

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2014/2015

**Gestão Patrimonial de Infraestruturas de Abastecimento
de Água. Metodologia para Apoio à Decisão no Ciclo de
Vida**

Miguel Gomes Rodrigues

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Cidália Maria de Sousa Botelho
(Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: José Carlos Tentúgal Valente
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

(Julho de 2015)

Agradecimentos

À minha família, em especial aos meus pais, minha avó e minha tia Cristina, que sempre me deram um forte incentivo, e apoio incondicional à conclusão das várias etapas.

À Anita, que ao longo de todo este percurso académico foi o meu maior apoio e sem o qual não seria possível chegar até aqui.

Aos meus colegas, amigos e professores que me acompanharam ao longo destes anos na Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto.

À Águas do Douro e Paiva, S.A. por toda a boa vontade ao terem aceite este caso de estudo e pela extrema disponibilidade demonstrada para me fornecer toda a informação e esclarecimentos que fui solicitando.

Por último, mas não menos importante, a minha enorme gratidão ao Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente, que admiro pela generosidade com que partilhou conhecimentos e, sobretudo, por se mostrar sempre disponível às minhas solicitações.

Resumo

O presente trabalho centrou-se na gestão patrimonial de infraestruturas. Teve como objetivo a seleção e ordenação preferencial de alternativas de intervenção numa infraestrutura de abastecimento de água, tendo em consideração as particularidades da infraestrutura, três níveis de decisão (estratégico, tático e operacional), incidindo essencialmente no nível tático, e as dimensões de análise de desempenho, risco e custo numa perspetiva de longo prazo (neste caso, um período de 50 anos).

O caso de estudo remete para um sistema adutor de água da empresa Águas do Douro e Paiva, S.A., no qual ocorreu uma rutura numa das condutas, no passado dia 4 de janeiro, ficando esta, desde essa data, inoperacional. Tendo-se enquadrado este problema na metodologia proposta para a gestão patrimonial de infraestruturas, definiram-se 13 alternativas de intervenção e 8 métricas de avaliação (3 para a dimensão do desempenho, 3 para a dimensão do risco e 2 para a dimensão do custo). Os resultados obtidos nestas métricas foram agregados no método multicritério AWARE Plan, o qual devolveu uma ordenação preferencial das alternativas de intervenção.

O AWARE Plan indicou que a melhor alternativa de intervenção corresponde à alternativa *statu quo*, que consiste em desativar uma conduta e manter as práticas de operação e manutenção na outra conduta, ficando o sistema adutor composto por apenas uma conduta. Esta alternativa revelou-se, no cômputo geral, a que melhor satisfaz os objetivos de assegurar a sustentabilidade e integridade infraestrutural, de garantir o cumprimento dos requisitos regulatórios e contratuais relativos a falhas de abastecimento, e de assegurar a sustentabilidade económico-financeira da entidade gestora.

Palavras Chave: Custo; Desempenho; Gestão Patrimonial de Infraestruturas; Método de apoio à decisão multicritério; Método de agregação; Risco.

Abstract

This work aim is the infrastructure asset management. The purpose was the selection and preferential ordination of intervention alternatives on an urban water infrastructure, considering its particularities, 3 decision levels (strategic, tactic and operational), focusing essentially on the tactical level and on the dimensions of performance, risk and costs analysis on a long-term perspective (more accurately 50 years)

This study, in particular, refers to a pipeline system of the company *Águas do Douro e Paiva, S.A.*, where a rupture in one of the pipelines occurred last January the 4th, remaining inoperative since then. Having framed this problem in the infrastructure asset management proposed methodology, 13 intervention alternatives have been defined, along with 8 evaluation metrics (3 for the performance dimension, 3 for the risk dimension and 2 for cost dimension). The results obtained in these metrics have been aggregated on the multi-criteria methodology AWARE Plan, which has given us a preferential ordination for the intervention alternatives.

The AWARE Plan indicated that the best intervention alternative corresponded to the *statu quo* that consists in deactivating a pipeline and keeping the operational practices and maintenance, on the other, leaving the pipeline system with one working pipeline only. This alternative revealed itself, on a general estimate, the best alternative to accomplish sustainability and infrastructural integrity, to guarantee that mandatory regulatory and contractual requirements regarding supply failures are obeyed, and to assure the financial and economical sustainability of the company.

Key words:

Aggregation methodology; Cost; Infrastructure Asset Management; Performance; Risk; Support methodology to multi-criteria decision.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento Geral do Tema	1
1.2	Objetivos e Metodologia	2
1.3	Organização da Tese	3
2	Gestão Patrimonial de Infraestruturas.....	5
2.1	Gestão Patrimonial de Infraestruturas no Contexto da Gestão Técnica.....	5
2.2	Gestão Patrimonial de Infraestruturas de Abastecimento de Água.....	7
2.2.1	Nível Estratégico	10
2.2.2	Nível Tático	12
2.2.3	Nível Operacional	14
2.2.4	Avaliação do Desempenho	14
2.2.5	Avaliação do Risco	21
2.2.6	Avaliação do Custo.....	29
3	Caso de Estudo - Reabilitação de um Sistema Adutor da Águas do Douro e Paiva.....	33
3.1	A Águas do Douro e Paiva, S.A.....	33
3.2	Diagnóstico da Situação Atual	35
3.3	Identificação dos Objetivos	39
3.4	Definição das Alternativas de Intervenção.....	40
3.5	Estabelecimento de Métricas de Avaliação	44
3.5.1	Indicador de Adequação da Capacidade Hidráulica	46
3.5.2	Índice de Valor da Infraestrutura	48
3.5.3	Indicador de Perdas Reais de Água	51
3.5.4	Condição Estrutural.....	54
3.5.5	Probabilidade de Interrupção do Serviço de Abastecimento de Água	58
3.5.6	Risco de Rutura em Conduitas.....	60
3.5.7	Custos de Investimento em Capital Fixo	64
3.5.8	Componente Variável dos Custos de Operação e Manutenção Atualizados	66

3.6	Método de Agregação	69
3.6.1	Análise de Sensibilidade	75
3.6.2	Discussão dos Resultados	81
4	Conclusões	83
4.1	Síntese e Conclusões Gerais	83
4.2	Desenvolvimentos Futuros	84
5	Referências Bibliográficas.....	85
Anexo 1	Resultados Obtidos para as métricas	87
Anexo 2	Quadros de Amortizações	97
Anexo 3	Resultados Obtidos no AWARE Plan.....	107

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Abordagem multidimensional na gestão patrimonial de infraestruturas</i>	8
<i>Figura 2 - Fases do planeamento estratégico (adaptado de Carriço, 2013)</i>	10
<i>Figura 3 - Fases do planeamento tático (adaptado de Carriço, 2013)</i>	12
<i>Figura 4 - Etapas de implementação do sistema de avaliação de desempenho dos componentes de uma infraestrutura (adaptado de Alegre e Covas 2010)</i>	17
<i>Figura 5 - Processo da gestão do risco (adaptado de ISO 31000: 2013)</i>	22
<i>Figura 6 - Curva da banheira do ciclo de vida de um componente de uma infraestrutura</i>	26
<i>Figura 7 - Relação entre custos no ciclo de vida e custos na vida completa</i>	31
<i>Figura 8 - O sistema de abastecimento da água da AdDP</i>	34
<i>Figura 9 - Sistema adutor entre Ramalde e Pedrouços</i>	35
<i>Figura 10 - Local da rutura e estado de conservação da conduta</i>	36
<i>Figura 11 - Inspeção visual ao interior da conduta</i>	37
<i>Figura 12 - Locais onde ocorreram ruturas de grandes dimensões e fugas de menores dimensões no sistema adutor entre Ramalde e Pedrouços</i>	38
<i>Figura 13 - Traçado da conduta de FFd e da conduta a reabilitar ou a construir nas alternativas A₁, A₂, A₃, A₄, A₅, A₆, A₇ e A₈</i>	41
<i>Figura 14 - Traçado da conduta de FFd e da conduta a construir nas alternativas A₉, A₁₀, A₁₁ e A₁₂</i>	42
<i>Figura 15 - Objetivos, critérios e métricas de avaliação consideradas para o problema de decisão da reabilitação do sistema adutor da Águas do Douro e Paiva</i>	45
<i>Figura 16 - Evolução do indicador de adequação da capacidade hidráulica para as alternativas: (a) A₀; (b) A₁ e A₂; (c) A₃ e A₄; (d) A₅; (e) A₆; (f) A₇; (g) A₈; (h) A₉; (i) A₁₀; (j) A₁₁; (k) A₁₂</i>	48
<i>Figura 17 - Evolução do índice de valor da infraestrutura para as alternativas: (a) A₀; (b) A₁ e A₂; (c) A₃ e A₄; (d) A₅; (e) A₆; (f) A₇; (g) A₈; (h) A₉; (i) A₁₀; (j) A₁₁; (k) A₁₂</i>	50
<i>Figura 18 - Curva e equação utilizada para determinação do indicador de perdas reais de água</i>	52
<i>Figura 19 - Evolução do indicador de perdas reais de água para as alternativas: (a) A₀; (b) A₁ e A₂; (c) A₃, A₄, A₅, A₆, A₇ e A₈; (d) A₉, A₁₀, A₁₁ e A₁₂</i>	53
<i>Figura 20 - Curva da banheira (adaptado de Carriço, 2013)</i>	54
<i>Figura 21 - Curvas de degradação e classes de escala de condição estrutural</i>	56
<i>Figura 22 - Evolução da condição estrutural das condutas nas alternativas: (a) A₀; (b) A₁ e A₂; (c) A₃ e A₄; (d) A₅, A₆, A₉ e A₁₀; (e) A₇, A₈, A₁₁ e A₁₂</i>	57

Figura 23 - Evolução da probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento nas alternativas: (a) A_0; (b) A_1 e A_2; (c) A_3 e A_4; (d) A_5, A_6, A_9 e A_{10}; (e) A_7, A_8, A_{11} e A_{12}.....	60
Figura 24 - Árvore de acontecimentos usada para a análise da consequência nas alternativas A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11} e A_{12}	62
Figura 25 - Evolução do risco de ruturas em condutas para as alternativas: (a) A_0; (b) A_1 e A_2; (c) A_3 e A_4; (d) A_5 e A_9; (e) A_6; (f) A_7 e A_{11}; (g) A_8; (h) A_{10}; (i) A_{12}.....	64
Figura 26 - Custos de ICF por alternativa	65
Figura 27 - Rendas periódicas constantes por alternativa	66
Figura 28 - Evolução da componente dos custos de O&M atualizados para as alternativas: (a) A_0; (b) A_2 e A_2; (c) A_3; (d) A_4; (e) A_5; (f) A_6; (g) A_7; (h) A_8; (i) A_9; (j) A_{10}; (k) A_{11}; (l) A_{12}	69
Figura 29 - Exemplo de definição de escala da normalização da métrica no método AWARE Plan	70
Figura 30 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan	73
Figura 31 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan no ano 2045.....	74
Figura 32 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando os pesos das métricas iguais entre si	75
Figura 33 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão risco	76
Figura 34 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão desempenho.....	77
Figura 35 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão custo	77
Figura 36 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão risco e custo	78
Figura 37 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão risco e desempenho	79
Figura 38 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão desempenho e custo	80
Figura 39 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan, considerando todas as métricas exceto a métrica C_1	81
Figura 40 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A_0.....	82
Figura 41 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A_0.....	107
Figura 42 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A_1.....	107
Figura 43 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A_2.....	108
Figura 44 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A_3.....	108

