Ramais de ligação | Certificam-se que o abastecimento predial de água, desde a rede pública até à habitação a servir, é realizado em boas condições de caudal e pressão. |
| Distribuição Interior | Redes interiores dos edifícios | Tubagens e elementos acessórios para distribuir a água no interior dos edifícios. |

O abastecimento de água é fulcral para a qualidade de vida das populações. Uma das responsabilidades da AdDP é garantir que a água chegue a todos os consumidores, bem como assegurar que é abastecida em condições de salubridade, para garantir a segurança dos mesmos. O organograma seguinte é representativo do sistema de abastecimento de água e de como este se subdivide em três principais subsistemas de forma a abastecer todos os municípios.

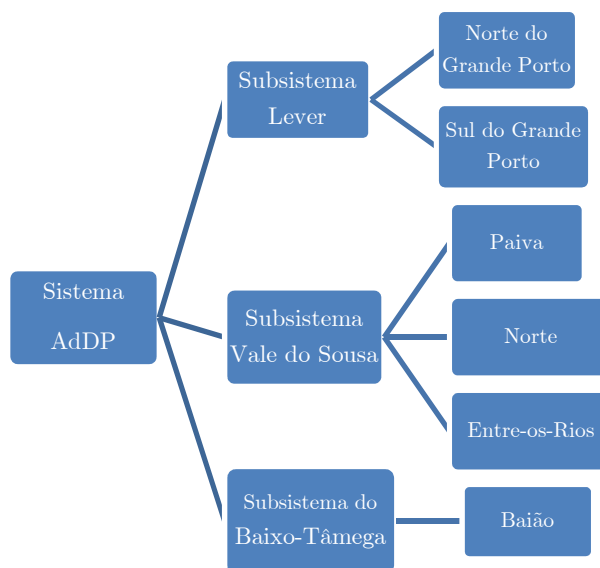


Figura 2.8 – Sistemas Água do Douro e Paiva

Um dos componentes mais importantes do sistema são os rios. De seguida, procede-se a uma apresentação sumária dos rios diretamente envolvidos no processo de abastecimento de água.

Rio Douro

Nasce: Nos picos da serra de Urbión, em Sória (Espanha)

Desagua: Porto (costa atlântica)

Bacia Hidrográfica: 18710km²

Extensão: 112km de fronteira portuguesa e espanhola e mais 213km em território nacional

Aproveitando o elevado desnível, sobretudo na zona do Douro internacional, o desnível médio é de 3m/km, a partir de 1961, foi possível fazer o aproveitamento hidroelétrico do Douro e construir as barragens, sendo hoje até um ponto de interesse turístico.

Rio Paiva

Nasce: na serra da Nave, Moimenta da Beira

Desagua: no Douro, em Castelo de Paiva

Bacia Hidrográfica: 77m²

Extensão: cerca de 111km

Afluentes: Rio de Frades e Rio Paivô

Rio Ferreira

Nasce: na Raimonda, Paços de Ferreira

Desagua: lugar da Ribeira, Rio Sousa

Bacia Hidrográfica: 184m²

Extensão: cerca de 30km

Rio Vizela

Nasce: na serra de Cabeceiras, Alto de Morgair

Desagua: margem esquerda do rio Ave, Vila das Aves

Extensão: cerca de 30km

Rio Ferro

Afluente: Vizela

Extensão: curso de água de pequena dimensão

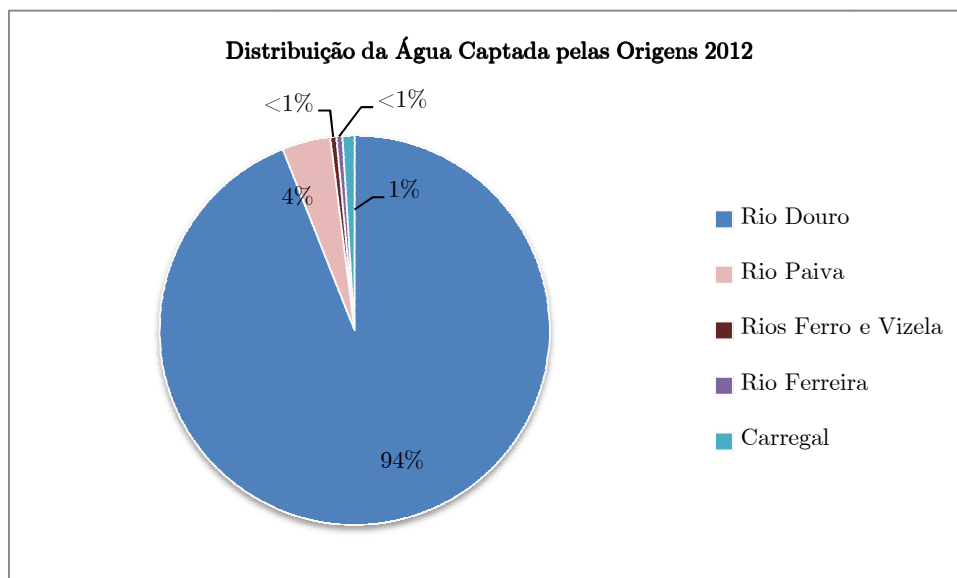


Figura 2.8 - Distribuição da Água Captada pelas Origens 2012 [4]

As infraestruturas em funcionamento no sistema no ano de 2013 são as seguintes:

Quadro 2.3 – Infraestruturas em Funcionamento 2013 [4]

| | |
|---------------------------------|-----|
| Estações de Tratamento de Água | 5 |
| Estações Elevatórias | 30 |
| Reservatórios | 33 |
| Estações de Cloragem/Recloração | 11 |
| Conduções (km) | 488 |

Complexo Lever

O Complexo de Lever engloba a ETA – Estação de Tratamento de Água, construída em 1997-2000, e os poços de captação existentes no rio Douro, construídos na década de 1980.



Figura 2.9 - Complexo de Lever [7]

Pela sua dimensão, o Complexo de Lever é responsável pelo tratamento de água para cerca de um milhão e meio de habitantes, com um máximo que pode atingir 650 mil m³/dia (em média, produz 260 mil m³/dia) [7]. É a estrutura da empresa com os mais sofisticados meios tecnológicos no processo de tratamento, de acordo com as regras ambientais. Inclui, ainda, três poços de captação em profundidade, duas estações elevatórias e uma subestação de energia.

A AdDP dispõe ainda de outras estações de tratamento de água, de dimensão mais reduzida, construídas para apoiar as populações num universo mais rural:

- ETA de Castelo de Paiva;
- ETA do Ferro;
- ETA de Pousada – Gôve;
- ETA do Ferreira.

3. Aplicação de Ferramentas de Simulação Estocástica Num

Contexto da Gestão de Ativos

O estágio curricular realizado na Águas do Douro e Paiva foi efetuado na Área de Apoio Planeamento e Controlo de Gestão da empresa que tem como principal função controlar a performance da empresa, o que inclui o controlo dos seus ativos.

Devido a toda a importância dos ativos mostra-se pertinente fazer uma gestão adequada dos mesmos já existentes, sendo uma das preocupações das empresas encarregues de fazer chegar às populações a água com a qualidade necessária. O objetivo destas organizações é abastecer a sociedade de uma forma sustentada, o que implica fazer uma adequada gestão dos ativos, de forma a otimizar a sua vida útil.

Efetivamente, uma área em que realmente se considera interessante a aplicação de ferramentas de simulação estocástica, é a Área da Gestão de Ativos, e o grupo Águas de Portugal tem vindo a procurar desenvolver estas ferramentas neste contexto. Através da simulação estocástica é possível prever o comportamento futuro dos ativos, mediante a realização de diferentes simulações para cada caso de estudo.

A simulação estocástica permite realizar diversas experiências através de uma série de amostras aleatórias e, com recurso à aplicação da ferramenta da Palisade - @Risk, obter resultados. É uma boa metodologia nos processos de tomada de decisão, uma vez que permite diminuir a incerteza associada ao caso de estudo.

3.1. Gestão de Ativos

Numa empresa de abastecimento de água deve ser elaborado um plano de gestão de ativos, para que durante o seu ciclo de vida a organização consiga cumprir e alcançar os objetivos de eficiência e eficácia previstos, conseguindo, paralelamente, uma adequada redução de custos de operação e manutenção das infraestruturas. [9]

Este tipo de gestão requer uma interligação entre diferentes áreas como é o caso da área financeira, do histórico das infraestruturas, da logística, etc. [9]

As infraestruturas devem ser sempre mantidas em boas condições de operacionalidade e funcionalidade de forma a prolongar o seu tempo de vida útil, ou pelo menos, minimizar os riscos de rutura e, conseqüentemente, a insuficiência de abastecimento às populações.

Neste contexto importa clarificar algumas noções sobre o período de vida destas infraestruturas de acordo com [10]:

- Vida total: é o período que medeia desde a instalação e entrada em funcionamento até à desativação final; quando os sistemas de informação cadastral contêm datas, são em geral as datas de instalação e de desativação que são registadas;
- Vida útil técnica: corresponde ao período após a instalação durante o qual o componente cumpre a função a que se destina;
- Vida útil contabilística: é definida pelo período de amortização fiscal, em geral fixo para cada classe do componente;
- Vida útil económica: é definida pelo período entre a aquisição e o tempo em que o componente, apesar de fisicamente ainda capacitado para fornecer o serviço, já não constitui a opção de menor custo para satisfazer os requisitos de desempenho pretendidos.

Estes são conceitos ligeiramente diferentes e com definições distintas. Contudo, por vezes, confundem-se um pouco. É de salientar no que toca ao conceito de vida útil que este

depende do tipo de elemento e da sua natureza, no caso de componentes mecânicos que estão sujeitos a desgaste ou avarias decorrentes do seu uso espera-se que uma adequada manutenção seja sinónimo dum prolongamento deste tempo de vida.

Antes da realização de qualquer infraestrutura a fase fundamental foca-se no projeto, uma vez que é essencial para perceber a durabilidade dos sistemas. Na fase de conceção do projeto existem alguns pontos essenciais que devem ser considerados por forma a dimensionar corretamente as infraestruturas são eles [11]:

- Vida útil das obras de construção civil e equipamentos
- Facilidade ou dificuldade de ampliação dos sistemas
- Previsão da taxa de evolução da população
- Taxa de juro durante o período de amortização dos investimentos
- Funcionamento da instalação durante os primeiros anos de exploração
- Capacidade financeira da entidade gestora
- Disponibilidade dos recursos hídricos.

Neste contexto aparece um novo conceito de gestão patrimonial de infraestruturas GPI (do anglo-saxónico *Infrastructure asset management*) cujo objetivo passa por realizar uma gestão estratégica do património traduzido em infraestruturas, gestão que deve ser feita de forma integrada e sustentável.

Todos os sistemas apresentam falhas ou roturas ao longo da sua vida útil. No caso do abastecimento de água os dispositivos e componentes do sistema são projetados muitas vezes para um tempo de vida útil de 30 anos [12], tendo ao longo da sua exploração várias falhas e roturas que devem ser contabilizadas.

Segundo a publicação [10] a vida útil dos diferentes elementos constituintes de um sistema de abastecimento de água tem a seguinte duração:

Quadro 3.1 – Vida Útil dos Componentes do Sistema [10]

| Tipo de Componente | Vida útil (anos) | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|
| | Contabilística (DR 25/2009) | Técnica (média em Portugal) | Técnica (recomendada pela USEPA ¹) |
| Construção Civil | | | |
| Edifícios e reservatórios | 25-40 | 40-50 | 60-75 |
| Conduatas | 25 | 40 | 60 |
| Ferro fundido dúctil e aço | 20 | 60 | |
| Betão | - | 50 | |
| Policloreto de vinilo (PVC) | - | 45 | |
| Polietileno de alta densidade (PEAD) | - | 45 | |
| Fibrocimento (FC) | 16 | 30 | |
| Equipamento | | | |
| Grupos eletrobomba | 8 | 20 | 35-40 |
| Válvulas | 8 | 15-20 | 30 |
| Equipamento elétrico | 8 | 15 | 35 |
| Equipamento de controlo | 8 | 15 | 25 |

Por isso mesmo, um dos objetivos da monitorização das falhas é perceber se os dispositivos estão preparados para responder às necessidades de utilização. Ao longo do tempo é imprescindível a execução de trabalhos de manutenção nos componentes do sistema, verificando-se, frequentemente, um aumento progressivo dos custos de manutenção ao longo do tempo. Assim, é importante avaliar o período de vida útil dos sistemas, estabelecer um histórico de manutenção e falhas e, se possível recorrer a métodos de previsão para saber se as infraestruturas/ativos sobreviverão até à linha horizonte do projeto e se compensa reabilitar ou substituir esses elementos. O importante é avaliar o desempenho do sistema para permitir apoiar a tomada de decisão, e avaliar, também, o investimento necessário da empresa [8].

A gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água representa um sistema fundamental para garantir que, no futuro, a qualidade da água consumível, bem como a

¹ USEPA – United States Environmental Protection Agency

proteção dos recursos naturais é garantida [13]. Desafios como as alterações climáticas, as dificuldades no uso da água e o recorrente aumento da exigência de qualidade da água por parte dos consumidores devem ser solucionados pelos gestores das organizações.

Numa altura em que o envelhecimento e degradação das infraestruturas começa a ser uma preocupação devido à idade das instalações é importante estabelecer medidas de modo a não diminuir o desempenho das infraestruturas. Como alternativa aos elevados custos de substituição de infraestruturas é possível optar por implementar um plano de gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água.

Ao longo do tempo, os componentes do sistema de abastecimento de água estão expostos a vários agentes e a determinadas condições que acabam por provocar a sua degradação, bem como a diminuição da eficácia do seu desempenho. Assim, requerem operações de manutenção ou substituição, em casos mais extremos. A degradação dos sistemas deve-se a causas naturais, como é o caso do envelhecimento das instalações, mas, também, deve-se a fatores externos, como é o caso de danos provocados por terceiros. Estima-se que as principais causas de degradação do sistema são as seguintes [13]:

- Envelhecimento natural dos componentes;
- Alteração dos objetivos de serviço;
- Deficiências da conceção e projeto;
- Deficiência de construção;
- Deficiências de materiais e equipamentos;
- Deficiências de operação;
- Deficiências de manutenção;
- Causas externas.

Uma forma de poder implementar um plano de GPI é ter um histórico destas falhas atualizado e com alguns anos de forma a conhecer as infraestruturas que serão analisadas.

Para além disso requer-se um conhecimento da qualidade dos serviços prestados pela organização, bem como das necessidades das populações abastecidas.

A abordagem da gestão patrimonial de infraestruturas pode ajudar a organização a [14]:

- Garantir a sustentabilidade de níveis de serviço adequados;
- Clarificar e justificar as prioridades de investimento;
- Encontrar um equilíbrio entre desempenho, custo e risco no curto, médio e longo prazo;
- Utilizar de forma sustentável os recursos hídricos e energéticos;
- Adaptar os sistemas face às alterações climáticas;
- Dar prioridade à reabilitação das infraestruturas existentes, sempre que possível;
- Promover o investimento e os ganhos operacionais.

A gestão patrimonial de infraestruturas tem de garantir que os sistemas executam as suas funções adequadamente, não obstante da idade dos componentes que dele fazem parte ou de outras razões. Assim, um dos objetivos da GPI é maximizar a vida útil das infraestruturas, estabelecendo a seguinte metodologia: [15]

- Proteger o funcionamento dos componentes do sistemas, implementando medidas de operação e manutenção adequadas;
- Planear durante vários anos;
- Distribuir custos ao longo do ciclo de vida útil dos componentes;
- Diminuir os custos de novos investimentos;
- Fazer a gestão do risco de rotura dos sistemas;
- Implementar medidas de melhoria contínua de gestão.

De acordo com a seguinte publicação [10] o conceito de GPI visa assegurar um equilíbrio entre três características essenciais, a longo prazo: desempenho, risco e custo. Por outras palavras a gestão patrimonial de infraestruturas tem como objetivo assegurar o equilíbrio

entre desempenho e os riscos assumidos, garantindo o mínimo custo associado à propriedade, manutenção e operação do processo, sem que para isso diminua a sua qualidade do sistema.

Esta abordagem do sistema requer uma intervenção entre os diferentes níveis de planeamento: estratégico, tático e operacional.

Todas estas intervenções só podem ser eficazes se a abordagem realizada ao sistema for uma abordagem que envolva várias disciplinas como é o caso da gestão, da engenharia e da informação.



Figura 3.1 – Conceitos da Gestão Patrimonial de Infraestruturas [10]

De uma forma resumida os níveis de planeamento e decisão estabelecem-se de acordo com os prazos e funções seguintes:

Quadro 3.2 – Níveis de Planeamento [10]

| Nível de Planeamento | Responsabilidade | Estimativa de Prazo | Função |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| Estratégico | Administração | Longo prazo (10 a 20 anos) | Estabelece os objetivos estratégicos e respetivas metas |
| Tático | Operadores de infraestruturas | Médio Prazo (3 a 5 anos) | Estabelece as vias para atingir os resultados pretendidos, estabelece as táticas a adotar para o cumprimento dos objetivos estratégicos |
| Operacional | | Curto prazo (1 a 2 anos) | Estabelece e programa as ações a serem tomadas para o curto prazo |

O tema operação, manutenção ou substituição de equipamentos mostra-se cada vez mais pertinente nos dias de hoje, e todas as ferramentas de ajuda à tomada de decisão são um benefício para as empresas e organizações que delas dependam, com vista a melhorar a eficiência dos seus serviços com o mínimo custo possível, garantindo a satisfação dos seus clientes.

Segundo a especificação [17] a gestão de ativos é definida como as “atividades sistemáticas coordenadas através das quais a organização efetua uma gestão ótima e sustentável dos ativos e sistemas de ativos, do seu desempenho, risco e custos ao longo do seu ciclo de vida por forma a atingir o plano estratégico proposto”. A presente dissertação, no que diz respeito à gestão patrimonial de infraestruturas, tem o objetivo de analisar os custos de vida útil dos ativos da organização, percebendo qual a sua evolução e introduzir um modelo que traduza o histórico de comportamento do ativo e perceber qual será o seu comportamento futuro. Para otimizar a gestão de ativos deve contabilizar-se o desempenho e risco associados à sua gestão de ativos [18].

Numa ótica mais generalista a gestão de ativos tem como objetivo garantir a acessibilidade dos utilizadores ao serviço com o máximo de qualidade possível, a um custo igualmente suportável pelos mesmos. O risco numa infraestrutura é caracterizado como a soma do risco de cada ativo individual e é calculado em função do estado físico desses componentes.

As infraestruturas são essenciais para assegurar o fornecimento público da água, sendo que são elementos que não são substituíveis, ou pelo menos parte deles, e cuja reabilitação deve ser realizada “peça a peça” [19].

Os diferentes componentes individuais constituintes desse ativo têm diferentes períodos de vida útil, logo, mostra-se mais eficiente falar em vida útil dos componentes e não da infraestrutura [19].

Os ativos podem ser classificados de forma diferente em função da área ou sector a que dizem respeito:

- Ativos físicos: edifícios, equipamentos, máquinas;
- Ativos humanos: conhecimento, competências, responsabilidades, experiência;
- Ativos financeiros: lucro, capital financeiro, ações;
- Ativos intangíveis: reputação, moral, impacto social;
- Ativos de informação: dados em formato digital, informação empresarial da organização e clientes, informação de desempenho financeiro.

No caso desta dissertação o objeto de estudo serão todos os ativos incorporados no primeiro grupo, como é o caso dos grupos de bombagem presentes nas estações elevatórias, isto é, máquinas e equipamentos.

Todos os sistemas de abastecimento de água integram diversos ativos com diferentes funções, sendo que alguns que são visíveis e outros são enterrados. Como na dissertação serão apenas tratados os ativos físicos podem incluir-se nesta categoria os seguintes: tubos, válvulas, tanques, bombas, poços, bocas-de-incêndio, as instalações de tratamento, entre outros. Com o passar do tempo, o sistema vai envelhecendo e deteriorando e, por isso, estes ativos veem o seu valor ser reduzido progressivamente. Isto pode provocar uma diminuição da qualidade do serviço prestado aos consumidores e, por essas razões, é

necessário intensificar as tarefas de manutenção do sistema. O que se concluiu é que esses custos de operação e manutenção vão aumentando com o avançar da idade dos ativos.

O objetivo da gestão de ativos é assegurar a sustentabilidade da água e dos sistemas de abastecimento numa perspetiva de longo prazo, para isso mesmo, é necessário definir quando reparar, substituir ou reabilitar alguns ativos. De entre os benefícios da gestão de ativos é necessário enumerar os fundamentais [19]:

- Prolongamento da vida útil dos ativos e apoio nas decisões de reabilitação, reparação e substituição através de operações e de manutenção eficiente e focada;
- Definição de tarifas com base no planeamento operacional;
- Orçamento focado em atividades críticas;
- Melhorar a capacidade de resposta às emergências;
- Melhorar a segurança dos ativos;
- Gerir o risco do serviço, de acordo com as necessidades dos clientes;
- Promover um uso sustentável da água e energia;
- Reduzir os custos totais para operações e manutenções.

Na implementação da gestão de ativos pode recorrer-se a uma abordagem *PDCA*, isto é, planear, executar, verificar e atuar [17]. A PAS 55 é uma norma originária do Reino Unido, atualizada em 2008 pela British Standards Institute, e estabelece normas capazes de auxiliar no processo de tomada de decisão para a otimização das infraestruturas. Esta especificação vai muito de encontro com a norma ISO 9001, que promove a gestão da qualidade. Com a implementação de atividades sistemáticas e coordenadas na organização, a PAS 55 tem como objetivo aumentar a eficiência no desempenho, risco e recursos usados ao longo do ciclo de vida dos seus ativos [18].

Esta norma é uma ferramenta aplicada à gestão da qualidade e tem como objetivo o cumprimento dos objetivos do sistema.

- Planear: Política de gestão de ativos (Estratégia, objetivos e planos de gestão de ativos)
- Fazer: Controlar e facilitar na GA
- Verificar: Implementação dos planos de gestão de ativos
- Atuar: Revisão de gestão (Avaliação de Desempenho e Melhoria)

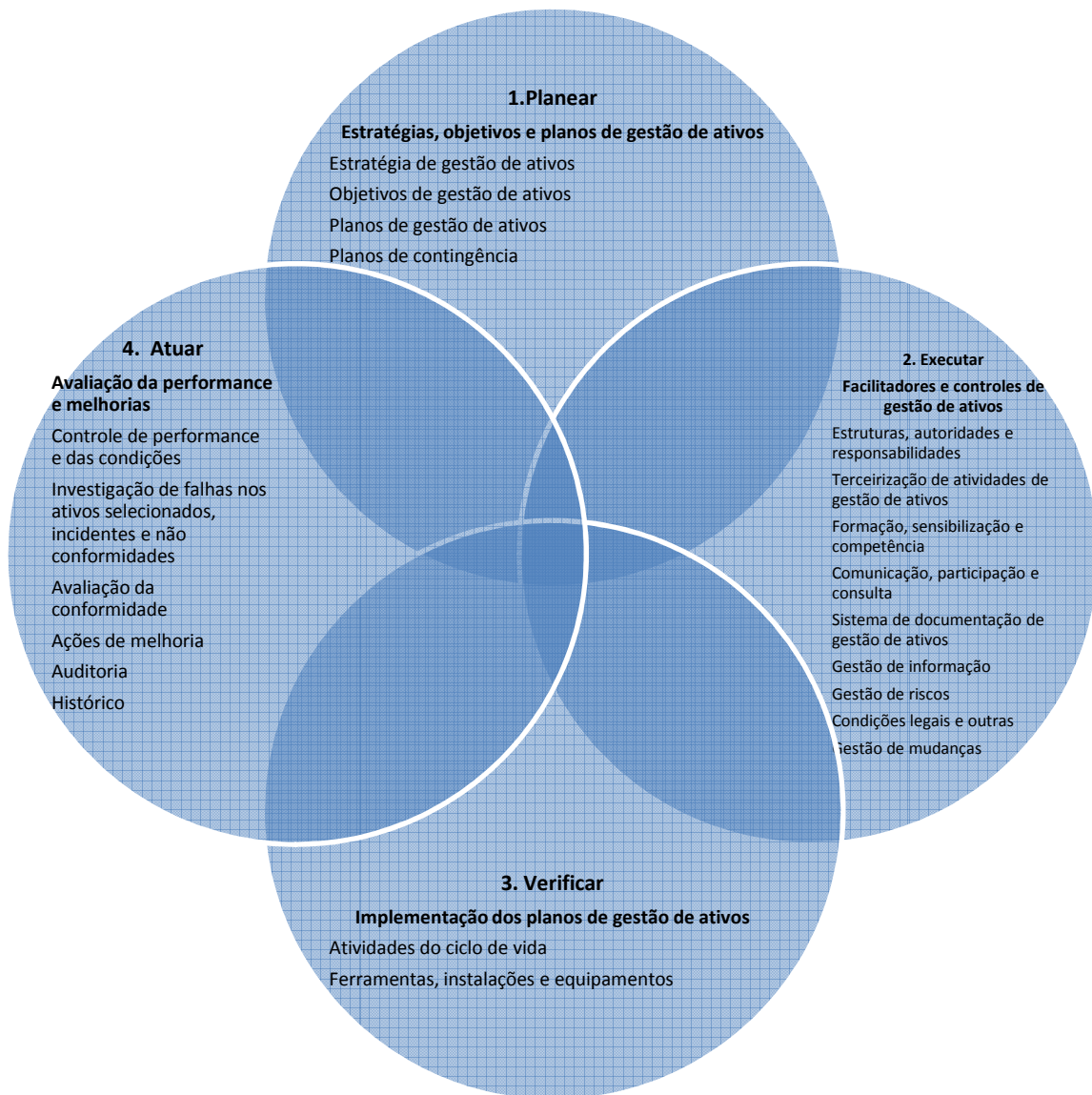


Figura 3.2 – Ciclo PDCA [17]

A visão holística e sistêmica do sistema é um dos pontos fulcrais da PAS 55, pois a análise do sistema é sempre realizada num âmbito geral dos processos da organização. As práticas indicadas na norma defendem sempre abordagens sustentáveis na gestão de ativos físicos.

Na gestão de ativos é possível destacar cinco principais componentes:



Figura 3.3 – Gestão de Ativos [9]

Cada atividade deve ser focada na gestão de ativos, sendo importante recolher toda a informação da base que possa ser útil, isto é, por exemplo, todas as roturas do sistema devem ser contabilizadas, bem como as informações a elas inerentes, devem ser anotadas: local da rotura, tipo de rotura, tipo de intervenção a realizar, tempo de reparação, etc. Esta informação pode ser importante para ser possível realizar uma previsão do comportamento dos ativos do sistema.

No caso dos grupos de bombagem não é tão importante a idade das bombas, mas sim a quantidade de trabalho que ela produz, isto é, uma bomba mais recente que tenha trabalhado mais que uma bomba mais antiga pode ter um grau de deterioração superior ao da bomba antiga.

Existem diversos fatores que condicionam o tempo de vida útil dos ativos, como é o caso de materiais defeituosos, falta de manutenção ou mesmo uma deficiente instalação dos mesmos. Por isso mesmo, se estabelece uma previsão desse tempo de vida útil, contudo os

equipamentos têm diferentes comportamentos e um histórico com bastante informação é útil para fazer uma previsão dos comportamentos.

É preciso ter atenção às falhas decorrentes da atividade e perceber qual a probabilidade de falha do ativo e a sua consequência, com o objetivo de determinar a criticidade desse ativo, isto é, conhecer a importância dessa estrutura no sistema.

Os ativos considerados críticos são aqueles de não devem falhar e com este tema relaciona-se, ainda, a consequência de um ativo não desempenhar a função pretendida. Este ponto de vista é essencial para estabelecer os casos prioritários de manutenção e as atividades de renovação do sistema. Para avaliar esta questão é importante ter informações sobre: idade dos ativos, avaliação do seu estado, o histórico de falhas, experiências semelhantes com esse tipo de ativo.

Para avaliar a criticidade de um ativo é necessário fazer uma análise da probabilidade de falha e a consequência dessa falha. Os ativos que se denominam como críticos são aqueles que apresentam uma maior probabilidade de falha e, que cuja consequência de falha será elevada. Os ativos com baixa probabilidade de falha e baixa consequência serão os ativos menos críticos. Pelo contrário ainda podem aparecer ativos com elevada probabilidade de falha e baixa consequência, outros com elevada consequência de falha e baixa probabilidade e, ainda, aqueles que apresentam a consequência e a probabilidade da falha média.

Deve ser tida em conta a possibilidade do ativo ser substituído, uma vez que diminuirá a sua probabilidade de falha e, conseqüentemente, diminuirá a sua criticidade.

De facto, para lidar com os ativos reais devem ser seguidas quatro etapas fundamentais, ao longo do tempo:

- Operar e manter os ativos existentes;
- Reparar os ativos;

- Reabilitar os ativos;
- Substituir os ativos.

A questão da manutenção não é tão linear como se possa pensar, uma vez que a substituição dos ativos pode não ser a hipótese mais cara de todas as anteriores, na medida em que a manutenção pode começar a ser muito frequente e cara e pode ser economicamente mais vantajoso substituir o ativo. Deve recorrer-se às operações de manutenção, reparação e reabilitação dos ativos para os conseguir manter a longo prazo, até deixarem de ser economicamente vantajosas estas ações.

A primeira abordagem na gestão de ativos é saber qual o seu estado, quando não estão disponíveis estas informações pode tentar-se estimar o comportamento das infraestruturas, uma vez que com o passar do tempo e o registo das operações desse ativo vão ficar inventariadas e tornar-se-ão em informações mais precisas.

No sentido de cumprimento de boas práticas devia ser elaborado um inventário dos ativos e um mapa do sistema, de forma a ir avaliando o estado dos ativos para calendarizar as atividades de substituição e, conseqüentes, custos.

A temática do custo do ciclo de vida dos ativos é um pouco complexa, na medida em que se torna difícil obter todos os dados necessários para estimar os custos do ciclo de vida de um ativo. Os componentes do ciclo de vida de um sistema passam por planear os ativos, criá-los e fazer a gestão financeira dos mesmos, operar os ativos e fazer a sua correspondente manutenção.

A manutenção pode ter diversos entendimentos, contudo no caso da gestão de ativos o objetivo principal deste conceito é reduzir o número de falhas das instalações físicas, isto é, das instalações e dos equipamentos. Assegurando um adequado funcionamento dos sistemas é possível assegurar a regularidade da produção, bem como garantir a qualidade da água fornecida aos clientes, com o mínimo de custo associado a este processo.

Ao longo do tempo, a manutenção foi ganhando um papel mais significativo no ciclo de vida dos ativos, uma vez que atravessou três fases de crescimento. A mudança de comportamento no que toca à manutenção dos ativos deve-se, sobretudo, ao aumento das necessidades de manutenção por parte dos equipamentos, bem como um melhor entendimento do funcionamento e respetivas falhas desses equipamentos e, conseqüentemente, com a progressiva melhoria das técnicas de gestão da manutenção [20]. Com uma adequada gestão da manutenção é possível limitar investimentos que não sejam necessários, para além de que é possível rentabilizar os ativos ao máximo. No que diz respeito ao serviço garante-se uma maior eficiência do mesmo e a sua qualidade e, conseqüentemente, a satisfação dos clientes. Uma das maiores vantagens de uma eficiente gestão da manutenção é a redução dos custos com a energia, através das inovações que se introduzem nos equipamentos, melhorando significativamente o seu desempenho. Para além desse facto, reduz-se, também, a quantidade de materiais adquiridos que são necessários para ficar em armazém.

Os objetivos principais da manutenção são os seguintes [20]:

- Conservar o máximo de tempo possível os ativos reduzindo os tempos de paragem dos sistemas;
- Inspeccionar os ativos periodicamente com o objetivo de encontrar falhas no sistema;
- Registrar as falhas para elaborar um histórico com a finalidade de poder estabelecer um plano de manutenções;
- Diminuir o número de reparações de emergência e avarias;
- Aumentar o tempo de vida dos ativos;
- Aumentar a eficiência dos ativos.

Geralmente, os tipos de manutenção são classificados da seguinte forma:

- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Proativa;
- Manutenção Produtiva;
- Manutenção Detetiva.

Existem diversos tipos de manutenção e podem ser classificadas consoante o autor em questão. No caso da Água do Douro e Paiva faz sentido que a classificação dos tipos de manutenção seja feita da seguinte forma, uma vez que é assim que é contabilizada nas ferramentas informáticas ao dispor da empresa:

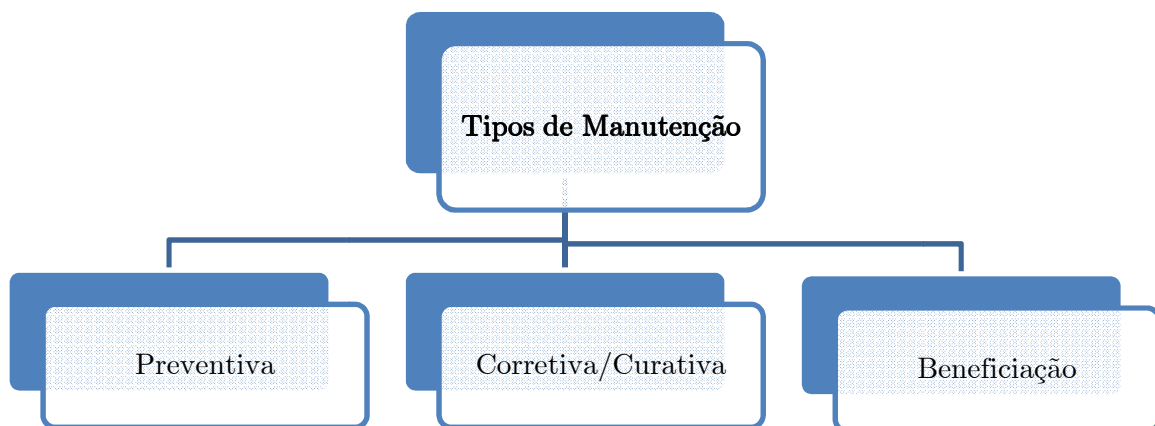


Figura 3.4 – Tipos de Manutenção da AdDP

Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva faz uso da correlação entre a idade do ativo com a sua taxa de falha para estabelecer um plano de manutenção, isto é, quanto maior for a idade do ativo, maior será a probabilidade desse ativo falhar e, por isso, as intervenções de manutenção nesse ativo serão mais frequentes. Com base num histórico de falhas de um ativo é possível estabelecer estatisticamente a probabilidade de falha e, assim, perceber quando é que os componentes do ativo devem ser substituídos, ou perceber quando o substituir antes que ocorra uma falha catastrófica.

Podem ser identificadas as atividades que fazem parte das manutenções preventivas, como é o caso de algumas reparações, ajustes, lubrificações, etc.

Manutenção Corretiva/Curativa

A manutenção corretiva serve para corrigir falhas, quer sejam decorrentes do desgaste natural dos ativos, quer pela sua deterioração natural. Podem fazer parte deste tipo de manutenção ações como reparações, alinhamentos, algumas substituições de peças.