Figura 45 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₄..... 109

Figura 46 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₅..... 109

Figura 47 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₆..... 110

Figura 48 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₇..... 110

Figura 49 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₈..... 111

Figura 50 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₉..... 111

Figura 51 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₁₀..... 112

Figura 52 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₁₁..... 112

Figura 53 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₁₂..... 113

Índice de Quadros

<i>Quadro 1 - Principais pilares de competências na GPI (adaptado de Sanina, 2010)</i>	9
<i>Quadro 2 - Níveis de decisão (Adaptado de Alegre e Covas, 2010)</i>	9
<i>Quadro 3 - Indicador operacional de controlo de fugas (adaptado de Alegre et al., 2004)</i>	19
<i>Quadro 4 - Indicador operacional de reparações por controlo ativo de fugas</i>	19
<i>Quadro 5 - Indicador operacional de reabilitação de condutas (adaptado de Alegre et al., 2004)</i>	20
<i>Quadro 6 - Indicador operacional de perdas de água por comprimento de conduta</i>	20
<i>Quadro 7 - Indicador operacional de avarias em grupos eletrobombas (adaptado de Alegre et al., 2004)</i>	21
<i>Quadro 8 - Dimensões das condutas para cada alternativa</i>	43
<i>Quadro 9 - Vida útil (técnica)</i>	55
<i>Quadro 10 - Escala de condição estrutural</i>	56
<i>Quadro 11 - Probabilidade de falha num dado ano</i>	59
<i>Quadro 12 - Custos unitários</i>	65
<i>Quadro 13 - Intervalos de referência das métricas no AWARE Plan</i>	72
<i>Quadro 14 - Pesos utilizados no AWARE Plan</i>	72
<i>Quadro 15 - Pesos utilizados no AWARE Plan considerando-os iguais entre si</i>	75
<i>Quadro 16 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão risco</i>	76
<i>Quadro 17 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão desempenho</i>	76
<i>Quadro 18 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão custo</i>	77
<i>Quadro 19 - Pesos utilizados no AWARE Plan, das métricas da dimensão risco e custo</i>	78
<i>Quadro 20 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão risco e desempenho</i>	79
<i>Quadro 21 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão desempenho e risco</i>	79
<i>Quadro 22 - Pesos utilizados no AWARE Plan excetuando a métrica C_1</i>	80
<i>Quadro 23 - Indicador de adequação da capacidade hidráulica</i>	87
<i>Quadro 24 - Índice de valor da infraestrutura</i>	88
<i>Quadro 25 - Perdas reais de água ($m^3/(\text{dia.km})$)</i>	89
<i>Quadro 26 - Volume de perdas reais de água por alternativa ($10^6 m^3/\text{ano}$)</i>	90
<i>Quadro 27 - Evolução da condição estrutural em cada alternativa</i>	91
<i>Quadro 28 - Evolução da probabilidade de falha do sistema em cada alternativa</i>	92
<i>Quadro 29 - Risco de ruturas em condutas</i>	93

<i>Quadro 30 - Custos de ICF e Rendas periódicas constantes por alternativa</i>	<i>94</i>
<i>Quadro 31 - Custos de ICF e Rendas periódicas constantes por alternativa (continuação)</i>	<i>95</i>
<i>Quadro 32 - Componente variável dos custos de O&M atualizados.....</i>	<i>95</i>
<i>Quadro 33 - Quadro de amortizações da alternativa A₃</i>	<i>97</i>
<i>Quadro 34 - Quadro de amortizações da alternativa A₄</i>	<i>98</i>
<i>Quadro 35 - Quadro de amortizações da alternativa A₅</i>	<i>99</i>
<i>Quadro 36 - Quadro de amortizações da alternativa A₆</i>	<i>100</i>
<i>Quadro 37 - Quadro de amortizações da alternativa A₇</i>	<i>101</i>
<i>Quadro 38 - Quadro de amortizações da alternativa A₈</i>	<i>102</i>
<i>Quadro 39 - Quadro de amortizações da alternativa A₉</i>	<i>103</i>
<i>Quadro 40 - Quadro de amortizações da alternativa A₁₀</i>	<i>104</i>
<i>Quadro 41 - Quadro de amortizações da alternativa A₁₁</i>	<i>105</i>
<i>Quadro 42 - Quadro de amortizações da alternativa A₁₂</i>	<i>106</i>

Lista de Símbolos

a_t	Fator de atualização	-
c	Parâmetro de escala	-
$cs_{i,t}$	Custo de substituição do ativo i no ano t	€
$g_j(a_i)$	Valor normalizado da métrica j para a ação de intervenção i	-
i	Taxa de atualização	%
i	Taxa de juro	%
Lm	Comprimento da conduta	km
Lp	Comprimento total das conexões	m
m	Período de análise	anos
n	Períodos de capitalização	anos
t	Instante temporal	anos
$vr_{i,t}$	Vida útil residual do ativo i no ano t	anos
vu_i	Vida útil técnica total do ativo i	anos
w_j	Coefficiente de ponderação da métrica j	-
C	Consequência	%
C_1	Indicador de custos de investimento em capital fixo	€
C_2	Componente variável dos custos de O&M atualizados	€
C_M	Custos de manutenção associados à reparação de condutas	€
C_P	Custos de produção de água perdida	€
N	Número total de ativos	-
P	Probabilidade de falha	-
P	Pressão média	m
P_1	Indicador de adequação da capacidade hidráulica	-
P_2	Índice de valor da infraestrutura	-
P_3	Indicador de perdas reais de água	$m^3 \text{dia}^{-1} \text{km}^{-1}$
Q_N	Necessidades de água	$m^3 \text{dia}^{-1}$
Q_S	Caudal máximo transportado pelo sistema	$m^3 \text{dia}^{-1}$
R	Risco de rutura	-
R	Renda periódica constante	€
R_1	Condição estrutural	-
R_2	Probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento	-
R_3	Risco de ruturas em condutas	-
S_n	Saldo do <i>cash-flow</i> do ano n	€
T_1	Taxa de rendimento real	%
T_2	Taxa de prémio de risco	%
T_3	Taxa de inflação	%
VAR_n	Valor futuro das rendas a receber em n períodos	€
$V(a_i)$	Pontuação global da ação de intervenção i	-
α	Parâmetro de forma	-
γ	Taxa de falha	$\text{n}^\circ \text{km}^{-1} \text{ano}^{-1}$

Lista de Acrónimos

AWARE-P	<i>Advanced Water Asset Rehabilitation in Portugal</i>
CARL	<i>Current Annual Real Losses</i>
BPE	Betão pré-esforçado
DN	Diâmetro nominal
EG	Entidade gestora
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
FFd	Ferro fundido dúctil
GPI	Gestão patrimonial de infraestruturas
ICF	Investimento em capital fixo
ILI	<i>Infrastructure leakage Index</i>
IVI	Índice de valor da infraestrutura
IWA	<i>International Water Association</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
IST	Instituto Superior Técnico
O&M	Operação e manutenção
UARL	<i>Unavoidable Annual Real Losse</i>
VAL	Valor atualizado líquido

1 Introdução

1.1 Enquadramento Geral do Tema

A realidade Portuguesa nas décadas passadas em termos de serviço de abastecimento de água consistia em aumentar os níveis de cobertura. Atualmente, Portugal encontra-se numa situação mais evoluída, onde os sistemas de abastecimento já se encontram construídos e em operação. Por conseguinte, os maiores desafios atuais prendem-se com a necessidade de melhorar o desempenho dos sistemas existentes, no que diz respeito à eficiência de funcionamento e à qualidade do serviço que prestam aos utilizadores (Alegre e Covas, 2010). É neste contexto que surge a gestão patrimonial de infraestruturas (GPI), com maior relevância na manutenção e na reabilitação dos sistemas existentes. Não obstante, a GPI pode ainda ser utilizada no planeamento, conceção e construção de novos sistemas.

Entende-se por GPI, a gestão sustentável e estratégica das infraestruturas de abastecimento de água. Neste caso específico, a GPI foca-se na gestão dos ativos fixos tangíveis que constituem os sistemas diretamente associados à prestação do serviço de abastecimento de água. Esses ativos são as condutas e respetivos componentes, as estações elevatórias, os reservatórios e as estações de tratamento que estão sujeitas a diferentes causas de degradação ao longo do tempo. Torna-se necessário, portanto, desenvolver estratégias de reabilitação, de uma forma planeada e articulada com outros processos de gestão (Alegre e Covas, 2010).

A GPI de infraestruturas de abastecimento de água é uma abordagem multidimensional, pois pretende garantir um equilíbrio, a longo prazo, entre o desempenho, risco e o custo, sendo também uma abordagem multidisciplinar, uma vez que envolve as competências de gestão (envolvendo a economia e a sociologia das organizações), a engenharia (civil, ambiental, mecânica) e a informação (comunicação, informática e gestão da informação). A GPI requer, ainda, uma intervenção coordenada entre diferentes níveis de planeamento: estratégico, tático e operacional (Alegre e Covas, 2010). É indispensável adotar esta abordagem integrada para assegurar a racionalidade dos investimentos e dos custos operacionais em relação aos objetivos de serviço pretendidos.

Com a entrada em vigor, a 20 de Agosto, dos Decretos-Lei nº 194/2009 e nº 195/2009, que regulamentam juridicamente os serviços municipais e multimunicipais, ficam as entidades gestoras que sirvam mais de 30 000 habitantes obrigadas a promover e a manter um sistema de GPI (Artigo 8^a, ponto 5, alínea b) do Decreto-Lei nº 194/2009). Do mesmo modo, ficam as concessionárias multimunicipais obrigadas a entregar à entidade reguladora um inventário patrimonial que inclua as prioridades de reabilitação ou substituição e respetiva calendarização

(Artigo 6º do Decreto-Lei nº 195/2009). Esta nova lei evidencia claramente a importância que atualmente tem a GPI.

A decisão da melhor solução para um problema típico de GPI, deve ser fundamentada com base na análise das dimensões de custo, risco e desempenho. Para que se mantenham os níveis de serviço aceitáveis, as decisões de planeamento e dos investimentos, devem refletir uma maximização do desempenho e minimização do risco e do custo. A agregação destas três dimensões, numa perspetiva de longo prazo, consegue-se mediante a utilização do método multicritério AWARE Plan.

O método multicritério AWARE Plan surge na sequência do projeto de investigação europeu *Advanced Water Asset Rehabilitation in Portugal (AWARE-P)*, que juntou três parceiros de investigação (LNEC e IST, Portugal; SINTEF, Noruega), dois parceiros tecnológicos (Ydreams e Addiction) e a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), bem como quatro utilizadores finais (AdP Serviços S.A; Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Oeiras e Amadora (SMAS O&A); e Veolia Água). O objetivo deste projeto de investigação prendeu-se com a necessidade de dotar as entidades gestoras com o conhecimento e ferramentas necessárias, para a tomada de decisão eficiente e bem fundamentada no campo de ação da GPI, incorporando as três dimensões atrás referidas (desempenho, custo e risco) (Carriço, 2013).

Algumas destas questões são objeto de estudo nesta dissertação, num caso de estudo que envolve a seleção da melhor ação de intervenção de reabilitação, num sistema adutor em alta da entidade gestora Águas do Douro e Paiva, S.A.

1.2 Objetivos e Metodologia

A presente dissertação de Mestrado teve como objetivo a seleção e a ordenação preferencial de alternativas de intervenção de reabilitação, num sistema adutor de água em alta, tendo em conta as especificidades da infraestrutura.

A metodologia consiste em estabelecer objetivos e definir e agregar os diferentes pontos de vista, quantificados por métricas e estabelecidos com base em três dimensões de análise: desempenho, custo e risco. Numa perspetiva de longo prazo, o período de análise temporal é de 50 anos e a agregação dos diferentes pontos de vista é feita de acordo com método de agregação AWARE Plan.

1.3 Organização da Tese

A presente dissertação encontra-se estruturada em quatro Capítulos e três Anexos. O primeiro capítulo inclui o enquadramento geral do tema, os objetivos e metodologia e a apresentação da estrutura do documento. O segundo capítulo contém o levantamento do estado da arte tendo em conta os últimos desenvolvimentos nos domínios da GPI. O terceiro capítulo apresenta o caso de estudo, detalhando a aplicação da metodologia proposta e do método de agregação utilizado. Por fim, o quarto e último capítulo sintetiza a informação anterior, apresenta conclusões gerais e propõe desenvolvimentos futuros.

2 Gestão Patrimonial de Infraestruturas

2.1 Gestão Patrimonial de Infraestruturas no Contexto da Gestão Técnica

A GPI, uma ferramenta útil para as organizações que gerem o abastecimento de água, é constituída por um conjunto de estratégias, através das quais a organização gere as suas infraestruturas, garantindo o equilíbrio entre o desempenho, o custo e o risco que lhes estão associados durante o ciclo de vida dos vários componentes do sistema.

Envolvendo vários níveis de decisão (nível estratégico, tático e operacional) a GPI não pode ser sectorial. Deverá ser enquadrada no seio da organização de modo a permitir uma gestão técnica integrada, tendo que ser articulada com os principais componentes de gestão. De acordo com a norma portuguesa ISO 24512: 2012 a entidade gestora de serviços de abastecimento de água poderá contar com as seguintes componentes de gestão:

- **Gestão de atividades e processos**, que poderão ser assumidos em todos os níveis da hierarquia da organização como, por exemplo, estabelecimento de políticas de gestão, formulação de estratégias, desenvolvimento de procedimentos, cumprimento de requisitos regulatórios, coordenação interna e externa, operações e controlos.
Relativamente aos planos de GPI, pretende-se que estejam articulados com cada uma destas atividades e processos e espera-se que integrem os procedimentos da organização a eles associados.
- **Gestão dos recursos** que a entidade gestora dispõe. Exemplos de recursos a gerir incluem os humanos, os materiais e equipamentos (peças de reserva, veículos, reagentes), os financeiros (proveitos, despesas, poupanças e investimentos) e os naturais (direitos sobre propriedades e licenças de captação de água).
Existe uma ligação muito direta entre os programas de GPI e a gestão dos recursos disponíveis pela entidade, uma vez que ineficiências no desempenho das infraestruturas e nos planos de intervenção prejudicam o uso eficaz destes recursos.
- **Gestão patrimonial de infraestruturas**, com o objetivo de maximizar os níveis de desempenho dos ativos relativamente ao serviço que prestam. Como exemplos de ações associadas à GPI temos a manutenção de cadastro atualizado, o arquivo de registos sobre a manutenção e estado de conservação das infraestruturas, a adoção de uma visão de longo prazo, o planeamento, a manutenção ou reabilitação das infraestruturas, a gestão otimizada de amortizações e dos reinvestimentos e a identificação e gestão de riscos.
- **Gestão das relações com os clientes**, importante para o sucesso da entidade gestora. São exemplos de ações associadas à gestão de clientes, a identificação das necessidades

e das expectativas dos clientes, o empenho na satisfação das necessidades dos clientes, o registo e tratamento das reclamações, a contabilidade e faturação, a comunicação, as ações educativas e de difusão da informação; mais exemplos na norma ISO 24510: 2007

No que respeita à satisfação das necessidades e das expectativas dos clientes que dependam das infraestruturas, o programa de GPI deverá procurar soluções alternativas de mitigação que se apoiem na escolha e implementação de soluções.

- **Gestão da informação**, com um papel importante na boa gestão da organização no que respeita ao fornecimento de dados para auditorias, de modo a que a informação seja transmitida de forma transparente no interior da organização, assim como a consultas de reguladores e de outras entidades relevantes. A aquisição da informação, a avaliação da qualidade dos dados, o registo, a proteção dos dados, a atualização da informação, a comunicação e o arquivo, são exemplos de ações incluídas na gestão da informação. Se não houver informação sobre as infraestruturas, ou se esta for incompleta ou incorreta, as ações no âmbito da GPI poderão estar seriamente comprometidas. Por conseguinte, a gestão da informação é essencial para qualquer programa de GPI, uma vez que para assegurar uma boa execução das atividades de intervenção, é necessário uma adequada informação sobre as infraestruturas, sobre a sua condição física e sobre o seu desempenho.
- **Gestão ambiental**, essencial ao serviço no que respeita ao planeamento e desenvolvimento futuro. Exemplos de ações de gestão ambiental incluem a otimização do funcionamento das infraestruturas, a adoção de uma visão de longo prazo, a consideração do desenvolvimento populacional e urbanístico, a análise das possibilidades de gestão da procura de água e sua reutilização, a redução de impactes de atividades de construção e de reparação, como o ruído e outros tipos de perturbações à população, a proteção da saúde pública e a proteção das origens de água. Os princípios e boas práticas de gestão ambiental devem estar incorporados no planeamento e execução das atividades de GPI que contemplem todos os aspetos focados nos exemplos enunciados.
- **Gestão do risco**, que procura ter abordagens proativas por forma a assegurar a continuidade do serviço e a salvaguarda da saúde pública, em ocasiões de emergência ou situações em que hajam atos criminosos de vandalismo ou terrorismo, e em ocasiões de risco associadas a situações persistentes que degradem a qualidade do serviço, sob aspetos qualitativos ou quantitativos. Na gestão de riscos os passos a adotar são os seguintes: apuramento dos principais perigos, estabelecimento de pontos de controlo e sua monitorização, desenvolvimento de procedimentos normalizados de operação, desenvolvimento e implementação de programas de manutenção preventiva,

manutenção de inventários dos materiais e equipamentos críticos, e desenvolvimento e execução de planos de contingência e de emergência.

Apesar de ainda não se ter explicado minuciosamente o que é a GPI, é clara a evidência de que os programas de intervenção nas infraestruturas incorporam a gestão do risco. Como o principal objetivo é restaurar ou melhorar o desempenho do sistema ou dos seus componentes, para garantir o cumprimento dos objetivos da entidade gestora, isto, por si só, traduz-se também em ações de controlo do risco que previnem consequências negativas.

2.2 Gestão Patrimonial de Infraestruturas de Abastecimento de Água

As infraestruturas que servem para abastecer as populações, o setor agrícola e as indústrias com água potável são importantes para o desenvolvimento das sociedades modernas, assumindo um papel determinante no bem-estar dos habitantes, com implicações na saúde, na educação e na produtividade das sociedades. Gerir o desempenho das infraestruturas por forma a cumprir objetivos tais como, o fornecimento de água potável nas quantidades necessárias, com a qualidade desejada e nas condições de pressão requeridas, é uma tarefa que condiciona a entidade gestora, uma vez que quando os recursos são limitados não é fácil afeta-los para fazer face aos permanentes desafios a que os sistemas estão sujeitos, como o crescimento da malha urbana, solicitações crescentes de consumos e problemas relacionados com o envelhecimento das infraestruturas.

A Figura 1 mostra-nos um cubo que melhor retrata e relaciona os aspetos a ter em conta num programa de GPI e que o caracterizam como uma abordagem multidimensional e multidisciplinar. A GPI envolve três níveis de decisão:

- **Nível estratégico**, com uma perspetiva de longo prazo e que orienta a organização em termos de objetivos estratégicos e respetivas metas.
- **Nível tático**, onde os responsáveis pelas infraestruturas estabelecem e implementam as ações de reabilitação e manutenção, numa perspetiva de médio prazo e de modo a que seja possível o cumprimento dos objetivos estratégicos.
- **Nível operacional**, onde se estabelecem e implementam as ações de curto prazo

Os procedimentos normalizados que avaliam alternativas de intervenção têm de garantir um equilíbrio entre o desempenho, o risco e o custo ao longo do período de análise. Para além do que foi referido, a GPI assenta, também, em três pilares de competência: gestão, engenharia e informação (Alegre *et al.*, 2011)

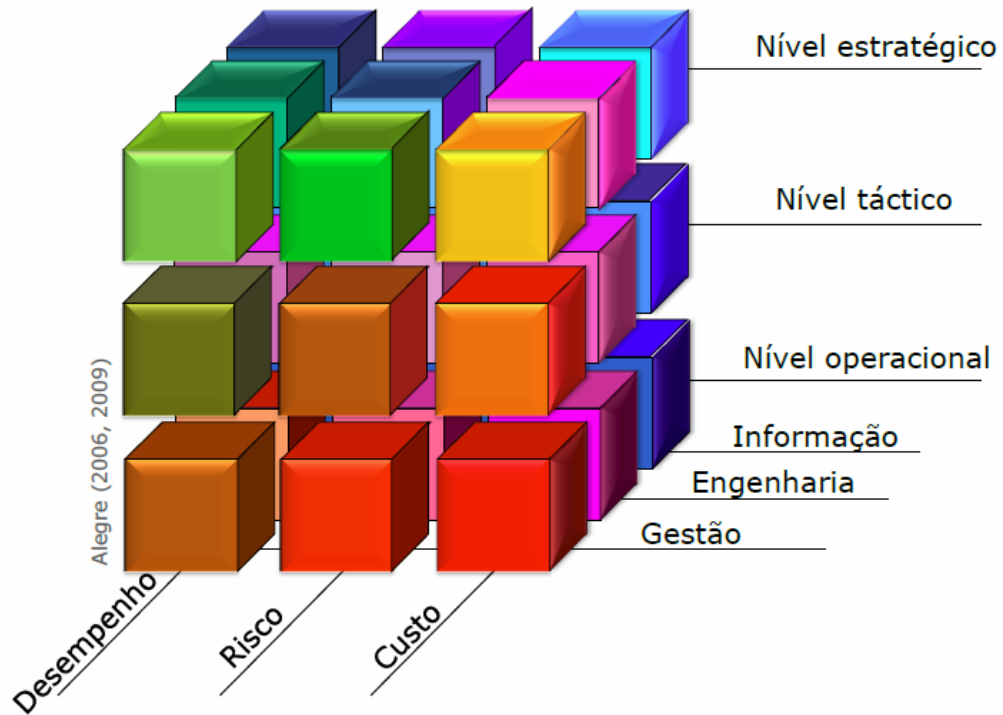


Figura 1 - Abordagem multidimensional na gestão patrimonial de infraestruturas

(adaptado de Alegre et al., 2011)