Manutenção de Beneficiação

As beneficiações estão a ser integradas gradualmente no sistema da AdDP, uma vez que envolvem alguns custos e têm de conseguir responder a todos os ativos críticos.

As ações de beneficiação que se têm vindo a realizar passam pela melhoria dos grupos de bombagem através de um processo de vitrificação. Estas beneficiações são possíveis, pois cada estação elevatória tem grupos de bombagem de reserva, pelo que é possível alternar o funcionamento das bombas para poderem ser melhoradas gradualmente.

Como exemplo, cita-se o processo de vitrificação consiste na aplicação de um revestimento cerâmico nas bombas o que conduz a uma diminuição do atrito e, naturalmente, tem reflexos no aumento do rendimento da bomba. Como tal, espera-se uma diminuição no consumo de energia da bomba, uma vez que com este processo existem bombas que melhoram o seu desempenho entre 8 a 10%.

A Belzona é uma empresa que trabalha em reparações e revestimentos industriais, com o objetivo de melhorar os equipamentos que sofrem erosão, corrosão ao longo do tempo, aumentando, assim, o seu período de vida útil. Esta empresa tem prestado alguns serviços de manutenção na AdDP.

Com as soluções apresentadas pela Belzona a AdDP tem resolvido alguns problemas nos seus equipamentos. É possível aumentar o desempenho insuficiente causado por erosão/corrosão em bombas, ataque químico em sistemas de movimentação de fluidos, entrada/vazamento de água de equipamentos e estruturas e danos mecânicos em equipamentos nessas instalações.

Segundo a empresa com as suas soluções para além de melhorarem o desempenho das bombas, aumentam, ainda, o período de vida útil do ativo [21]:

- Qualquer tipo de bomba pode beneficiar destas intervenções;
- Em termos de desempenho os ganhos no desempenho dos sistemas pode variar entre 7% em bombas novas até 40% em bombas antigas;
- Diminuem os custos operacionais;
- Aumento do tempo de vida útil dos equipamentos;
- Proteção do bronze aos efeitos da erosão ou corrosão;
- Alguns componentes mais desgastados podem ser reabilitados com um custo menos, comparativamente com a aquisição de uma mesma peça nova.

No Anexo I, será abordado em profundidade este tema e constarão algumas imagens da intervenção realizada numa das bombas da Estação Elevatória de São João de Ver.

3.2. Gestão de Risco

A gestão de risco pode aplicar-se no contexto da gestão de ativos, na medida em que ajuda a perceber, mediante a situação encontrada, se a opção correta continua a ser apostar na reabilitação desses ativos ou se é mais rentável a substituição dos mesmos. O objetivo principal da gestão de risco [22] é quantificar a gravidade que um risco pode ter, isto é, de uma forma mais científica pretende-se concluir se o nível de risco é aceitável. No caso de não ser aceitável é necessário desenvolver as medidas para controlar e reduzir o risco.

A avaliação de risco deve compreender duas fases importantes:

- Análise de Risco
- Valoração do Risco

Na primeira fase o objetivo é perceber a magnitude do risco, enquanto na valorização do risco pretende-se estimar o significado que o risco assume.

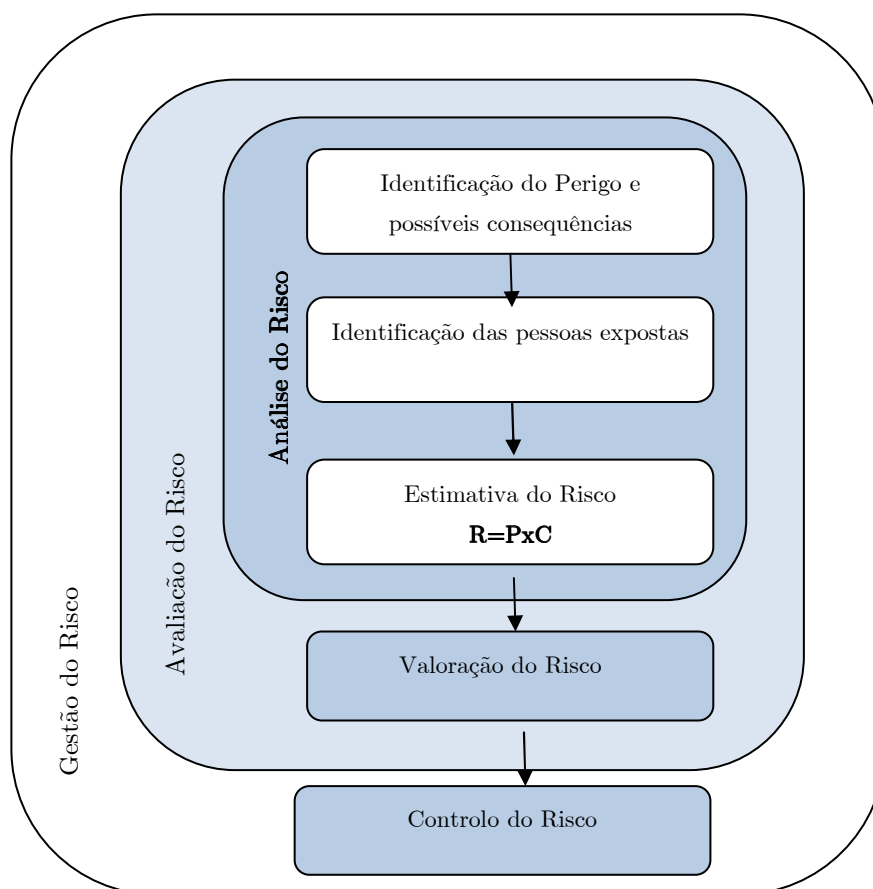


Figura 3.5 – Controlo do Risco [22]

A gestão de risco não tem como objetivo a eliminação dos riscos, mas sim fazer a gestão adequada dos mesmos. Neste contexto, o risco é calculado pelo produto entre a probabilidade de ocorrência (P) e a consequência dessa ocorrência (C). Após valorar o risco é possível fazer um controlo do risco e, consequentemente, realizar uma adequada gestão do mesmo. Para isso é necessário adequar o processo de gestão de risco ao caso de estudo mediante a seguinte metodologia:

- Comunicar e consultar
- Estabelecer o contexto
- Identificar os riscos
- Analisar os riscos

- Avaliar os riscos
- Tratar riscos
- Acompanhar e rever.

A gestão de risco inicia-se com a comunicação e consulta interna e externa das partes interessadas, de uma forma conveniente, em cada etapa do processo de gestão de risco. Depois da consulta é estabelecido o contexto de gestão, novamente externa e interna, e o contexto de gestão do risco em que o processo restante se desenrolará.

Questões como onde, quando, como e porquê dos acontecimentos podem acontecer e devem ser identificadas de forma a melhorar o cumprimento dos objetivos. Após estas etapas já descritas é necessário analisar os riscos, e esta tarefa depende do controlo desenvolvido pela organização. É, depois, possível determinar a probabilidade e as consequências do risco, isto é, o nível de risco. A próxima fase é importante na medida em que permite tomar decisões sobre os tipos de medidas a adotar para tratar os riscos, que serão depois planeadas e colocadas em prática.

É de realçar a necessidade de monitorizar todas as etapas do processo de gestão de risco, numa perspetiva de alcançar a melhoria contínua do sistema, sem alterar os objetivos inicialmente estabelecidos. A gestão de riscos pode ser aplicada em diferentes níveis da organização: ao nível estratégico, tático e operacional.

De acordo com a publicação seguinte [23] a análise de decisão pode ser entendida como uma ajuda para quem toma as decisões, possibilitando encontrar alternativas e ferramentas necessárias para os resultados pretendidos. “Um problema de decisão pode ser comparado a um enigma”, como se pode verificar na figura seguinte:

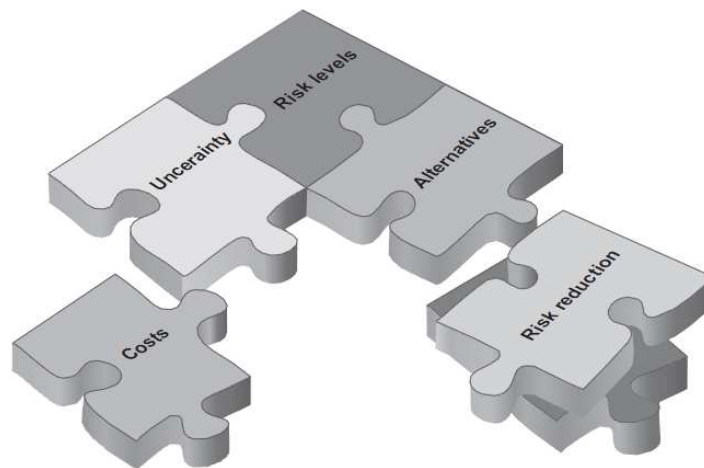


Figura 3.6 – Problema de Decisão [23]

O objetivo da análise de decisão é colocar ordenadamente as peças do puzzle. De acordo com a publicação referida anteriormente é possível listar cinco aspetos mais importantes relativos aos problemas de decisão:

- Necessidade de realização de alguns objetivos;
- Perante várias alternativas deve ser seleccionada a que melhor se adapte à situação;
- As consequências associadas às alternativas são diferentes;
- Incerteza associada às consequências de cada alternativa;
- As possíveis consequências não são valorizadas da mesma forma.

Perante estes problemas referidos pode-se dividir a análise de decisão em diferentes etapas:

- Estruturar o problema de decisão;
- Avaliar os impactes de cada alternativa;
- Determinar a preferência dos tomadores de decisão;
- Avaliar e comparar as alternativas.

Para conseguir prever o comportamento da infraestrutura aparece um tema novo que é a gestão de risco, que para além dessa previsão, ainda, permite avaliar as questões dos custos de manutenção e/ou substituição.

Em suma, o risco, a noção de risco e os conceitos a ele associados são uma boa metodologia na tomada de decisão para a gestão de ativos, uma vez que são temas que estão sempre associados. A um ativo está sempre associado o risco de rotura do mesmo, implicando outros riscos como é exemplo o risco de rotura do sistema e, conseqüentemente, uma diminuição da eficiência do mesmo. Com recurso à simulação estocástica e à noção de gestão de risco é mais fácil obter uma melhor gestão dos ativos da empresa, diminuindo as falhas do sistema e, naturalmente, diminuir os custos associados à temática da gestão de ativos. Para além disso, garante-se, assim, a qualidade quer dos ativos da empresa, quer dos serviços prestados aos seus clientes.

Esta metodologia serve de arranque para o tema desta tese que vai ter como base um artigo publicado pela IWA, do ano de 2005, que tem como título: “*Risky Business: two case studies in asset risk management*” [1].

3.3. Análise de Risco: caso de estudo retirado da bibliografia

Nesta parte do capítulo serão apresentadas as questões focadas no artigo [1], bem como a implementação em folha de cálculo dessa abordagem, com o processo de automatização do cálculo de uma metodologia de Análise de Risco Quantitativa, orientada para o apoio à Gestão de Ativos. Os cálculos serão explicados e desenvolvidos, de forma a ser perceptível como foram encontrados os valores que constam das tabelas e quadros apresentados. Alguns cálculos encontram-se no Anexo II, para não alongar demasiado o presente capítulo.

Para além disso, serão apresentadas algumas propostas de evolução da abordagem adotada no artigo, em particular através da simulação estocástica, com recurso a um programa específico para esse fim - o @Risk da Palisade.

3.3.1. Análise do Artigo

O artigo [1] começa por explicar o que é o risco e de que forma este conceito está ligado ao conceito de gestão de ativos, desenvolvendo ainda a noção de como devem ser estimados e incluídos os custos de risco. O objetivo principal do artigo é mostrar dois casos diferentes em que, dependendo do momento em que se avalia a condição de um ativo, pode ser ou não compensatório recorrer à manutenção da infraestrutura em detrimento da substituição da mesma, e, em caso desta não ser urgente, estimar em que data, possivelmente, será mais vantajoso programar a respetiva substituição, numa ótica de planificação ou orçamentação dos custos futuros. Por isso mesmo, o autor apresenta dois casos de estudo diferentes, sendo um deles a principal base de estudo desta dissertação.

É importante salientar algumas questões, presentes no artigo, associadas à gestão de ativos e ao risco, como é o caso da importância da existência de um histórico dos sistemas, de

forma a ir implementando este tema nos processos correntes de uma organização, ou ainda, por exemplo, definir os padrões de desagregação da informação, quando já existe, nessa organização, uma cultura de preservação dos dados históricos dos bens.

Uma primeira questão importante respeita à constatação de que o risco guia as decisões sobre os ativos e os resultados dessas decisões geram a grande maioria dos gastos de operação e de investimento dos sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais.

Apesar disso, nem sempre o risco é contabilizado nas decisões da gestão de ativos, pelo menos de forma minimamente quantificada. Segundo o artigo [1], podem existir duas razões para tal acontecer:

- Falta à indústria um enquadramento prático para lidar com o risco;
- Sem esse enquadramento prático não sabem que tipo de informações são necessárias sobre os ativos para dar suporte a esse quadro.

Através da descrição de uma abordagem efetiva à análise de decisão sobre ativos baseada no risco, o artigo sugere que tipos de dados dos ativos devem as organizações dispor para praticarem a mesma abordagem nos seus ativos.

No contexto empresarial e citando a norma [24] entende-se o risco como uma “combinação da probabilidade de ocorrência de um acontecimento perigoso e da gravidade provocada por esse acontecimento”. Segundo [25], o risco pode responder à necessidade de lidar com situações de perigo futuras.

O que se depreende das duas definições anteriores é que o risco está sempre associado à incerteza e os efeitos provocados por si podem ser negativos ou positivos. Como tal, o risco não deve ser sempre encarado como algo prejudicial a uma organização, mas sim como uma oportunidade de melhoria. Por isso mesmo, a gestão de ativos deve ser encarada

como um investimento que dará frutos a longo prazo, sem ter de ser, necessariamente, apenas um custo extraordinário para a empresa.

Antes de apresentar o caso de estudo do artigo é importante começar por fazer referência ao papel da organização no contexto da gestão de ativos, isto é, quais os limites de interferência que a avaliação de risco deve ter em relação à informação de gestão de ativos na organização. Aparecem outras questões associadas a esta, como é o caso dos custos associados a uma metodologia mais específica.

Concetualizando, a avaliação de risco consiste no processo de avaliação de perigos, sendo uma ferramenta útil no processo de tomada de decisões. Por essa razão, deve ser uma parte integrante dos sistemas de gestão de ativos, na medida em que apenas as informações mais importantes sobre este conceito devem ser levadas em consideração, em qualquer processo de tomada de decisões.

Se analisarmos o risco adequadamente é possível dizer que este está presente tanto ao nível da segurança externa como interna, nomeadamente de uma entidade gestora de água e/ou saneamento. Efetivamente, no que diz respeito à segurança externa pode ser importante a sua avaliação com o objetivo de proteger a saúde pública (utilizadores e público em geral), bem como assegurar a proteção do meio ambiente, principalmente, o meio recetor: a qualidade da água e os ecossistemas.

Para a organização, o risco está ligado à segurança interna da mesma, na medida em que pode ser um suporte de ajuda a controlar as falhas de um sistema de abastecimento, prevenindo a ocorrência das mesmas com base no histórico do sistema. Por esta questão, também, se torna importante decidir com que grau deve estar detalhada a informação dentro da empresa. Esta questão vai de encontro à pertinência de definir como é feita a desagregação das informações sobre os equipamentos nos sistemas de informação disponíveis.

A avaliação de risco deve compreender duas fases importantes: a análise de risco, em que se pretende perceber a magnitude do risco e a valorização do risco, em que o objetivo passa por entender o significado do risco.

Para determinar a magnitude e impacto das falhas pode considerar-se um novo conceito em causa, o de gestão de risco, que se prende, sobretudo, com a utilização de métodos de avaliação de risco que, por sua vez, não fazem mais do que identificar a criticidade do risco. Este conceito representa apenas a necessidade de identificar quais os elementos mais importantes e críticos no sistema, por forma a prevenir que as suas falhas tenham um elevado impacto no sistema.

No âmbito da gestão de ativos, o objetivo principal da gestão de risco não será a eliminação do risco, mas sim fazer uma adequada gestão do mesmo, numa perspetiva de otimizar custos, pois pretender eliminar o risco teria necessariamente custos não sustentáveis. Por essa razão, a gestão de risco acaba por ser o compromisso entre o controlo e a avaliação do risco. Neste âmbito devem ser aplicadas ferramentas e procedimentos para analisar, valorar e controlar o risco. As consequências da ocorrência de falhas podem ser calculadas através de processos de modelação matemática, como é o caso da simulação estocástica.

A avaliação de risco, em termos de custos/encargos, deve ser entendida como um investimento, traduzido num modelo de avaliação de risco que poderia evitar diversas vezes falhas no sistema, ou melhor poderia até estimar a ocorrência dessas falhas, desencadeando operações de manutenção/substituição atempadas. Mas que, por essa abordagem, também, poderia evitar que se realizassem operações de substituição demasiado cedo, em fases da vida do ativo em que os riscos, ainda reduzidos, permitem estimar que a manutenção adequada é suficiente.

Noutra perspetiva, a longo prazo, poder-se-ia estabelecer um plano de manutenções tendo em conta o histórico existente sobre os componentes do sistema, isto é, analisando as roturas passadas, o ano de construção da infraestrutura e a previsão de vida útil da infraestrutura e dos custos associados. Nestes custos, poderia ser uma mais valia pesar o custo de manutenção comparativamente com os custos de substituição, dependendo da estrutura em causa e da sua criticidade. É verdade que estas intervenções acarretariam outro tipo de custos e existem sempre roturas ou falhas inesperadas a qualquer momento. Contudo, tendo em conta a idade de algumas infraestruturas, quando os sistemas estão quase totalmente construídos (como acontece em muitas empresas do Grupo Águas de Portugal), seria uma boa medida para alargar o tempo de vida das infraestruturas já construídas e preservar as mais recentes.

Como refere o artigo [1], na avaliação de um risco este tem de ser entendido como incluindo duas características distintas – a probabilidade de ocorrência e a consequência de ocorrência.

Esta noção é corrente em muitas áreas, nomeadamente da engenharia, possivelmente em resultado da disseminação, desde meados do século passado, da metodologia “Failure Mode Effects Analysis – FMEA” [26], que serviu de base a muitas abordagens na área da análise de risco – desde a elaboração de Planos de Segurança e Saúde à Gestão de Empreendimentos – e onde o risco é por vezes estimado numericamente. Nesse contexto, após se traduzirem as características referidas – probabilidade de ocorrência e consequência – numa escala numérica, determina-se o risco como resultado do produto de duas grandezas, ou seja:

$$\text{Risco (R)} = \text{Probabilidade (P)} \times \text{Consequência (C)} \text{ [26].}$$

Esta formulação teve entretanto outros desenvolvimentos, continuando contudo a corresponder a uma abordagem em que a obtenção de um resultado quantificado decorre,

de alguma forma, da tradução em escala numérica das grandezas adotadas, atuando-se para diminuir o risco através de medidas que reduzam a probabilidade ou as consequências ou as duas. Por vezes, é utilizada a noção de impacto, no lugar de consequência. Habitualmente, é desenvolvida uma matriz de risco, onde se definem áreas de maior risco. Caso o risco estimado para um dado evento ou atividade caia numa dessas áreas, tomam-se medidas para reduzir o risco a um nível considerado aceitável.

O FMEA – Failure Mode and Effect Analysis é uma ferramenta com alguma eficiência na análise de falhas e, por isso mesmo, tem sofrido poucas alterações ao longo do tempo. Esta ferramenta mostra a sua utilidade uma vez que realizada esta análise e tomadas as ações necessárias. Diminui a probabilidade de falha de um produto ou processo, conseqüentemente aumenta a sua fiabilidade e a confiança do consumidor.

O FMEA é um método indutivo e estuda processos complexos, isto é, procura aquilo que pode falhar, partindo da análise de todos os modos de falha, e identifica os efeitos provenientes das falhas. Para além do modo de falha o FMEA analisa o impacto da falha no sistema [27].

Quando o objetivo é passar para uma análise semi-quantitativa o FMEA passa a ser designado por FMECA - Failure Mode and Effect and Criticality Analysis, através da utilização de escalas de probabilidade de ocorrência de falhas e da gravidade dos seus efeitos [28].

Quadro 3.3 - Fases de desenvolvimento da ferramenta FMEA [28]

| Fases de desenvolvimento da ferramenta FMEA | |
|---|---|
| 1 | Definir o item a analisar |
| 2 | Definir as funções do item a analisar |
| 3 | Identificar os possíveis modos de falha para o item |
| 4 | Determinar as causas dos possíveis modos de falha |
| 5 | Identificação dos efeitos de cada potencial modo de falha, sem controlo |
| 6 | Identificar e listagem dos controlos atuais para cada potencial modo de falha |
| 7 | Determinar as ações corretivas/preventivas mais apropriadas a aplicar |

A análise FMECA surge como um complemento à ferramenta FMEA, que introduz uma nova questão que é a deteção do modo de falha. As próximas etapas são um complemento à tabela anterior.

Quadro 3.4 - Fases de desenvolvimento da ferramenta FMECA [28]

| Fases de desenvolvimento da ferramenta FMECA | |
|--|--|
| 8 | Estimar a consequência do modo de falha em estudo (O) |
| 9 | Estimar a probabilidade de ocorrência do modo de falha (P) |
| 10 | Estimar a probabilidade de deteção do modo de falha (D) |
| 11 | Análise de criticidade |

Os modos de falha são quantificados a partir de 3 índices: gravidade, ocorrência e deteção para cada causa de falha, em concordância com os critérios já estabelecidos. Os índices devem usar uma escala de 1 a 10 e ao multiplicar os 3 índices obtém-se o Número Prioritário de Risco, RPN – Risk Priority Number [29]. Este é um dos métodos de determinação da criticidade cujo objetivo passa por analisar os valores mais elevados do RPN, inculindo, assim, uma maior atenção aos valores deste número.

Quadro 3.5 – Número Prioritário de Risco

| |
|--|
| $\text{RPN} = \text{GRAVIDADE} \times \text{OCORRÊNCIA} \times \text{DETEÇÃO}$ |
|--|

Quadro 3.6 – Exemplo de Quadro para a Análise RPN [27]

| DESCRIÇÃO | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------------------|----------|------------|-------------|--------------|------------|-----------------|-----------|
| DEPARTAMENTO | | DOCUMENTOS ASSOCIADOS | | | | | | Pg x/y | |
| (Projeto/Obra/Processo) | | (Desenhos/Especificações/...) | | | | | | Data __/__/__ | |
| Aprovado por | | | | | | | | | |
| 1 Funções/ objetivos | 2 Modos de Falha | 3 Efeitos | 4 Causas | 5 Controlo | 6 Gravidade | 7 Ocorrência | 8 Detecção | 9 Recomendações | 10 Estado |
| | | | | | | | | | |

Quadro 3.7 – Escala de Consequência [27]

| Escala de Consequência | |
|------------------------|---|
| 1 | O efeito não é detetável pelo cliente |
| 2 | Efeito muito ligeiro, detetável pelo cliente; no entanto, não perturba ou cria problemas ao cliente |
| 3 | Efeito ligeiro que cria alguma perturbação no cliente. No entanto, não é suficiente para levar este a pedir assistência |
| 4 | Efeito ligeiro, mas com pedido de assistência por parte do cliente |
| 5 | Efeito limitado; o cliente exige assistência imediata |
| 6 | Efeito moderado; cria insatisfação no cliente |
| 7 | Efeitos moderados múltiplos; séria reclamação do cliente |
| 8 | Efeitos significativos, com interrupções no funcionamento do sistema |
| 9 | Efeito crítico, sistema completamente bloqueado, riscos de segurança |
| 10 | Efeito crítico com risco de vida |

Quadro 3.5 – Escala de Probabilidade de Ocorrência [27]

| Escala de Probabilidade de Ocorrência | | |
|---------------------------------------|-----------------------|---|
| 10 | Impossível de detetar | Sem sistema de deteção implementado, sem noção de garantia da qualidade, apoiado apenas na intuição |
| 9 | Remota | Totalmente reativa aos problemas. Sem sistema formal de inspeção |
| 8 | Muito pouco provável | Inspeção pelo operador. Sem noção ou sistema formal de garantia da qualidade |
| 7 | Pouco provável | Implementação parcial de metodologias da qualidade. Planos de inspeção por amostragem |
| 6 | Baixa | Fases iniciais de Sistemas de Gestão da Qualidade Total (TQM) implementadas |
| 5 | Média | Sistema parcial de inspeção automática |
| 4 | Moderada | Sistema de garantia da qualidade implementado e verificado. Responsabilização do operador. |

| | | |
|---|-------|--|
| 3 | Boa | Rastreabilidade do sistema, revisões de projeto formais, controlo de materiais |
| 2 | Alta | Sistema de qualidade estabilizando e em utilização corrente Atualização constante e formação obrigatória dos operadores |
| 1 | Certa | Sistemas de inspeção totalmente automatizados |

Num período mais recente surgiu um método mais simplificado para calcular o Número Prioritário de Risco (RPN), cuja diferença do anterior passa pela consideração apenas dos índices de Consequência e Ocorrência. A sua representação é feita graficamente, como é visível na figura seguinte. [29]

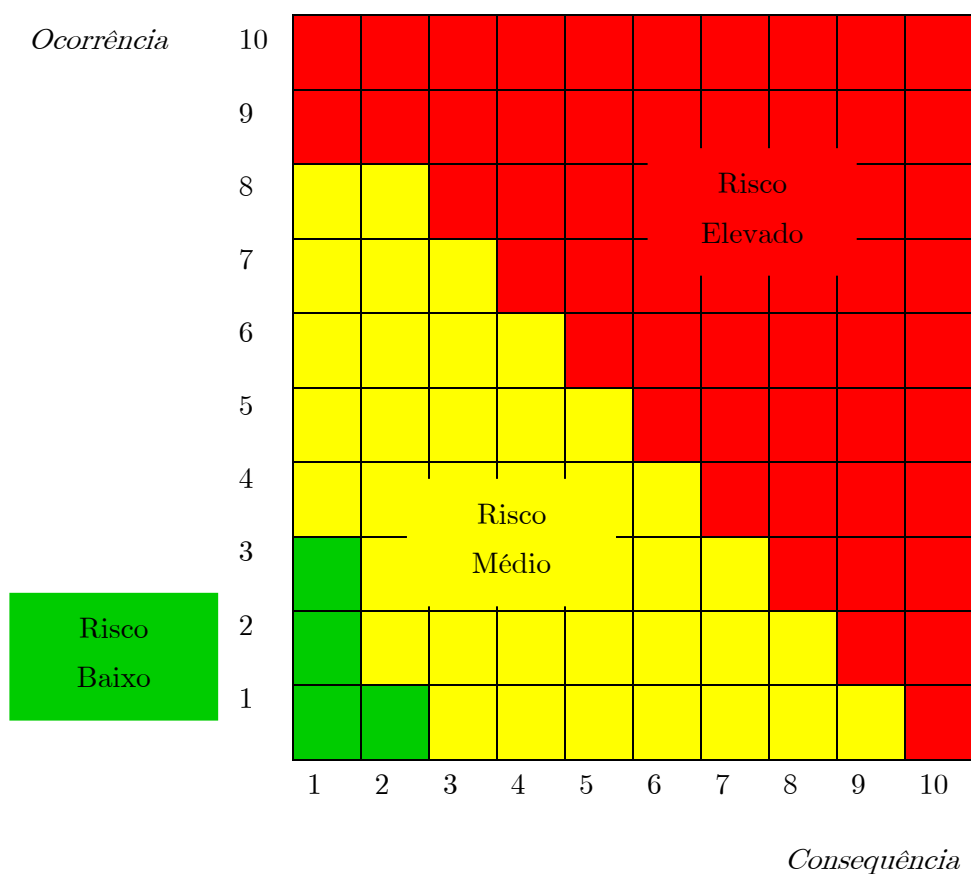


Figura 3.7 – Risk Priority Number (Número Prioritário de Risco) [27]

Segundo [30] este é um método que pode ser aplicado desde a conceção à exploração do empreendimento e pode ser aplicado, também, aos diferentes subsistemas do mesmo. Este é um método que recorre à sistematização dos subsistemas e, consequentemente, dos

modos de falha e sequência dos efeitos, provavelmente é uma das grandes vantagens deste método.

Esta capacidade metódica deste método permite o gestor ter uma visão sobre as medidas de prevenção/mitigação dos efeitos a controlar.

Pelo contrário, a complexidade do método mostra-se como uma das suas grandes desvantagens, na medida em que se mostra um método exaustivo e moroso, implicando assim uns elevados custos de aplicação. Em alguns casos particulares pode necessitar do complemento de outros métodos, uma vez que não está em condições de analisar falhas dependentes ou resultantes de acontecimentos repetidos.

O autor do artigo [1] considera que, tipicamente, esta mesma lógica é seguida quando uma entidade gestora de abastecimento de água, num contexto de gestão de ativos, analisa as suas infraestruturas e respetivos riscos, nomeadamente:

- Quando a entidade dispõe de um conjunto limitado de ativos cujas consequências de falha são muito elevadas, em termos de gestão de ativos são considerados “ativos críticos”, que se pretende que não falhem. A entidade sente-se motivada para investir muito dinheiro, na monitorização da condição desses ativos, elaboração de planos de contingência e até na substituição proactiva desses ativos. Ou seja, neste caso a entidade age para reduzir a probabilidade de falha do ativo, com vista a reduzir o risco;
- Quando a entidade tem muitos ativos que são menos críticos, caso em que possivelmente monitorizará alguns, fará noutros apenas uma manutenção normal e ignorará mesmo muitos até que ocorra a sua falha;
- Quando a entidade não tem ativos com probabilidade e consequência de falha ambos elevados, o que acontece possivelmente porque gastou muito dinheiro dos seus clientes para garantir que não ocorrem falhas nenhuma – adicionou-se

redundância para reduzir o impacto (ou consequência) das falhas, a atuação técnica sobre os ativos para reduzir a probabilidade de falha foi muito além do adequado ou foram tomadas outras medidas destinadas a evitar situações de cataclismo.

Têm-se projetado e operado os sistemas nestes termos, mas essa abordagem tradicional deixa muito a desejar. Uma abordagem mais rigorosa para lidar com o risco pode e consegue efetivamente assegurar ganhos em relação à tradicional, conforme a seguir é exposto em [1], através da noção de risco em termos monetários.

Nesse contexto, o custo do risco é um custo associado ao facto de se ser proprietário do ativo.

Como mencionado anteriormente o risco resulta do produto entre a probabilidade de ocorrência da falha e a consequência dessa falha. A probabilidade de ocorrência da falha pode ser medida em eventos estimados por ano e a consequência da falha representada pelo custo de cada evento, expresso em moeda (euros). Assim, o custo do risco de propriedade é expresso em euros por ano (€/ano).

No caso da gestão de ativos, as decisões são tomadas na base de todo o ciclo de vida dos ativos, considerando os efeitos dessas decisões tomadas ao longo de vários anos estimados.

De acordo com diversos fatores como a vida útil do ativos, a sua função, entre outras características, o intervalo de tempo usado nessa análise pode variar de 10 a 100 anos, ou mais. Os custos, incluindo o do risco de propriedade, e os proveitos são projetados ao longo do intervalo de tempo de análise. Por isso mesmo, os custos associados a cada ativo devem ser atualizados para a data de início do intervalo de tempo em análise, isto é, deve recorrer-se ao método do valor atual (“Present Value Analysis” ou “Discounted Cash Flow Analysis”) de forma a ter valores comparáveis entre si e a poder agregá-los num único valor.

O que se concluiu é que os ativos devem ser substituídos quando o valor atual dos custos de manutenção, operação e de risco de rotura for superior ao valor atual dos mesmos custos do ativo de substituição.

A abordagem proposta em [1] estabelece que, para se tomar a decisão de substituir um ativo existente por um novo equivalente, a decisão passa por analisar se o valor atual dos custos que a empresa tem anualmente com o existente (custos de operação e manutenção, mais os custos do risco de propriedade) é superior ao custo atual dos custos operacionais, de manutenção e de risco de propriedade do ativo de substituição. O princípio é que enquanto os primeiros custos não superam os segundos, a decisão deverá ser tendencialmente de não substituir aquele ativo, usando este critério para investir apenas nos ativos que justificadamente já convêm serem substituídos.

3.3.2. Caso de Estudo: Substituição de uma Bomba Crítica

O caso de estudo que de seguida se apresenta é um bom exemplo de como deve ser analisada a vida útil de um ativo importante, como pode ser o caso de uma bomba. Embora apresente alguma complexidade, após o estudo aprofundado do artigo e das questões lá colocadas mostra-se um problema de grande utilidade.

É de salientar que para alguns ativos o risco de falha varia ao longo do tempo. Se o custo de falha do ativo é distribuído de forma padronizada, a análise clássica do valor atual dará origem ao resultado certo. Na exposição abaixo, trocou-se a moeda, de dólares para euros.

Ao analisar, em 2005, o comportamento da bomba o diretor de manutenção da uma empresa ficou preocupado com o estado da mesma. Segundo ele trata-se de uma infraestrutura cara, cujo estado de degradação é visível. Segundo o que apurou, os custos de manutenção e operação desta bomba estão a aumentar 5.000€, com um crescimento de 5% ao ano, em termos reais. É um custo bastante elevado, mas a maior preocupação do

diretor é realmente a possibilidade de poder existir uma falha mais grave que implique a necessidade de substituição deste equipamento.

Uma falha desta natureza iria condicionar todo o sistema. Para além do custo de substituição da bomba teriam de ser contabilizados os custos de paragem do abastecimento, bem como os prejuízos causados aos consumidores que iriam ficar sem acesso à água, até ser resolvido o problema.

O custo estimado para uma “falha catastrófica” ronda os 175.000€, custos que não existiriam se estivesse programada uma substituição do equipamento, no fim da sua vida útil. Segundo o autor este é o custo de uma substituição não planeada, que contempla, também, os custos de paragem do sistema de abastecimento devido à rotura da bomba.

Com a sua experiência é tentado a afirmar que a rotura da bomba pode acontecer no ano de 2012. Dito de outra forma e com noções probabilísticas diria tem 95% de confiança de que a falha deve ocorrer entre os anos de 2006 e 2018.

Avaliando uma situação de substituição da bomba existente, o custo de aquisição do equipamento novo rondaria os 220.000€, que ele admite que poderia ter um período de vida útil de 25 anos. Os custos anuais de manutenção diminuiriam para metade 2.500€ e o seu crescimento seria mais lento que os da bomba já existente, provavelmente cerca de 2% ao ano.

Além disso, deve considerar-se a aplicação de uma taxa de atualização de 3% para o cálculo do valor atual das infraestruturas.

O quadro seguinte resume as constatações anteriores, comparando as duas soluções manutenção/substituição.