No Quadro 1 apresentam-se as competências dos pilares da GPI e no Quadro 2 apresenta-se o resumo dos principais aspetos que distinguem os três níveis de decisão

Quadro 1 - Principais pilares de competências na GPI (adaptado de Sanina, 2010)

Gestão	Engenharia	Informação
<ul style="list-style-type: none"> - Definição de projetos empresariais; - Organização da entidade gestora; - Planeamento de sistemas de informação (SI); - Política de avaliação e gestão do desempenho - Planeamento de recursos; - Política de gestão de informação; - Gestão de projetos; - Gestão financeira; - (Risco financeiro) 	<ul style="list-style-type: none"> -Planeamento estratégico; - Planeamento tático; -Planeamento operacional; - Projeto; - Construção; - Operação; - Manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestão e operação de recursos informáticos; - Gestão de software; - Conceção de SI; - Implementação de SI; Integração de SI; - Gestão de SI; - Gestão da informação

Quadro 2 - Níveis de decisão (Adaptado de Alegre e Covas, 2010)

Níveis	Estratégico	Tático	Operacional
Responsável	Administrador da infraestrutura	Gestor da infraestrutura	Chefe de operação da infraestrutura
Finalidade	Definir o rumo da organização no que diz respeito às infraestruturas	Definir o que fazer e com que prioridade	Definir como fazer
Resultados	Estratégias	Táticas	Programa de ação
Horizonte temporal	Longo prazo (10 a 20 anos)	Médio prazo (3 a 5 anos)	Curto prazo (1 a 2 anos)

2.2.1 Nível Estratégico

O planeamento estratégico tem como principal objetivo conferir sustentação, robustez e coerência à tomada de decisão, permitindo que seja um processo através do qual a entidade identifica e trata aspetos internos e externos do meio envolvente com impacto na atividade. Permite analisar a situação atual, os objetivos a atingir e o modo como serão atingidos. Por conseguinte, é um processo que permite melhorar o desempenho da organização e sustentar posteriores ações de gestão, como o planeamento tático e operacional (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013; Alegre e Coelho, 2012).

Envolvendo uma equipa multidisciplinar e tendo um horizonte temporal de longo prazo, a elaboração do um plano estratégico é realizada mediante as seguintes fases apresentadas na Figura 2

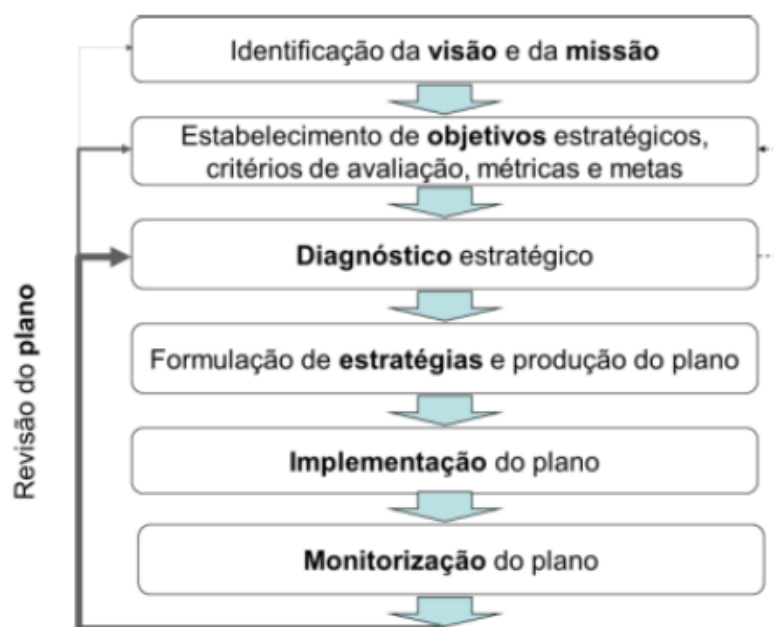


Figura 2 - Fases do planeamento estratégico (adaptado de Carriço, 2013)

O início do processo de planeamento estratégico começa com a identificação da visão e da missão da organização que gere o abastecimento de água.

A visão procura evidenciar os valores intemporais com os quais uma entidade gestora se relaciona com o seu futuro, e com os quais pretende atingir o sucesso, sem haver, no entanto, uma clarificação de como o atingir. Assim, a visão estabelece orientações à organização no sentido de cumprir metas de longo prazo, criando as bases para um compromisso com a ação e com a imagem que pretende transmitir ao exterior (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013).

A missão não é mais que uma breve declaração, constituída por uma única frase, na qual a organização traduz a sua razão de ser. Deve ser de índole motivacional de modo a guiar todos os colaboradores nas suas atividades individuais ou coletivas (Alegre e Covas, 2010).

Seguidamente, devem definir-se os objetivos estratégicos da organização. A visão e a missão são dois desígnios que servem de guia à elaboração do plano estratégico. Não são específicos da GPI, mas é com base neles que se constroem objetivos ambiciosos e alcançáveis. Estes devem ser concisos, quantificáveis, para que seja possível a sua medição, e devem ser, também, constituídos por metas de curto, médio e longo prazo. Por conseguinte, em complemento aos objetivos estratégicos, devem ser também definidos os critérios de avaliação, as métricas para avaliá-los e as metas a atingir (Alegre e covas, 2010).

O diagnóstico estratégico é a etapa que se segue. Tem como finalidade proporcionar uma visão completa sobre a sua situação inicial, identificando os interlocutores e fatores, internos e externos, com os quais a organização tem que interagir. Implica a avaliação do desempenho atual em relação aos objetivos propostos, a recolha e análise de informação referente às interações com o ambiente exterior com intervenção no serviço de abastecimento de água, a recolha e análise de informação relativa aos elementos internos que condicionam o serviço e uma análise SWOT (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats), onde são identificadas, com base no contexto externo, as oportunidades de melhoria e os perigos principais e, com base no contexto interno, os pontos fortes e os pontos fracos (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013).

Com base nos objetivos estratégicos anteriormente definidos, procede-se à formulação, comparação e seleção de estratégias alternativas que conduzam à satisfação daquilo que se pretende atingir. As estratégias mais adequadas para atingir um determinado fim devem ser alvo de estudo quanto à sua viabilidade de implementação e devem dar resposta às ameaças e às oportunidades, encontradas na fase do diagnóstico, assim como aos pontos fortes e pontos fracos que a entidade gestora identificou (Carriço, 2013).

Os resultados devem ser redigidos num documento, resultando num plano estratégico, que deverá ser sintético, claro e servir de guia a todas as partes interessadas, internas e externas (Carriço, 2013).

A implementação do plano estratégico pretende traduzir as estratégias em ações. Para tal, os responsáveis pelo planeamento tático e operacional têm um papel importante, uma vez que é através destes planos que se materializam as ações que executam as estratégias (Alegre e Covas, 2010).

O plano estratégico e a sua implementação devem ser, periodicamente, alvo de monitorização. A monitorização deverá ser feita anualmente, de modo a averiguar os desenvolvimentos da sua execução, tendo em vista possíveis ações corretivas que possam determinar ou não a revisão do plano (Alegre e Covas, 2010).

2.2.2 Nível Tático

Apesar de já se ter mencionado que o planeamento de GPI envolve três níveis de decisão, do plano estratégico resultam vários planos táticos. Um dos quais é o que se designa por plano de GPI. Este corresponde ao plano de nível tático que contém a informação sobre as intervenções nas infraestruturas, no que diz respeito a obras de reabilitação e expansão, assim como sobre as operações de manutenção. O objetivo deste plano tático é o de definir quais são as alternativas de intervenção num horizonte temporal de 3 a 5 anos (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013; Alegre e Coelho, 2012).

Tal como no caso do plano estratégico, é também necessário que a elaboração de um plano tático envolva uma equipa disciplinar, uma vez que é importante o envolvimento de toda a organização. Na Figura 3 apresentam-se os passos em que assenta a elaboração de um plano tático.

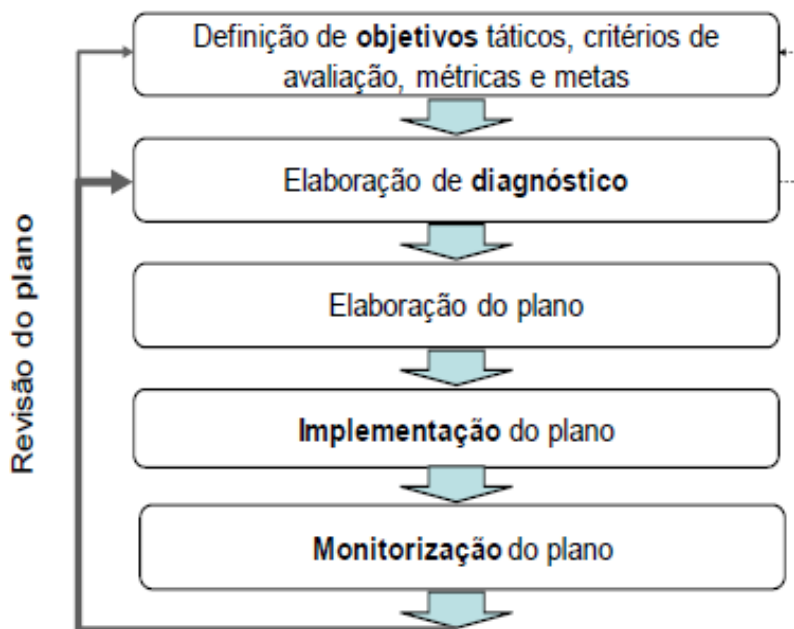


Figura 3 - Fases do planeamento tático (adaptado de Carriço, 2013)

Tendo como ponto de partida os objetivos estratégicos, devem ser definidos objetivos táticos, concretos e alcançáveis, que traduzam os objetivos globais em objetivos particulares e afetar os recursos necessários para alcançar os níveis de desempenho desejados. Os objetivos táticos devem ser mensuráveis e, para tal, devem ser definidos critérios de avaliação, métricas e metas, que devem ser coerentes e devem estar alinhadas com o nível estratégico (Alegre e Covas, 2010).

Ainda no âmbito dos objetivos táticos, os critérios de avaliação devem ser constituídos por aspetos ou perspetivas com as quais é possível avaliar as ações que executam os objetivos. Relativamente às métricas, estas devem incorporar as três dimensões de análise, isto é, o

desempenho, o risco e o custo. Quanto às metas, estas deverão ser constituídas pelos valores que se pretendem atingir (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013; Alegre e Coelho, 2012).

O passo seguinte é a elaboração do diagnóstico tático. Neste diagnóstico procede-se à identificação das origens dos problemas, que afetam, ou que poderão vir a afetar, as infraestruturas de abastecimento de água. Neste contexto, as anomalias detetadas são analisadas à luz de alguns pontos de vista, como os hidráulicos, ambientais, estruturais e operacionais (Carriço, 2013).

A realização do diagnóstico tático compreende, numa primeira fase, a identificação, recolha e avaliação da informação. Esta fase compreende as seguintes etapas: a identificação de componentes críticos e discretização de todo o sistema em áreas de análise; a avaliação da situação de referência; a previsão da situação futura na alternativa de *statu quo* (manutenção das práticas correntes de operação e manutenção); a identificação das áreas de análise e de componentes críticos que são de intervenção prioritária (Alegre e Covas, 2010).

Numa segunda fase, a realização do diagnóstico tático abrange a identificação e análise de alternativas de intervenção, e envolve as seguintes etapas: a identificação de soluções alternativas de intervenção; a previsão do desempenho futuro para cada uma das soluções alternativas identificadas; a seleção da melhor solução para cada área de análise, tendo em conta a relação entre o desempenho, o custo e risco para cada solução alternativa; o estabelecimento de prioridades de intervenção (Alegre e Covas, 2010).

Uma vez terminada a avaliação comparativa das soluções de intervenção, com potencial para melhorar o desempenho e contribuir para o cumprimento de metas e requisitos previamente estabelecidos, procede-se à elaboração do plano. O plano global deverá ser constituído por outros planos que contemplem todas as táticas infraestruturais de reabilitação e expansão, todas as táticas de operação e manutenção das infraestruturas, e ainda, todas as táticas não infraestruturais relevantes para a GPI (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013).

A implementação do plano materializa-se através da tradução das táticas em ações, o que implica o desenvolvimento e concretização dos planos operacionais.

Na monitorização do plano é avaliado o desempenho dos sistemas, onde é feita uma comparação dos valores de desempenho com as metas estabelecidas, para averiguar desvios que tenham ocorrido, assim como as suas causas. É também feita uma análise ao grau de implementação de cada uma das táticas, por forma a antecipar desvios face às metas estabelecidas. Os resultados da monitorização poderão conduzir à implementação de correções, o que se traduz na revisão do plano (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013).

2.2.3 Nível Operacional

O planeamento operacional tem como objetivo a especificação, a programação e a implementação das ações que têm de ser efetuadas na organização e na infraestrutura existente, definidas nos planos táticos (Alegre e Covas, 2010). Os passos a seguir no planeamento operacional são semelhantes ao do planeamento tático. Porém, neste caso são estabelecidas as ações de curto prazo que necessitam ser postas em prática para cada unidade operativa, nomeadamente, o projeto, a construção e o ajuste dos planos de operação e manutenção. Por conseguinte, no planeamento operacional são definidos os locais exatos de intervenção, a cronologia de intervenção, e as tecnologias e os recursos humanos e materiais necessários para concretizar as ações (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013).

2.2.4 Avaliação do Desempenho

As infraestruturas de abastecimentos de água, quer sejam analisadas na totalidade como um só sistema, como várias zonas de controlo ou somente os seus componentes individuais, têm associadas a si um determinado desempenho. No contexto da GPI, a avaliação do desempenho da situação atual e das alternativas de intervenção, num determinado horizonte temporal, é uma matéria de análise nuclear desta ferramenta, uma vez que assim é possível estabelecer diagnósticos dos problemas existentes e antecipar problemas, assim como, contribuir para fundamentar a seleção das soluções a implementar (Alegre e Covas, 2010). Um sistema de avaliação de desempenho é constituído por um conjunto de dados, de cálculos, de medidas de desempenho e de informação de contexto que tornam possível a avaliação e a comunicação do desempenho de uma infraestrutura, de um serviço prestado ou de uma entidade gestora (Sanina, 2010).

A principal componente do sistema da avaliação, as medidas de desempenho, são constituídas por três categorias: indicadores de desempenho; índices de desempenho; níveis de desempenho. Nos indicadores de desempenho incluem-se as medições quantitativas dos aspetos particulares de desempenho da entidade gestora, ou da condição do seu serviço. Servem de veículo à monitorização da eficiência e da eficácia da entidade gestora, sem os quais não seria tão simples promover uma avaliação que de outra forma seria mais complexa e subjetiva. Neste contexto, entende-se por eficiência a avaliação de até que ponto, os recursos que a entidade gestora tem à sua disposição, são utilizados de forma otimizada para a produção do serviço, e, por eficácia, a avaliação do grau de cumprimento dos objetivos de gestão declarados (Alegre *et al.*, 2004). Um índice de desempenho consiste numa medida que resulta da combinação de medidas de desempenho elementares, como os indicadores de desempenho e os níveis de desempenho, ou, de instrumentos de análise, como os modelos de cálculo de eficiência de custos, os modelos de cálculo estatístico e os modelos de simulação hidráulica, destinando-se a agregar numa só medida pontos de vistas diferentes (Alegre e Coelho, 2012; Sanina, 2010).

Os níveis de desempenho são medidas de desempenho de natureza qualitativa, expressas em categorias discretas: excelente, bom ou insatisfatório (Alegre e Coelho, 2012; Sanina, 2010).

A norma portuguesa ISO 24510: 2012 estabelece orientações para que os indicadores de desempenho sejam representativos dos aspetos relevantes do serviço, de um modo fiel e imparcial. A norma refere que um indicador de desempenho deverá cumprir os seguintes requisitos: ser claramente definido, de modo a ser interpretado de forma concisa e inequívoca, e a apresentar valores facilmente auditáveis; a sua avaliação dever ser feita por meio de variáveis de fácil medição, de forma fiável e a custos que não sejam elevados; deve exprimir, num determinado campo de análise, o nível mais atual de desempenho atingido; ser representativo de uma determinada zona geográfica; corresponder a um período específico; ser claramente comparável com os valores desejáveis, por forma a simplificar interpretações que de outra maneira poderiam ser muito complexas; ser simples e de fácil compreensão; ser objetivo e evitar que as apreciações possam ser pessoais e subjetivas.

O cálculo de indicadores de desempenho é tipicamente feito por rácios entre variáveis (dados do operador). Podem ser adimensionais, geralmente expressos em percentagem, ou intensivos, que de algum modo expressem intensidade e não extensão, por exemplo, €/m³ (Alegre *et al.*, 2004). Os sistemas de avaliação de desempenho têm como componentes as variáveis usadas no cálculo de indicadores, os indicadores propriamente ditos, incluindo a sua definição e regra de cálculo e eventualmente complementados por índices de desempenho e por níveis de desempenho, a informação de contexto, nomeadamente sobre os aspetos que contribuem para uma correta interpretação dos resultados obtidos na avaliação, e os fatores explicativos que se subdividem em informação de contexto e em fatores de mudança. No último caso, dependem unicamente das decisões de gestão que impliquem a identificação de opções com potencial para melhorar o desempenho (Carriço, 2013; Sanina, 2010). Existe também um sistema de avaliação da qualidade dos dados utilizados, onde a informação de base usada na determinação dos sistemas de indicadores é avaliada em termos de fiabilidade da fonte (grau de consistência e estabilidade dos resultados de repetidas observações efetuadas nas mesmas condições) e de exatidão dos dados (proximidade do resultado do valor tido como verdadeiro) (Alegre *et al.*, 2004; Carriço, 2013).

A entidade gestora pode gerar e controlar diretamente os dados para cálculo de indicadores, sendo designados por dados internos, ou podem ser dados externos, gerados pela entidade reguladora dos serviços de águas e resíduos (ERSAR). Em suma, os indicadores de desempenho têm como missão revelar a qualidade em termos de serviços prestados, a sustentabilidade da entidade gestora e quantificar a sustentabilidade ambiental (Carriço, 2013).

Como já foi referido, o sistema de indicadores de desempenho pode ser complementado por índices de desempenho técnico. No contexto da GPI, a avaliação do desempenho técnico

permite determinar a quantidade de desempenho que pode ser prevista, nos sistemas em análise, ao longo do ciclo de vida dos seus componentes. Assim, um índice de desempenho técnico permite avaliar o comportamento de um componente do sistema em análise e convertê-lo num valor de desempenho, à luz de alguns pontos de vista, que podem ser, entre outros, relacionados com aspetos hidráulicos, de fiabilidade, de consumo energético ou de qualidade de água. Dependendo do ponto de vista selecionado, devem ser definidos objetivos precisos e critérios de avaliação (Alegre e Covas, 2010). Relativamente aos valores de desempenho, é através de modelos de simulação hidráulica e de qualidade, de análise da fiabilidade, de análise de falhas, de análise de consumo de energia e, posteriormente, através de curvas de penalidade, que é possível converter o valor da variável em estudo numa escala que pode variar entre um serviço nulo, correspondente a um desempenho nulo, e um serviço ótimo, correspondente ao desempenho máximo. As escalas de desempenho normalmente adotadas consideram valores de 0 a 4 onde o número 4 significa um serviço ótimo, 3 um serviço adequado, 2 um serviço minimamente aceitável (limiar da aceitabilidade), 1 um serviço inaceitável e 0 a ausência/interrupção do serviço, ou escalas com valores de 0 a 100% (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013).

Os níveis de desempenho são medidas de desempenho de natureza qualitativa, expressas em categorias discretas: excelente, bom ou insatisfatório. Geralmente, os níveis de desempenho são utilizados quando não é apropriado calcular medidas quantitativas (Alegre e Coelho, 2012; Sanina, 2010).

No âmbito da GPI, Alegre e Covas (2010) propuseram uma metodologia de apoio para o estabelecimento e implementação de um sistema de avaliação do desempenho. A Figura 4 resume as etapas da referida metodologia que é comum a qualquer dos três níveis de planeamento e a qualquer das utilizações pretendidas, e aplica-se a qualquer dos três tipos de medidas de desempenho (indicadores, índices e níveis).