Quadro 3.9 – Custos Associados a cada Bomba [1]

| | Bomba Existente | Bomba Nova |
|---|-----------------|------------|
| Custo de Aquisição | - | 220.000€ |
| Custo do Risco de Rotura | 175.000€ | 175.000€ |
| Custo da Operação e Manutenção | 5.000€ | 2.500€ |
| Crescimento dos Custos de Operação e Manutenção | 5% | 2% |
| Taxa de Atualização | 3% | 3% |

Este caso pode ser aplicado a diversas infraestruturas, tendo disponíveis informações importantes, como as discriminadas acima, que muitas vezes podem ser obtidas através da experiência de especialistas das empresas, que trabalham diariamente com os sistemas, conseguindo estimar o seu comportamento com razoável grau de confiança.

Outra informação importante que é referida no artigo é o tipo de análise feita com os dados disponíveis. O que é dito é que se considera a probabilidade de rotura distribuída através de uma curva de distribuição normal, centrada no ano de 2012. Outra característica importante e necessária para a distribuição normal é saber qual o desvio padrão da distribuição que, segundo o artigo, é de 3 anos.

O artigo [1] faz, ainda, referência ao facto de muitos analistas optarem pela utilização de outras distribuições. Contudo o autor utiliza a curva normal, uma vez que considera que a maioria das pessoas se encontra mais familiarizada com essa distribuição. Uma oportunidade de melhoria seria então a aplicação de distribuições probabilísticas mais apropriadas a estes problemas, como é o caso, segundo o autor [1], da distribuição Weibull, que será apresentada ainda neste capítulo.

Antes de proceder à apresentação do modelo da distribuição convém desenvolver o que é uma distribuição normal e quais os padrões necessários para a obter.

3.3.3. Distribuição Normal

A distribuição normal foi criada por Gauss e o modelo da distribuição é o seguinte:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times \sigma}} \times e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2 \times \sigma^2}}, \text{ com } -\infty < x < +\infty$$

Fórmula 3.1 - Fórmula da Distribuição Normal [31]

Neste modelo, μ representa a média da distribuição, valor onde se concentram maioritariamente os valores da distribuição, e σ representa o desvio padrão, que é a medida mais comum da dispersão estatística.

Essas medidas podem ser calculadas pelas seguintes fórmulas, respetivamente:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Fórmula 3.2 - Cálculo da Média da Distribuição Normal [32]

$$\sigma = \sqrt{s}, \text{ em que } s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2, \text{ quando } n \leq 20$$

$$\sigma = \sqrt{s}, \text{ em que } s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2, \text{ quando } > 20$$

Fórmula 3.3 - Cálculo do Desvio Padrão [32]

As características principais duma curva de distribuição normal são as seguintes:

- A curva é simétrica, por isso, o comportamento da metade direita é igual ao comportamento da metade esquerda;
- Cada lado tem pois a mesma área e, conseqüentemente, a área total é igual a 1,0;
- A área coberta por dois desvios padrões para cada lado da média corresponde a, aproximadamente, 95% da curva, como se vê na figura seguinte.

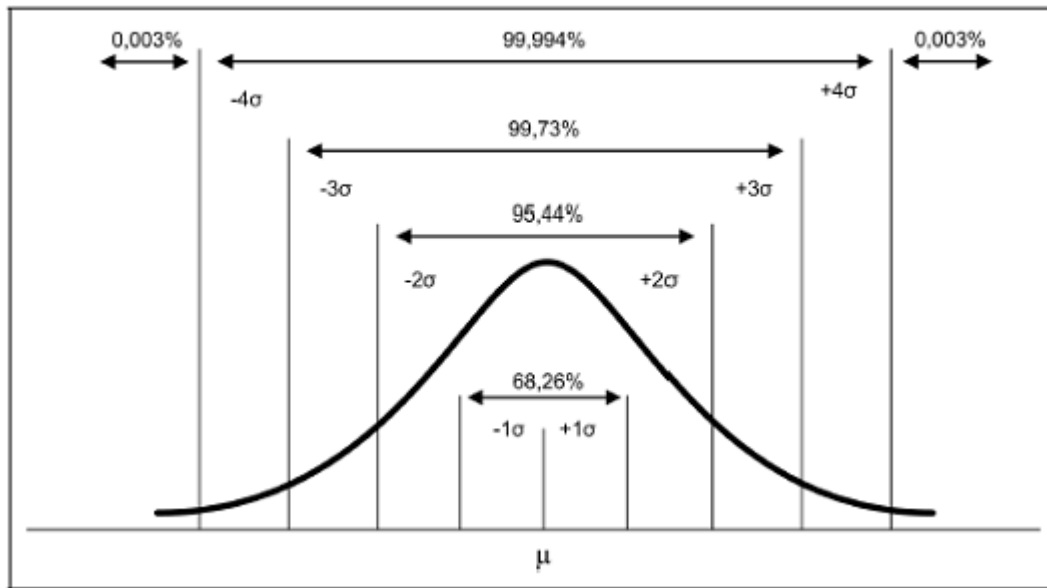


Figura 3.8 – Exemplo duma Distribuição Normal [33]

Quando o artigo [1] refere que a curva é centrada no ano de 2012, dá logo uma informação importante sobre a distribuição, uma vez que indica que a média da distribuição é 2012. Com os valores da média e do desvio padrão e recorrendo à ajuda do MS[®] Excel, é possível obter os valores da probabilidade de rotura para cada ano em que a bomba esteja em funcionamento. Esta probabilidade é importante, porque dela depende o valor do custo de rotura da bomba, cujo valor será maior quanto maior for a probabilidade de rotura da bomba.

3.3.4. Análise de Resultados

Após uma pequena introdução sobre a distribuição normal passa-se, neste ponto, a apresentar os cálculos realizados para confrontar o artigo, bem como a metodologia utilizada para os efetuar.

A tabela seguinte representa os custos calculados pelo autor do artigo [1] e são custos representativos da bomba já existente, prestes a colapsar.

Quadro 3.7 – Valor Atual para Bomba Antiga

| Custos | Valor Atual (PV) a 50 anos |
|-----------------------------|----------------------------|
| Custo Aquisição PV | - |
| Custo da Manutenção PV | 242.718€ |
| Custo do Risco de Rotura PV | 142.608€ |
| Total dos Custos a 50 anos | 385.326 € |

Após a análise destes custos mencionados no artigo e com os dados do problema, foi possível encontrar a base de cálculo para obter estes resultados, ou uma solução aproximadamente idêntica, que permitisse, confiadamente, a aplicação a outros casos.

Antes de passar à explicação dos cálculos apresentados é de salientar que o somatório dos valores apresentados foi apenas realizado até ao ano de 2037. Os cálculos para a bomba existente começam a ser realizados apenas no ano de 2005, contudo a bomba já existe há algum tempo, apesar de não estar referido qual o ano inicial. Porém, quando dizem que a curva é centrada no ano de 2012, isto traduz uma referência temporal, na medida em que como uma distribuição normal é uma curva simétrica, apenas será possível realizar os cálculos até 25 anos depois de média estabelecida, além de se admitir que a bomba terá sido instalada em 1987.

A tabela seguinte mostra os cálculos efetuados com o objetivo de atingir o quadro de valores anterior, enunciado no problema.

Quadro 3.8 – Custos Totais para a Bomba Antiga (2005)

| | | Custos O&M (a 2005) | | Probabil. de rotura | Custo risco rotura (a 2005) | | Custos totais |
|-----------|----|---------------------|-----------|------------------------|-----------------------------|-----------|---------------|
| | | P. correntes | P. atuais | | P. correntes | P. atuais | P. atuais |
| | | De 2005 a 2037 | | 425.730 € | 242.718 € | 99,4% | 174.926 € |
| Até 2005 | | | | 0,4% | 670 € | 670 € | |
| Após 2037 | | | | 0,2% | | | 385.259 € |
| 2005 | 1 | 5.317 | 5.317 | 0,87% | 1.530 | 1.530 | 6.847 |
| 2006 | 2 | 5.583 | 5.421 | 1,80% | 3.149 | 3.058 | 8.478 |
| 2007 | 3 | 5.862 | 5.526 | 3,32% | 5.803 | 5.470 | 10.996 |
| 2008 | 4 | 6.156 | 5.633 | 5,47% | 9.610 | 8.794 | 14.427 |
| 2009 | 5 | 6.463 | 5.743 | 8,07% | 14.232 | 12.645 | 18.387 |
| 2010 | 6 | 6.786 | 5.854 | 10,65% | 18.751 | 16.175 | 22.029 |
| 2011 | 7 | 7.126 | 5.968 | 12,58% | 22.131 | 18.534 | 24.502 |
| 2012 | 8 | 7.482 | 6.084 | 13,30% | 23.388 | 19.017 | 25.101 |
| 2013 | 9 | 7.856 | 6.202 | 12,58% | 22.131 | 17.470 | 23.672 |
| 2014 | 10 | 8.249 | 6.322 | 10,65% | 18.751 | 14.371 | 20.693 |
| 2015 | 11 | 8.661 | 6.445 | 8,07% | 14.232 | 10.590 | 17.035 |
| 2016 | 12 | 9.095 | 6.570 | 5,47% | 9.684 | 6.996 | 13.566 |
| 2017 | 13 | 9.549 | 6.698 | 3,32% | 5.803 | 4.070 | 10.768 |
| 2018 | 14 | 10.027 | 6.828 | 1,80% | 3.149 | 2.145 | 8.972 |
| 2019 | 15 | 10.528 | 6.960 | 0,87% | 1.530 | 1.011 | 7.972 |
| 2020 | 16 | 11.054 | 7.095 | 0,38% | 665 | 427 | 7.522 |
| 2021 | 17 | 11.607 | 7.233 | 0,15% | 259 | 161 | 7.394 |
| 2022 | 18 | 12.188 | 7.374 | 0,05% | 90 | 54 | 7.428 |
| 2023 | 19 | 12.797 | 7.517 | 0,02% | 28 | 16 | 7.533 |
| 2024 | 20 | 13.437 | 7.663 | 0,00% | 8 | 4 | 7.667 |
| 2025 | 21 | 14.109 | 7.812 | 0,00% | 2 | 1 | 7.813 |
| 2026 | 22 | 14.814 | 7.963 | 0,00% | 0 | 0 | 7.964 |
| 2027 | 23 | 15.555 | 8.118 | 0,00% | 0 | 0 | 8.118 |
| 2028 | 24 | 16.332 | 8.276 | 0,00% | 0 | 0 | 8.276 |
| 2029 | 25 | 17.149 | 8.436 | 0,00% | 0 | 0 | 8.436 |
| 2030 | 26 | 18.007 | 8.600 | 0,00% | 0 | 0 | 8.600 |
| 2031 | 27 | 18.907 | 8.767 | 0,00% | 0 | 0 | 8.767 |
| 2032 | 28 | 19.852 | 8.937 | 0,00% | 0 | 0 | 8.937 |
| 2033 | 29 | 20.845 | 9.111 | 0,00% | 0 | 0 | 9.111 |
| 2034 | 30 | 21.887 | 9.288 | 0,00% | 0 | 0 | 9.288 |
| 2035 | 31 | 22.981 | 9.468 | 0,00% | 0 | 0 | 9.468 |
| 2036 | 32 | 24.131 | 9.652 | 0,00% | 0 | 0 | 9.652 |
| 2037 | 33 | 25.337 | 9.839 | 0,00% | 0 | 0 | 9.839 |

Os custos de manutenção da bomba foram atualizados em cada ano com uma taxa de 5%, referido no artigo. Depois foi necessário fazer a atualização do valor atual com uma taxa de 3%.

Quadro 3.9 – Atualização dos Preços Correntes para os Atuais

| | P. correntes | Atualização | P. atuais |
|------|--------------|--------------------------------------|-----------|
| 2005 | 5.317 | $5.317/(1+3\%)^{\wedge}(2005-2005)$ | 5.317 |
| 2006 | 5.583 | $5.583/(1+3\%)^{\wedge}(2006-2005)$ | 5.421 |
| 2007 | 5.862 | $5.862/(1+3\%)^{\wedge}(2007-2005)$ | 5.526 |
| 2008 | 6.156 | $6.156/(1+3\%)^{\wedge}(2008-2005)$ | 5.633 |
| 2009 | 6.463 | $6.463/(1+3\%)^{\wedge}(2009-2005)$ | 5.743 |
| 2010 | 6.786 | $6.786/(1+3\%)^{\wedge}(2010-2005)$ | 5.854 |
| 2011 | 7.126 | $7.126/(1+3\%)^{\wedge}(2011-2005)$ | 5.968 |
| 2012 | 7.482 | $7.482/(1+3\%)^{\wedge}(2012-2005)$ | 6.084 |
| 2013 | 7.856 | $7.856/(1+3\%)^{\wedge}(2013-2005)$ | 6.202 |
| 2014 | 8.249 | $8.249/(1+3\%)^{\wedge}(2014-2005)$ | 6.322 |
| 2015 | 8.661 | $8.661/(1+3\%)^{\wedge}(2015-2005)$ | 6.445 |
| 2016 | 9.095 | $9.095/(1+3\%)^{\wedge}(2016-2005)$ | 6.570 |
| 2017 | 9.549 | $9.549/(1+3\%)^{\wedge}(2017-2005)$ | 6.698 |
| 2018 | 10.027 | $10.027/(1+3\%)^{\wedge}(2018-2005)$ | 6.828 |
| 2019 | 10.528 | $10.528/(1+3\%)^{\wedge}(2019-2005)$ | 6.960 |
| 2020 | 11.054 | $11.054/(1+3\%)^{\wedge}(2020-2005)$ | 7.095 |
| 2021 | 11.607 | $11.607/(1+3\%)^{\wedge}(2021-2005)$ | 7.233 |
| 2022 | 12.188 | $12.188/(1+3\%)^{\wedge}(2022-2005)$ | 7.374 |
| 2023 | 12.797 | $12.797/(1+3\%)^{\wedge}(2023-2005)$ | 7.517 |
| 2024 | 13.437 | $13.437/(1+3\%)^{\wedge}(2024-2005)$ | 7.663 |
| 2025 | 14.109 | $14.109/(1+3\%)^{\wedge}(2025-2005)$ | 7.812 |
| 2026 | 14.814 | $14.814/(1+3\%)^{\wedge}(2026-2005)$ | 7.963 |
| 2027 | 15.555 | $15.555/(1+3\%)^{\wedge}(2027-2005)$ | 8.118 |
| 2028 | 16.332 | $16.332/(1+3\%)^{\wedge}(2028-2005)$ | 8.276 |
| 2029 | 17.149 | $17.149/(1+3\%)^{\wedge}(2029-2005)$ | 8.436 |
| 2030 | 18.007 | $18.007/(1+3\%)^{\wedge}(2030-2005)$ | 8.600 |
| 2031 | 18.907 | $18.907/(1+3\%)^{\wedge}(2031-2005)$ | 8.767 |
| 2032 | 19.852 | $19.852/(1+3\%)^{\wedge}(2032-2005)$ | 8.937 |
| 2033 | 20.845 | $20.845/(1+3\%)^{\wedge}(2033-2005)$ | 9.111 |
| 2034 | 21.887 | $21.887/(1+3\%)^{\wedge}(2034-2005)$ | 9.288 |
| 2035 | 22.981 | $22.981/(1+3\%)^{\wedge}(2035-2005)$ | 9.468 |
| 2036 | 24.131 | $24.131/(1+3\%)^{\wedge}(2036-2005)$ | 9.652 |
| 2037 | 25.337 | $25.337/(1+3\%)^{\wedge}(2037-2005)$ | 9.839 |

Para o cálculo da probabilidade de rotura os dados estavam todos no problema, a média é de 2012 e o desvio padrão é de 3 anos. Com estes dados e sabendo que é utilizada a distribuição normal recorreu-se às funcionalidades do MS[®] Excel, que automaticamente calculou a probabilidade de rotura em função do ano em estudo.

Quadro 3.10 – Cálculo da Probabilidade de Rotura

| | | Probabilidade de Rotura | |
|------|----|-------------------------|----------------------------------|
| 2005 | 1 | 1% | 1%=dist.norm(2005;2012;3;Falso) |
| 2006 | 2 | 2% | 2%=dist.norm(2006;2012;3;Falso) |
| 2007 | 3 | 3% | 3%=dist.norm(2007;2012;3;Falso) |
| 2008 | 4 | 5% | 5%=dist.norm(2008;2012;3;Falso) |
| 2009 | 5 | 8% | 8%=dist.norm(2009;2012;3;Falso) |
| 2010 | 6 | 11% | 11%=dist.norm(2010;2012;3;Falso) |
| 2011 | 7 | 13% | 13%=dist.norm(2011;2012;3;Falso) |
| 2012 | 8 | 13% | 13%=dist.norm(2012;2012;3;Falso) |
| 2013 | 9 | 13% | 13%=dist.norm(2013;2012;3;Falso) |
| 2014 | 10 | 11% | 11%=dist.norm(2014;2012;3;Falso) |
| 2015 | 11 | 8% | 8%=dist.norm(2015;2012;3;Falso) |
| 2016 | 12 | 5% | 5%=dist.norm(2016;2012;3;Falso) |
| 2017 | 13 | 3% | 3%=dist.norm(2017;2012;3;Falso) |
| 2018 | 14 | 2% | 2%=dist.norm(2018;2012;3;Falso) |
| 2019 | 15 | 1% | 1%=dist.norm(2019;2012;3;Falso) |
| 2020 | 16 | 0% | |

Por último falta apenas explicar o cálculo dos custos de risco de rotura do equipamento. Estes são calculados com base no produto entre a probabilidade de rotura e o custo de rotura (175.000€). No cálculo da frequência acumulada da probabilidade de rotura obtém-se um total de 99,4%, porque não é contabilizada a probabilidade de rotura acumulada antes do ano de 2005 e a probabilidade de rotura posterior ao ano de 2037.

A probabilidade de rotura posterior a 2037, isto é, 0,2% é repartida pelos anos de 2008 a 2016, em torno da média da distribuição.

Com os dados do Quadro 3.8 é possível então representar graficamente a distribuição normal da probabilidade de rotura da bomba existente, no ano de 2005.

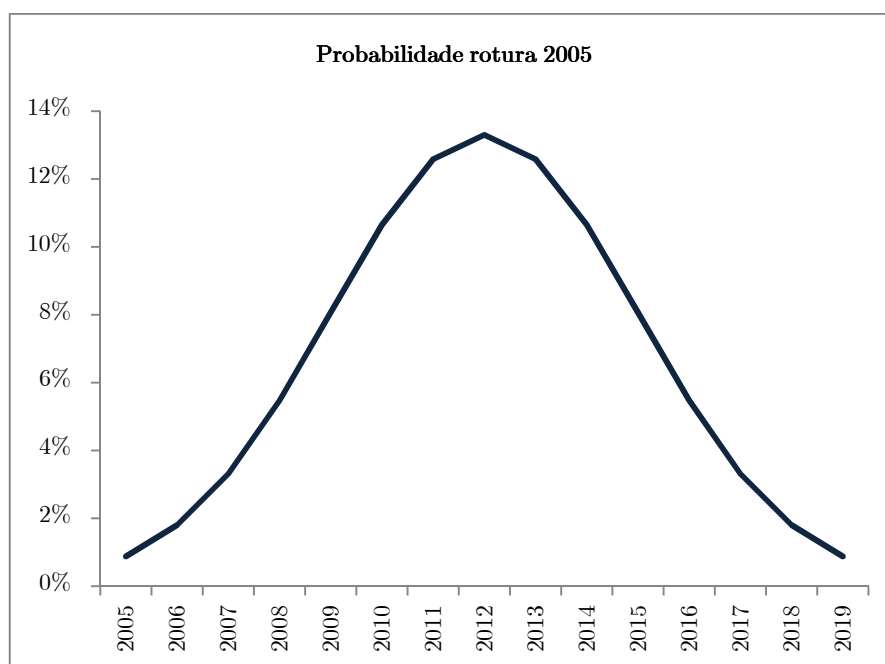


Figura 3.9 - Probabilidade de Rotura Bomba Antiga (2005)

Como apresentado no artigo com os valores calculados representa-se graficamente, também, os custos do risco de rotura da bomba existente que traduz a variação dos custos de acordo com a probabilidade de rotura.

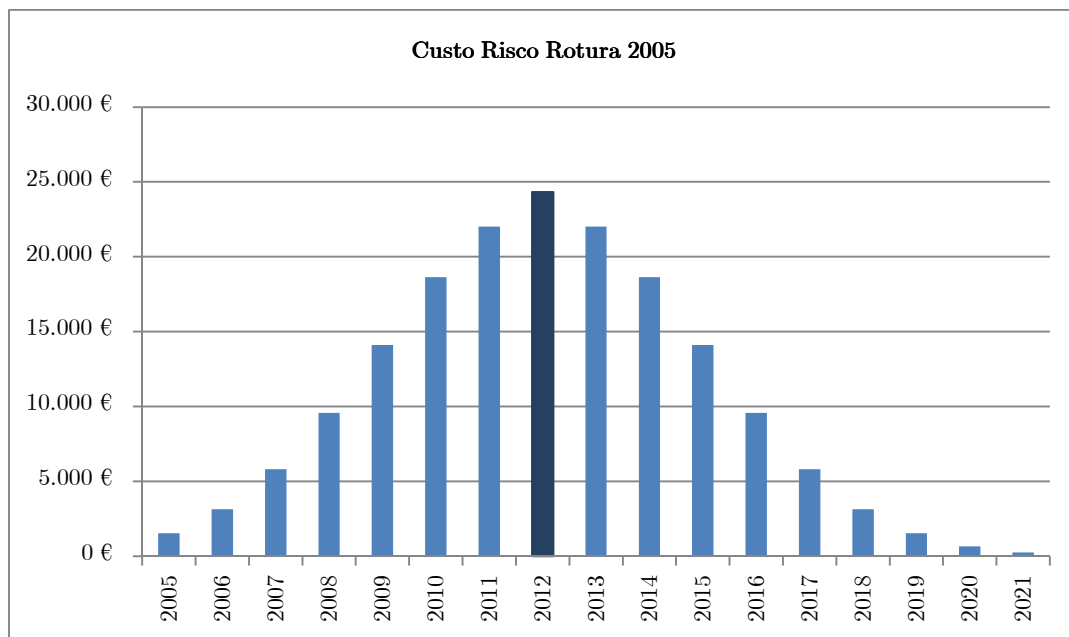


Figura 3.10 - Custo do Risco de Rotura (2005)

Após conhecer todos os valores associados a este equipamento deveras importante é possível fazê-los representar sob a forma de gráfico com o objetivo de possibilitar a visualização dos custos totais associados a esta bomba.

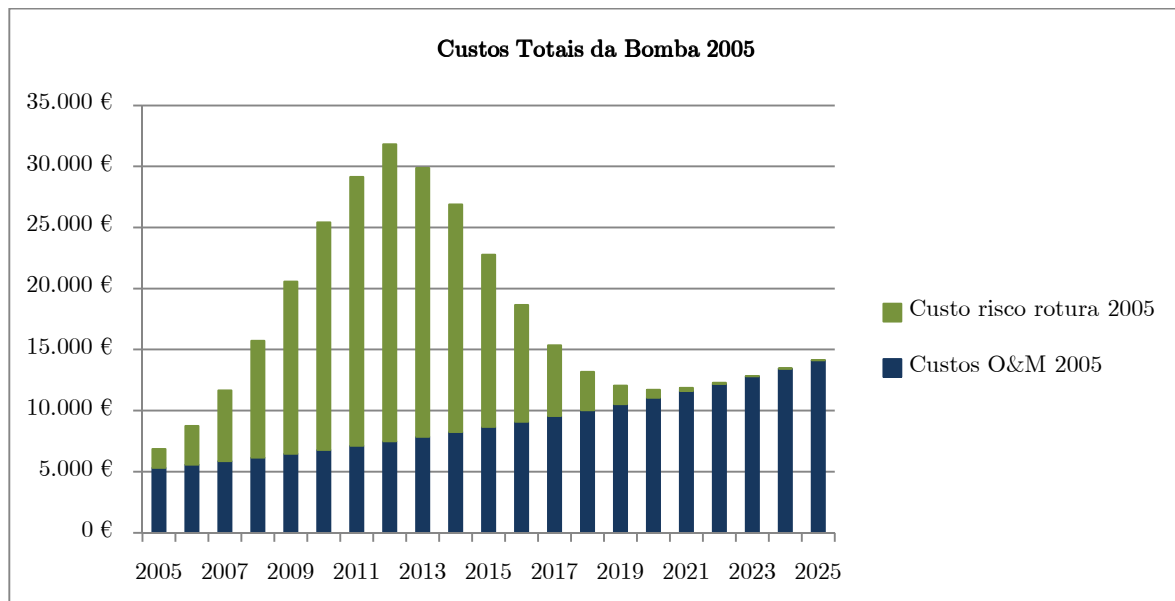


Figura 3.11 - Custos Totais da Bomba Antiga (2005)

Para poder ser feita a comparação entre os custos de manter a bomba antiga ou proceder à substituição por uma bomba nova foi necessário efetuar os mesmos cálculos para a bomba de substituição. As tabelas representativas dos cálculos serão apresentadas no Anexo II, neste capítulo estarão apenas as fundamentais para o entendimento dos custos e possíveis necessidades de comparação com os resultados da bomba antiga.

Procedeu-se novamente à realização dos cálculos anteriores com os dados adaptados para a nova bomba e obteve-se a seguinte tabela de resultados.

Quadro 3.11 - Custos Totais da Bomba Nova (2005)

| Anos | | Custos O&M (a 2005) | | Probabilidade rotura | Custo Risco Rotura (a 2005) | | Custos totais |
|------|----|---------------------|------------|----------------------|-----------------------------|------------|---------------|
| | | P. correntes | P. actuais | | P. correntes | P. actuais | P. actuais |
| | | 211.449 € | 99.403 € | | 100% | 175.000 € | 83.910 € |
| 2005 | 1 | 2.500 | 2.500 | 0,0% | 0 | 0 | 2.500 |
| 2006 | 2 | 2.550 | 2.476 | 0,0% | 0 | 0 | 2.476 |
| 2007 | 3 | 2.601 | 2.452 | 0,0% | 0 | 0 | 2.452 |
| 2008 | 4 | 2.653 | 2.428 | 0,0% | 0 | 0 | 2.428 |
| 2009 | 5 | 2.706 | 2.404 | 0,0% | 0 | 0 | 2.404 |
| 2010 | 6 | 2.760 | 2.381 | 0,0% | 0 | 0 | 2.381 |
| 2011 | 7 | 2.815 | 2.358 | 0,0% | 0 | 0 | 2.358 |
| 2012 | 8 | 2.872 | 2.335 | 0,0% | 0 | 0 | 2.335 |
| 2013 | 9 | 2.929 | 2.312 | 0,0% | 0 | 0 | 2.312 |
| 2014 | 10 | 2.988 | 2.290 | 0,0% | 0 | 0 | 2.290 |
| 2015 | 11 | 3.047 | 2.268 | 0,0% | 0 | 0 | 2.268 |
| 2016 | 12 | 3.108 | 2.246 | 0,0% | 0 | 0 | 2.246 |
| 2017 | 13 | 3.171 | 2.224 | 0,0% | 2 | 1 | 2.225 |
| 2018 | 14 | 3.234 | 2.202 | 0,0% | 8 | 5 | 2.208 |
| 2019 | 15 | 3.299 | 2.181 | 0,0% | 28 | 19 | 2.199 |
| 2020 | 16 | 3.365 | 2.160 | 0,1% | 90 | 58 | 2.217 |
| 2021 | 17 | 3.432 | 2.139 | 0,1% | 259 | 161 | 2.300 |
| 2022 | 18 | 3.501 | 2.118 | 0,4% | 665 | 402 | 2.520 |
| 2023 | 19 | 3.571 | 2.097 | 0,9% | 1.530 | 898 | 2.996 |
| 2024 | 20 | 3.642 | 2.077 | 1,8% | 3.149 | 1.796 | 3.873 |
| 2025 | 21 | 3.715 | 2.057 | 3,3% | 5.803 | 3.213 | 5.270 |
| 2026 | 22 | 3.789 | 2.037 | 5,5% | 9.567 | 5.143 | 7.180 |
| 2027 | 23 | 3.865 | 2.017 | 8,1% | 14.115 | 7.366 | 9.384 |
| 2028 | 24 | 3.942 | 1.998 | 10,6% | 18.634 | 9.442 | 11.439 |
| 2029 | 25 | 4.021 | 1.978 | 12,6% | 22.014 | 10.829 | 12.808 |
| 2030 | 26 | 4.102 | 1.959 | 13,3% | 23.272 | 11.115 | 13.074 |
| 2031 | 27 | 4.184 | 1.940 | 12,6% | 22.014 | 10.208 | 12.148 |
| 2032 | 28 | 4.267 | 1.921 | 10,6% | 18.634 | 8.389 | 10.310 |
| 2033 | 29 | 4.353 | 1.902 | 8,1% | 14.115 | 6.169 | 8.072 |

| | | | | | | | |
|------|----|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 2034 | 30 | 4.440 | 1.884 | 5,5% | 9.567 | 4.060 | 5.944 |
| 2035 | 31 | 4.528 | 1.866 | 3,3% | 5.803 | 2.391 | 4.256 |
| 2036 | 32 | 4.619 | 1.848 | 1,8% | 3.149 | 1.260 | 3.107 |
| 2037 | 33 | 4.711 | 1.830 | 0,9% | 1.530 | 594 | 2.424 |
| 2038 | 34 | 4.806 | 1.812 | 0,4% | 665 | 251 | 2.062 |
| 2039 | 35 | 4.902 | 1.794 | 0,1% | 259 | 95 | 1.889 |
| 2040 | 36 | 5.000 | 1.777 | 0,1% | 90 | 32 | 1.809 |
| 2041 | 37 | 5.100 | 1.760 | 0,0% | 28 | 10 | 1.769 |
| 2042 | 38 | 5.202 | 1.742 | 0,0% | 8 | 3 | 1.745 |
| 2043 | 39 | 5.306 | 1.726 | 0,0% | 2 | 1 | 1.726 |
| 2044 | 40 | 5.412 | 1.709 | 0,0% | 0 | 0 | 1.709 |
| 2045 | 41 | 5.520 | 1.692 | 0,0% | 0 | 0 | 1.692 |
| 2046 | 42 | 5.631 | 1.676 | 0,0% | 0 | 0 | 1.676 |
| 2047 | 43 | 5.743 | 1.660 | 0,0% | 0 | 0 | 1.660 |
| 2048 | 44 | 5.858 | 1.643 | 0,0% | 0 | 0 | 1.643 |
| 2049 | 45 | 5.975 | 1.627 | 0,0% | 0 | 0 | 1.627 |
| 2050 | 46 | 6.095 | 1.612 | 0,0% | 0 | 0 | 1.612 |
| 2051 | 47 | 6.217 | 1.596 | 0,0% | 0 | 0 | 1.596 |
| 2052 | 48 | 6.341 | 1.581 | 0,0% | 0 | 0 | 1.581 |
| 2053 | 49 | 6.468 | 1.565 | 0,0% | 0 | 0 | 1.565 |
| 2054 | 50 | 6.597 | 1.550 | 0,0% | 0 | 0 | 1.550 |

Quadro 3.12 - Comparação Custos Conforme Artigo [1] e Calculados

| Custos | Valor Atual (PV) a 50 anos (Conforme Artigo [1]) | Valor Atual(PV) a 50 anos |
|-----------------------------|--|---------------------------|
| Custo Aquisição PV | 220.000€ | 220.000€ |
| Custo da Manutenção PV | 96.507€ | 99.403€ |
| Custo do Risco de Rotura PV | 86.619€ | 83.910€ |
| Total dos Custos a 50 anos | 403.126 € | 403.313 € |

Os valores obtidos foram todos eles calculados recorrendo ao mesmo método usado para a bomba antiga, uma vez que vão ser comparados só fazia sentido que assim fosse. Mais uma vez, o gráfico que se segue representa a função de densidade de probabilidade desta bomba nova.

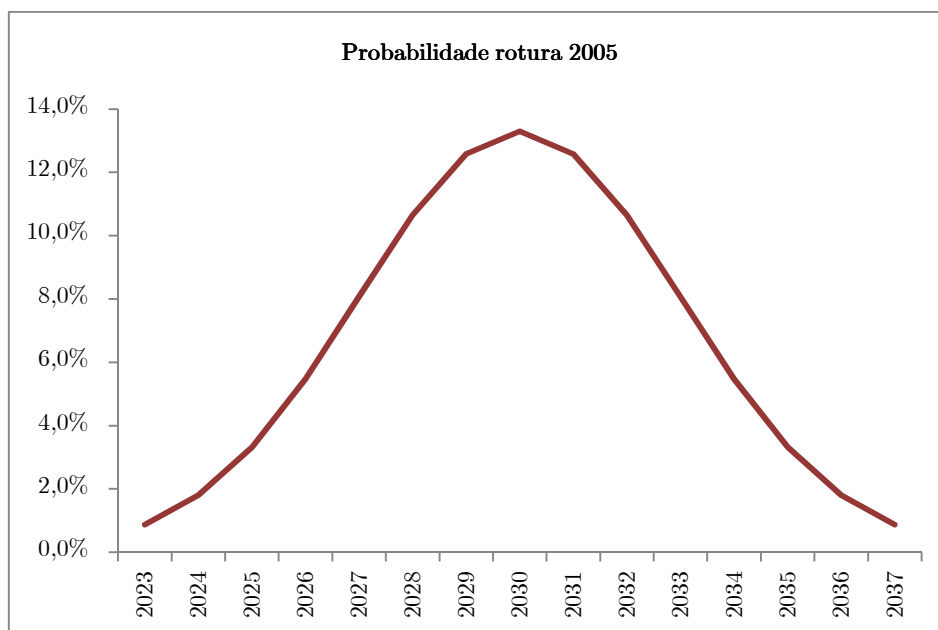


Figura 3.12 - Probabilidade de Rotura Bomba Nova (2005)

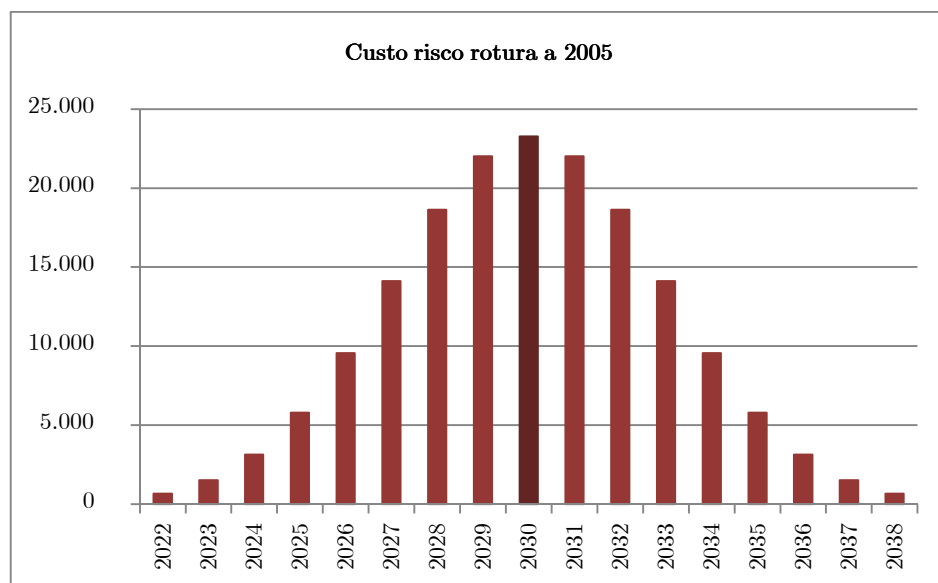


Figura 3.13 - Custo Risco Rotura Bomba Nova (2005)

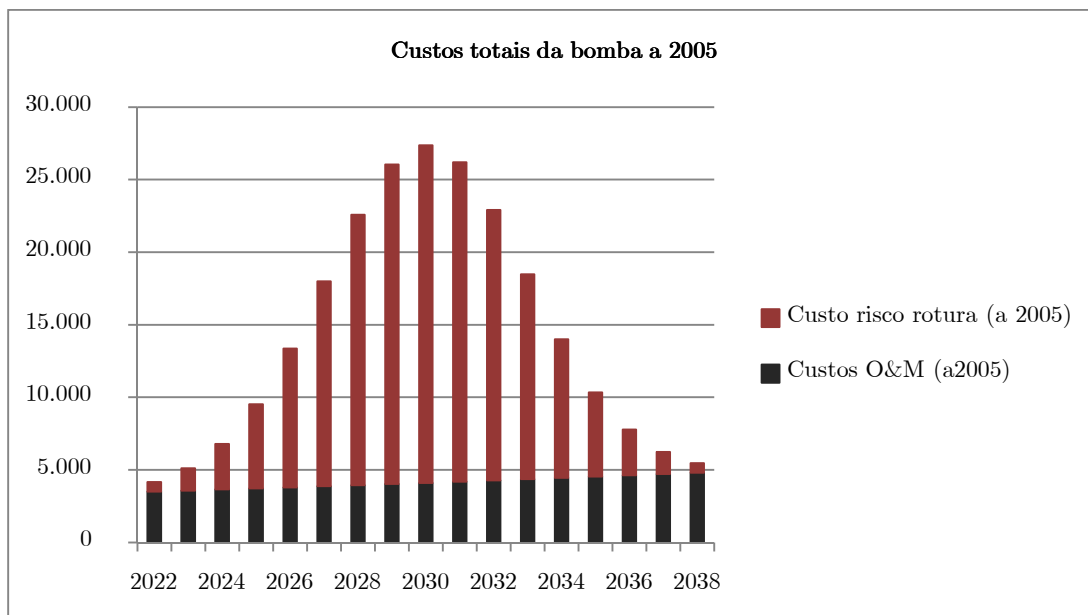


Figura 3.14 - Custos Totais da Bomba Nova (2005)

De facto, os custos de manutenção são significativamente mais baixos comparativamente com os custos da bomba já existente. Contudo, é necessário ainda contabilizar os custos de aquisição desta bomba.