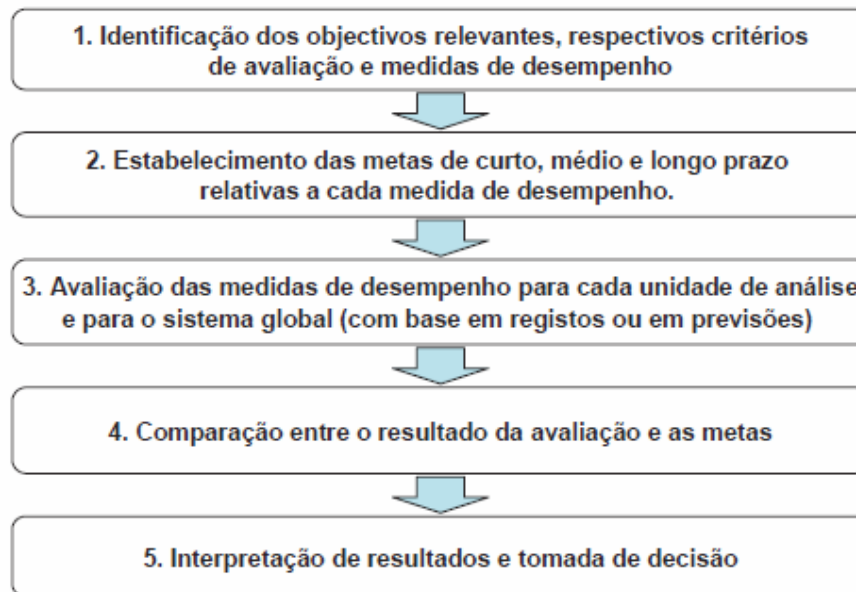


Figura 4 - Etapas de implementação do sistema de avaliação de desempenho dos componentes de uma infraestrutura (adaptado de Alegre e Covas 2010)

Com base nos objetivos estabelecidos e nos correspondentes critérios de avaliação definem-se as medidas de avaliação de desempenho necessárias. Os indicadores de desempenho são a principal medida de desempenho, úteis para apurar os problemas atuais e para supervisionar a implementação dos planos de GPI. A *International Water Association* (IWA) é a principal referência no que diz respeito aos sistemas de indicadores, e o sistema de avaliação da qualidade de serviço implementado pela ERSAR tem por base o sistema da IWA. Estes podem ser adaptados ou complementados por forma a constituírem uma melhor aproximação da realidade. Quando é necessário, no âmbito da GPI, proceder à previsão do desempenho futuro e à previsão do desempenho das diferentes alternativas de intervenção, esse processo recorre também ao cálculo de índices para avaliação do desempenho técnico. O sistema de indicadores da IWA está organizado de um determinado modo, acabando por estar reunidos em grupos independentes dos objetivos para que são usados e das características específicas da organização. Assim, os indicadores subdividem-se nos seguintes grupos: indicadores de recursos hídricos, de recursos humanos, operacionais, infraestruturais, de qualidade de serviço e económico-financeiros. A seleção dos indicadores de acordo com os respetivos objetivos é uma matéria que fica a cargo dos utilizadores (Alegre e Covas, 2010).

O estabelecimento de metas deve ser feito, em primeiro lugar, com base nos requisitos legais, contratuais ou regulatórios existentes. Em segundo lugar, deverá ter em consideração o desempenho na situação inicial, os valores de referência com os quais se deve estabelecer comparação e a real capacidade que a entidade gestora tem em intervir, tendo em conta os recursos que tem à sua disposição ou que lhe poderão ser disponibilizados. Como não poderia deixar de ser, as metas deverão ser ambiciosas, mas possíveis de alcançar. No entanto, estas

devem ser monitorizadas para averiguar se são ou não atingidas e para, eventualmente, se proceder a algum ajuste (Alegre e Covas, 2010).

Seguidamente deve-se recolher a informação necessária e iniciar-se o cálculo das medidas de desempenho selecionadas nas etapas anteriores. O que resultar dos cálculos efetuados deverá ser introduzido no registo histórico dos sistemas, em áreas de análise ou em componentes a que se referem e devem ser calculados com a periodicidade que for considerada como a mais adequada. Os cálculos das medidas de desempenho podem ser baseados em registos ou em previsões. No caso de serem com base em registos, é necessário recolher dados, avaliar a respetiva fiabilidade e exatidão e proceder-se à aplicação da expressão de cálculo do indicador. Caso sejam com base em previsões, o cálculo de índices ou de indicadores necessita de instrumentos e metodologias complementares, como o recurso à modelação e à previsão de falhas. Por forma a diminuir o tempo de recolha de dados, o processamento dos dados, cálculo das medidas e o processo de avaliação do desempenho deve estar de tal modo normalizado e automatizado, e deverá estar claramente definido, de preferência na forma escrita, incluindo, também, a atribuição da responsabilidade sobre quem executa a tarefa (Alegre e Covas, 2010).

Nas duas últimas etapas procede-se à comparação dos resultados da avaliação com as metas estabelecidas, por forma a identificar problemas, desvios e oportunidades de melhoria e à interpretação dos resultados obtidos, que uma vez contextualizados com outros fatores de decisão, possibilitam a tomada de decisões de intervenção de forma sustentada (Alegre e Covas, 2010).

Seguidamente apresentam-se alguns exemplos de indicadores operacionais com relevância na GPI.

Quadro 3 - Indicador operacional de controlo de fugas (adaptado de Alegre et al., 2004)

Op4 - Controlo de fugas (%/ano)
(Comprimento de redes sujeito ao controlo ativo de fugas durante o período de referência x 365 / duração do período de referência) / comprimento de condutas x 100
$Op4 = (D9 \times 365 / H1) / C8 \times 100$
C8 - Comprimento de conduta (km)
D9 - Detecção de fugas (km)
H1 - Duração do período de referência (dia)
Recomenda-se que este indicador não seja utilizado para períodos inferiores a um ano porque os valores obtidos podem induzir em erros de interpretação. Preferencialmente, devem ser analisados valores anuais em conjuntos de vários anos. Se por algum motivo o período de referência utilizado for inferior a um ano, as comparações internas devem ser feitas com prudência e devem ser evitadas comparações externas

Quadro 4 - Indicador operacional de reparações por controlo ativo de fugas (adaptado de Alegre et al., 2004)

Op5 - Reparações por controlo ativo de fugas (nº/100 km/ano)
(Número de fugas de água detetadas e reparadas devido ao controlo ativo de fugas durante o período de referência x 365 / duração do período de referência) / comprimento de conduta x 100
$Op5 = (D10 \times 365 / H1) / C8 \times 100$
C8 - Comprimento de condutas (km)
D10 - Fugas reparadas devido ao controlo ativo de fugas (nº)
H1 - Duração do período de referência (dia)
Recomenda-se que este indicador não seja utilizado para períodos inferiores a um ano porque os valores obtidos podem induzir em erros de interpretação. Preferencialmente, devem ser analisados valores atuais em conjuntos de vários anos. Se por algum motivo o período de referência utilizado for inferior ao ano, as comparações internas devem ser feitas com prudência e devem ser evitadas comparações externas.

Quadro 5 - Indicador operacional de reabilitação de condutas (adaptado de Alegre et al., 2004)

Op16 - Reabilitação de condutas (%/ano)
(Comprimento das condutas de adução e distribuição reabilitadas durante o período de referência x 365 / duração do período de referência) / comprimento de condutas x 100
$Op16 = (D20 \times 365 / H1) \times 100$
C8 - Comprimento de condutas (km)
D20 - Reabilitação de condutas (km)
H1 - Duração do período de referência (dia)
Recomenda-se que este indicador não seja utilizado para períodos inferiores a um ano porque os valores obtidos podem induzir em erros de interpretação. Preferencialmente, devem ser analisados valores anuais em conjuntos de vários anos. Se por algum motivo o período de referência utilizado for inferior a um ano, as comparações internas devem ser feitas com prudência e devem ser evitadas comparações externas.

Quadro 6 - Indicador operacional de perdas de água por comprimento de conduta (adaptado de Alegre et al., 2004)

Op24 - Perdas de água por comprimento de conduta (m³/km/dia)
(Perdas de água durante o período de referência / duração do período de referência) / comprimento de condutas
$Op24 = (A15/H1) / C8$
A15 - Perdas de água (m ³)
C8 - Comprimento de condutas (km)
H1 - Duração do período de referência (dia)
Deve ser utilizado o indicador Op23 ou o Op24, em alternativa. O Op24 aplica-se se a densidade de ramais < 20/km de rede (por exemplo, no caso de sistemas de produção e adução). O Op23 aplica-se em todas as restantes situações.
Recomenda-se que este indicador não seja calculado para períodos inferiores a um ano porque os valores obtidos podem induzir em erros de interpretação. Se por algum motivo o período de referência utilizado for inferior ao ano, as comparações internas devem ser feitas com prudência e devem ser evitadas comparações externas.

Quadro 7 - Indicador operacional de avarias em grupos eletrobombas (adaptado de Alegre et al., 2004)

Op30 - Avarias em grupos eletrobombas (dias/grupo/ano)
(Soma, para todos os grupos eletrobomba do número de dias em que o grupo eletrobomba está avariado durante o período de referência x 365 / duração do período de referência) / número total de grupos eletrobomba
$Op30 = (D27 \times 365 / H1) / C4$
C4 - Grupos eletrobomba (nº)
D27 - Avarias em grupos eletrobomba (dia)
H1 - Duração do período de referência (dia)
Recomenda-se que este indicador não seja calculado para períodos inferiores a um ano porque os valores obtidos podem induzir em erros de interpretação. Se por algum motivo o período de referência utilizado for inferior ao ano, as comparações internas devem ser feitas com prudência e devem ser evitadas comparações externas

2.2.5 Avaliação do Risco

A avaliação do risco é também uma matéria de análise da GPI. Esta pode ser realizada de muitas maneiras diferentes, é muitas vezes quantificável e tem em vista uma análise aprofundada das consequências dos riscos, assim como a probabilidade de ocorrência. Independentemente do tipo de falhas que possam ocorrer, elas podem resultar em diversas consequências que podem não ser só nas infraestruturas de abastecimento de água. Por conseguinte, ao avaliar o risco associado a um evento específico, são analisados em termos de consequências os seguintes domínios: saúde e segurança, financeiro, continuidade do serviço, impactos ambientais, impacto funcional no sistema, reputação e imagem, continuidade do negócio e desenvolvimento de projetos (Alegre e Coelho, 2012).

A norma portuguesa ISO 31000: 2013 estabelece algumas definições, princípios e diretrizes à área da avaliação e gestão do risco. Segundo esta norma o risco é:

- O **risco** é o efeito da incerteza na consecução dos objetivos.
 - *Nota 1: Um efeito é um desvio, positivo ou negativo, das expectativas.*
 - *Nota 2: Os objetivos podem ter diferentes aspetos (financeiros, de saúde e segurança, ambientais; entre outros) e podem ser aplicados a diferentes níveis (estratégico, em toda a organização, de projeto, de produto e de processo).*
 - *Nota 3: Os riscos são muitas vezes caracterizados por referência aos potenciais eventos e às consequências, ou a uma combinação de ambos.*

- *Nota 4: O risco é frequentemente expresso como a combinação das consequências de um certo evento (incluindo alteração das circunstâncias) e a correspondente probabilidade de ocorrência.*
- *Nota 5: A incerteza é o estado, que pode ser parcial, de deficiência da informação de um evento relativamente à sua compreensão ou conhecimento e à sua consequência ou probabilidade*

Nesta norma vem descrito uma estrutura genérica para a gestão do risco onde é considerado o estabelecimento do contexto, a identificação, a análise, a avaliação, o tratamento, a monitorização, revisão e comunicação do risco. Na Figura 5 apresenta-se, de acordo com a norma ISO 31000: 2013, o processo da gestão do risco.

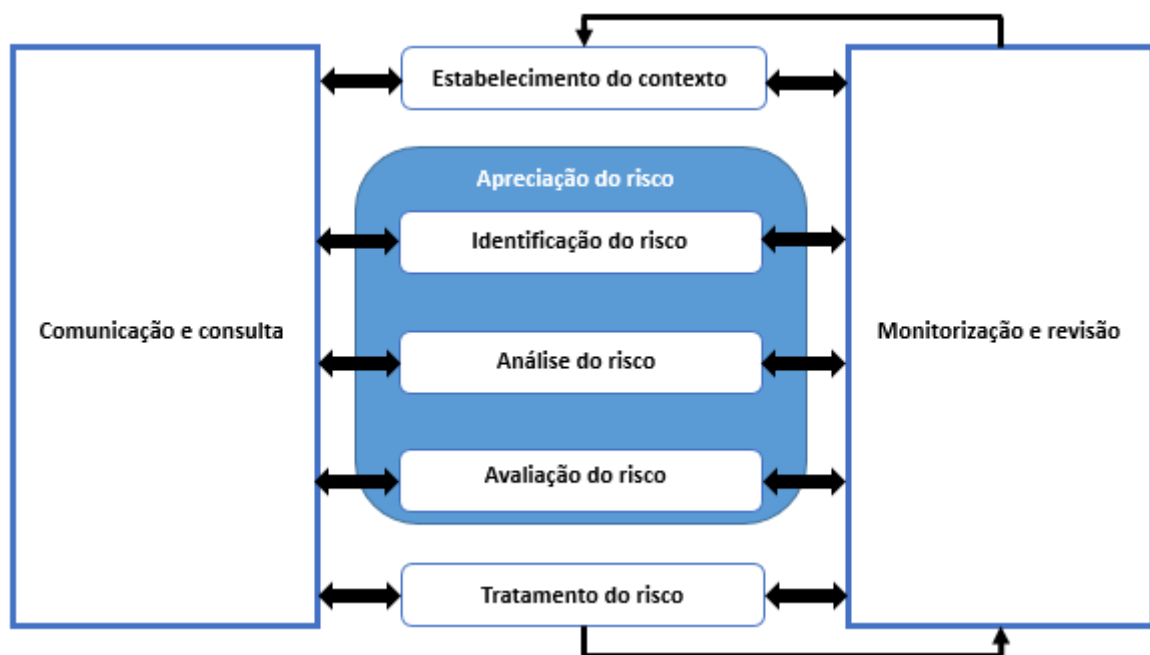


Figura 5 - Processo da gestão do risco (adaptado de ISO 31000: 2013)

Relativamente ao campo de aplicação, esta norma pode ser aplicada em toda a organização, independentemente do fim a que se destina. Pode ser aplicada em qualquer nível de planeamento ou área, em qualquer ocasião e a uma vasta gama de atividades, como a funções, projetos, serviços, produtos, operações e ativos.

O risco poder ser apresentado como a probabilidade de ocorrência de um evento e as correspondentes consequências, positivas ou negativas, desse mesmo evento. Seguidamente apresentam-se as definições de evento, verosimilhança e consequência que constam na norma ISO 31000: 2013.

- Um **evento** é uma ocorrência ou uma alteração de um conjunto particular de circunstâncias

- *Nota 1: Um evento pode resultar numa ou mais consequências, e pode ter origem em várias causas.*
 - *Nota 2: Um evento pode consistir em alguma coisa que não ocorra.*
 - *Nota 3: Um evento pode algumas vezes ser descrito como um “incidente” ou “acidente”.*
 - *Nota 4: Um evento sem consequências, também pode ser designado como “quase acidente”, “incidente” ou “quase sucesso”.*
- **A verosimilhança** é a possibilidade de algo acontecer
 - *Nota 1: Na terminologia da gestão do risco, a palavra verosimilhança é usada para se referir à possibilidade de algo acontecer, independentemente de ser definida, medida ou determinada de forma objetiva ou subjetiva, qualitativa ou quantitativamente, e ser descrita utilizando termos gerais ou matemáticos (tal como uma probabilidade ou uma frequência num determinado período de tempo)*
 - *Nota 2: O termo inglês “likelihood” (verosimilhança) não tem um equivalente direto em algumas linguas; em alternativa, é frequentemente usado como termo equivalente “probability” (probabilidade). Porém, em inglês, o termo “probability” está muitas vezes limitado à sua interpretação matemática. Por conseguinte, na terminologia da gestão do risco, o termo “likelihood” é usado com o intuito de que deverá ter a mesma interpretação lata que o termo “probability” tem, em muitas outras línguas que não o inglês.*
 - **Uma consequência** é entendido como o resultado de um evento que afeta objetivos.
 - *Nota 1: Um evento pode resultar num conjunto de consequências.*
 - *Nota 2: Uma consequência pode ser certa ou incerta e pode ter efeitos positivos ou negativos nos objetivos.*
 - *Nota 3: Pode-se expressar as consequências de forma qualitativa ou quantitativa*
 - *Nota 4: As consequências iniciais podem intensificar-se através de reações em cadeia.*

A GPI tem na sua génese o princípio de utilizar os melhores procedimentos para usar e salvaguardar todo o sistema de infraestruturas de abastecimento de água, por forma a garantir um correto cumprimento do serviço a que se destina e a ser passado no melhor estado de conservação possível ao longo de gerações. As infraestruturas nunca são 100% seguras e, por

consequente, é de todo conveniente quantificar os correspondentes riscos de cada opção de engenharia e de investimento, para averiguar quais os riscos aceitáveis. É neste contexto, que através da avaliação do risco, se tenta identificar quais são as componentes das infraestruturas que estão expostas a maiores riscos, para se dar a essas componentes mais críticas uma atenção preferencial no âmbito de um programa de GPI (Carriço, 2013). A avaliação do risco pode consistir numa abordagem multidisciplinar, uma vez que é feita pela combinação entre as probabilidades associadas a uma ampla variedade de perigos (ruptura em condutas, avaria em instalações elevatórias, ocorrência de problemas de qualidade da água por deficiência da infraestrutura) e as respetivas consequências (reparação, interrupção do serviço, danos a terceiros, danos de imagem) (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2013).

No contexto da gestão do risco, as infraestruturas de abastecimento de água, bem como outras infraestruturas, como as de gás, viárias e de comunicação, são de extrema importância para as sociedades modernas, mas como são também vulneráveis a eventos extremos tais como terremotos, cheias e atos de terrorismo, em caso de falha por consequência de uma situação de crise, pode resultar em graves danos a terceiros e perdas financeiras, podendo no caso mais grave originar avultadas perdas humanas. É por estes motivos, que se deve assegurar a máxima segurança dessas infraestruturas através de posturas proactivas que se traduzam em ações que contemplem a prevenção, a preparação, a intervenção em situações de crise e o restabelecimento da normalidade (Carriço, 2013).

2.2.5.1 Identificação do Risco

O processo de identificação do risco consiste em apurar minuciosamente os riscos, as áreas de impacto, os eventos (incluindo alterações das circunstâncias), as suas causas e as potenciais consequências. Pretende-se com isso enumerar numa abrangente lista os riscos baseados em eventos que permitam criar, melhorar, prevenir, degradar, acelerar ou retardar a consecução dos objetivos (NP ISO 31000, 2013).

O processo de identificação dos riscos pode ser feito através de uma análise dos registos históricos, de análise teóricas, de opiniões de pessoas informadas e especialistas, e através das necessidades das partes interessadas. Existe uma enorme variedade de métodos para identificação dos riscos, destacando-se as *checklists*, a análise de cenários e os *brainstormings*. Para cada cenário que possa acontecer, é importante apurar quais são as possíveis causas, assim como cenários que evidenciem quais são as consequências que daí possam advir. Para cada análise é importante não descurar nenhuma causa nem nenhuma consequência. No decorrer do processo de identificação do risco, é importante associar a esta tarefa, a identificação dos modos de falhas dos componentes críticos em virtude de, por vezes, não serem aqueles que têm uma maior probabilidade de falha, mas por apresentarem maiores consequências (Carriço, 2013).

As ruturas em sistemas de abastecimento de água são as falhas mais frequentemente analisadas, mas existem, também, outros tipos de falhas, como as perdas de água, o incumprimento de parâmetros de qualidade da água e o incumprimento de pressões na rede. Tem havido uma evolução naquilo que se se julga ser mais crítico ao nível das falhas, uma vez que antigamente dava-se mais atenção à degradação da condição física dos componentes de uma infraestrutura, porém, tem-se vindo a considerar no mesmo patamar outros modos de falha também críticos para a continuidade do serviço, como a capacidade hidráulica de um sistema adutor que pode contribuir para mais restrições na prestação do serviço do que a sua condição física (Carriço, 2013).

De um modo geral, os modos de falha podem ser os seguintes: estrutural (associado à condição física); capacidade hidráulica; nível de serviço (relacionado com o incumprimento das metas de desempenho); erro humano; obsolescência (relacionado com a mudança tecnológica ou a falta de peças no caso de equipamentos podem resultar em custos de operação e manutenção insustentáveis) (Carriço, 2013).

As entidades gestoras utilizam muitas vezes o termo avaria para se referirem à ocorrência de uma falha. Todavia, este não é o termo mais apropriado em virtude do facto de a ocorrência de uma falha poder ter diferentes naturezas, que podem ser devido a causas internas como o seu avançado estado de degradação, operações de manutenção deficientes ou à paragem súbita de uma bomba conduzindo ao fenómeno do golpe de aríete, devido a causas externas provocadas por terceiros como a rotura numa conduta de água provocada por uma retroescavadora, atos de vandalismo ou terrorismo, ou devido a fenómenos naturais como os sismos (Carriço, 2013).

Relativamente à análise de falhas físicas, importa referir que esta pode ser feita à luz da confiabilidade de um determinado componente, ou à luz da sua fiabilidade. Entende-se por fiabilidade de um componente a probabilidade que um determinado componente tem em desempenhar a função a que se destina durante um período de tempo pré-determinado. A fiabilidade é comumente avaliada através da taxa de falha esperada, da vida útil e do tempo médio entre falhas (Carriço, 2013). A vida útil pode ser de três tipos: vida útil técnica que corresponde ao período que medeia desde o início de utilização até ao momento que durante o qual o componente cumpre a função a que se destina; vida útil contabilística que é definida pelo período de amortização fiscal e que em geral é fixa para cada classe de componente; a vida útil económica que 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 (Alegre e Covas, 2010). Importa clarificar que em termos de avaliação da fiabilidade o que importa é a

vida útil técnica. Na maioria dos sistemas e componentes técnicos, a taxa de falha é representada pela curva da banheira.

Na Figura 6 apresenta-se a curva da banheira do ciclo de vida de um componente de uma infraestrutura onde se pode ver que tem por base três fases diferentes: a fase da infância, a fase de maturação e a fase de degradação ou desgaste. A fase inicial é a fase da infância, que vai desde o período em que os componentes novos entram em funcionamento, no qual apresentam uma taxa de falhas elevada devido sobretudo a erros de projeto ou deficiências de fabrico, instalação/montagem ou controlo de qualidade, até ao momento em que a taxa de falha começa a decrescer quando alcança o ponto de estabilização. Depois vem a fase de maturidade, onde as falhas devem-se essencialmente a solicitações superiores às projetadas ou ocorrem devido a acidentes. Quando se chega ao fim de vida útil técnica do componente, entra-se na fase de degradação onde a taxa de falha sofre um acentuado crescimento em virtude de ser o período onde começam a ocorrer fenómenos de desgaste, tais como fluência, fadiga mecânica ou térmica, corrosão, erosão ou desgaste (Carriço, 2013).