Quadro 3.13 - Comparação Custos Bomba Antiga e da Bomba Nova

| Custos | Custos Totais Bomba Existente | Custos Totais Bomba Nova |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Custo Aquisição PV | - | 220.000€ |
| Custo da Manutenção PV | 242.718€ | 99.403€ |
| Custo do Risco de Rotura PV | 143.210€ | 83.910€ |
| Total dos Custos a 50 anos | 385.928 € | 403.313 € |

O que se pode concluir sobre este caso é que financeiramente não compensa a aquisição de uma bomba nova no ano de 2005, uma vez que os custos de operação e manutenção e de risco de rotura para a bomba existente são inferiores ao total dos mesmos custos, somados naturalmente com o custo de aquisição, da bomba nova. A diferença de valores ainda é significativa e este caso é um bom ponto de partida para outro tipo de equipamentos que tenham a mesma importância no funcionamento do sistema. Com um conjunto limitado de

dados, como é neste caso os custos de operação e manutenção anuais e o seu crescimento ao longo do tempo, foi possível estabelecer este caso de estudo.

Este tipo de análise remete para a experiência das pessoas que trabalham no setor, bem como para a importância que a organização dá ao tema da gestão de ativos. Mostra que é um tema que merece a atenção e o investimento de tempo necessário por parte das pessoas que nele intervêm, na perspetiva de racionalizar os custos com infraestruturas, obtendo a melhor eficiência do sistema e garantindo a satisfação dos seus clientes e a preservação de um recurso tão importante como é a água.

Todos estes cálculos são justificados pela importância dada a este elemento do sistema e aos custos e problemas acrescidos no caso de uma falha catastrófica. Esta é uma análise bastante evoluída sobre o risco de rotura da infraestrutura. No entanto, ainda é pouco usual entre nós. Efetivamente, pelos custos associados a este processo e, provavelmente, pelo desconhecimento da aplicação desta temática da avaliação de risco nas empresas de abastecimento de água. Países como a Nova Zelândia e a Austrália já debatem este tema há bastante tempo e investem algum capital dos consumidores para realmente aumentarem a eficiência dos seus sistemas. Para além disso, criaram normas sobre o risco e qualidade dos sistemas com o objetivo de otimizarem este tema.

Neste momento aparece uma nova questão que se prende com quando substituir a bomba existente, isto é, em que ano o valor atual da bomba existente é superior ao valor atual da bomba a adquirir.

É de facto uma abordagem muito interessante por parte do diretor de manutenção garantir que otimizam ao máximo o funcionamento e o tempo de vida das suas infraestruturas, sem colocar em causa a qualidade dos seus serviços.

O quadro seguinte mostra os resultados obtidos através do cálculo realizado neste estudo comparativamente com os resultados que constam do artigo [1]. Como se irá constatar

existem algumas diferenças nos resultados calculados, mesmo assim, são valores próximos e tal diferença pode ser explicada pelos poucos dados constantes no artigo [1].

Quadro 3.14 - Custos Totais para as Duas Bombas

| Anos | Bomba Existente (Conforme Artigo) | Bomba Existente (€) | Bomba Nova (Conforme Artigo) |
|------|-----------------------------------|---------------------|------------------------------|
| 2005 | 385.326 | 385.259 | 403.126 |
| 2006 | 396.590 | 401.725 | 403.126 |
| 2007 | 407.943 | 418.380 | 403.126 |
| 2008 | 419.284 | 435.361 | 403.126 |
| 2009 | 430.521 | 452.287 | 403.126 |
| 2010 | 441.600 | 468.737 | 403.126 |
| 2011 | 452.507 | 484.283 | 403.126 |
| 2012 | 463.266 | 498.640 | 403.126 |
| 2013 | 473.926 | 511.476 | 403.126 |
| 2014 | 484.547 | 523.562 | 403.126 |
| 2015 | 495.190 | 535.649 | 403.126 |

Ao analisar estes resultados a primeira coisa que se evidencia na tabela anterior é o caso dos custos da bomba nova não se alterarem. Estes custos da bomba nova não se alteram uma vez que a bomba será adquirida no ano em que for necessário substituir a bomba antiga, logo, não sofrerá qualquer tipo de desvalorização, nem sofrerá qualquer tipo de manutenção a não ser quando entrar em funcionamento. Por outras palavras, não pode estar a desvalorizar um ativo que não faz parte da empresa.

Através da tabela anterior é possível perceber que a partir do ano de 2007 os custos associados à bomba existente ultrapassam os custos de aquisição, operação e manutenção e de risco de rotura da bomba nova. Responde-se, assim, a mais uma questão colocada no artigo. Em que ano de deve substituir a bomba? No ano de 2007 a bomba deve ser substituída, pois é economicamente mais vantajoso a aquisição de uma bomba nova, em virtude de continuar a apostar na manutenção da antiga. Já sabendo em que ano provavelmente se dará essa falha é necessário estabelecer um plano de manutenção preventiva para evitar um colapso do sistema e problemas provenientes dessa situação.

3.3.5. Oportunidades de Melhoria

Após os cálculos apresentados o objetivo deste subcapítulo é apresentar melhorias no modelo do artigo, tornando-o mais eficiente para a aplicação na empresa.

Para esse efeito recorreu-se a um modelo matemático, uma vez que é capaz de descrever de uma forma probabilística a incerteza associada às variáveis de entrada com o intuito de encontrar os valores possíveis para os resultados, isto é, através dos inputs conhecer os outputs do sistema, de acordo com as respetivas distribuições de probabilidade [34].

Nos modelos estocásticos a cada input podem estar associados diferentes valores dependendo das distribuições de probabilidade. Esta questão permite estimar a distribuição probabilística dos outputs recorrendo a um elevado número de iterações.

É neste contexto que se introduz a simulação estocástica e o método de Monte Carlo para encontrar as soluções das variáveis dos problemas, sendo um método de amostragem que se baseia em números aleatórios. Assim, através das dez mil iterações a realizar é possível obter resultados muito aproximados do comportamento real esperado da bomba.

Para além desta oportunidade de melhoria ainda se pode introduzir no cálculo do problema a distribuição de Weibull, conforme referido no artigo [1].

Após o cálculo do problema com a nova distribuição serão tiradas conclusões sobre a sua adequação ao caso de estudo.

3.3.6. Abordagem à Utilização da Solução Informática de apoio à Análise de Decisão

Neste ponto da dissertação o objetivo é melhorar o modelo apresentado com a aplicação das ferramentas de análise de risco disponibilizadas pela Palisade, incorporadas no programa DecisionTools Suite[®]. Este é um conjunto integrado de programas para análise

de risco e tomada de decisão em casos em que existe incerteza e utiliza a base do Excel[®] para funcionar. [35]

O programa DecisionTools Suite[®] inclui a ferramenta @RISK, que realiza a análise de risco através da simulação de Monte Carlo; o PrecisionTree, que executa análises de decisão; e o TopRank, que executa análises de sensibilidade automatizadas de variações hipotéticas (what if). Para além dos componentes já referidos inclui, também, o StatTools, o NeuralTools e o Evolver cuja utilização é para previsão, otimização e análise de dados. Todos os programas foram projetados e desenvolvidos para funcionar facilmente de modo integrado. [35]

Apesar das enormes funcionalidades deste suplemento para o Excel[®] apenas será utilizada neste caso de estudo a ferramenta @RISK que recorrendo à Simulação de Monte Carlo vai mostrar os resultados possíveis e dizer qual a probabilidade de ocorrência destes resultados. Isto significa que é possível avaliar os riscos a assumir e a evitar.

O @RISK apresenta enormes potencialidades e pode ser utilizado em diferentes áreas de estudo: desde a Medicina, à Engenharia, à Gestão e Finanças, entre outras. [35]

Esta ferramenta permite eliminar as situações de incerteza das variáveis a estudar, uma vez que estas variáveis são substituídas por funções de distribuição de probabilidade do programa. Podem ser utilizadas várias distribuições componentes da ferramenta, sendo depois necessária a interpretação dos resultados obtidos. Para além de que é possível simplificar bastante as tabelas anteriores com os resultados obtidos.

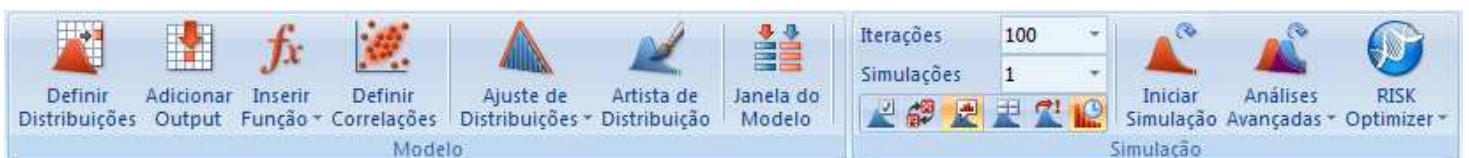


Figura 3.15 - Barra de Ferramentas @Risk

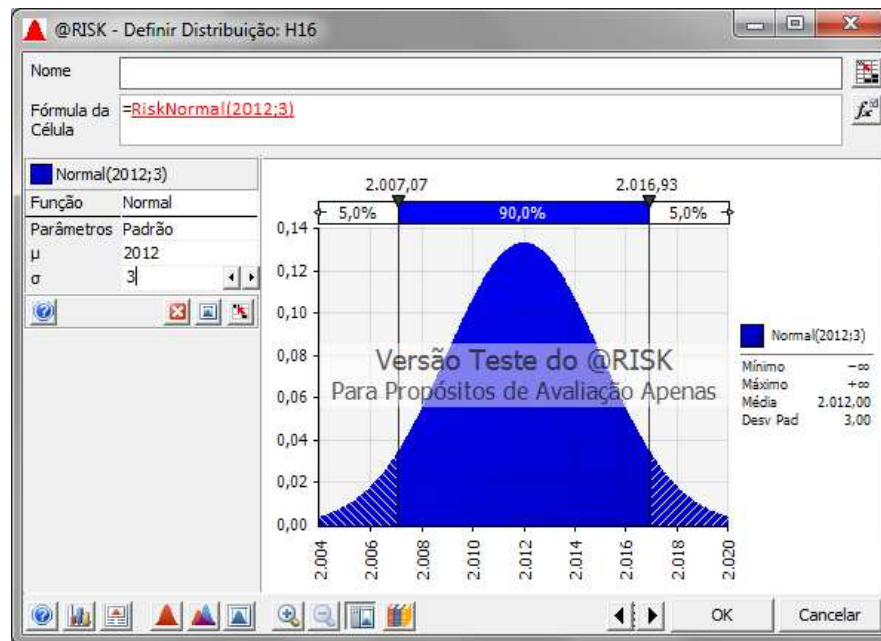


Figura 3.16 - Janela da Ferramenta @Risk

Numa visão mais simples, a metodologia seguida pelo @Risk tem as seguintes características que ajudam no processo de análise de risco, a partir das seguintes soluções:

- i. Define o modelo
- ii. Executa a simulação de Monte Carlo
- iii. Ajuda a entender os riscos
- iv. Define com facilidade a incerteza
- v. Recorre a gráficos para a explicação dos resultados.

Em suma, a incerteza faz parte do risco e, pela sua importância, deve ser contabilizada nas avaliações de risco e nas análises de gestão de risco. Devem, ainda, ser consideradas as incertezas de probabilidades como é o caso das incertezas das consequências das falhas.

Nas variabilidades dos valores é possível encontrar sempre alguma incerteza: *à priori* já se sabe que haverá um resultado, como podem ser os custos aqui apresentados, a incerteza é saber qual será o seu valor. [34]

Os cálculos iniciais foram realizados com recurso à Distribuição Normal na ferramenta @Risk, uma vez que o artigo recorre à sua aplicação. Como é possível verificar na figura anterior para a utilização desta distribuição no programa informático é apenas necessário saber a média e o desvio padrão da distribuição e, automaticamente, é gerado o gráfico representativo desses dados.

Este passo serve, também, para realizar uma comparação entre as diferentes distribuições utilizadas.

Utilização da Distribuição Weibull

A Distribuição Weibull pode ter diversas aplicações, sendo para falhas aleatórias, ou falhas devidas ao próprio desgaste das infraestruturas [36]. Por essas questões esta distribuição probabilística contínua é usada em estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas, bem como para obter parâmetros significativos das configurações das falhas. Relativamente à sua representação gráfica tem um formato simples, como é o caso da distribuição normal [36].

Para calcular a probabilidade de um componente falhar é necessário seguir a seguinte expressão:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}$$

Fórmula 3.4 - Distribuição Weibull [36]

Em que α é o parâmetro da distribuição e β é designado como fator de forma que, por sua vez, indica a forma da curva, bem como a característica da falha.

Quando o parâmetro de β assume o valor de 1, ocorrem situações de falha constante e pode significar que estão presentes vários modos de falhas. É frequente que este caso aconteça em componentes do sistema com diferentes idades, quando não se sabe o tempo

individual de operação desses componentes. Neste caso, a função de densidade de probabilidade tem a forma de uma exponencial e as falhas ocorrem de forma aleatória. Para além disso, pode ser indicativo da razão que provoca as falhas, neste caso com uma taxa de falha constante as falhas podem ser provocadas por agentes externos, como pode ser o mau uso dos equipamentos ou uma inadequada manutenção aos mesmos [37].

O modo de falha por desgaste é caracterizado por valores de beta superiores à unidade, contudo pode ser usado o parâmetro igual a 1, dependendo do tempo das falhas e do facto de a amostragem ter vários componentes imperfeitos [37]. Além disso, pode concluir-se que existem modos de falhas preponderantes, sendo possível através da análise de tempo entre falhas, e da análise dos efeitos e modos de falha é possível estabelecer um plano de manutenções preventivas para os equipamentos a serem estudados [37].

Pelo contrário quando beta é inferior a um significa que a função densidade de probabilidade de falhas tem frequências elevadas na fase inicial da vida e, podem ser originadas por deficiências nos projetos ou na produção e operação do sistema. Apenas nestas situações mostra-se difícil prever estas falhas, por isso a solução mais eficaz é recorrer a ações de manutenção preventiva para as evitar a sua ocorrência e corretiva depois de acontecerem [37].

Dessa forma, as curvas de confiabilidade são um bom indicador para a tomada de decisão no que diz respeito ao momento de intervenção nos equipamentos.

Nesta análise ao caso de estudo vai ser considerado o fator de forma superior a um, uma vez que são consideradas falhas por desgaste nas infraestruturas do sistema.

Esta distribuição pode ser calculada com o suplemento @Risk e cujas características como a média e desvio padrão são calculadas através das seguintes expressões:

$$\mu = \alpha \times \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right)$$

Fórmula 3.5 – Cálculo da Média da Distribuição Weibull [37]

$$\sigma = \sqrt{\alpha^2 \left[\left(\frac{2}{\beta} + 1 \right) - \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right)^2 \right]}$$

Fórmula 3.6 – Cálculo do Desvio Padrão da Distribuição Weibull [37]

Aparece ainda um conceito novo relacionado com esta distribuição que é o conceito de confiabilidade. Este conceito permite compreender qual a probabilidade do elemento não falhar num determinado período de tempo. Este pode ser calculado através da seguinte expressão, de acordo com [37] :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}$$

Fórmula 3.7 - Confiabilidade da Distribuição Weibull [37]

Utilizações de Distribuições Pragmáticas

As distribuições pragmáticas são, também elas, distribuições probabilísticas, contudo requerem a participação de algum especialista na matéria que possa descrever o comportamento do ativo a estudar e, conseqüentemente, prever a evolução dessa tendência comportamental. Como é um modelo de análise de risco tem sempre alguma incerteza associada. Não é possível obter os dados que determinem a incerteza das variáveis sem um modelo pelos motivos seguintes [38]:

- Não existe um histórico de dados;
- A obtenção destes dados revela-se um processo caro;
- Por vezes, os dados antigos podem nem ser relevantes, ou ficarem obsoletos com o tempo, devido à integração de novas tecnologias ou mudanças políticas, comerciais ou ambientais no sistema da empresa e/ou meio envolvente;
- Os dados podem ser dispersos, sendo necessário recorrer à experiência de peritos para combater algumas lacunas;

- A área a modelar pode ser nova.

Estas técnicas probabilísticas acarretam sempre alguma incerteza, cujas causas da sua ocorrência podem dever-se à aleatoriedade inerente da própria variável de estudo, ou então, a incerteza decorrente da falta de conhecimento do especialista sobre os parâmetros descritos [38].

Quando os dados para análise possam ser insuficientes pode recorrer-se a uma pessoa especializada no estudo para recolher a opinião dos mesmos sobre a incerteza das variáveis.

Esta informação dada pelo especialista pode, ainda, ser associada à utilização de distribuições probabilísticas que ajudem a traduzir a sua experiência.

Para além disso, há dois pontos específicos que o autor da bibliografia deste capítulo refere que existem dois pontos essenciais para tomar em consideração antes de apresentar as técnicas de modelagem:

- A máxima incerteza num modelo está presente na conceção da estrutura do modelo;
- Um especialista não deve guardar só para si as avaliações subjetivas realizadas num modelo, uma vez que bastantes analistas acham que conseguem prever o comportamento dos modelos sem recorrer a outros especialistas do mesmo problema.

Como já referido existem algumas distribuições que conseguem funcionar com as estimativas dos especialistas. O ponto inicial deste tipo de ferramenta é desagregar bem o problema para o especialista apenas se focar nos aspetos viáveis e tangíveis.

A desagregação das informações do modelo é importante, de forma a evitar os efeitos do Teorema do Limite Central, isto é, a distribuição amostral da média aproxima-se de uma distribuição normal, e, também, para obter um modelo mais aproximado da realidade. O

especialista deve ter em consideração o grau de desagregação necessário para desenvolver a análise de sensibilidade do modelo.

As distribuições probabilísticas podem dividir-se, sobretudo, em dois grandes grupos: as distribuições paramétricas e as distribuições não paramétricas [38]. Uma distribuição paramétrica é baseada numa função matemática, cuja forma e variação pode ser ditada por um ou mais parâmetros da distribuição.

Por outro lado, as distribuições não-paramétricas são determinadas de uma forma mais intuitiva.

Dentro das distribuições probabilísticas pragmáticas as mais utilizadas de acordo com os dados fornecidos pelos especialistas são: a distribuição Normal, a distribuição Triangular e a Pert.

A distribuição Triangular é das mais utilizadas para estimar a distribuição através da opinião de especialistas e é definida através de três parâmetros: o valor mínimo da distribuição, o valor mais provável e o valor máximo que a distribuição pode tomar.

Como já referido neste capítulo, a distribuição Normal apenas se baseia em dois parâmetros para estimar a distribuição, são eles a média e o desvio padrão. É maioritariamente utilizada devido à sua facilidade de aplicação, bem como a sua simples interpretação. Contudo, opta-se por utilizar a distribuição Triangular, ou melhor ainda a distribuição Pert, uma vez que são mais eficazes neste processo de tomada de decisão.

Nesta dissertação o importante é conhecer o funcionamento da distribuição Pert, uma vez que é a distribuição pragmática utilizada para melhorar o método.

A distribuição Pert é muito útil, porque é capaz de produzir números aleatórios, de acordo com um intervalo estabelecido. Como a distribuição Triangular estabelece-se um valor mínimo (a), máximo(c) e o mais provável (b), contudo a maior diferença entre as duas distribuições é que para além de existir uma maior probabilidade dos valores da

distribuição se encontrarem em torno do valor mais provável, ainda valores entre o mais provável e os extremos têm maior probabilidade de ocorrência comparativamente com a distribuição Triangular [39].

A equação que representa o comportamento da distribuição Pert é a seguinte [38]:

$$PERT(a, b, c) = Beta(\alpha_1, \alpha_2) * (c - a) + a$$

Fórmula 3.8 – Distribuição Pert [38]

$$\alpha_1 = \frac{(\mu - a) * (2b - a - c)}{(b - \mu) * (c - a)}$$
$$\alpha_2 = \frac{\alpha_1 * (c - \mu)}{(\mu - a)}$$

Fórmula 3.9 – Parâmetros da Distribuição Pert [38]

$$\mu(\text{média}) = \frac{a + 4 * b + c}{6}$$

Fórmula 3.10 – Cálculo da Média da Distribuição Pert [38]

Para além das suas funções a distribuição Pert ainda pode ser manipulada para gerar os variados graus de incerteza para os mesmos valores do mínimo, mais provável e máximo, através duma alteração em torno da média, distribuição Pert Modificada. Esta alteração pode ser representada através da seguinte equação:

$$\mu(\text{média}) = \frac{a + \gamma * b + c}{\gamma + 2}$$

Fórmula 3.11 – Cálculo da Média da Distribuição de Pert Modificada [38]

Na Pert normalizada o valor de γ é igual a 4, contudo o valor de γ pode ser alterado conforme a necessidade de obter valores mais próximos do valor tido como mais provável.

Com o recurso à ferramenta da Palisade torna-se ainda mais simples recorrer à utilização das distribuições pragmáticas, sendo uma mais-valia a juntar à experiência de alguns

colaboradores da empresa a quem se recorreu para obter os valores necessários para construir um modelo com recurso a este tipo de distribuições.

No capítulo seguinte será apresentada a construção de um modelo com base na experiência dum especialista de empresa Águas do Douro e Paiva, de acordo com os custos de manutenção obtidos para uma estação elevatória pertencente à empresa.

3.3.7. Melhorias Obtidas com as Ferramentas Informáticas (@Risk)

O objetivo da introdução de uma ferramenta de simulação estocástica é realmente melhorar os modelos apresentados, numa forma simples e que realmente seja confiável.

A primeira melhoria introduzida através da ferramenta do Excel® permite estabelecer um fator de desvio de forma a colocar o ano início dos cálculos que se querem efetuar, ou seja, truncar uma das caudas da distribuição.

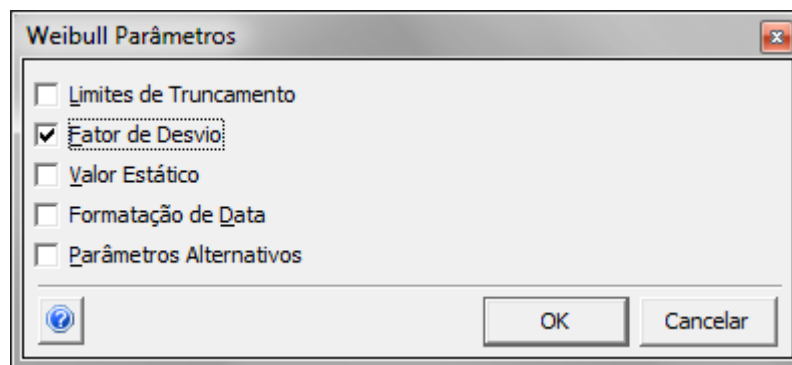


Figura 3.17 - Janela da Ferramenta com a Distribuição Weibull

Como visto no decorrer deste capítulo, a distribuição Weibull depende de dois fatores definidos como α e β para conseguir ser definida. Após estabelecer o ano de 2005 como fator de desvio é possível através de tentativas obter os valores de α e β adequados à distribuição que está a ser realizada, tendo sempre como ponto de referência o valor da

moda igual a 2012. Neste caso, o valor a ter em conta será a moda, com o objetivo de ter como referência o valor mais provável.

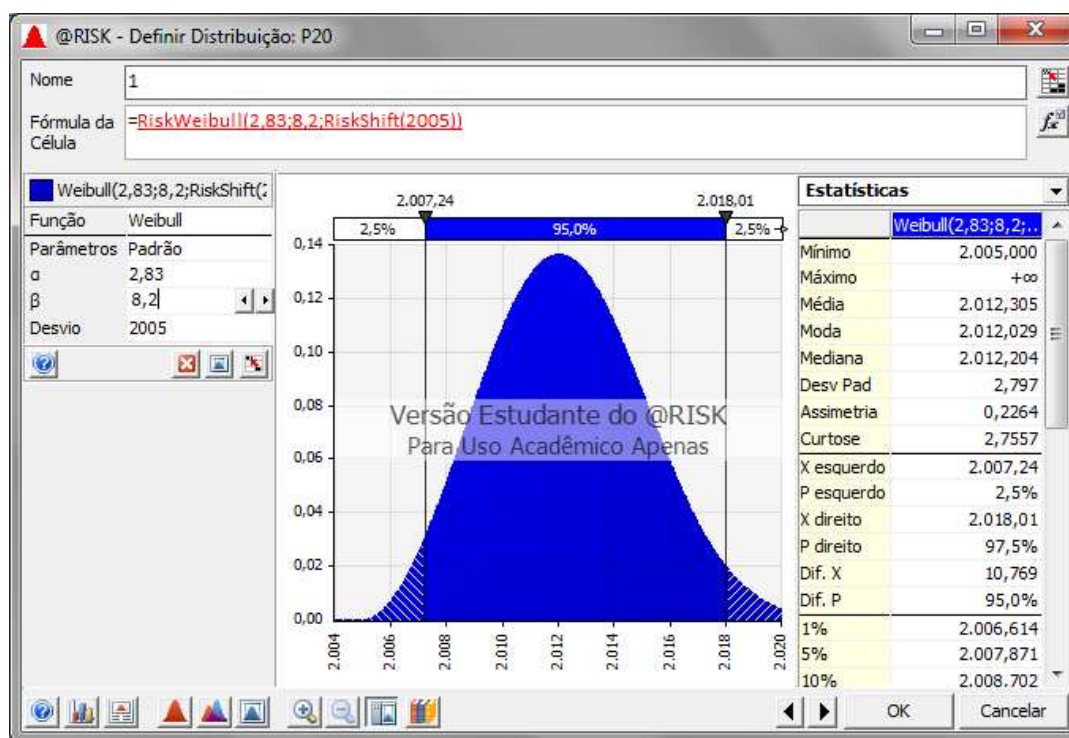


Figura 3.18 - Janela da Ferramenta @Risk com a Distribuição Weibull

Pode-se concluir, a partir desta janela da ferramenta, que com um parâmetro da distribuição de 2,83 e um fator de forma de 8,2 é possível obter a distribuição esperada. A principal diferença encontrada é que com a distribuição Weibull é possível estabelecer o ano de partida para os cálculos, pelo contrário a distribuição normal faz uma análise de $-\infty$ até $+\infty$, isto é, não estabelece um limite de tempo para a utilização das bombas, sendo do conhecimento geral que os equipamentos têm o seu tempo de vida útil, não sendo o mais apropriado para o modelo em questão. Uma vez que o cálculo começa a contemplar a vida da bomba a partir do ano de 2005 não faz sentido contabilizar o histórico anterior a esse ano, por esse motivo a distribuição de Weibull apresenta uma vantagem relativamente à distribuição Normal.

Como é possível verificar a distribuição de Weibull admite maiores densidades nas extremidades e admite que as caudas possam ser assimétricas, podendo, assim, assemelhar-se a diferentes tipos de problemas.

No caso da bomba a ser adquirida os parâmetros de forma e escala já são ligeiramente diferentes. Para esta distribuição os parâmetros de alfa e beta têm os seguintes valores, respetivamente: 3,72 para alfa e 11,1 para beta. De seguida, mostra-se o gráfico correspondente à distribuição de Weibull para a bomba nova e mostra-se a sobreposição com a distribuição Normal.

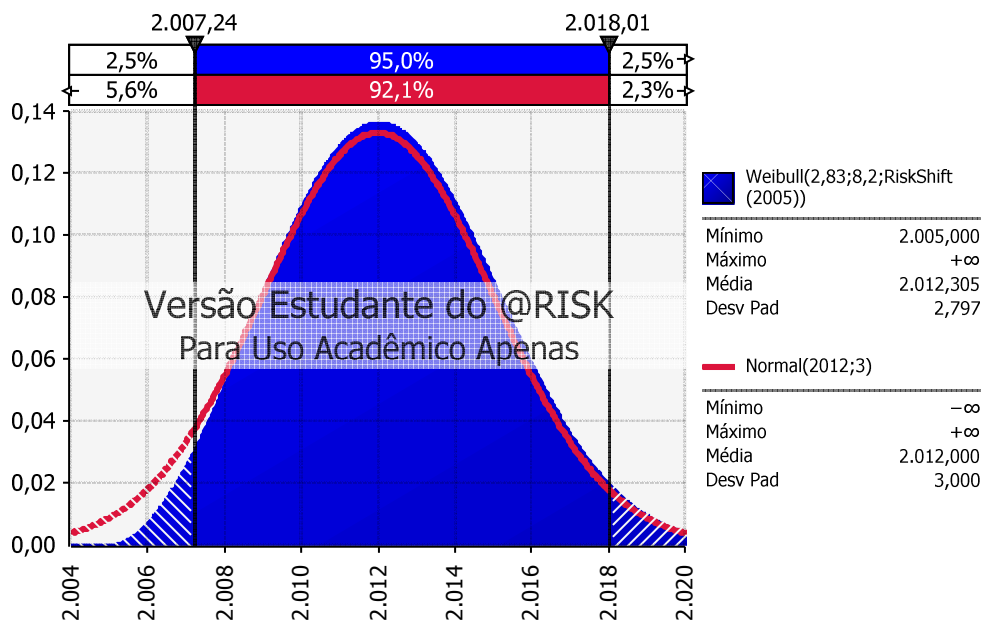


Figura 3.19 - Sobreposição da Distribuição Normal e da Weibull

Ambas as distribuições têm a capacidade de truncar a cauda do lado esquerdo da distribuição mediante o ano em que se quer obter o início da mesma. Uma das questões que se levanta no artigo é o caso da bomba sobreviver até ao ano de 2014. Mediante a possibilidade de isso acontecer, é necessário truncar a distribuição no ano 2014. Ambas as distribuições ajustam o valor da média e do desvio padrão, sendo que é possível verificar uma pequena diferença entre os valores. Também, se verifica uma diferença a nível das equações de cálculo para os mesmos parâmetros.

Com a introdução da ferramenta da Palisade – o @Risk tornou-se ainda mais simples o agrupamento dos dados e o cálculo das previsões dos custos de operação e manutenção da bomba antiga.

O quadro seguinte representa os cálculos efetuados com a ferramenta e recorrendo a uma distribuição normal, e o que se verifica é que facilmente é perceptível que a partir de 2007 deixa de ser vantajoso continuar a realizar as intervenções de manutenção na bomba antiga. Para além disso, evidencia-se que o ano mais provável de rotura é o ano de 2012, como enunciado no artigo [1], e os custos totais atualizados estão muito próximos dos retirados do artigo [1].

A ferramenta @Risk permite a criação de outputs de forma a poder realizar uma série de simulações, com o número de iterações desejadas, de forma a obter para cada output uma distribuição probabilística. Neste caso foram definidos os custos totais atualizados como os outputs a estudar e o número de iterações utilizado foram 10.000. No Anexo IV estarão os resultados dessas iterações. A partir das simulações é possível obter os custos totais para cada output, com o objetivo de retirar os custos com 75% de probabilidade de certeza que vão ocorrer. Após a recolha desses valores é possível comparar com os valores de aquisição e manutenção da bomba nova, sendo possível verificar, como refere o artigo [1], que em 2007 deixam de ser economicamente vantajosas as intervenções de operação e manutenção na bomba antiga, sendo melhor proceder à substituição do ativo.

Quadro 3.15 – Utilização da Ferramenta @Risk e da Distribuição Normal

| | Ano de Rotura | Custos de Rotura | Custos Operação e Manutenção | Custos Totais Atualizados | Custos Totais com 75% Probabilidade | Bomba Nova | Diferença |
|------|---------------|------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|
| 2005 | 2012,1 | 141.957 € | 242.718 € | 384.676 € | 393.472 € | 403.126 | -9.654 € |
| 2006 | 2012,2 | 145.843 € | 254.854 € | 400.698 € | 401.043 € | 403.126 | -2.083 € |
| 2007 | 2012,3 | 149.564 € | 267.597 € | 417.161 € | 426.314 € | 403.126 | 23.188 € |
| 2008 | 2012,5 | 153.017 € | 280.977 € | 433.993 € | 443.109 € | 403.126 | 39.983 € |
| 2009 | 2012,9 | 156.117 € | 295.026 € | 451.143 € | 459.997 € | 403.126 | 56.871 € |
| 2010 | 2013,3 | 158.820 € | 309.777 € | 468.597 € | 476.977 € | 403.126 | 73.851 € |
| 2011 | 2013,8 | 161.121 € | 325.266 € | 486.387 € | 494.196 € | 403.126 | 91.070 € |
| 2012 | 2014,4 | 163.046 € | 341.529 € | 504.575 € | 511.653 € | 403.126 | 108.527 € |
| 2013 | 2015,1 | 164.640 € | 358.606 € | 523.246 € | 529.642 € | 403.126 | 126.516 € |
| 2014 | 2015,8 | 165.954 € | 376.536 € | 542.490 € | 548.242 € | 403.126 | 145.116 € |
| 2015 | 2016,6 | 167.037 € | 395.363 € | 562.400 € | 567.589 € | 403.126 | 164.463 € |
| 2016 | 2017,4 | 167.933 € | 415.131 € | 583.064 € | 587.750 € | 403.126 | 184.624 € |
| 2017 | 2018,2 | 168.679 € | 435.887 € | 604.566 € | 608.813 € | 403.126 | 205.687 € |
| 2018 | 2019,1 | 169.303 € | 457.682 € | 626.985 € | 630.850 € | 403.126 | 227.724 € |
| 2019 | 2020,0 | 169.830 € | 480.566 € | 650.395 € | 653.931 € | 403.126 | 250.805 € |
| 2020 | 2020,9 | 170.277 € | 504.594 € | 674.872 € | 678.121 € | 403.126 | 274.995 € |
| 2021 | 2021,8 | 170.661 € | 529.824 € | 700.485 € | 703.485 € | 403.126 | 300.359 € |
| 2022 | 2022,8 | 170.993 € | 556.315 € | 727.308 € | 730.089 € | 403.126 | 326.963 € |
| 2023 | 2023,7 | 171.281 € | 584.131 € | 755.412 € | 758.002 € | 403.126 | 354.876 € |
| 2024 | 2024,7 | 171.534 € | 613.337 € | 784.871 € | 787.291 € | 403.126 | 384.165 € |
| 2025 | 2025,6 | 171.756 € | 644.004 € | 815.760 € | 818.031 € | 403.126 | 414.905 € |
| 2026 | 2026,6 | 171.954 € | 676.204 € | 848.158 € | 850.294 € | 403.126 | 447.168 € |
| 2027 | 2027,6 | 172.129 € | 710.015 € | 882.144 € | 884.160 € | 403.126 | 481.034 € |
| 2028 | 2028,5 | 172.287 € | 745.515 € | 917.803 € | 919.710 € | 403.126 | 516.584 € |
| 2029 | 2029,5 | 172.429 € | 782.791 € | 955.220 € | 957.030 € | 403.126 | 553.904 € |
| 2030 | 2030,5 | 172.558 € | 821.931 € | 994.488 € | 996.209 € | 403.126 | 593.083 € |
| 2031 | 2031,5 | 172.675 € | 863.027 € | 1.035.702 € | 1.037.342 € | 403.126 | 634.216 € |
| 2032 | 2032,4 | 172.785 € | 906.179 € | 1.078.964 € | 1.080.526 € | 403.126 | 677.400 € |
| 2033 | 2033,4 | 172.893 € | 951.488 € | 1.124.381 € | 1.125.864 € | 403.126 | 722.738 € |
| 2034 | 2034,4 | 173.055 € | 999.062 € | 1.172.117 € | 1.173.465 € | 403.126 | 770.339 € |
| 2035 | 2035,0 | 174.978 € | 1.049.015 € | 1.223.993 € | 1.223.423 € | 403.126 | 820.297 € |
| 2036 | 2035,0 | 180.227 € | 1.101.466 € | 1.281.693 € | 1.281.106 € | 403.126 | 877.980 € |
| 2037 | 2035,0 | 185.634 € | 1.156.539 € | 1.342.173 € | 1.341.569 € | 403.126 | 938.443 € |

Para as distribuições de Weibull e Pert foi realizado o mesmo raciocínio, cujas tabelas se encontram no Anexo IV, e concluiu-se que ambas dão resultados semelhantes, desde os custos totais atualizados, até ao ano de substituição pela bomba nova. A distribuição pragmática de Pert mostra-se uma solução de muito fácil aplicação.

Verifica-se que o modelo do artigo [1] torna-se mais simples com a aplicação da ferramenta informática com a mesma eficiência e obtendo resultados semelhantes. Para além disso, a ferramenta tem potencialidades que o Excel não tem, como é o caso da aplicação da distribuição Pert e o recurso à simulação estocástica. Sem a ferramenta não é possível realizar o número de simulações necessárias para conhecer a evolução da distribuição.

Para além dessas potencialidades referidas é possível, ainda, retirar do @Risk um gráfico de tendência que seja capaz de demonstrar a evolução dos custos provenientes da simulação estocástica, relacionando esses resultados com os custos associados à bomba nova.

Através da figura seguinte é possível verificar a tendência de evolução da média da distribuição e o seu comportamento em cada ano, assim como a evolução dos custos de operação e manutenção e risco de rotura da bomba existente ao longo do tempo.

É, ainda possível, analisar qual o ano em que a linha de custos da bomba nova cruza com a curva da bomba antiga.

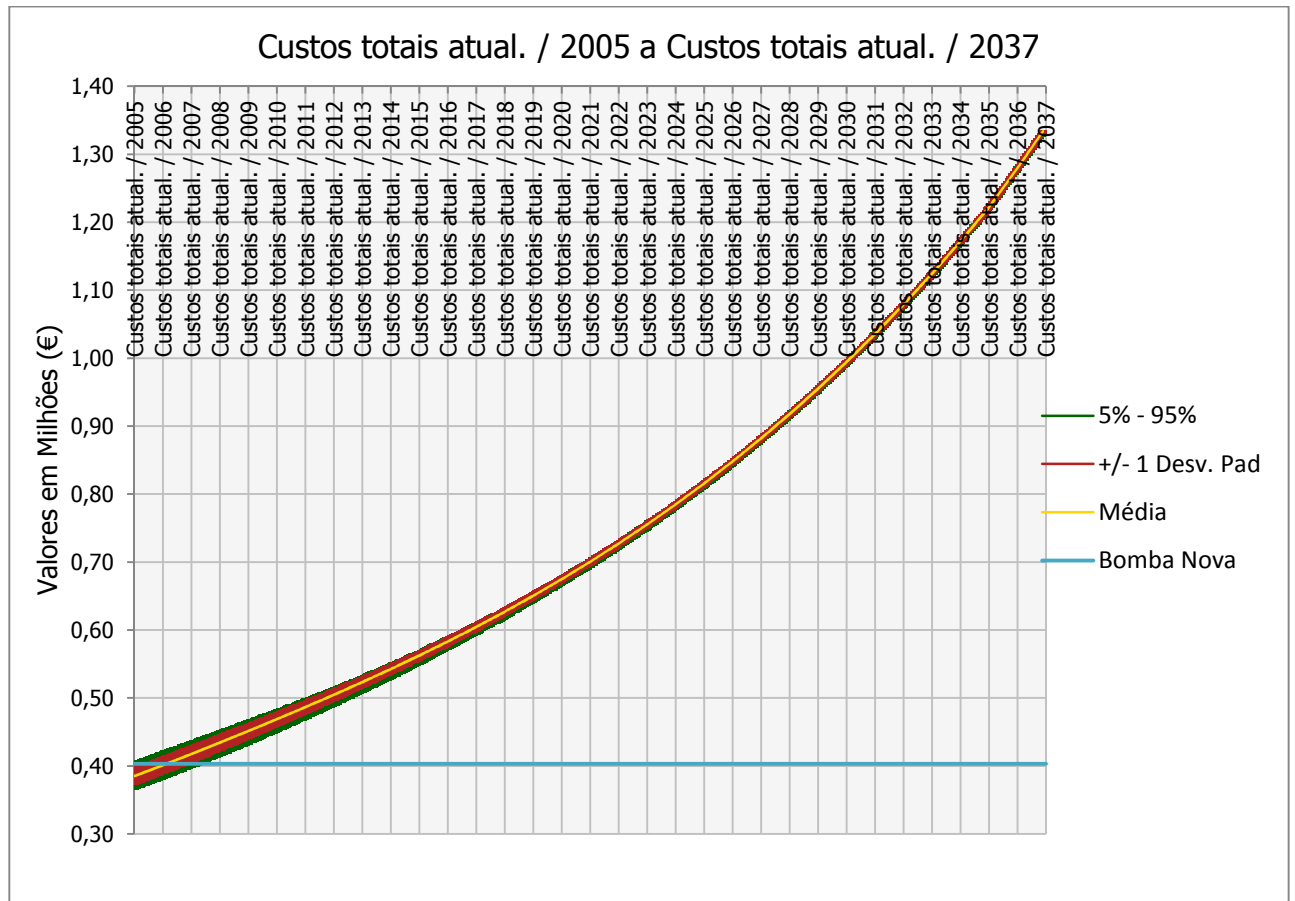


Figura 3.20 – Gráfico de Tendência da Distribuição Normal para a Bomba Antiga

3.4. Conclusões deste Capítulo

Após a análise da informação constante neste capítulo é necessário retirar conclusões sobre alguns pontos fundamentais, como é o caso dos resultados obtidos a partir dos cálculos efetuados: qual a melhor distribuição de densidade de probabilidade a utilizar neste problema e, sobretudo, qual a solução a adotar para as infraestruturas estudadas.

Analisando os elementos anteriores e o conhecimento em ativos o que se pode afirmar é que realmente os ativos falham, muitas vezes inesperadamente, por força da deterioração causada pelo passar do tempo, outras vezes pelo fim da sua vida útil, mas a verdade é que simplesmente falham e associado a essas falhas vem sempre um custo, quer de manutenção, quer de substituição quando essa for a alternativa a seguir.

O que de facto se quer apurar no conceito de gestão de risco de ativos pode passar por responder às seguintes questões:

- Como falham os ativos?
- Qual a frequência dessas falhas?
- Qual o impacto das falhas?

São questões que uma vez respondidas possibilitam fazer uma adequada gestão dos ativos de uma organização, bem como alargar esta abordagem para as decisões sobre o capital a investir nesta temática. Em situações em que os programas de gestão de ativos estão adequadamente desenvolvidos rapidamente se identifica a gestão de riscos como uma área com melhores e imediatos benefícios [1].

As soluções de manutenção e gestão de ativos são, hoje em dia, uma ferramenta cada vez mais de suporte à tomada de decisão.

Com base nas tabelas deste capítulo é possível concluir que os dados sobre os custos de manutenção dos componentes dos sistemas são preponderantes para se conseguir efetuar uma análise de risco e estabelecer um padrão de comportamento para esses diferentes

elementos. Após conhecido esse comportamento é possível fazer previsões sobre a duração da sua vida útil, bem como ter a confiabilidade necessária para tomar decisões sobre a manutenção dos mesmos ou, eventualmente, sobre a necessidade de substituição, em casos de falhas com maior importância e maior impacto para os consumidores.

Relativamente às duas distribuições de probabilidade mais usadas, Normal e Weibull, ambas são bastante semelhantes no seu método de atuação, mediante as necessidades do problema deve ser escolhida aquela que melhor se adotar.

A distribuição Normal baseia-se na média e no desvio padrão da distribuição para estabelecer o seu comportamento, enquanto a distribuição de Weibull estabelece dois fatores para estabelecer esse comportamento. A principal diferença entre ambas, e que se apresenta como uma vantagem em relação à outra, é que a distribuição de Weibull tem a capacidade de estabelecer um ano de partida para o cálculo da distribuição. No caso da Normal a análise é feita sempre para mais e menos infinito, não sendo possível apenas ter um ano de ponto de partida para efetuar uma análise mais criteriosa dos factos. Para além disso a Weibull permite um maior peso nas caudas da distribuição, não seguindo o padrão de igualdade entre cada lado da curva de distribuição.

Com a introdução da ferramenta da Palisade e das distribuições pragmáticas simplifica-se bastante o modelo apresentado, concluindo-se que o modelo do artigo [1] pode ainda ser melhorado com a introdução de ferramentas informáticas, que simplificam os cálculos necessários e continuam com um nível de eficiência dos resultados elevados. Como este era um modelo relativamente simples e com a disponibilidade de diversos dados do histórico do ativo foi fácil a aplicação da distribuição normal, contudo esta já não seria a melhor escolha quando os dados não estivessem disponíveis. Como referido ao longo deste capítulo pode-se recorrer à experiência dos elementos das empresas para estimar o comportamento dos ativos, e, com recurso às distribuições pragmáticas esses elementos podem facilmente

obter os resultados pretendidos, desde os custos totais de operação e manutenção dos ativos, bem como até que ano é economicamente vantajoso continuar com os ativos em funcionamento.

Quanto mais dados estiverem disponíveis para a análise do sistema da empresa de facto é melhor, contudo não se mostra um problema sem resolução quando eles não existem. Desde que se siga, por exemplo, o guia [38] é possível definir uma estratégia para desagregar as diferentes informações dos ativos e estimar os dados necessários para o uso duma distribuição pragmática.

Analisando, agora, os resultados obtidos para as duas bombas, o que se concluiu é que nem sempre é mais vantajoso partir para a substituição imediata das infraestruturas quando elas já apresentam um grau de envelhecimento elevado. Se a empresa tiver disponível um histórico sobre as falhas do equipamento, o custo das intervenções respeitantes a essas falhas, bem como o histórico das manutenções preventivas é possível, através duma criteriosa análise de risco, prever a data para a qual compensará a substituição da infraestrutura.

Esta informação é extremamente importante para evitar que ocorra uma falha de extrema importância que coloque em risco o bom funcionamento do sistema de abastecimento de água e, por sua vez, pôr em causa a satisfação dos clientes, bem como as suas necessidades.

Este artigo é um exemplo perfeito de que recorrendo a uma análise de risco é possível fazer um uso mais eficiente das infraestruturas, explorando, ao máximo, as suas potencialidades, bem como perceber até quando é possível tirar partido do seu funcionamento. Também, este artigo serve para refletir sobre a importância que as empresas dão à gestão dos seus ativos, bem como das informações que necessitam ter que lhes permita realizar

paralelamente uma adequada análise de risco, de forma a gerir de uma forma adequada os seus ativos.

De referir, ainda, que este artigo é do ano de 2005 o que mostra a grande preocupação de outros países com a questão da gestão de ativos. Passados oito anos, em Portugal, começa já a haver uma maior consciencialização para esta temática, contudo, e como frisado no artigo, as empresas não sabem bem que tipo de informações necessitam para esta análise e, também, ainda não têm o conhecimento suficiente sobre este tema.

4. Aplicação do Caso de Estudo a dados da Águas do Douro e Paiva

4.1. Apresentação do caso de estudo

Neste capítulo é aplicado o estudo desenvolvido a um caso de uma estação elevatória da empresa, contabilizando os custos de manutenção dos grupos de bombagem dessa infraestrutura.

Para obter estes dados recorreu-se ao histórico do registo de manutenções da AdDP, por forma a organizar todas as intervenções por tipo de manutenção e registar os custos anuais das intervenções.

A infraestrutura selecionada, como se verá mais À frente, foi a estação elevatória de Milheirós de Poiares, que serve a população de Santa Maria da Feira. Esta estação é constituída por três grupos de bombagem adquiridos em 2001, cada um com potência de 160kW e com a capacidade de bombear um caudal de 324m³/h. É de referir que as bombas não estão a trabalhar em simultâneo, e apenas duas delas precisam de o fazer, alternando com a introdução da terceira bomba e paragem de uma das outras.

O sistema de informação da empresa está todo ele documentado em duas plataformas informáticas. São elas o WinMac, plataforma mais antiga, e mais recentemente o MAXIMO. Estas duas ferramentas informáticas foram adquiridas pela empresa com o objetivo de organizar as informações das infraestruturas, desde a organização e programação das ordens de trabalho de manutenção a efetuar, bem como todos os custos inerentes a essas intervenções e, também, as horas de trabalho associadas.

Ambas as ferramentas permitem realizar uma adequada gestão da manutenção dos ativos e do seu ciclo de vida [40], embora na empresa já não seja utilizado o Win Mac.

No caso da plataforma do MAXIMO esta tem algumas características importantes que devem ser realçadas, mostrando, também, as vantagens de investir numa plataforma com inúmeras potencialidades [40]:

- Capacidade de registar aspetos como a implementação, as especificações, a calibração, os custos e a monitorização dos ativos da organização através de um sistema único;
- Permitir a gestão do trabalho de manutenção para atividades planeadas e não planeadas. Inclui o planeamento de manutenções preventivas e corretivas, a curto e longo prazo;
- Gestão do planeamento, otimização de recursos e indicadores de desempenho importantes;
- Realizar um inventário planeado com recurso à gestão de stocks, compras, dando resposta às necessidades de manutenção, disponibilizando as peças certas no local certo sempre que necessário;
- Controlar os custos operacionais, de manutenção e de inventário.

É importante salientar que o software MAXIMO só entrou na empresa a partir do ano de 2007.

Nesta dissertação serão apenas analisadas informações desde 2006 até ao ano de 2012, uma vez que é o período que tem um maior número de informações disponíveis para tratamento. Apesar de ser um estudo académico, pretende-se contribuir com metodologias úteis para a melhoria dos sistemas de manutenção existentes, tendo como referência a redução dos custos de manutenção para se poder, eventualmente, estender esta metodologia a outras infraestruturas.

Constata-se que, não estão disponíveis informações sobre os custos de operação de cada grupo de bombagem, porque não se encontram desagregados por ativo. Assim, no âmbito

deste trabalho, optou-se por assumir, por simplificação que os custos operacionais eram aproximadamente idênticos em todos os grupos de bombagem.

As informações foram tratadas de acordo com o código de localização associado a cada infraestrutura. De acordo com esse código, pode-se identificar os ativos que são intervencionados. Com efeito, a manutenção usa esse código de localização e, quando necessário, é emitida uma ordem de trabalho que identifica o código do problema detetado na infraestrutura, o tipo de intervenção de manutenção a realizar, bem como o código representativo dessa intervenção, para ser realizado o registo da intervenção. Na ordem de trabalho, é ainda descrito o problema ocorrido ou alguma informação mais importante a detalhar. Devem ainda ficar registadas na plataforma as datas de ocorrência dos acontecimentos, bem como o tempo de resolução das situações e os custos associados às intervenções.

As causas das avarias ou falhas são identificadas, também, com um código. Existem seis diferentes:

- 3001 – Falta de manutenção;
- 3002 – Manutenção deficiente;
- 3003 – Desgaste;
- 3004 – Deficiente operação;
- 3005 – Deficiência no projeto;
- 3006 – Causas não identificadas.

Ao analisar o histórico de falhas é possível concluir que a maioria das falhas tem como causa o desgaste natural dos ativos, decorrente da atividade de abastecimento.

Para além disso, é necessário contabilizar o ano de aquisição dos ativos e da sua entrada em funcionamento, bem como as projeções para a sua vida útil.

Após a recolha das informações necessárias a partir da plataforma do MAXIMO, foi necessário agrupar as falhas que respeitam aos grupos de bombagem, para ser mais fácil analisar o tipo de manutenção mais frequente, bem como os custos associados às intervenções. Os custos contabilizados são custos de mão-de-obra, serviços e material. Na ferramenta MAXIMO, as intervenções de manutenção separam-se em duas distintas: manutenções corretivas e manutenções preventivas, dividindo-se, automaticamente também os custos associados a cada tipo de intervenção. Nas manutenções corretivas são considerados, ainda, os seguintes tipos de intervenções, que para efeitos de cálculos foram todos identificados com um número simbólico:

1. Ação Preventiva;
2. Ação Genérica;
3. Ação Corretiva Não Avançada;
4. Ações de Inspeção;
5. Ações de Instalação/Montagem;
6. Manutenções Corretivas Não Urgentes;
7. Manutenções Corretivas Urgentes;
8. Ações de Melhoria;
9. Revisões Gerais;
10. Ações de Segurança;
11. Tarefas de Acompanhamento.

A próxima tabela representa o número de ordens de trabalho geradas, de acordo com o tipo de manutenção, relativas a Estações Elevatórias da empresa.

Quadro 4.1 – Número de Ordens de Trabalho

| | Manutenção Corretiva | Manutenção Preventiva |
|---|----------------------|-----------------------|
| Captação Lever Montante | 65 | 395 |
| Captação Ponte da Bateira | 42 | 389 |
| EE Louredo/Paredes | 21 | 115 |
| EE Cova Lixa | 18 | 114 |
| EE Feiteira | 9 | 132 |
| EE Vale Ferreiros | 46 | 186 |
| Estação Elevatória de Ramalde | 16 | 53 |
| ETA Castelo de Paiva | 39 | 230 |
| ETA de Lever | 12 | 396 |
| ETA do Ferreira | 27 | 45 |
| ETA do Ferro | 12 | 70 |
| Reservatório de Figueiró | 4 | 7 |
| Reservatório e Elevatória de Arrifana | 22 | 75 |
| Reservatório e Elevatória Pombeiro Ribavizela | 20 | 64 |
| Reservatório e Elevatória de Sta. Eulália | 34 | 168 |
| Reservatório e Elevatória de Cunha | 30 | 31 |
| Reservatório e Elevatória de Escariz | 97 | 121 |
| Reservatório e Elevatória de Jovim | 42 | 419 |
| Reservatório e Elevatória de Lagoa | 23 | 249 |
| Reservatório e Elevatória de Milheirós de Poiares | 22 | 112 |
| Reservatório e Elevatória de Moselos | 31 | 121 |
| Reservatório e Elevatória de Portela Rans | 56 | 142 |
| Reservatório e Elevatória de S. João Ver | 41 | 326 |
| Reservatório e Elevatória de S. Vicente | 27 | 113 |
| Reservatório e Elevatória de Seixo Alvo | 13 | 116 |
| Total | 769 | 4189 |

De acordo com esta tabela, é perceptível que a empresa tem apostado na manutenção preventiva como uma medida para evitar as avarias dos grupos, reduzindo a probabilidade de possíveis colapsos da rede de distribuição em alta.

De acordo com a tabela anterior, o Reservatório e Elevatória de Jovim é a instalação que apresenta um maior número de ordens de trabalho registadas, admitindo-se que os custos de manutenção e operação sejam, também, os mais elevados. A instalação de Jovim é constituída por 8 bombas, sendo que metade foi adquirida no ano de 1999 e as restantes, que já existiam antes dessa data foram submetidas a uma grande beneficiação, algum

tempo mais tarde. Para além disso, são bombas que elevam uma grande quantidade de caudal, o que confirma que o desgaste provocado pelo uso das bombas, ao longo do tempo, aumenta a necessidade de manutenção das mesmas.

A Captação de Lever mostra-se, também, uma infraestrutura que requer bastantes atividades de manutenção. Esta instalação encontra-se em exploração desde 2000 e é constituída por 6 bombas. No que diz respeito ao caudal, eleva uma quantidade muito superior à da instalação de Jovim, embora as bombas tenham uma potência inferior, dado que têm uma altura manométrica menor.

Também a Estação Elevatória de São João de Ver denota ser de ter em atenção, pelas inúmeras intervenções, sendo uma instalação do ano de 2001, com 3 bombas, cuja rotura não esperada de uma delas pode trazer um grande inconveniente para o sistema de abastecimento.

No Anexo III está uma tabela identificativa das características destas instalações. Esta infraestrutura tem sofrido algumas intervenções de beneficiação nos seus grupos de bombagem, com o objetivo de melhorar a eficiência das bombas.

Como esperado, estas infraestruturas apresentam custos de manutenção elevados, tendo sido organizados por ano e por tipo de manutenção, como mencionado nos pontos anteriores. Neste capítulo, apenas se apresentam as informações da Estação Elevatória de Milheirós de Poiares, que se selecionou para aplicar o modelo de análise anteriormente desenvolvido.

Optou-se por essa instalação, com um número de intervenções e importância menores que as referidas acima precisamente por permitir focar um caso de aplicação numa infraestrutura que não é uma das mais relevantes, evitando a pressão associada à recolha de dados de uma infraestrutura reconhecidamente crítica.

4.2. Custos de Operação e Manutenção

Apesar de existir um maior número de intervenções de manutenção preventiva, o que se verifica é que é a manutenção corretiva que representa a fatia mais significativa no que diz respeito aos custos de manutenção. Isto não significa que a maior atenção não corresponde à preventiva. Só que, em valor, a corretiva assume maiores custos, o que pode resultar do simples facto das avarias poderem conduzir a gastos fora do habitual. Como esperado, as infraestruturas com uma maior número de intervenções são aquelas que apresentam maiores custos associados.

Nos anos de 2007 e 2008 foi possível discriminar os valores das manutenções preventivas, e no ano de 2009 os custos deste tipo de manutenção são muito reduzidos. Os custos da manutenção mais elevados ocorreram no ano de 2010. Na maioria das instalações, este ano é o mais relevante em termos de custos de manutenção, apresentando sempre valores elevados, talvez como consequência das infraestruturas já estarem a meio do chamado período de vida útil. Para além disso, os custos com as beneficiações têm sido recorrentes, devido ao investimento na melhoria da eficiência das bombas através de processos como o da vitrificação, já descrito anteriormente.

A estação elevatória de Milheirós de Poiães, ao longo dos anos, tem sido uma infraestrutura com um comportamento regular. Os custos obtidos mais elevados registam-se nos anos de 2008 e 2011 e devem-se a beneficiações realizados nos grupos de bombagem. Em 2006 foi adquirida uma bomba OMEGA elevando assim os custos de intervenção na estação elevatória.

No ano de 2008 foram intervencionados dois motores, de duas bombas, com um custo de 2992€ cada um, por isso mesmo os custos aumentaram significativamente. Já nos seguintes anos de 2011 e 2012 as intervenções realizadas mais significativas em termos de custos são

a beneficiação do grupo de bombagem número 3 e as beneficiações dos grupos 1 e 2, respetivamente.

Neste ponto, é de referir que a quantidade de informação disponível na empresa ainda não é muito elevada. Admite-se que, à medida que os anos passarem e tendo a noção dos dados que interessa reter (em função dos modelos de análise que se utilizarem) é natural que os dados disponíveis vão aumentando em número.

Estes dados foram recolhidos e analisados com a ajuda de um colaborador (Eng.º Alberto Afonso) da empresa, que se pode considerar como um perito ou especialista, para efeitos da discussão de dados realizada, pela experiência que detém na área da manutenção. O resumo dos valores totais de custos e para cada grupo de bombagem estão registados no seguinte quadro.

De acordo com o artigo que serviu de base para o desenvolvimento deste modelo, é necessário atualizar os custos para o ano corrente, isto é, conhecer qual o valor dos custos no ano de 2013. Assim, com a ajuda de um Diretor da área financeira da empresa, foi possível escolher uma taxa de juro aceitável para essa atualização, tendo-se recorrido a uma taxa de atualização de 6,77% que é a taxa de juro dos empréstimos a curto prazo com que a empresa se depara atualmente. Ainda se colocou a hipótese de recorrer a outras taxas de atualização, que poderia ser a taxa de inflação anual registada ao longo dos anos em causa, dado que se trata de atualizar para o presente um conjunto de valores ocorridos no passado. Contudo, para efeitos desta aplicação académica optou-se por manter a taxa sugerida pela área financeira da AdDP, podendo esta opção ser aprofundada em futuras aplicações da metodologia estudada.

Quadro 4.2 – Custo Total para a EE de Milheirós de Poiares

| Total | Total/ano | Total/grupo/ano |
|--------------|------------------|------------------------|
| 75.486,15 € | 10.783,74 € | 3.594,58 € |

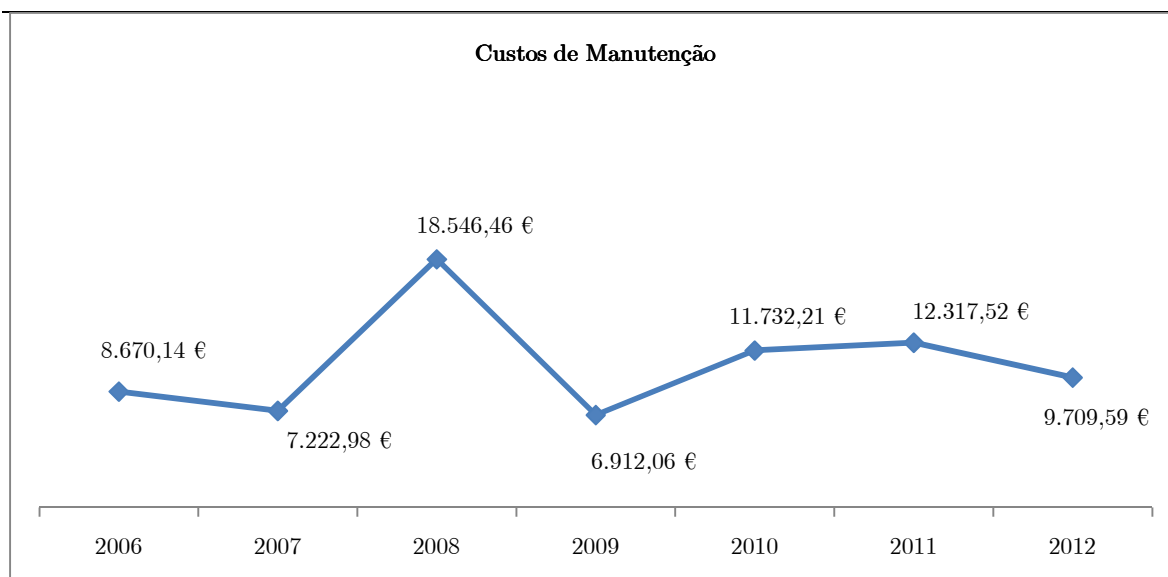


Figura 4.1 – Custos de Manutenção da EE de Milheirós de Poiars, atualizados a 2013

Com estes custos é possível perceber qual a tendência de evolução por ano dos custos de manutenção da estação elevatória de Milheirós de Poiars. O quadro seguinte mostra que um crescimento de 7% representa bem o comportamento de crescimento destes custos de manutenção.

Quadro 4.3 – Custos Totais Atualizados, por Ano, para o Conjunto das 3 Bombas

| Totais | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Total dos Custos/Ano | 5.481 € | 4.876 € | 13.366 € | 5.319 € | 9.639 € | 10.805 € | 9.094 € |
| Atualizados a 2013 (6,77%) | 8.670 € | 7.223 € | 18.546 € | 6.912 € | 11.732 € | 12.318 € | 9.710 € |
| Acumulado | 8.670 € | 15.893 € | 34.440 € | 41.352 € | 53.084 € | 65.401 € | 75.111 € |
| 7,1% | 8.670 € | 9.281 € | 9.936 € | 10.636 € | 11.386 € | 12.189 € | 13.048 € |
| Acumulado | 8.670 € | 17.952 € | 27.887 € | 38.523 € | 49.909 € | 62.098 € | 75.146 € |

Segundo o perito da empresa na área da manutenção o custo de aquisição de um grupo de bombagem novo rondaria os 30.000€, ou seja, cerca de 15.000€ para o motor, mais 10.000€ para a bomba, incluindo mais 3.000€ para o chassis e ainda contabilizando os custos da montagem do equipamento.

Recorrendo ao mesmo especialista da empresa, o que se conseguiu estimar foi que os motores deverão ser intervencionados de 4 em 4 anos e as bombas deverão precisar ser

beneficiadas de 5 em 5 anos, com um custo respetivo na ordem dos 3.000 e 2.500€, para cada ativo.

Com todos estes dados e fazendo uso das distribuições pragmáticas já descritas no capítulo terceiro é possível estimar o comportamento da infraestrutura a longo prazo. Para isso, é necessário encontrar o valor mínimo, mais provável e máximo para prever situações em que possa ocorrer alguma situação fora de normal, uma eventual rotura, ou uma avaria de um equipamento mais caro. Apesar da experiência do especialista, o objetivo é desenvolver uma análise bem fundada e ajustada à realidade. Como mencionado, na bibliografia [38], pode-se tirar partido dos benefícios das distribuições pragmáticas, para estimar o comportamento do ativo, em situações onde não há muitos dados de base, como é o presente caso. Inicialmente a metodologia passa por dividir os diferentes custos associados a uma possível intervenção de beneficiação do grupo de bombagem. Quando são contabilizadas este tipo de intervenções ainda é necessário ter em consideração as peças constituintes dos grupos de bombagem que, por sua vez, se mostram desgastados e necessitam de manutenções.

Para melhorar o processo de definição de distribuições pragmáticas que traduzem o melhor possível os custos, em vez de se definirem os mínimo e máximo, para os custos de manutenção, procura-se definir o valor próximo do mínimo e do máximo que representem os percentil 5 e 95, com a ajuda do perito da empresa. Isso conduziu para o percentil 5, ao valor de 6.500€ contemplando as avarias de um pouco dispendioso: reparações de fugas, avarias em empanques, uma beneficiação do motor. O valor mínimo da distribuição, correspondente ao percentil 0, para o percentil 5, sendo muito difícil de estimar (pois nunca ocorre). Com o software da Palisade, permite definir distribuições com os percentis 5 e 95 o que facilita a ação de estimar valores com o auxílio de peritos.

Da mesma forma que se encontrou o valor para o percentil 5, faz-se uma estimativa para tentar encontrar um valor máximo, neste caso o valor do percentil 95, que estará próximo do valor máximo da distribuição. Este valor ocorrerá em anos com situações anormais, com custos mais elevados, que podem ser, por exemplo, beneficiação de todo o grupo de bombagem, avarias nos variadores de velocidade, substituição de elementos mais caros, anéis de desgaste, camisas de empanque.

Define-se, por fim, o valor mais plausível corrente dos custos registados para esta estação elevatória. Considerou-se que o valor mais provável é de cerca de 11.000€. Refira-se, ainda, que estes valores todos já se consideram atualizados para o ano de 2013.

Após a análise de todos estes potenciais custos chega-se à conclusão que o 95º percentil pode ter um valor de 20.000€.

Com recurso ao @Risk, em Microsoft Excel®, é possível estabelecer a distribuição pragmática Pert, com os parâmetros alternativos (para definição via percentis) e valores associados, o resultado obtido é o seguinte:

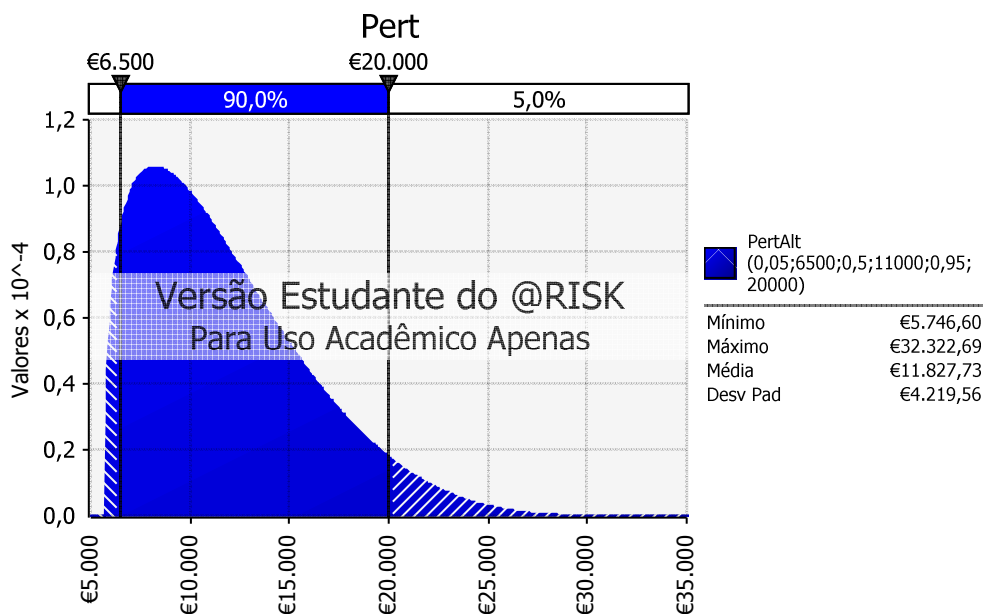


Figura 4.2 – Distribuição Pert

Do gráfico representado, o que se conclui é que realmente, através da formulação da distribuição pelos percentis 5 e 95 escolhidos, se obtêm os valores mínimo e máximo, respetivamente, de 5.747€ e 32.323€.

Da mesma forma é possível alargar esta abordagem à percentagem de crescimento dos custos associados à manutenção dos grupos de bombagem. Para esta estação elevatória, a percentagem de crescimento dos custos por ano é cerca de 7%. Novamente, usa-se a mesma abordagem, isto é, estabelecer valores para o percentil 5 e para o 95, estima-se um valor mais plausível, que representa a moda da distribuição. O valor definido para o 5º percentil foi apurado e situa-se nos 2%, enquanto para a moda se utilizam os 7% e para o 95º percentil o especialista estabeleceu um valor de 12%. Este valor pode tentar representar algumas estações elevatórias que, não sendo a maioria, são as mais significativas em termos de custos e, por sua vez, uma rotura inesperada pode ser um problema grave para a empresa.

Destes valores resulta o seguinte gráfico que representa a percentagem de aumento dos custos de manutenção, por ano, nas estações elevatórias.

O resultado obtido, após a aplicação da distribuição Pert, foi adicionado como um output para se realizar as dez mil iterações possíveis no @Risk e obter um resultado mais eficaz.

O gráfico seguinte é resultado das simulações efetuadas.

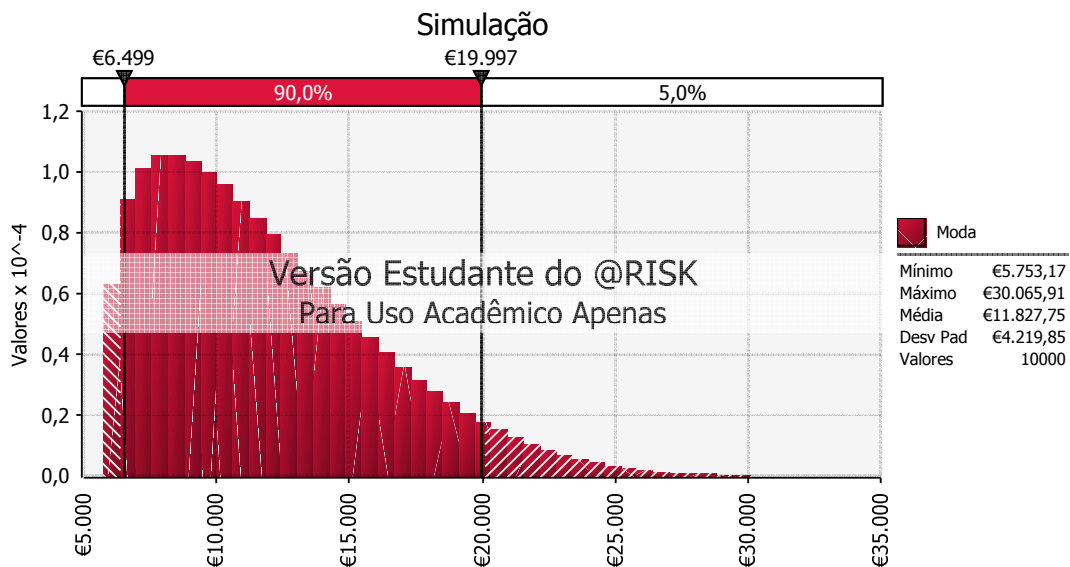


Figura 4.3 – Aplicação da Simulação Estocástica

É possível verificar que os valores do mínimo e máximo são diferentes dos obtidos apenas através da aplicação da distribuição Pert, após a análise de dez mil simulações. Com estes resultados é possível obter um relatório disponibilizado pela ferramenta informática que está presente no Anexo V. Este relatório agrupa os valores da nova distribuição resultante das iterações.

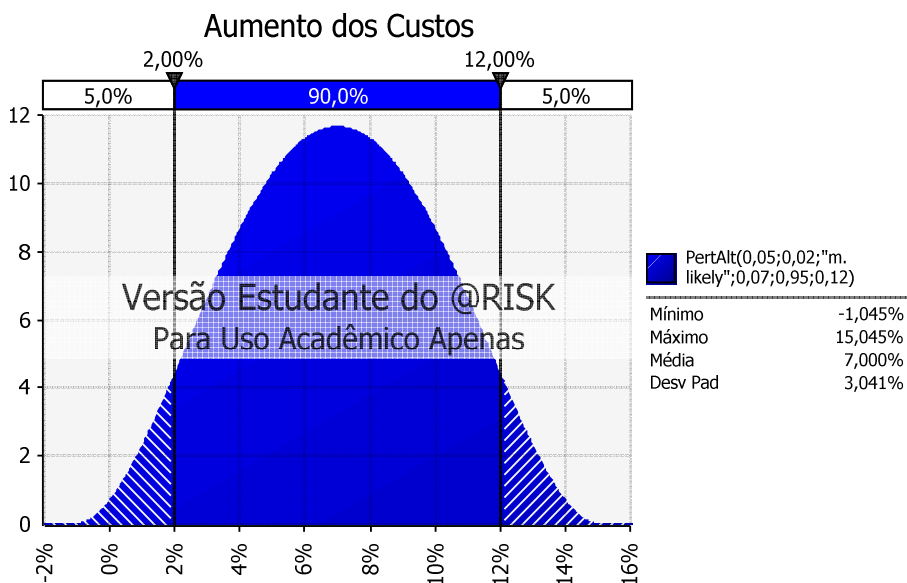


Figura 4.4 - Distribuição Pert para o Aumento dos Custos

No caso da percentagem de aumento dos custos de manutenção o máximo obtido para este critério é um aumento de cerca de 15% ao ano. É um aumento para apenas um ano, porém, a opinião do perito em manutenção é de que é bem possível que num ano mais complicado se verifique um aumento de tal ordem.

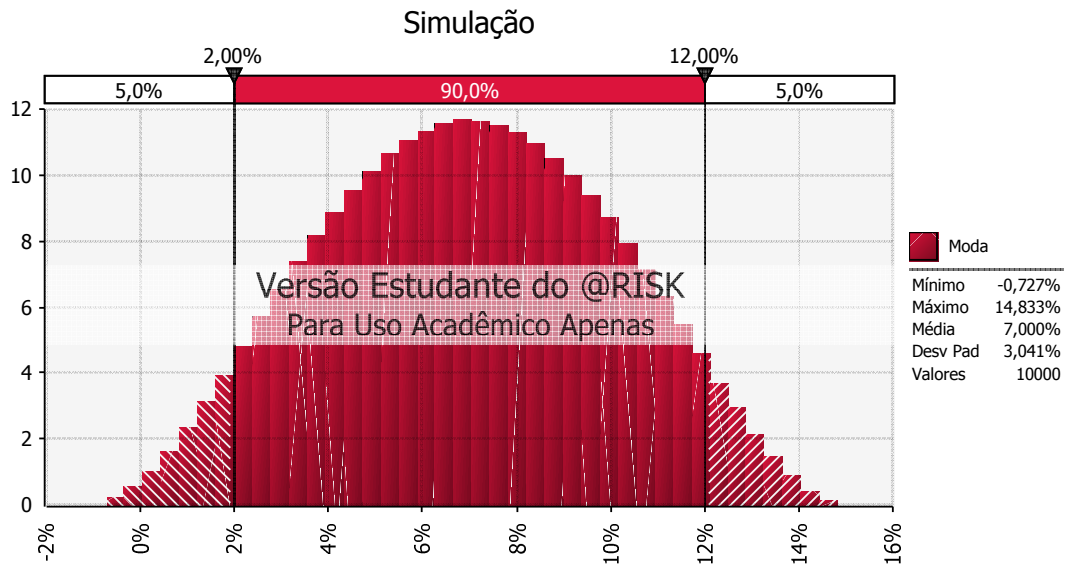


Figura 4.5 – Aplicação da Simulação Estocástica

4.3. Notas Finais do Capítulo 4

O que se conclui de imediato neste capítulo é que as ferramentas informáticas podem ser uma excelente base para o armazenamento do histórico dos ativos, desde que seja, inicialmente, previsto o que registar e como deve ser feito esse registo, de forma a estabelecer um grau de desagregação das informações. É uma vantagem para a empresa saber quais os custos de aquisição de um ativo, os custos de operação e manutenção que esse ativo tem, por exemplo o caso de grupos de bombagem, em cada ano. É uma mais-valia conhecer o comportamento das infraestruturas e poder estimar de quanto em quanto tempo os equipamentos necessitam de operações de beneficiação ou de substituição.

Outro aspeto a concluir é que os grupos de bombagem denotam ter comportamentos diferentes. Todos eles têm capacidades e potências diferentes, que podem influenciar, não só o seu desgaste, mas também a duração do seu período de vida útil. A ajuda dos especialistas da empresa pode ser rentabilizada, pela sua experiência, pois podem ser fundamentais para estudar a tendência de crescimento dos custos de manutenção e operação dos ativos.

A empresa poderá aproveitar o facto de ainda não terem introduzido uma política de gestão de ativos com maior nível de desagregação dos dados de intervenções, para o começarem a fazer, e, assim, tornar ainda mais rentável o seu histórico. O objetivo seria identificar separadamente os custos de manutenção as intervenções consideradas como operações. Com este procedimento era ainda possível assemelhar este estudo ao realizado no artigo [1], que tem no seu registo o histórico dos custos de manutenção e operação, bem como os custos do risco de rotura do ativo estudado.

O recurso à opinião de especialistas das empresas pode sempre vir associado a alguma incerteza. Contudo, como referido em [38], na análise dos valores apontados como possíveis

para representar a moda e os percentis, procurou-se seguir a metodologia apresentada por esse autor.

Foram separados os custos associados aos elementos constituintes do ativo, foram analisados quais esses custos. Os valores apresentados foram ponderados e discutidos com o perito e com o orientador. Foram depois considerados os mais aceitáveis para a realização do estudo.

É verdade que existem falhas e ocorrências impossíveis de controlar, mas com todas as atividades de manutenção, com toda a experiência de quem trabalha na empresa é mais fácil tentar evitar que tal aconteça.

Após a análise criteriosa de todos os dados desagregados, o objetivo era ser o mais realista possível no que toca à utilização das distribuições pragmáticas. É de realçar a simplicidade associada ao funcionamento da distribuição de Pert, quando utilizada na ferramenta @Risk. Com apenas três parâmetros estabelece-se o comportamento de um ativo dado ou “input” do modelo, recorrendo aos valores mínimo, moda e máximo previsto. Neste caso, e com o objetivo de tornar este modelo ainda mais eficaz e com menos erros associados, estima-se o comportamento da distribuição através dos percentis 5 e 95 e a moda (valor mais plausível ou mais frequente, e que é relativamente simples de estimar por peritos). Com estes valores, a própria ferramenta devolve o valor mínimo e máximo esperados da distribuição, mas que podem ter probabilidade nula (percentis 0 e 100 respetivamente), seriam muito difíceis de estimar.

Após a análise do caso de estudo apresentado pode-se concluir que a Estação Elevatória de Milheirós de Poiães pode ter custos de manutenção e operação superiores ao que o especialista da empresa acha mais provável ocorrer, isto é, através da distribuição de Pert é possível prever o custo máximo de manutenção para aquela infraestrutura. Através da aplicação da simulação estocástica, e, depois de correr as simulações necessárias para a

obtenção de resultados, verifica-se que o valor máximo que os custos de manutenção e operação pode ser ligeiramente inferior aos custos apresentados pela distribuição pragmática, concluindo-se, assim, que através da simulação é possível prever com mais certeza qual o valor máximo para estes custos. Por isso mesmo, a Estação Elevatória de Milheirós de Poiães pode atingir um máximo de custos de manutenção e operação na ordem dos 30.000€.

Para além disso, no que diz respeito à taxa anual de evolução dos custos, que o especialista previu o seu valor mais provável como cerca de 7% pode atingir um máximo de 14%, num ano em que realmente os custos de manutenção atinjam o seu valor máximo. Este caso mostra como pode ser simples a utilização de ferramentas de simulação estocástica e como o seu uso pode ser diversificado, o que pode mostrar ser um benefício para a empresa. Não precisa de ser, necessariamente, uma empresa do setor do abastecimento de água e saneamento, mas qualquer empresa que tenha atividades onde a tomada de decisão, no seu dia-a-dia, pode recorrer a este tipo de modelos, bem como às ferramentas informáticas disponíveis para isso.

5. Considerações Finais

Os ativos apresentam falhas ao longo do tempo e, apesar de todas as intervenções de manutenção e de todas as beneficiações realizadas pode existir sempre a possibilidade de ocorrer uma falha inesperada. É essencial evitar a ocorrência desse tipo de falhas “catastróficas” de forma a evitar custos de rotura inesperados. Por isso, uma boa metodologia para estimar o tempo de ocorrência de falhas mais complexas ou de maior risco, é essencial para diminuir os custos associados às falhas. O conhecimento das infraestruturas, do seu comportamento, das atividades de manutenção requeridos regularmente, saber quais são aquelas que apresentam um maior número de falhas e custos associados é essencial para controlar os custos de operação e manutenção.

Para além disso, conhecendo o comportamento das infraestruturas é possível prever de quanto em quanto tempo é necessário realizar intervenções de beneficiação, quer nos motores, quer nas bombas dos grupos de bombagem. Conhecendo essas características de comportamento dos ativos é possível saber que de tanto em tanto tempo é necessário realizar uma substituição de um ativo.

O estudo da tendência dos ativos só pode ser realizado tendo como base o histórico da empresa, com algum tempo, ficando a conhecer quais as falhas mais recorrentes, os custos dos serviços, da mão-de-obra, de equipamentos substituídos. Por isso mesmo, quando este registo começa a ser feito sobre as plataformas informáticas deve existir um padrão de desagregação da informação, em função da utilização que se quer dar aos dados, para ser fácil à empresa conseguir encontrar os valores quando necessitar deles e outro tipo de informação útil.

As falhas nos ativos têm sempre associado algum tipo de risco, isto é, risco de rotura do sistema, risco de diminuição da qualidade dos serviços prestados e diminuição da satisfação dos clientes.

O risco deve ser medido e controlado com o recurso a metodologias para esse fim, como é o caso do FMEA. É um processo eficaz e que pode ser integrado na política da empresa para um melhor controlo do risco. Outra abordagem possível à gestão de risco é o uso de soluções quantitativas, como a de simulação estocástica apresentada neste estudo e que terá aplicabilidade em ativos com características como os casos abordado.

Na política de redução de custos das empresas inclui-se maximizar o período de vida útil dos seus ativos, otimizando, contudo, os custos da manutenção adotada. Uma das estratégias que as organizações devem seguir é identificar os seus ativos mais críticos e proceder a um maior número de intervenções de manutenção prolongando a sua vida. Mesmo assim, prova-se que essa estratégia não revela a eficácia necessária, porque não há qualquer garantia de que um ativo menos crítico, não tenha uma falha tão significativa como um ativo mais crítico. Por isso, a empresa deve estabelecer um plano de manutenções para os seus ativos, apostando na manutenção preventiva atuando sobre as falhas antes delas acontecerem, como é a política da AdDP.

As intervenções de manutenção têm associados custos, contudo as intervenções de manutenção corretiva são sempre mais caras, pois envolvem não só o custo dos materiais necessários, mas também os custos de mão-de-obra para realizar as reparações. Como verificado no histórico da AdDP são o tipo de manutenção que mais custos acarretam à empresa.

Analisando os custos de manutenção e a idade dos ativos é possível estabelecer um modelo que preveja qual a probabilidade de rotura do ativo em cada ano, de forma a conhecer em que ano será economicamente mais vantajoso a aquisição de um ativo novo para substituir

o antigo. O modelo do artigo é um exemplo muito eficaz de como deve ser encarada a vida útil de um ativo como uma bomba. É um ativo caro, cuja falha pode provocar um problema grave no sistema de abastecimento e que deve ser mantido em boas condições de funcionamento.

A probabilidade de falha pode ser encontrada com recurso à simulação estocástica, como se apresentou na dissertação. Verifica-se que a distribuição Weibull é mais apropriada para estes problemas do que a distribuição Normal, embora esta seja mais utilizada, porque é aquela com que as pessoas se sentem mais à vontade para trabalhar. A Weibull permite fazer um estudo mais ajustado à realidade do período de vida útil dos ativos, conseguindo analisar apenas o ano em que se encontra a infraestrutura e a prevendo a sua evolução. Para além disso, ficou provado que a falta de dados no histórico de um ativo pode não ser um problema assim tão grave na concretização de um modelo, pois com a ajuda duma distribuição pragmática e do conhecimento de um especialista da área é possível realizar o mesmo estudo e retirar conclusões do mesmo.

Uma das distribuições pragmáticas mais utilizadas é a de Pert, uma vez que tem um comportamento melhor que a distribuição Triangular e a sua aplicação é bastante simples. Esta distribuição baseia-se na aplicação de três parâmetros: o mínimo, a moda e o máximo dos custos que podem ser conseguidos para 4 ou 5 anos de histórico e com a ajuda de um especialista pode prever-se qual a evolução dos custos de manutenção das infraestruturas.

Em termos do aspeto central da abordagem adotada no estudo, pode-se referir que, quando os custos de operação e manutenção e de risco de rotura, dum ativo existente, forem superiores aos mesmos custos de um ativo novo, incluindo os custos de aquisição do mesmo, se considera que é mais vantajoso substituir o ativo existente, na linha da abordagem exposta em [1].

Por outro lado, as distribuições atrás referidas são ainda de mais fácil aplicação quando combinadas com a utilização da ferramenta de simulação estocástica, baseado no Método de Monte Carlo, da Palisade - o @Risk. É uma ferramenta que permite implementar informaticamente um método que requer um grande número de iterações, que realizadas manualmente levariam bastante tempo, sendo muito morosas.

Para a empresa Águas do Douro e Paiva, admite-se que esta análise possa ser útil, na medida em que estabelece um modelo de controlo da vida útil dos ativos e de orçamentação dos investimentos futuros de substituição, que pode ser integrado na sua política de gestão de ativos. A empresa pode, ainda, recolher separadamente os custos de manutenção e de operação, uma vez que estes também são custos que a empresa tem para garantir que os ativos estão em perfeitas condições e podem variar de ativo para ativo. Como o software MAXIMO é recente, ainda se poderá tirar mais partido das suas potencialidades no futuro.

O modelo apresentado neste trabalho pode servir para, no futuro, ser aplicado a outras infraestruturas com outros custos associados, quer sejam elevados custos de aquisição dos seus componentes, quer sejam custos de manutenção superiores aos do ativo estudado.

Como qualquer modelo de simulação estocástica pode estar sujeito a algum melhoramento ou atualização com o tempo. Fica assim aberta a possibilidade de integração deste modelo na política de gestão de ativos da Águas do Douro e Paiva.

6. Bibliografia

- [1] Harlow V. Kenneth, 2005. “Risky business: two cases studies in asset risk management,” Water Asset Management International, vol. 1, pp. 5-8.
- [2] Estrutura Acionista. Águas do Douro e Paiva. In: http://www.addp.pt/pt/dados.php?ref=estrutura_accionista. (Consultado em 06 de Fevereiro de 2013).
- [3] O que é a AdDP. In: <http://www.addp.pt/pt/dados.php?ref=addp>. (Consultado em 06 de Fevereiro de 2013).
- [4] Paiva, Á. d. D. e. Relatório e Contas 2012. In: http://www.addp.pt/FileUpload/files/Downloads/1124_R&C2012_F_baixa.pdf. (Consultado em 09 de Maio de 2013).
- [5] Relatório de Sustentabilidade 2011. In: http://www.addp.pt/FileUpload/files/Relat%C3%B3rio%20Sustentabilidade/Relat%C3%B3rio%20de%20Sustentabilidade_AdDP_2011.pdf. (Consultado em 09 de Maio 2013).
- [6] Sousa, E. R. d. Sistemas de Abastecimento de Água. 2001. Instituto Superior Técnico, Lisboa. 3 pp.
- [7] Paiva, Á. d. D. e. ETA de Lever. In: http://www.addp.pt/pt/dados.php?ref=eta_lever. (Consultado em 27 de Fevereiro de 2013).
- [8] Alegre H., Cardoso M. A., e Silva M. S., 2010. Avaliação do Desempenho na Gestão Patrimonial de Infraestruturas de Abastecimento de Água e Águas Residuais e Pluviais. LNEC e ERSAR, Lisboa. pp 1-6.
- [9] Mourão J., Santos E., Sousa E. R. de., 2010. Manutenção e Gestão de Activos de Infra-estruturas de Águas e Saneamento a Experiência do Grupo Água de Portugal, In: *14º ENaSB/SILUBESA*, Lisboa.
- [10] Alegre H. e Covas D., 2010. Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água. LNEC, IST e ERSAR, Lisboa. 510 pp.
- [11] Ferreira F., Galvão A. F., Matos J. S., Monteiro A. J., Sousa E. R. d., *Saneamento*, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2009. In:

- <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/300165/1/Aulas%2001a07.pdf>. (Consultado em 21 de Março de 2013).
- [12] Mourão J., Santos E., Sousa E. R., 2010. Manutenção e Gestão de Ativos de Infraestruturas de Águas e Saneamento - A Experiência do Grupo Águas de Portugal, In: *14º ENaSB/SILUBESA*, Lisboa.
- [13] M. A. Cardoso, M. S. Silva, S. T. Coelho, M. d. C. Almeida e D. Covas, Gestão Patrimonial de Infra-Estruturas Urbanas de Água: Uma Abordagem Estruturada Aplicada a Quatro Entidades Gestoras, 2010. Lisboa.
- [14] Por quê implementar um plano de GPI?, 2011. In: <http://www.aware-p.org/np4PT/iam>. (Consultado em 19 de Março de 2013).
- [15] Barata P., Construção de um modelo de gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento público de água. Universidade do Minho. 2008. 167 pp.
(Dissertação de Mestrado)
- [16] ERSAR. In: www.ersar.pt. (Consultado em 12 de Abril de 2013).
- [17] IMM – The Institute of Asset Management. PAS 55. 2008.
- [18] Fecha J. F. F., Aplicação da PAS 55 ao Departamento de Operação e Manutenção da Operadora da Rede Elétrica de Distribuição. Faculdade de Engenharia do Porto. 2012. 107 pp.
(Dissertação de Mestrado)
- [19] P. AWARE, Introdução à Gestão Patrimonial de Infraestruturas (GPI), Lisboa, 2012. In:http://www.aware-p.org/np4PT/?newsId=84&fileName=MC_IntroducaoGPI.pdf. (Consultado em 19 de Março de 2013).
- [20] Souza R. D., Análise da Gestão da Manutenção Focando a Manutenção Centrada na Confiabilidade: Estudo de Caso MRS Logística. Universidade Federal Juiz de Fora, Brasil. 2008. 54 pp.
(Monografia)
- [21] Belzona. 2013. In: <http://www.belzonaportugal.pt/>. (Consultado em 02 de Junho de 2013).
- [22] Carneiro F. C. d. S., Avaliação de riscos: Aplicação a um processo de construção,” Universidade de Aveiro. Aveiro. 2011. 98 pp.
(Dissertação de Mestrado)

- [23] A. Lindhe, Risk Management and Decision Support for Managing Drinking Water Systems, Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden, 2010.
(Dissertação de Doutoramento)
- [24] IPQ - Instituto Português da Qualidade. NP 4397 - Sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho. 2008. Lisboa, Portugal.
- [25] Roxo M., Segurança e saúde do trabalho: Avaliação e controlo de riscos. 2003, 1^a Edição. Edições Almedina.
- [26] PMI – Project Management Institute. PMBOK - Project Management Body of Knowledge. 2004.
- [27] Silva N. M. G., Análise de Risco associada a Prazos de Execução de Obras. Faculdade de Engenharia do Porto. 2010. 72 pp.
(Dissertação de Mestrado)
- [28] Miguéis B., Aplicação do FMEA em Sistemas de Construção de Viadutos. Universidade de Aveiro, 2010, 186 pp.
(Dissertação de Mestrado)
- [29] Rodrigues M. F. O., Análise de Risco em Projectos de Construção. Faculdade de Engenharia do Porto. 2009. 72 pp.
(Dissertação de Mestrado)
- [30] Brito J. d., Fonseca M., Silva S. R. C., Metodologia FMEA e a sua Aplicação à Construção de Edifícios. 2006. In:
http://www.fep.up.pt/disciplinas/pgi914/ref_topico3/fmea_ss_mf_jb_qic2006.pdf.
(Consultado em 03 de Abril de 2013)
- [31] Pasquali L., A Curva Normal. In: <http://www.psi-ambiental.net/pdf/PasqCap03.pdf>.
(Consultado em 10 de Abril de 2013)
- [32] Morais C., Descrição, Análise e Interpretação de Informação Quantitativa. Instituto Politécnico de Bragança. 31 pp.
- [33] Portal Action, In: <http://www.portalaction.com.br/content/62-distribui%C3%A7%C3%A3o-normal>. (Consultado em 10 de Abril de 2013)
- [34] Silva J. G., Análise de Decisão e Ferramentas Informáticas de Suporte. 2009. Porto
- [35] Palisade, A DecisionTools Suite® - O kit de ferramentas completa de análise de risco e decisão, In: http://www.palisade-br.com/decisiontools_suite/. (Consultado em 03

- Abril 2013).
- Manual de Usuário do @Risk. In: http://www.palisade.com/downloads/manuals/PT/RISK5_PT.pdf. (Consultado em 03 Abril 2013).
- [36] Sucena M., Módulo 5 - Distribuição Weibull. 2008. In: http://www.sucena.eng.br/IME/Mod5_Weibull2008.pdf. (Consultado em 10 de Abril de 2013).
- [37] Benck L. C.. In: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAozEAB/distribuicao-weibull>. (Consultado em 10 de Abril de 2013).
- [38] Vose D., 2000. Risk Analysis - A Quantitative Guide,. England: Copyrighy. Capítulo 10, pp 263-283.
- [39] Palisade, Análise de Risco. 2013. In: http://www.palisade-br.com/risk/risk_analysis.asp. (Consultado em 02 Julho de 2013).
- [40] IBM - MAXIMO Tivoli Asset Management. In: http://www.webuild.pt/conteudo.aspx?caso=contextual&lang=pt&id_class=221&name=IBM-Maximo-Tivoli-Asset-Management. (Consultado em 04 de Junho de 2013)
- [41] Á. d. D. e. Paiva, “Mapa do Sistema,” [Online]. Available: http://www.addp.pt/pt/mapa_sistema.php. [Acedido em 09 05 2013].
- [42] AS/NZS 4360:2004 Risk Management. Standards Australia and Standards New Zealand. 2004.
- [43] Arruda J., Silveria L., Simonetti M., Souza A., A Importância da Engenharia da Confiabilidade e os Conceitos Básicos de Distribuição de Weibull. Revista Sapere. In: http://www.revistasapere.inf.br/download/engenharia_da_confiabilidade_distribuicao_weibull.pdf. (Consultado em 10 de Abril de 2013)
- [44] Silva J. G., Workshop em Análise de Decisão – Utilização de Métodos Estocásticos e Ferramentas Informáticas de Suporte. 2010. Instituto Superior de Engenharia do Porto
- [45] Silva J. G., 2008. Análise de Decisão Usando Métodos Estocásticos – Casos de Aplicação à Gestão na Área do Ambiente, In: 1º Fórum Internacional de Gestão da Construção – GESCON 2008, Faculdade de Engenharia do Porto, Porto.

Anexo I – Vitrificação

A Águas do Douro e Paiva já recorreu diversas vezes aos serviços da empresa Belzona com o objetivo de melhorar a eficiência dos seus equipamentos através de processos de aplicação de revestimento cerâmico como uma medida para reduzir o consumo de energia da empresa.

A Belzona Portugal iniciou a sua atividade no ano de 1994 cuja área de intervenção é as reparações e revestimentos industriais. No caso da AdDP o objetivo é proteger e melhorar os seus equipamentos relativamente ao desgaste provocado pelo funcionamento, bem como protegê-los contra os ataques químicos.

Para além do ganho de eficiência que se verifica, igualmente se aumenta o período de vida útil dos equipamentos.

Qualquer tipo de bomba pode ser intervencionada por estes processos da Belzona, mesmo uma bomba nova, e espera-se uma melhoria do seu desempenho de 7%, bombas novas, a 40%, no caso de bombas já acionadas. Com este melhoramento as bombas aumentam a sua duração, bem como se prevê uma diminuição dos custos de operação das mesmas.

Para além disso, os elementos componentes das bombas que apresentam um elevado grau de degradação podem ser, também, intervencionados, sem que seja necessária a sua substituição e, diminuindo o custo dessa operação.

Produtos Utilizados pela Belzona

No caso da beneficiação das bombas os produtos mais utilizados para o efeito são:

- Belzona 1111 (para reconstrução);
- Belzona 1341 (para melhoria da eficiência).



Este material serve para a reparação e reconstrução à base de sistema de polímero cerâmico com reforço de aço. Pode ser aplicado nas seguintes situações:

- Alojamentos de mancais/buchas folgados;
- Carcaças trincadas e com furos;
- Tanques com fugas;
- Pistões hidráulicos riscados;
- Tubagens partidas;
- Eixos desgastados/riscados;
- Roscas danificadas.



Este tipo de revestimento tem uma capacidade hidrofóbica que permite que a água corra pela superfície do mesmo, diminuindo o desgaste por abrasão. Uma vez aplicado em equipamentos que consumam energia aumenta a eficiência, reduz o consumo, reduz os custos de manutenção e melhora o desempenho do sistema.

Este produto pode estar em contacto com água potável, uma vez que é certificado pela norma NSF/ANSI 61 e está de acordo com os padrões da Inspeção de Água Potável do Reino Unido (UK Drinking Water Inspectorate).

Intervenção numa Bomba da AdDP

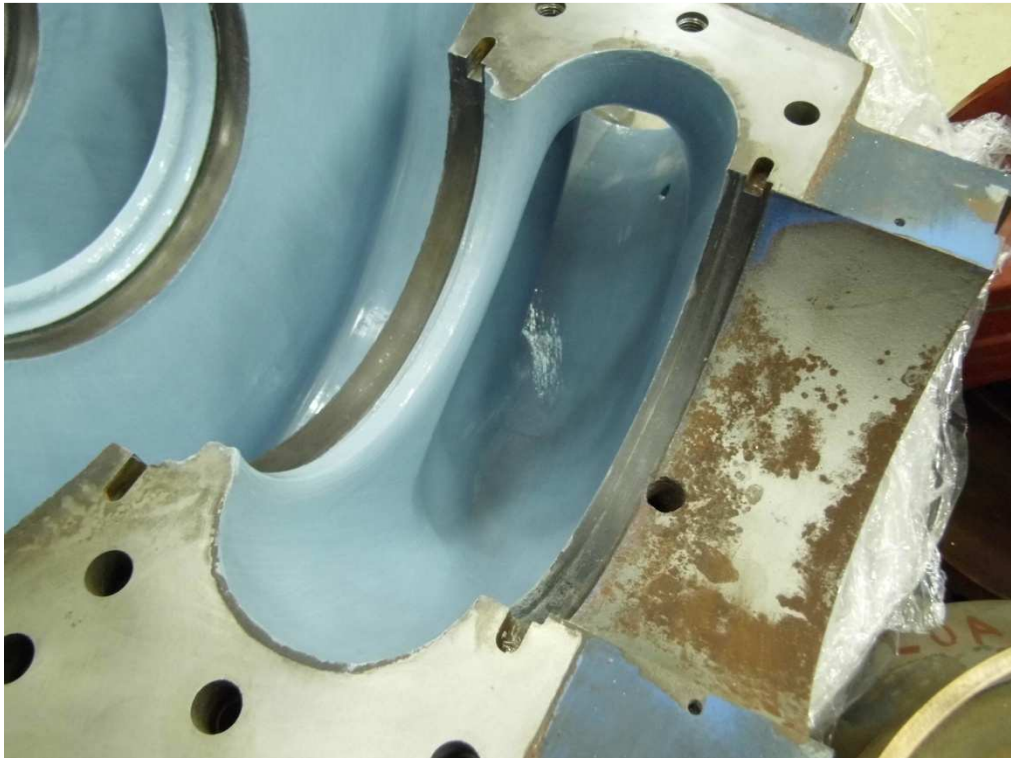
Ao longo dos anos, tem sido uma prática comum da Águas do Douro e Paiva recorrer a este tipo de intervenções, conseguindo assim reduzir os custos de manutenção das bombas nos anos vindouros e, ao mesmo tempo, prolongar a vida das suas bombas pelo maior número de anos possível.

O caso que de seguida de mostra é um exemplo de uma intervenção realizada, já no decorrer do presente ano de 2013, e foi realizada numa bomba da estação elevatória de São João de Ver.

Esta estação elevatória é constituída por 3 bombas e o custo de beneficiação de cada uma ronda os 2800€. Normalmente, estas intervenções de melhoria das bombas acabam por conduzir a uma melhoria nos elementos constituintes do grupo de bombagem, quer seja por reparação ou substituição dos elementos. São exemplo de alguns intervencionados os seguintes:

- Anéis de desgaste;
- Camisas de empanque;
- Variadores de Velocidade, etc.

As seguintes imagens mostram o aspeto do interior da bomba com a aplicação dos produtos.





Anexo II – Cálculos Referentes ao Artigo [1]

O Anexo II contém apenas cálculos referentes à explicação do artigo [1], como é o caso de tabelas e gráficos.

Os quadros seguintes representam o cálculo dos custos totais para a bomba existente caso ela sobreviva em cada ano. Não serão apresentados todos os quadros até ao ano de 2037, uma vez que não se verifica essa necessidade, porque a metodologia de cálculo é sempre a mesma. Apenas serão mostrados até ao ano de 2012, uma vez que é o ano central da distribuição.

| | | Bomba Existente | Bomba Nova |
|------------------------|---------------------|--------------------|---------------|
| Aquisição | | | |
| Custos Aquisição | | - | 220000 |
| Manutenção | | | |
| Custos Manutenção | €/ano | 5000€ | 2500€ |
| Taxa Crescimento | (% ao ano) | 5% | 2% |
| Taxa de Desconto | | 3% | |
| Rotura | | | |
| Custo rotura | (€) | 175000€ | 175000€ |
| Distância para média | anos | 7 | 25 |
| Desvio Padrão | anos | 3 | 3 |
| Datas estimadas (anos) | P 2,5% | 2006 | 2006 |
| | 2 dp | 6 | 6 |
| | Média | 2012 | 2030 |
| | 2 desvios padrão | 6 | 6 |
| | P 97,5% | 2018 | 2036 |

| | | Custos O&M (a 2005) | | Probabil. de rotura | Custo risco rotura (a 2005) | | Custos totais | | |
|-----------|----|---------------------|-----------|------------------------|-----------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| | | P. correntes | P. atuais | | P. correntes | P. atuais | P. atuais | | |
| | | De 2005 a 2037 | | 425.730 € | 242.718 € | 99,4% | 174.926 € | 143.210 € | 385.259 € |
| | | Até 2005 | | | | 0,4% | 670 € | 670 € | |
| Após 2037 | | | | 0,2% | | | 385.259 € | | |
| 2005 | 1 | 5.317 | 5.317 | 0,87% | 1.530 | 1.530 | 6.847 | | |
| 2006 | 2 | 5.583 | 5.421 | 1,80% | 3.149 | 3.058 | 8.478 | | |
| 2007 | 3 | 5.862 | 5.526 | 3,32% | 5.803 | 5.470 | 10.996 | | |
| 2008 | 4 | 6.156 | 5.633 | 5,47% | 9.610 | 8.794 | 14.427 | | |
| 2009 | 5 | 6.463 | 5.743 | 8,07% | 14.232 | 12.645 | 18.387 | | |
| 2010 | 6 | 6.786 | 5.854 | 10,65% | 18.751 | 16.175 | 22.029 | | |
| 2011 | 7 | 7.126 | 5.968 | 12,58% | 22.131 | 18.534 | 24.502 | | |
| 2012 | 8 | 7.482 | 6.084 | 13,30% | 23.388 | 19.017 | 25.101 | | |
| 2013 | 9 | 7.856 | 6.202 | 12,58% | 22.131 | 17.470 | 23.672 | | |
| 2014 | 10 | 8.249 | 6.322 | 10,65% | 18.751 | 14.371 | 20.693 | | |
| 2015 | 11 | 8.661 | 6.445 | 8,07% | 14.232 | 10.590 | 17.035 | | |
| 2016 | 12 | 9.095 | 6.570 | 5,47% | 9.684 | 6.996 | 13.566 | | |
| 2017 | 13 | 9.549 | 6.698 | 3,32% | 5.803 | 4.070 | 10.768 | | |
| 2018 | 14 | 10.027 | 6.828 | 1,80% | 3.149 | 2.145 | 8.972 | | |
| 2019 | 15 | 10.528 | 6.960 | 0,87% | 1.530 | 1.011 | 7.972 | | |
| 2020 | 16 | 11.054 | 7.095 | 0,38% | 665 | 427 | 7.522 | | |
| 2021 | 17 | 11.607 | 7.233 | 0,15% | 259 | 161 | 7.394 | | |
| 2022 | 18 | 12.188 | 7.374 | 0,05% | 90 | 54 | 7.428 | | |
| 2023 | 19 | 12.797 | 7.517 | 0,02% | 28 | 16 | 7.533 | | |
| 2024 | 20 | 13.437 | 7.663 | 0,00% | 8 | 4 | 7.667 | | |
| 2025 | 21 | 14.109 | 7.812 | 0,00% | 2 | 1 | 7.813 | | |
| 2026 | 22 | 14.814 | 7.963 | 0,00% | 0 | 0 | 7.964 | | |
| 2027 | 23 | 15.555 | 8.118 | 0,00% | 0 | 0 | 8.118 | | |
| 2028 | 24 | 16.332 | 8.276 | 0,00% | 0 | 0 | 8.276 | | |
| 2029 | 25 | 17.149 | 8.436 | 0,00% | 0 | 0 | 8.436 | | |
| 2030 | 26 | 18.007 | 8.600 | 0,00% | 0 | 0 | 8.600 | | |
| 2031 | 27 | 18.907 | 8.767 | 0,00% | 0 | 0 | 8.767 | | |
| 2032 | 28 | 19.852 | 8.937 | 0,00% | 0 | 0 | 8.937 | | |
| 2033 | 29 | 20.845 | 9.111 | 0,00% | 0 | 0 | 9.111 | | |
| 2034 | 30 | 21.887 | 9.288 | 0,00% | 0 | 0 | 9.288 | | |
| 2035 | 31 | 22.981 | 9.468 | 0,00% | 0 | 0 | 9.468 | | |
| 2036 | 32 | 24.131 | 9.652 | 0,00% | 0 | 0 | 9.652 | | |
| 2037 | 33 | 25.337 | 9.839 | 0,00% | 0 | 0 | 9.839 | | |

| | | Custos O&M (a 2006) | | Probabil. de rotura | Custo risco rotura (a 2005) | | Custos totais | | |
|-----------|----|---------------------|-----------|------------------------|-----------------------------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| | | P. correntes | P. atuais | | P. correntes | P. atuais | P. atuais | | |
| | | De 2006 a 2037 | | 447.017 € | 254.854 € | 98,5% | 175.000 € | 146.871 € | 400.007 € |
| | | Até 2006 | | | | 1,0% | 1.718 € | 1.718 € | 1.718 € |
| Após 2037 | | | | 0,5% | | | 401.725 € | | |
| 2006 | 1 | 5.583 | 5.583 | 1,80% | 3.149 | 3.149 | 8.733 | | |
| 2007 | 2 | 5.862 | 5.692 | 3,32% | 5.803 | 5.634 | 11.325 | | |
| 2008 | 3 | 6.156 | 5.802 | 5,47% | 9.663 | 9.108 | 14.911 | | |
| 2009 | 4 | 6.463 | 5.915 | 8,07% | 14.211 | 13.005 | 18.920 | | |
| 2010 | 5 | 6.786 | 6.030 | 10,65% | 18.730 | 16.642 | 22.671 | | |
| 2011 | 6 | 7.126 | 6.147 | 12,58% | 22.110 | 19.072 | 25.219 | | |
| 2012 | 7 | 7.482 | 6.266 | 13,30% | 23.368 | 19.570 | 25.836 | | |
| 2013 | 8 | 7.856 | 6.388 | 12,58% | 22.110 | 17.977 | 24.365 | | |
| 2014 | 9 | 8.249 | 6.512 | 10,65% | 18.730 | 14.786 | 21.298 | | |
| 2015 | 10 | 8.661 | 6.638 | 8,07% | 14.211 | 10.891 | 17.530 | | |
| 2016 | 11 | 9.095 | 6.767 | 5,47% | 9.663 | 7.190 | 13.958 | | |
| 2017 | 12 | 9.549 | 6.899 | 3,32% | 5.803 | 4.192 | 11.091 | | |
| 2018 | 13 | 10.027 | 7.033 | 1,80% | 3.149 | 2.209 | 9.242 | | |
| 2019 | 14 | 10.528 | 7.169 | 0,87% | 1.530 | 1.042 | 8.211 | | |
| 2020 | 15 | 11.054 | 7.308 | 0,38% | 665 | 439 | 7.748 | | |
| 2021 | 16 | 11.607 | 7.450 | 0,15% | 259 | 166 | 7.616 | | |
| 2022 | 17 | 12.188 | 7.595 | 0,05% | 90 | 56 | 7.651 | | |
| 2023 | 18 | 12.797 | 7.742 | 0,02% | 28 | 17 | 7.759 | | |
| 2024 | 19 | 13.437 | 7.893 | 0,00% | 8 | 5 | 7.897 | | |
| 2025 | 20 | 14.109 | 8.046 | 0,00% | 2 | 1 | 8.047 | | |
| 2026 | 21 | 14.814 | 8.202 | 0,00% | 0 | 0 | 8.202 | | |
| 2027 | 22 | 15.555 | 8.361 | 0,00% | 0 | 0 | 8.361 | | |
| 2028 | 23 | 16.332 | 8.524 | 0,00% | 0 | 0 | 8.524 | | |
| 2029 | 24 | 17.149 | 8.689 | 0,00% | 0 | 0 | 8.689 | | |
| 2030 | 25 | 18.007 | 8.858 | 0,00% | 0 | 0 | 8.858 | | |
| 2031 | 26 | 18.907 | 9.030 | 0,00% | 0 | 0 | 9.030 | | |
| 2032 | 27 | 19.852 | 9.205 | 0,00% | 0 | 0 | 9.205 | | |
| 2033 | 28 | 20.845 | 9.384 | 0,00% | 0 | 0 | 9.384 | | |
| 2034 | 29 | 21.887 | 9.566 | 0,00% | 0 | 0 | 9.566 | | |
| 2035 | 30 | 22.981 | 9.752 | 0,00% | 0 | 0 | 9.752 | | |
| 2036 | 31 | 24.131 | 9.941 | 0,00% | 0 | 0 | 9.941 | | |
| 2037 | 32 | 25.337 | 10.134 | 0,00% | 0 | 0 | 10.134 | | |
| 2038 | 33 | 26.604 | 10.331 | 0% | 0 | 0 | 10.331 | | |

| Anos | | Custos O&M (a 2007) | | Prob. | Custo risco rotura (a 2005) | | Custos totais |
|----------------|----|---------------------|------------|-------|-----------------------------|------------|---------------|
| | | P. correntes | P. actuais | | P. correntes | P. actuais | P. actuais |
| De 2007 a 2037 | | 469.368 € | 267.597 € | 96,7% | 171.019 € | 147.030 € | 414.627 € |
| Até 2007 | | | | 2,3% | 3.981 € | 3.753 € | 418.380 € |
| Após 2037 | | | | 1,0% | | | |
| 2007 | 1 | 5.862 | 5.862 | 3% | 5.803 | 5.803 | 11.665 |
| 2008 | 2 | 6.156 | 5.976 | 5% | 9.762 | 9.477 | 15.454 |
| 2009 | 3 | 6.463 | 6.092 | 8% | 14.309 | 13.488 | 19.580 |
| 2010 | 4 | 6.786 | 6.211 | 11% | 18.829 | 17.231 | 23.442 |
| 2011 | 5 | 7.126 | 6.331 | 13% | 22.208 | 19.732 | 26.063 |
| 2012 | 6 | 7.482 | 6.454 | 13% | 23.466 | 20.242 | 26.696 |
| 2013 | 7 | 7.856 | 6.579 | 13% | 22.208 | 18.599 | 25.179 |
| 2014 | 8 | 8.249 | 6.707 | 11% | 18.829 | 15.310 | 22.017 |
| 2015 | 9 | 8.661 | 6.837 | 8% | 14.309 | 11.296 | 18.133 |
| 2016 | 10 | 9.095 | 6.970 | 5% | 9.762 | 7.481 | 14.452 |
| 2017 | 11 | 9.549 | 7.106 | 3% | 5.803 | 4.318 | 11.423 |
| 2018 | 12 | 10.027 | 7.244 | 2% | 3.149 | 2.275 | 9.519 |
| 2019 | 13 | 10.528 | 7.384 | 1% | 1.530 | 1.073 | 8.457 |
| 2020 | 14 | 11.054 | 7.528 | 0% | 665 | 453 | 7.980 |
| 2021 | 15 | 11.607 | 7.674 | 0% | 259 | 171 | 7.845 |
| 2022 | 16 | 12.188 | 7.823 | 0% | 90 | 58 | 7.880 |
| 2023 | 17 | 12.797 | 7.975 | 0% | 28 | 17 | 7.992 |
| 2024 | 18 | 13.437 | 8.129 | 0% | 8 | 5 | 8.134 |
| 2025 | 19 | 14.109 | 8.287 | 0% | 2 | 1 | 8.288 |
| 2026 | 20 | 14.814 | 8.448 | 0% | 0 | 0 | 8.448 |
| 2027 | 21 | 15.555 | 8.612 | 0% | 0 | 0 | 8.612 |
| 2028 | 22 | 16.332 | 8.780 | 0% | 0 | 0 | 8.780 |
| 2029 | 23 | 17.149 | 8.950 | 0% | 0 | 0 | 8.950 |
| 2030 | 24 | 18.007 | 9.124 | 0% | 0 | 0 | 9.124 |
| 2031 | 25 | 18.907 | 9.301 | 0% | 0 | 0 | 9.301 |
| 2032 | 26 | 19.852 | 9.482 | 0% | 0 | 0 | 9.482 |
| 2033 | 27 | 20.845 | 9.666 | 0% | 0 | 0 | 9.666 |
| 2034 | 28 | 21.887 | 9.853 | 0% | 0 | 0 | 9.853 |
| 2035 | 29 | 22.981 | 10.045 | 0% | 0 | 0 | 10.045 |
| 2036 | 30 | 24.131 | 10.240 | 0% | 0 | 0 | 10.240 |
| 2037 | 31 | 25.337 | 10.439 | 0% | 0 | 0 | 10.439 |
| 2038 | 32 | 26.604 | 10.641 | 0% | 0 | 0 | 10.641 |
| 2039 | 33 | 27.934 | 10.848 | 0% | 0 | 0 | 10.848 |

| Anos | | Custos O&M (a 2008) | | Prob. rotura | Custo risco rotura (a 2005) | | Custos totais |
|----------------|----|---------------------|------------|--------------|-----------------------------|------------|---------------|
| | | P. correntes | P. actuais | | P. correntes | P. actuais | |
| De 2008 a 2037 | | 492.836 € | 280.977 € | 93,4% | 166.637 € | 146.730 € | 427.707 € |
| Até 2008 | | | | 4,8% | 8.363 € | 7.654 € | 435.361 € |
| Após 2037 | | | | 1,8% | | | |
| 2008 | 1 | 6.156 | 6.156 | 5% | 9.919 | 9.919 | 16.075 |
| 2009 | 2 | 6.463 | 6.275 | 8% | 14.467 | 14.046 | 20.321 |
| 2010 | 3 | 6.786 | 6.397 | 11% | 18.987 | 17.897 | 24.294 |
| 2011 | 4 | 7.126 | 6.521 | 13% | 22.366 | 20.468 | 26.989 |
| 2012 | 5 | 7.482 | 6.648 | 13% | 23.624 | 20.990 | 27.637 |
| 2013 | 6 | 7.856 | 6.777 | 13% | 22.366 | 19.293 | 26.070 |
| 2014 | 7 | 8.249 | 6.908 | 11% | 18.987 | 15.901 | 22.809 |
| 2015 | 8 | 8.661 | 7.043 | 8% | 14.467 | 11.763 | 18.806 |
| 2016 | 9 | 9.095 | 7.179 | 5% | 9.919 | 7.831 | 15.010 |
| 2017 | 10 | 9.549 | 7.319 | 3% | 5.803 | 4.447 | 11.766 |
| 2018 | 11 | 10.027 | 7.461 | 2% | 3.149 | 2.344 | 9.804 |
| 2019 | 12 | 10.528 | 7.606 | 1% | 1.530 | 1.105 | 8.711 |
| 2020 | 13 | 11.054 | 7.753 | 0% | 665 | 466 | 8.220 |
| 2021 | 14 | 11.607 | 7.904 | 0% | 259 | 176 | 8.080 |
| 2022 | 15 | 12.188 | 8.057 | 0% | 90 | 59 | 8.117 |
| 2023 | 16 | 12.797 | 8.214 | 0% | 28 | 18 | 8.232 |
| 2024 | 17 | 13.437 | 8.373 | 0% | 8 | 5 | 8.378 |
| 2025 | 18 | 14.109 | 8.536 | 0% | 2 | 1 | 8.537 |
| 2026 | 19 | 14.814 | 8.702 | 0% | 0 | 0 | 8.702 |
| 2027 | 20 | 15.555 | 8.871 | 0% | 0 | 0 | 8.871 |
| 2028 | 21 | 16.332 | 9.043 | 0% | 0 | 0 | 9.043 |
| 2029 | 22 | 17.149 | 9.218 | 0% | 0 | 0 | 9.218 |
| 2030 | 23 | 18.007 | 9.397 | 0% | 0 | 0 | 9.397 |
| 2031 | 24 | 18.907 | 9.580 | 0% | 0 | 0 | 9.580 |
| 2032 | 25 | 19.852 | 9.766 | 0% | 0 | 0 | 9.766 |
| 2033 | 26 | 20.845 | 9.956 | 0% | 0 | 0 | 9.956 |
| 2034 | 27 | 21.887 | 10.149 | 0% | 0 | 0 | 10.149 |
| 2035 | 28 | 22.981 | 10.346 | 0% | 0 | 0 | 10.346 |
| 2036 | 29 | 24.131 | 10.547 | 0% | 0 | 0 | 10.547 |
| 2037 | 30 | 25.337 | 10.752 | 0% | 0 | 0 | 10.752 |
| 2038 | 31 | 26.604 | 10.960 | 0% | 0 | 0 | 10.960 |
| 2039 | 32 | 27.934 | 11.173 | 0% | 0 | 0 | 11.173 |
| 2040 | 33 | 29.331 | 11.390 | 0% | 0 | 0 | 11.390 |

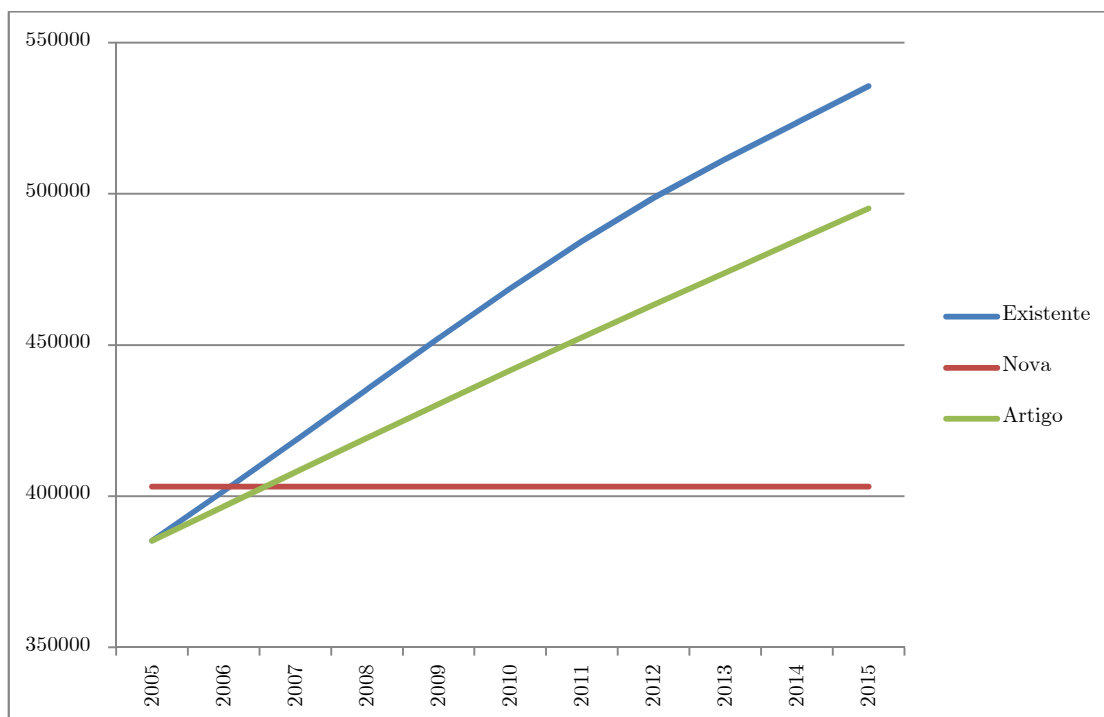
| Anos | | Custos O&M (a 2009) | | Prob. | Custo risco rotura (a 2005) | | Custos totais |
|----------------|----|---------------------|------------|-------|-----------------------------|------------|---------------|
| | | P. correntes | P. actuais | | P. correntes | P. actuais | P. actuais |
| De 2009 a 2037 | | 517.478 € | 295.026 € | 87,9% | 159.038 € | 143.079 € | 438.105 € |
| Até 2009 | | | | 9,1% | 15.962 € | 14.182 € | 452.287 € |
| Após 2037 | | | | 2,9% | | | |
| 2009 | 1 | 6.463 | 6.463 | 8% | 14.849 | 14.849 | 21.312 |
| 2010 | 2 | 6.786 | 6.589 | 11% | 19.369 | 18.804 | 25.393 |
| 2011 | 3 | 7.126 | 6.717 | 13% | 22.748 | 21.442 | 28.159 |
| 2012 | 4 | 7.482 | 6.847 | 13% | 24.006 | 21.969 | 28.816 |
| 2013 | 5 | 7.856 | 6.980 | 13% | 22.748 | 20.211 | 27.192 |
| 2014 | 6 | 8.249 | 7.116 | 11% | 19.369 | 16.708 | 23.823 |
| 2015 | 7 | 8.661 | 7.254 | 8% | 14.849 | 12.436 | 19.690 |
| 2016 | 8 | 9.095 | 7.395 | 5% | 9.567 | 7.779 | 15.174 |
| 2017 | 9 | 9.549 | 7.538 | 3% | 5.803 | 4.581 | 12.119 |
| 2018 | 10 | 10.027 | 7.685 | 2% | 3.149 | 2.414 | 10.098 |
| 2019 | 11 | 10.528 | 7.834 | 1% | 1.530 | 1.138 | 8.972 |
| 2020 | 12 | 11.054 | 7.986 | 0% | 665 | 480 | 8.466 |
| 2021 | 13 | 11.607 | 8.141 | 0% | 259 | 181 | 8.322 |
| 2022 | 14 | 12.188 | 8.299 | 0% | 90 | 61 | 8.360 |
| 2023 | 15 | 12.797 | 8.460 | 0% | 28 | 19 | 8.479 |
| 2024 | 16 | 13.437 | 8.625 | 0% | 8 | 5 | 8.630 |
| 2025 | 17 | 14.109 | 8.792 | 0% | 2 | 1 | 8.793 |
| 2026 | 18 | 14.814 | 8.963 | 0% | 0 | 0 | 8.963 |
| 2027 | 19 | 15.555 | 9.137 | 0% | 0 | 0 | 9.137 |
| 2028 | 20 | 16.332 | 9.314 | 0% | 0 | 0 | 9.314 |
| 2029 | 21 | 17.149 | 9.495 | 0% | 0 | 0 | 9.495 |
| 2030 | 22 | 18.007 | 9.679 | 0% | 0 | 0 | 9.679 |
| 2031 | 23 | 18.907 | 9.867 | 0% | 0 | 0 | 9.867 |
| 2032 | 24 | 19.852 | 10.059 | 0% | 0 | 0 | 10.059 |
| 2033 | 25 | 20.845 | 10.254 | 0% | 0 | 0 | 10.254 |
| 2034 | 26 | 21.887 | 10.453 | 0% | 0 | 0 | 10.453 |
| 2035 | 27 | 22.981 | 10.656 | 0% | 0 | 0 | 10.656 |
| 2036 | 28 | 24.131 | 10.863 | 0% | 0 | 0 | 10.863 |
| 2037 | 29 | 25.337 | 11.074 | 0% | 0 | 0 | 11.074 |
| 2038 | 30 | 26.604 | 11.289 | 0% | 0 | 0 | 11.289 |
| 2039 | 31 | 27.934 | 11.508 | 0% | 0 | 0 | 11.508 |
| 2040 | 32 | 29.331 | 11.732 | 0% | 0 | 0 | 11.732 |
| 2041 | 33 | 30.797 | 11.960 | 0% | 0 | 0 | 11.960 |

| Anos | | Custos O&M (a 2010) | | Prob. rotura | Custo risco rotura (a 2005) | | Custos totais |
|----------------|----|---------------------|------------|--------------|-----------------------------|------------|---------------|
| | | P. correntes | P. actuais | | P. correntes | P. actuais | |
| De 2010 a 2037 | | 543.352 € | 309.777 € | 79,9% | 147.235 € | 135.010 € | 444.787 € |
| Até 2010 | | | | 15,9% | 27.765 € | 23.950 € | 468.737 € |
| Após 2037 | | | | 4,3% | | | |
| 2010 | 1 | 6.786 | 6.786 | 11% | 20.125 | 20.125 | 26.911 |
| 2011 | 2 | 7.126 | 6.918 | 13% | 23.504 | 22.820 | 29.738 |
| 2012 | 3 | 7.482 | 7.053 | 13% | 24.762 | 23.340 | 30.393 |
| 2013 | 4 | 7.856 | 7.190 | 13% | 23.504 | 21.510 | 28.699 |
| 2014 | 5 | 8.249 | 7.329 | 11% | 20.125 | 17.881 | 25.210 |
| 2015 | 6 | 8.661 | 7.471 | 8% | 14.115 | 12.176 | 19.647 |
| 2016 | 7 | 9.095 | 7.617 | 5% | 9.567 | 8.012 | 15.629 |
| 2017 | 8 | 9.549 | 7.764 | 3% | 5.803 | 4.718 | 12.483 |
| 2018 | 9 | 10.027 | 7.915 | 2% | 3.149 | 2.486 | 10.401 |
| 2019 | 10 | 10.528 | 8.069 | 1% | 1.530 | 1.172 | 9.241 |
| 2020 | 11 | 11.054 | 8.226 | 0% | 665 | 495 | 8.720 |
| 2021 | 12 | 11.607 | 8.385 | 0% | 259 | 187 | 8.572 |
| 2022 | 13 | 12.188 | 8.548 | 0% | 90 | 63 | 8.611 |
| 2023 | 14 | 12.797 | 8.714 | 0% | 28 | 19 | 8.733 |
| 2024 | 15 | 13.437 | 8.883 | 0% | 8 | 5 | 8.888 |
| 2025 | 16 | 14.109 | 9.056 | 0% | 2 | 1 | 9.057 |
| 2026 | 17 | 14.814 | 9.232 | 0% | 0 | 0 | 9.232 |
| 2027 | 18 | 15.555 | 9.411 | 0% | 0 | 0 | 9.411 |
| 2028 | 19 | 16.332 | 9.594 | 0% | 0 | 0 | 9.594 |
| 2029 | 20 | 17.149 | 9.780 | 0% | 0 | 0 | 9.780 |
| 2030 | 21 | 18.007 | 9.970 | 0% | 0 | 0 | 9.970 |
| 2031 | 22 | 18.907 | 10.163 | 0% | 0 | 0 | 10.163 |
| 2032 | 23 | 19.852 | 10.361 | 0% | 0 | 0 | 10.361 |
| 2033 | 24 | 20.845 | 10.562 | 0% | 0 | 0 | 10.562 |
| 2034 | 25 | 21.887 | 10.767 | 0% | 0 | 0 | 10.767 |
| 2035 | 26 | 22.981 | 10.976 | 0% | 0 | 0 | 10.976 |
| 2036 | 27 | 24.131 | 11.189 | 0% | 0 | 0 | 11.189 |
| 2037 | 28 | 25.337 | 11.406 | 0% | 0 | 0 | 11.406 |
| 2038 | 29 | 26.604 | 11.628 | 0% | 0 | 0 | 11.628 |
| 2039 | 30 | 27.934 | 11.854 | 0% | 0 | 0 | 11.854 |
| 2040 | 31 | 29.331 | 12.084 | 0% | 0 | 0 | 12.084 |
| 2041 | 32 | 30.797 | 12.319 | 0% | 0 | 0 | 12.319 |
| 2042 | 33 | 32.337 | 12.558 | 0% | 0 | 0 | 12.558 |

| Anos | | Custos O&M (a 2011) | | Prob. | Custo risco rotura (a 2005) | | Custos totais |
|----------------|----|---------------------|------------|-------|-----------------------------|------------|---------------|
| | | P. correntes | P. actuais | | P. correntes | P. actuais | P. actuais |
| De 2011 a 2037 | | 570.519 € | 325.266 € | 69,2% | 130.814 € | 122.012 € | 447.278 € |
| Até 2011 | | | | 25,2% | 44.186 € | 37.005 € | 484.283 € |
| Após 2037 | | | | 5,5% | | | |
| 2011 | 1 | 7.126 | 7.126 | 13% | 25.235 | 25.235 | 32.361 |
| 2012 | 2 | 7.482 | 7.264 | 13% | 26.493 | 25.721 | 32.985 |
| 2013 | 3 | 7.856 | 7.405 | 13% | 25.235 | 23.787 | 31.192 |
| 2014 | 4 | 8.249 | 7.549 | 11% | 18.634 | 17.053 | 24.602 |
| 2015 | 5 | 8.661 | 7.696 | 8% | 14.115 | 12.541 | 20.237 |
| 2016 | 6 | 9.095 | 7.845 | 5% | 9.567 | 8.253 | 16.098 |
| 2017 | 7 | 9.549 | 7.997 | 3% | 5.803 | 4.860 | 12.857 |
| 2018 | 8 | 10.027 | 8.153 | 2% | 3.149 | 2.561 | 10.713 |
| 2019 | 9 | 10.528 | 8.311 | 1% | 1.530 | 1.207 | 9.518 |
| 2020 | 10 | 11.054 | 8.472 | 0% | 665 | 509 | 8.982 |
| 2021 | 11 | 11.607 | 8.637 | 0% | 259 | 192 | 8.829 |
| 2022 | 12 | 12.188 | 8.805 | 0% | 90 | 65 | 8.870 |
| 2023 | 13 | 12.797 | 8.976 | 0% | 28 | 20 | 8.995 |
| 2024 | 14 | 13.437 | 9.150 | 0% | 8 | 5 | 9.155 |
| 2025 | 15 | 14.109 | 9.327 | 0% | 2 | 1 | 9.329 |
| 2026 | 16 | 14.814 | 9.509 | 0% | 0 | 0 | 9.509 |
| 2027 | 17 | 15.555 | 9.693 | 0% | 0 | 0 | 9.693 |
| 2028 | 18 | 16.332 | 9.881 | 0% | 0 | 0 | 9.881 |
| 2029 | 19 | 17.149 | 10.073 | 0% | 0 | 0 | 10.073 |
| 2030 | 20 | 18.007 | 10.269 | 0% | 0 | 0 | 10.269 |
| 2031 | 21 | 18.907 | 10.468 | 0% | 0 | 0 | 10.468 |
| 2032 | 22 | 19.852 | 10.672 | 0% | 0 | 0 | 10.672 |
| 2033 | 23 | 20.845 | 10.879 | 0% | 0 | 0 | 10.879 |
| 2034 | 24 | 21.887 | 11.090 | 0% | 0 | 0 | 11.090 |
| 2035 | 25 | 22.981 | 11.305 | 0% | 0 | 0 | 11.305 |
| 2036 | 26 | 24.131 | 11.525 | 0% | 0 | 0 | 11.525 |
| 2037 | 27 | 25.337 | 11.749 | 0% | 0 | 0 | 11.749 |
| 2038 | 28 | 26.604 | 11.977 | 0% | 0 | 0 | 11.977 |
| 2039 | 29 | 27.934 | 12.209 | 0% | 0 | 0 | 12.209 |
| 2040 | 30 | 29.331 | 12.446 | 0% | 0 | 0 | 12.446 |
| 2041 | 31 | 30.797 | 12.688 | 0% | 0 | 0 | 12.688 |
| 2042 | 32 | 32.337 | 12.934 | 0% | 0 | 0 | 12.934 |
| 2043 | 33 | 33.954 | 13.186 | 0% | 0 | 0 | 13.186 |

| Anos | | Custos O&M (a 2012) | | Prob. rotura | Custo risco rotura (a 2005) | | Custos totais |
|----------------|----|---------------------|------------|--------------|-----------------------------|------------|---------------|
| | | P. correntes | P. actuais | | P. correntes | P. actuais | |
| De 2012 a 2037 | | 599.045 € | 341.529 € | 56,6% | 110.348 € | 104.543 € | 446.072 € |
| Até 2012 | | | | 36,9% | 64.652 € | 52.568 € | 498.640 € |
| Após 2037 | | | | 6,4% | 175.000 € | | |
| 2012 | 1 | 7.482 | 7.482 | 13% | 34.484 | 34.484 | 41.966 |
| 2013 | 2 | 7.856 | 7.627 | 13% | 22.014 | 21.373 | 29.000 |
| 2014 | 3 | 8.249 | 7.775 | 11% | 18.634 | 17.565 | 25.340 |
| 2015 | 4 | 8.661 | 7.926 | 8% | 14.115 | 12.917 | 20.844 |
| 2016 | 5 | 9.095 | 8.080 | 5% | 9.567 | 8.500 | 16.581 |
| 2017 | 6 | 9.549 | 8.237 | 3% | 5.803 | 5.006 | 13.243 |
| 2018 | 7 | 10.027 | 8.397 | 2% | 3.149 | 2.638 | 11.035 |
| 2019 | 8 | 10.528 | 8.560 | 1% | 1.530 | 1.244 | 9.804 |
| 2020 | 9 | 11.054 | 8.727 | 0% | 665 | 525 | 9.251 |
| 2021 | 10 | 11.607 | 8.896 | 0% | 259 | 198 | 9.094 |
| 2022 | 11 | 12.188 | 9.069 | 0% | 90 | 67 | 9.136 |
| 2023 | 12 | 12.797 | 9.245 | 0% | 28 | 20 | 9.265 |
| 2024 | 13 | 13.437 | 9.424 | 0% | 8 | 5 | 9.430 |
| 2025 | 14 | 14.109 | 9.607 | 0% | 2 | 1 | 9.609 |
| 2026 | 15 | 14.814 | 9.794 | 0% | 0 | 0 | 9.794 |
| 2027 | 16 | 15.555 | 9.984 | 0% | 0 | 0 | 9.984 |
| 2028 | 17 | 16.332 | 10.178 | 0% | 0 | 0 | 10.178 |
| 2029 | 18 | 17.149 | 10.375 | 0% | 0 | 0 | 10.375 |
| 2030 | 19 | 18.007 | 10.577 | 0% | 0 | 0 | 10.577 |
| 2031 | 20 | 18.907 | 10.782 | 0% | 0 | 0 | 10.782 |
| 2032 | 21 | 19.852 | 10.992 | 0% | 0 | 0 | 10.992 |
| 2033 | 22 | 20.845 | 11.205 | 0% | 0 | 0 | 11.205 |
| 2034 | 23 | 21.887 | 11.423 | 0% | 0 | 0 | 11.423 |
| 2035 | 24 | 22.981 | 11.645 | 0% | 0 | 0 | 11.645 |
| 2036 | 25 | 24.131 | 11.871 | 0% | 0 | 0 | 11.871 |
| 2037 | 26 | 25.337 | 12.101 | 0% | 0 | 0 | 12.101 |
| 2038 | 27 | 26.604 | 12.336 | 0% | 0 | 0 | 12.336 |
| 2039 | 28 | 27.934 | 12.576 | 0% | 0 | 0 | 12.576 |
| 2040 | 29 | 29.331 | 12.820 | 0% | 0 | 0 | 12.820 |
| 2041 | 30 | 30.797 | 13.069 | 0% | 0 | 0 | 13.069 |
| 2042 | 31 | 32.337 | 13.323 | 0% | 0 | 0 | 13.323 |
| 2043 | 32 | 33.954 | 13.581 | 0% | 0 | 0 | 13.581 |
| 2044 | 33 | 35.652 | 13.845 | 0% | 0 | 0 | 13.845 |

| | Existente | Nova | Artigo |
|------|-----------|--------|--------|
| 2005 | 385259 | 403126 | 385326 |
| 2006 | 401725 | 403126 | 396590 |
| 2007 | 418380 | 403126 | 407943 |
| 2008 | 435361 | 403126 | 419284 |
| 2009 | 452287 | 403126 | 430521 |
| 2010 | 468737 | 403126 | 441600 |
| 2011 | 484283 | 403126 | 452507 |
| 2012 | 498640 | 403126 | 463266 |
| 2013 | 511476 | 403126 | 473926 |
| 2014 | 523562 | 403126 | 484547 |
| 2015 | 535649 | 403126 | 495190 |



Anexo III – Características das Estações Elevatórias e das Captações da Águas do Douro e Paiva

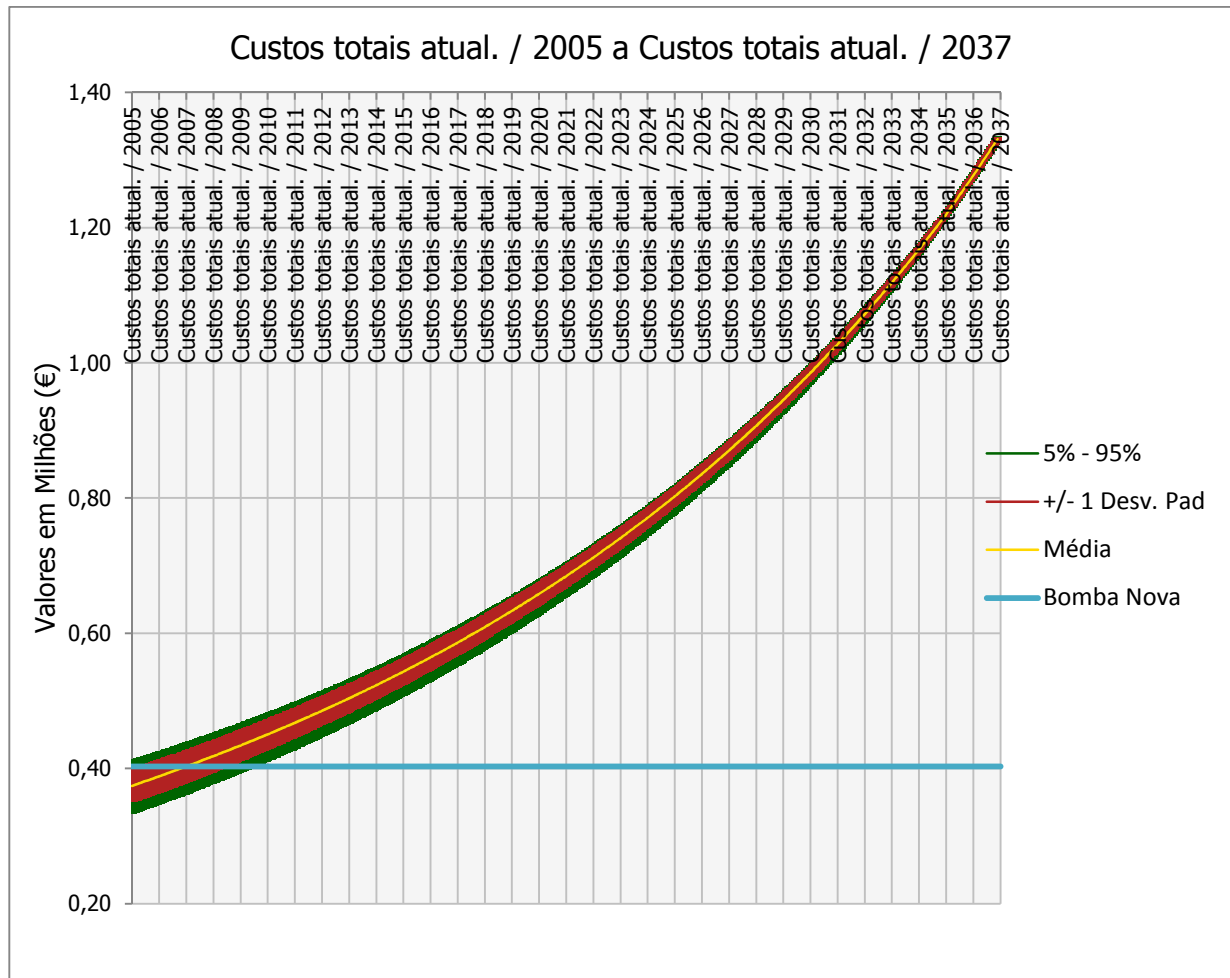
| Código Localização | Designação | Nº Bom bas | Altura manométrica (m) | Potência (kW) | Caudal (m³/h) | Ano Entrada em Funcionamento |
|-----------------------|--|------------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------------------------|
| 6110 | Lever Montante | 6 | 132 | 5750 | 2220 | 1998 |
| | | 2 | 15 | 718 | | 1998 |
| 6111 | Lever Jusante | 4 | 225 | 4120 | 800 | 1998 |
| | | 2 | 225 | | | 1998 |
| 6114 | Captação Lever | 4 | 15 | 750 | 4157 | 2000 |
| | | 2 | 15 | | | 2000 |
| 6130 | ETA de Lever | 4 | 121 | 9000 | 3888 | 2000 |
| | | 2 | 129 | | | 2000 |
| | | 4 | 208 | | | 2000 |
| 6220 | Estação Elevatória de Vale de Ferreiros | 3 | 80 | 630 | 749 | 2003 |
| 6221 | Estação Elevatória de Feiteira | 2 | 60 | 110 | 749 | 2004 |
| 6224 | Estação Elevatória de Ramalde | 4 | 231 | 1120 | 612 | 2011 |
| 6280 | Estação Elevatória de Jovim | 4 | 56 | 1500 | 2500 | 1999 |
| | | 4 | 56 | 1950 | 3262 | 2000 |
| 6380 | Estação Elevatória de Lagoa | 2 | 78 | 630 | 1224 | 2001 |
| 6381 | Estação Elevatória de Seixo Alvo I | 3 | 56,0 | 500,0 | 1062,0 | 1999 |
| 6382 | Estação Elevatória de Mozelos | 2 | 117 | 630 | 1386 | 2001 |
| 6383 | Estação Elevatória de S. João de Ver | 3 | 100 | 800 | 943,0 | 2001 |
| 6384 | Estação Elevatória de Milheirós de Poiares | 3 | 113 | 160 | 324 | 2001 |
| 6385 | Estação Elevatória de S.Vicente-Louredo | 2 | 113 | 437 | 81,7 | 2001 |
| | | 2 | 380 | | 248 | 2001 |
| 6386 | Estação Elevatória de Escariz | 2 | 174 | 160 | 201,0 | 2004 |
| 7110 | Captação de Ponte da Bateira | 3 | 352 | 1800 | 625 | 2000 |
| 7111 | Captação do Ferreira | 1 | 26 | 167 | 94 | 2005 |
| | | 2 | 26 | | 94 | 2005 |
| 7130 | ETA Castelo de Paiva | 3 | 130 | 55 | 417 | 2000 |
| 7131 | ETA do Ferreira | 2 | 101 | 167 | 94 | 2005 |
| | | 2 | 101 | | 94 | 2005 |
| 7120 | Estação Elevatória de Louredo - Paredes | 2 | 21 | 160 | 684 | 2002 |
| 7180 | Estação Elevatória de Cunha | 3 | 260 | 75 | 43 | 2000 |
| 7282 | Estação Elevatória de Quinta do Tapado | 2 | 82 | 264 | 352 | 2004 |
| 7310 | Captação do Ferro e Vizela | 2 | 15 | 236 | 126 | 2001 |
| | | 2 | 15 | 236 | 140 | 2001 |
| 7330 | ETA do Ferro | 2 | 130 | 236 | 125 | 2001 |
| 7320 | Estação Elevatória da Cova da Lixa | 3 | 66 | 150 | 200 | 2004 |
| 7380 | Estação Elevatória de Pombeiro de Ribavizela | 2 | 102 | 160 | 324 | 2001 |
| 7381 | Estação Elevatória da Sta. Eulália | 2 | 240 | 177 | 148 | 2004 |
| | | 2 | 130 | | 148 | 2004 |
| 7480 | Estação Elevatória de Figueiró | 2 | 141 | 710 | 590 | 2011 |

Anexo IV – Quadros Calculados com a Ferramenta @Risk

Os valores calculados para a distribuição Weibull, para a bomba nova, são os seguintes.

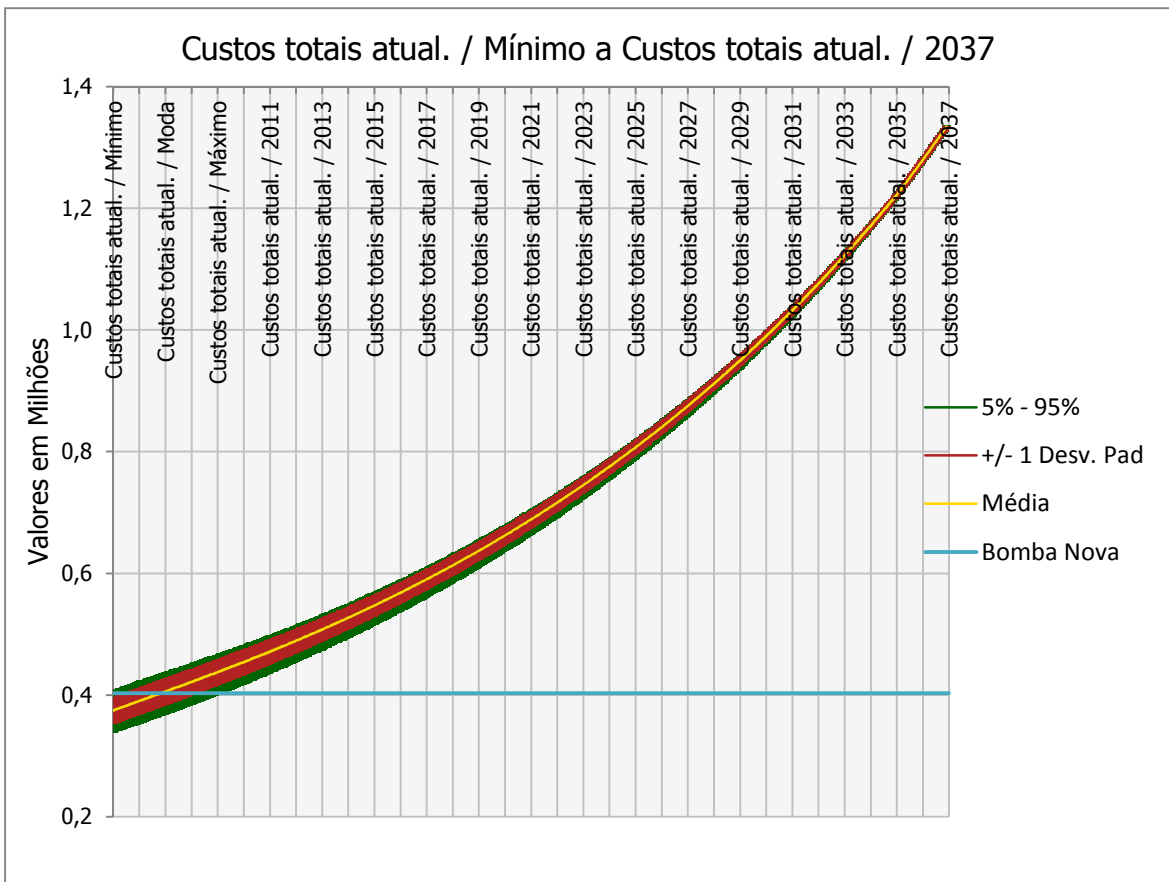
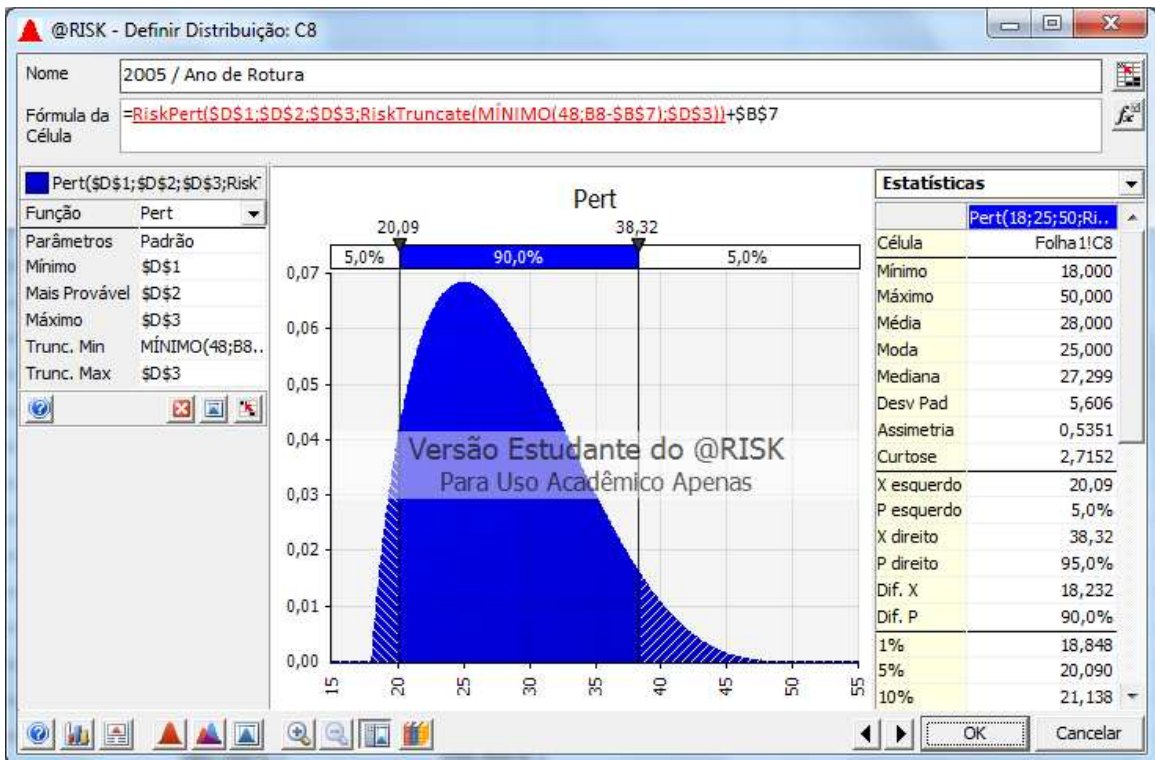
| | Ano de Rotura | Custo de Rotura | Custos Operação e Manutenção | Custos Totais Atualizados | Custos Totais com 75% Probabilidade | Bomba Nova | Diferença |
|------|---------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|
| 2005 | 2015,3 | 129.115 € | 242.718 € | 371.833 € | 393.641 € | 403.126 | -9.485 |
| 2006 | 2015,7 | 131.210 € | 254.854 € | 386.064 € | 397.232 € | 403.126 | -5.894 |
| 2007 | 2016,2 | 133.224 € | 267.597 € | 400.821 € | 421.951 € | 403.126 | 18.825 |
| 2008 | 2016,7 | 135.159 € | 280.977 € | 416.136 € | 442.936 € | 403.126 € | 39.810 € |
| 2009 | 2017,3 | 137.014 € | 295.026 € | 432.039 € | 458.852 € | 403.126 € | 55.726 € |
| 2010 | 2017,8 | 138.789 € | 309.777 € | 448.567 € | 475.212 € | 403.126 € | 72.086 € |
| 2011 | 2018,4 | 140.488 € | 325.266 € | 465.754 € | 492.085 € | 403.126 € | 88.959 € |
| 2012 | 2019,0 | 142.111 € | 341.529 € | 483.640 € | 509.528 € | 403.126 € | 106.402 € |
| 2013 | 2019,7 | 143.661 € | 358.606 € | 502.267 € | 527.607 € | 403.126 € | 124.481 € |
| 2014 | 2020,3 | 145.141 € | 376.536 € | 521.677 € | 546.386 € | 403.126 € | 143.260 € |
| 2015 | 2021,0 | 146.554 € | 395.363 € | 541.917 € | 565.929 € | 403.126 € | 162.803 € |
| 2016 | 2021,7 | 147.903 € | 415.131 € | 563.034 € | 586.306 € | 403.126 € | 183.180 € |
| 2017 | 2022,4 | 149.192 € | 435.887 € | 585.079 € | 607.575 € | 403.126 € | 204.449 € |
| 2018 | 2023,1 | 150.425 € | 457.682 € | 608.106 € | 629.806 € | 403.126 € | 226.680 € |
| 2019 | 2023,9 | 151.605 € | 480.566 € | 632.171 € | 653.606 € | 403.126 € | 250.480 € |
| 2020 | 2024,6 | 152.739 € | 504.594 € | 657.333 € | 677.406 € | 403.126 € | 274.280 € |
| 2021 | 2025,4 | 153.831 € | 529.824 € | 683.655 € | 702.906 € | 403.126 € | 299.780 € |
| 2022 | 2026,1 | 154.886 € | 556.315 € | 711.202 € | 729.629 € | 403.126 € | 326.503 € |
| 2023 | 2026,9 | 155.912 € | 584.131 € | 740.043 € | 757.643 € | 403.126 € | 354.517 € |
| 2024 | 2027,7 | 156.915 € | 613.337 € | 770.253 € | 787.022 € | 403.126 € | 383.896 € |
| 2025 | 2028,5 | 157.904 € | 644.004 € | 801.909 € | 817.837 € | 403.126 € | 414.711 € |
| 2026 | 2029,3 | 158.889 € | 676.204 € | 835.094 € | 850.166 € | 403.126 € | 447.040 € |
| 2027 | 2030,1 | 159.882 € | 710.015 € | 869.896 € | 884.387 € | 403.126 € | 481.261 € |
| 2028 | 2030,8 | 160.896 € | 745.515 € | 906.411 € | 919.687 € | 403.126 € | 516.561 € |
| 2029 | 2031,6 | 161.948 € | 782.791 € | 944.739 € | 957.049 € | 403.126 € | 553.923 € |
| 2030 | 2032,4 | 163.058 € | 821.931 € | 984.989 € | 996.264 € | 403.126 € | 593.138 € |
| 2031 | 2033,1 | 164.251 € | 863.027 € | 1.027.278 € | 1.037.426 € | 403.126 € | 634.300 € |
| 2032 | 2033,9 | 165.553 € | 906.179 € | 1.071.732 € | 1.080.636 € | 403.126 € | 677.510 € |
| 2033 | 2034,6 | 166.999 € | 951.488 € | 1.118.487 € | 1.125.997 € | 403.126 € | 722.871 € |
| 2034 | 2035,3 | 168.624 € | 999.062 € | 1.167.686 € | | | |
| 2035 | 2035,9 | 170.471 € | 1.049.015 € | 1.219.486 € | | | |
| 2036 | 2035,9 | 175.585 € | 1.101.466 € | 1.277.051 € | | | |
| 2037 | 2035,9 | 180.853 € | 1.156.539 € | 1.337.392 € | | | |

Como calculado para a distribuição Normal, também para a Weibull foi retirado o gráfico de tendência que de seguida se mostra. A reta dos custos da bomba nova cruza-se com a média da curva da distribuição da bomba antiga no ano de 2007, como referido no artigo [1].



Com a introdução das distribuições pragmáticas, precisamente com a distribuição de Pert, a janela da ferramenta @Risk modificou-se ligeiramente com a entrada de novos parâmetros a preencher. Neste caso é necessário encontrar os valores mínimo, máximo e a moda (valor mais provável) para concretizar a distribuição.

Também, na distribuição de Pert é possível obter o gráfico de tendência da distribuição, e também, neste caso, se verifica que a reta representativa dos custos da bomba nova cruza com a curva de tendência da média da bomba antiga no ano de 2007. Mais uma vez, o melhor ano para a substituição do ativo antigo é o ano de 2007.



Os resultados obtidos a partir do cálculo com a distribuição Pert auxiliada pela ferramenta do Excel são os seguintes.

| | Ano de Rotura | Custo de Rotura | Custos Operação e Manutenção | Custos Totais Atualizados | Custos Totais com 75% Probabilidade | Bomba Nova | Diferença |
|------|---------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|
| 2005 | 2015,0 | 130.216 € | 242.718 € | 372.935 € | 391.066 € | 403.126 € | -12.060 € |
| 2006 | 2015,1 | 133.617 € | 254.854 € | 388.472 € | 396.636 € | 403.126 € | -6.490 € |
| 2007 | 2015,4 | 136.428 € | 267.597 € | 404.025 € | 422.588 € | 403.126 € | 19.462 € |
| 2008 | 2015,8 | 138.851 € | 280.977 € | 419.828 € | 443.119 € | 403.126 € | 39.993 € |
| 2009 | 2016,3 | 140.996 € | 295.026 € | 436.022 € | 459.996 € | 403.126 € | 56.870 € |
| 2010 | 2016,8 | 142.932 € | 309.777 € | 452.709 € | 476.977 € | 403.126 € | 73.851 € |
| 2011 | 2017,4 | 144.707 € | 325.266 € | 469.973 € | 487.021 € | 403.126 € | 83.895 € |
| 2012 | 2018,0 | 146.354 € | 341.529 € | 487.884 € | 504.340 € | 403.126 € | 101.214 € |
| 2013 | 2018,7 | 147.899 € | 358.606 € | 506.505 € | 522.340 € | 403.126 € | 119.214 € |
| 2014 | 2019,4 | 149.361 € | 376.536 € | 525.897 € | 541.088 € | 403.126 € | 137.962 € |
| 2015 | 2020,0 | 150.754 € | 395.363 € | 546.116 € | 560.648 € | 403.126 € | 157.522 € |
| 2016 | 2020,7 | 152.089 € | 415.131 € | 567.220 € | 581.092 € | 403.126 € | 177.966 € |
| 2017 | 2021,5 | 153.376 € | 435.887 € | 589.264 € | 602.466 € | 403.126 € | 199.340 € |
| 2018 | 2022,2 | 154.623 € | 457.682 € | 612.304 € | 624.839 € | 403.126 € | 221.713 € |
| 2019 | 2022,9 | 155.834 € | 480.566 € | 636.400 € | 648.269 € | 403.126 € | 245.143 € |
| 2020 | 2023,7 | 157.016 € | 504.594 € | 661.610 € | 672.812 € | 403.126 € | 269.686 € |
| 2021 | 2024,4 | 158.172 € | 529.824 € | 687.996 € | 698.530 € | 403.126 € | 295.404 € |
| 2022 | 2025,2 | 159.306 € | 556.315 € | 715.622 € | 725.492 € | 403.126 € | 322.366 € |
| 2023 | 2025,9 | 160.422 € | 584.131 € | 744.552 € | 753.760 € | 403.126 € | 350.634 € |
| 2024 | 2026,7 | 161.520 € | 613.337 € | 774.858 € | 783.403 € | 403.126 € | 380.277 € |
| 2025 | 2027,5 | 162.604 € | 644.004 € | 806.609 € | 814.496 € | 403.126 € | 411.370 € |
| 2026 | 2028,3 | 163.676 € | 676.204 € | 839.881 € | 847.109 € | 403.126 € | 443.983 € |
| 2027 | 2029,0 | 164.737 € | 710.015 € | 874.752 € | 881.324 € | 403.126 € | 478.198 € |
| 2028 | 2029,8 | 165.789 € | 745.515 € | 911.304 € | 917.219 € | 403.126 € | 514.093 € |
| 2029 | 2030,6 | 166.832 € | 782.791 € | 949.624 € | 954.882 € | 403.126 € | 551.756 € |
| 2030 | 2031,4 | 167.869 € | 821.931 € | 989.800 € | 994.403 € | 403.126 € | 591.277 € |
| 2031 | 2032,2 | 168.899 € | 863.027 € | 1.031.927 € | 1.035.873 € | 403.126 € | 632.747 € |
| 2032 | 2033,0 | 169.925 € | 906.179 € | 1.076.104 € | 1.079.394 € | 403.126 € | 676.268 € |
| 2033 | 2033,8 | 170.946 € | 951.488 € | 1.122.434 € | 1.125.067 € | 403.126 € | 721.941 € |
| 2034 | 2034,6 | 171.963 € | 999.062 € | 1.171.025 € | 1.173.002 € | 403.126 € | 769.876 € |
| 2035 | 2035,4 | 172.978 € | 1.049.015 € | 1.221.993 € | 1.223.311 € | 403.126 € | 820.185 € |
| 2036 | 2035,4 | 178.167 € | 1.101.466 € | 1.279.633 € | 1.280.991 € | 403.126 € | 877.865 € |
| 2037 | 2035,4 | 183.512 € | 1.156.539 € | 1.340.051 € | 1.341.450 € | 403.126 € | 938.324 € |

Anexo V – Relatórios Sumário Obtidos no @Risk

Os próximos quadros são retirados do @Risk. Apenas constam no trabalho alguns, porque são extensos sendo mais fácil incorporá-los no Microsoft Excel®. Será fornecido um CD ao júri da apresentação com todas as folhas de cálculo utilizadas ao longo do estudo, bem como os relatórios retirados do @Risk.

O seguinte quadro agrupa os resultados da simulação estocástica realizada para distribuição normal. Apenas se registam os “outputs” até ao ano de 2016, porém no CD entregue constarão os resultados para os restantes anos.

| Estatísticas Detalhadas do @RISK | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Executado por: Ana | | | | | | | | | | | | |
| Nome | Custos totais atual. / 2005 | Custos totais atual. / 2006 | Custos totais atual. / 2007 | Custos totais atual. / 2008 | Custos totais atual. / 2009 | Custos totais atual. / 2010 | Custos totais atual. / 2011 | Custos totais atual. / 2012 | Custos totais atual. / 2013 | Custos totais atual. / 2014 | Custos totais atual. / 2015 | Custos totais atual. / 2016 |
| Descrição | output | output | output | output | output | output | output | output | output | output | output | Output |
| Célula | PV diferentes anos!U9 | PV diferentes anos!V9 | PV diferentes anos!W9 | PV diferentes anos!X9 | PV diferentes anos!Y9 | PV diferentes anos!Z9 | PV diferentes anos!AA9 | PV diferentes anos!AB9 | PV diferentes anos!AC9 | PV diferentes anos!AD9 | PV diferentes anos!AE9 | PV diferentes anos!AF9 |
| Mínimo | 344.069 € | 357.173 € | 373.381 € | 391.727 € | 409.633 € | 427.140 € | 434.278 € | 459.161 € | 483.201 € | 505.913 € | 526.710 € | 546.953 € |
| Máximo | 417.712 € | 429.853 € | 442.596 € | 455.969 € | 470.024 € | 484.777 € | 500.264 € | 516.528 € | 533.604 € | 551.535 € | 570.362 € | 590.130 € |
| Média | 385.198 € | 401.204 € | 417.637 € | 434.427 € | 451.525 € | 468.925 € | 486.662 € | 504.804 € | 523.435 € | 542.646 € | 562.529 € | 583.171 € |
| Desvio Padrão | 12.179 € | 12.121 € | 11.866 € | 11.412 € | 10.793 € | 10.065 € | 9.290 € | 8.507 € | 7.760 € | 7.070 € | 6.447 € | 5.892 € |
| Variância | 148330500 | 146925500 | 140802300 | 130232000 | 116492600 | 101295600 | 86310630 | 72372300 | 60220580 | 49992780 | 41565360 | 34721890 |
| Assimetria | 8 | -0,0129147 | -0,137656 | -0 | -0,4243652 | -0 | -0 | -0 | -0 | -1,086381 | -1 | -1,27738 |
| Curtose | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,843407 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| Erros | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Moda | 383.137 € | 401.521 € | 417.913 € | 435.673 € | 454.898 € | 472.985 € | 494.030 € | 515.656 € | 533.529 € | 551.475 € | 570.311 € | 590.087 € |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 5% Perc | 365.639 € | 381.392 € | 397.791 € | 414.802 € | 432.427 € | 450.617 € | 469.342 € | 488.600 € | 508.410 € | 528.777 € | 549.757 € | 571.434 € |
| 10% Perc | 369.660 € | 385.518 € | 402.002 € | 419.094 € | 436.752 € | 454.939 € | 473.618 € | 492.777 € | 512.435 € | 532.628 € | 553.424 € | 574.888 € |
| 15% Perc | 372.440 € | 388.366 € | 404.914 € | 422.048 € | 439.715 € | 457.876 € | 476.491 € | 495.556 € | 515.089 € | 535.139 € | 555.780 € | 577.092 € |
| 20% Perc | 374.691 € | 390.675 € | 407.266 € | 424.424 € | 442.092 € | 460.217 € | 478.763 € | 497.730 € | 517.140 € | 537.062 € | 557.571 € | 578.750 € |
| 25% Perc | 376.654 € | 392.683 € | 409.307 € | 426.481 € | 444.138 € | 462.220 € | 480.691 € | 499.556 € | 518.855 € | 538.649 € | 559.035 € | 580.099 € |
| 30% Perc | 378.439 € | 394.507 € | 411.161 € | 428.341 € | 445.976 € | 464.008 € | 482.401 € | 501.161 € | 520.341 € | 540.018 € | 560.287 € | 581.242 € |
| 35% Perc | 380.116 € | 396.217 € | 412.894 € | 430.072 € | 447.682 € | 465.653 € | 483.957 € | 502.610 € | 521.673 € | 541.233 € | 561.391 € | 582.244 € |
| 40% Perc | 381.720 € | 397.857 € | 414.548 € | 431.722 € | 449.294 € | 467.196 € | 485.403 € | 503.942 € | 522.887 € | 542.331 € | 562.381 € | 583.140 € |
| 45% Perc | 383.292 € | 399.456 € | 416.158 € | 433.317 € | 450.844 € | 468.665 € | 486.768 € | 505.188 € | 524.011 € | 543.341 € | 563.285 € | 583.951 € |
| 50% Perc | 384.853 € | 401.042 € | 417.751 € | 434.890 € | 452.357 € | 470.089 € | 488.074 € | 506.368 € | 525.066 € | 544.278 € | 564.120 € | 584.696 € |
| 55% Perc | 386.428 € | 402.642 € | 419.350 € | 436.456 € | 453.852 € | 471.477 € | 489.334 € | 507.495 € | 526.060 € | 545.156 € | 564.896 € | 585.386 € |
| 60% Perc | 388.044 € | 404.276 € | 420.979 € | 438.036 € | 455.345 € | 472.847 € | 490.563 € | 508.576 € | 527.008 € | 545.985 € | 565.624 € | 586.030 € |
| 65% Perc | 389.729 € | 405.975 € | 422.660 € | 439.656 € | 456.855 € | 474.213 € | 491.769 € | 509.626 € | 527.918 € | 546.775 € | 566.313 € | 586.636 € |
| 70% Perc | 391.522 € | 407.774 € | 424.424 € | 441.336 € | 458.400 € | 475.585 € | 492.960 € | 510.650 € | 528.795 € | 547.528 € | 566.966 € | 587.207 € |
| 75% Perc | 393.470 € | 409.720 € | 426.316 € | 443.109 € | 459.997 € | 476.978 € | 494.146 € | 511.653 € | 529.643 € | 548.251 € | 567.590 € | 587.750 € |
| 80% Perc | 395.658 € | 411.884 € | 428.388 € | 445.014 € | 461.669 € | 478.400 € | 495.336 € | 512.641 € | 530.469 € | 548.950 € | 568.186 € | 588.267 € |
| 85% Perc | 398.221 € | 414.389 € | 430.740 € | 447.108 € | 463.455 € | 479.872 € | 496.533 € | 513.619 € | 531.275 € | 549.623 € | 568.760 € | 588.761 € |
| 90% Perc | 401.445 € | 417.470 € | 433.531 € | 449.490 € | 465.391 € | 481.407 € | 497.749 € | 514.589 € | 532.064 € | 550.278 € | 569.312 € | 589.235 € |
| 95% Perc | 406.115 € | 421.725 € | 437.118 € | 452.320 € | 467.545 € | 483.033 € | 498.988 € | 515.557 € | 532.841 € | 550.915 € | 569.845 € | 589.692 € |

O quadro seguinte mostra o relatório que o @Risk emite, resultado da simulação estocástica realizada para a distribuição Pert.

| Nome | Moda | Moda | Moda |
|---------------|-------------|-----------------------------------|--|
| Descrição | output | RiskPertAlt(5%;D3;50%;D4;95%;D5) | RiskPertAlt(5%;D9;"m. likely";D10;95%;D11) |
| Célula | Folha2!F4 | Folha2!F4 | Folha2!F10 |
| Mínimo | 5.753,17 € | 5.753,17 € | -0,70% |
| Máximo | 30.065,91 € | 30.065,91 € | 14,74% |
| Média | 11.827,75 € | 11.827,75 € | 7,00% |
| Desvio Padrão | 4.219,85 € | 4.219,85 € | 3,04% |
| Variância | 17807120 | 17807120 | 0,000924714 |
| Assimetria | 0,8543165 | 0,8543165 | 4,8525E-05 |
| Curtose | 3,307717 | 3,307717 | 2,333428 |
| Erros | 0 | 0 | 0 |
| Moda | 8.051,33 € | 8.051,33 € | 6,96% |
| 5% Perc | 6.499,47 € | 6.499,47 € | 2,00% |
| 10% Perc | 7.033,77 € | 7.033,77 € | 2,92% |
| 15% Perc | 7.526,23 € | 7.526,23 € | 3,62% |
| 20% Perc | 8.003,72 € | 8.003,72 € | 4,21% |
| 25% Perc | 8.476,87 € | 8.476,87 € | 4,74% |
| 30% Perc | 8.953,37 € | 8.953,37 € | 5,23% |
| 35% Perc | 9.438,53 € | 9.438,53 € | 5,69% |
| 40% Perc | 9.938,76 € | 9.938,76 € | 6,13% |
| 45% Perc | 10.456,31 € | 10.456,31 € | 6,57% |
| 50% Perc | 10.999,25 € | 10.999,25 € | 7,00% |
| 55% Perc | 11.573,02 € | 11.573,02 € | 7,43% |
| 60% Perc | 12.185,02 € | 12.185,02 € | 7,86% |
| 65% Perc | 12.847,21 € | 12.847,21 € | 8,31% |
| 70% Perc | 13.574,32 € | 13.574,32 € | 8,77% |
| 75% Perc | 14.388,42 € | 14.388,42 € | 9,26% |
| 80% Perc | 15.323,48 € | 15.323,48 € | 9,79% |
| 85% Perc | 16.441,65 € | 16.441,65 € | 10,38% |
| 90% Perc | 17.875,20 € | 17.875,20 € | 11,08% |
| 95% Perc | 19.996,56 € | 19.996,56 € | 12,00% |