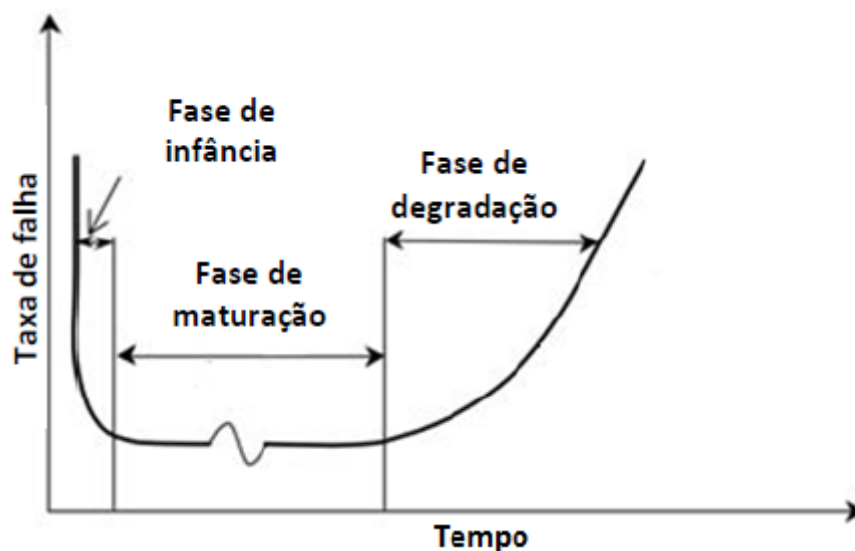


Figura 6 - Curva da banheira do ciclo de vida de um componente de uma infraestrutura (adaptado de Carriço, 2013)

Para avaliar a evolução da taxa de falha em condutas de água pode-se recorrer aos seguintes modelos: modelos físicos; modelos estatísticos; e a modelos baseados em inteligência artificial.

Os modelos físicos ou mecânicos estão divididos em métodos determinísticos e probabilísticos. Existe ainda uma certa complexidade e falta de total compreensão no que se refere aos mecanismos físicos que conduzem a uma rutura numa conduta de água. De um modo geral envolvem três aspetos. O primeiro aspeto está relacionado com as propriedades estruturais da conduta no que diz respeito ao tipo de material, à interface solo-conduta, e à qualidade de construção. O segundo aspeto está relacionado com as cargas internas devido às pressões de serviço e às cargas externas devido a sobrecargas no solo, como a intensidade de tráfego ou

interferências causadas por terceiros. Já o terceiro aspeto diz respeito ao desgaste do material da conduta que se deve essencialmente ao ambiente químico, bioquímico e eletroquímico externo e interno. Em termos de exatidão em estimar as taxas de falha, a aplicação dos modelos físicos é uma boa opção, porém, o ato de representar por meio de parâmetros destes modelos necessita de uma considerável quantidade de dados que, em muitos dos casos, ou são inexistentes, ou o processo de recolha de informação acarreta elevados custos (Carriço, 2013).

Os métodos baseados em inteligência artificial têm a capacidade de trabalhar com problemas complexos, conseguindo resolvê-los mais eficazmente que os modelos físicos, uma vez que estes últimos necessitam de informação que muitas vezes não existe. Temos como exemplos de métodos as redes neuronais artificiais, a teoria dos conjuntos difusos, sistemas periciais, simulações baseadas em regras e modelos evolutivos. São necessários, para avaliar a taxa de falha através dos modelos baseados em inteligência artificial, grandes requisitos computacionais, o que em certos casos pode constituir uma desvantagem (Carriço, 2013).

Segundo a pesquisa de Carriço (2013) os métodos estatísticos estão classificados em três categorias: métodos determinísticos; métodos probabilísticos uni-variados; métodos probabilísticos multivariados. Relativamente aos métodos determinísticos, incluem-se aqui os modelos dependentes do tempo como o exponencial e o linear. Na categoria dos métodos probabilísticos multivariados, temos como exemplos o *Proportional Hazard Models* (PHM), o *Accelerated Lifetime Model* e o modelo de Poisson. Por último, para modelos probabilísticos uni-variados temos como exemplos os modelos de sobrevivência coorte, modelos Bayesianos de diagnóstico, o processo semi-Markov e o *clustering* de falhas. Como os modelos estatísticos baseiam-se em técnicas estatísticas aplicadas aos dados históricos de ocorrências de falhas constantes no registo do cadastro, apresentam-se com sendo uma melhor opção quando comparados com os restantes métodos, uma vez que não necessitam de muitos dados de campo nem de grandes requisitos computacionais. Podem, também, ser aplicados numa conduta ou num coorte de condutas.

2.2.5.2 Análise do Risco

A análise do risco consiste em compreender os tipos de risco e os seus níveis. É através da análise do risco que se fornece as bases para as subseqüentes etapas, como a avaliação do risco e o tratamento do risco. Implica a consideração das causas e fontes de risco, as suas consequências, a probabilidade dessas consequências ocorrerem e a identificação dos fatores que afetam as consequências e probabilidades (NP ISO 31000, 2013).

Na análise do risco podem-se utilizar métodos qualitativos (*brainstorming*, Delphi), semiquantitativos (árvores de falha, matriz de risco) ou quantitativos (simulação de Monte Carlo). Os métodos qualitativos são úteis para definir a consequência, a probabilidade e o nível do risco. O nível do risco é a importância de um risco que resulta da combinação das suas

consequências e das suas probabilidades. O resultado da classificação nos métodos qualitativos pode ser apresentado como elevado, mediano ou reduzido e incorporam uma combinação entre a probabilidade e consequência. Os métodos semiquantitativos permitem caracterizar escalas relativas de risco, que podem ser lineares, logarítmicas ou exponenciais, podendo utilizar-se diferentes escalas para quantificar as probabilidades e as consequências. Através de uma fórmula, o nível de risco incorpora a combinação entre a probabilidade e a consequência. Desta forma, satisfaz-se o principal objetivo que é o de criar uma hierarquia de riscos por forma a definir uma prioridade para decidir sobre o tratamento a dar ao risco. Por fim, analisando o risco com os métodos quantitativos, consegue-se determinar numericamente, em unidades específicas definidas na fase do estabelecimento do contexto, a consequência, a probabilidade e o nível de risco. No entanto, nem sempre é possível ou desejável proceder a uma análise completa através destes métodos, em virtude de poder faltar informação necessária (Carriço, 2013).

De um modo geral, as consequências que resultam da ocorrência de uma falha na infraestrutura podem ter as seguintes implicações: custos de reparação, perdas de receita, interrupção do serviço; perdas ou danos humanos; impactos para a saúde pública; danos em propriedades; danos de imagem; danos a terceiros; perdas de água; ineficiência energética; incumprimento dos requisitos legais, etc. As implicações que podem resultar de uma falha podem ter uma pequena magnitude de consequências e uma forte probabilidade de ocorrerem, elevadas consequências e uma reduzida probabilidade, ou apresentarem um resultado intermédio (Carriço, 2013).

Relativamente às probabilidades das falhas, estas podem depender das condições ambientais como o tipo de solo, de como é realizada as atividades de operação e manutenção, da fase da conceção do componente, das interações de carga-capacidade e de fatores humanos (Carriço, 2013).

2.2.5.3 Avaliação do Risco

Com base na análise do risco, procede-se à avaliação do risco que servirá de apoio à tomada de decisões, sobre os aspetos em que os riscos necessitam de tratamento e a prioridade de implementação do tratamento. A avaliação do risco consiste em comparar a magnitude do risco apurado no processo de análise do risco com os critérios de risco. Entende-se por critérios de risco os termos de referência em relação aos quais a significância de um risco é avaliada. Os critérios de risco são baseados tanto nos objetivos da organização como nos contextos externos e internos, podem resultar de normas, leis, políticas ou de outros requisitos e são definidos aquando do estabelecimento do contexto (NP ISO 31000, 2013). Devem, também, ter em conta os seguintes fatores: a natureza e os tipos de causas e de consequências que podem ocorrer e o modo como serão medidos; a forma como a probabilidade é definida; o horizonte temporal

da probabilidade e/ou da consequência; a forma como o nível de risco é determinado; a visão das partes interessadas; o nível a partir do qual o risco é aceitável ou tolerável; se vão ser tidos em conta combinações de múltiplos riscos e, em caso afirmativo, como é que essas combinações serão consideradas (Carriço, 2013).

2.2.5.4 Tratamento do Risco

O tratamento do risco consiste em selecionar e implementar as opções que permitem modificar os riscos. De um modo geral, o tratamento do risco envolve a adoção de estratégias que permitem evitar, remover, alterar a probabilidade, alterar as consequências, transferir ou reter o risco (NP ISO 31000, 2013).

Em termos práticos, as estratégias de manutenção que permitem modificar o risco devem contemplar decisões sobre o momento em que os componentes devem ser substituídos, isto é, se deve ser antes da ocorrência de uma falha ou se é preferível operar até à falha, e sobre a monitorização da condição dos componentes e o momento em que se deve efetuar intervenções técnicas de manutenção. Tudo isto terá uma forte dependência dos custos tangíveis para a entidade gestora (Carriço, 2013).

2.2.6 Avaliação do Custo

A avaliação do custo é um outro eixo de análise fundamental para se poder comparar e selecionar as alternativas de intervenção. Inserida nos programas de GPI, a avaliação dos custos tem como objetivos apurar o valor atual da infraestrutura e dos seus componentes, e determinar os custos globais correspondentes a diferentes alternativas de intervenção. O valor atual da infraestrutura pode ser medido por métodos de amortização contabilística ou por métodos de amortização económica. A avaliação dos custos globais de alternativas de intervenção pode ser feito mediante o cálculo do valor atualizado líquido (VAL) correspondente às diferentes componentes de custo, onde se inserem os custos tangíveis, intangíveis e as externalidades com que a entidade gestora se pode deparar ao longo do ciclo de vida dos componentes (Alegre e Covas, 2010).

Os custos tangíveis são os custos que se conhecem, determinados em unidades monetárias e estão associados à prestação de um serviço ou à venda de um produto. As despesas de compra e venda de produtos ou de serviços, pagamentos a funcionários e alugueres são exemplos de custos tangíveis. Os custos intangíveis não são tão fáceis de quantificar em unidades monetárias, sendo considerados mais subjetivos. Estão relacionados com a consequência de uma determinada ação ou circunstância numa atividade ou para a organização, por exemplo, a perda de produtividade, a degradação da imagem da organização perante o exterior, a moral ou motivação dos colaboradores. Nas externalidades incluem-se os custos ou benefícios, tangíveis ou intangíveis, não traduzidos no preço de produção ou venda do produto, para

entidades externas à organização. Temos como exemplos de externalidades provocadas por entidades que gerem o abastecimento de água, as perturbações causadas aos consumidores decorrentes da falta de água, os prejuízos nas vendas causados a terceiros decorrentes de obras de reparação da infraestrutura e o impacto no meio ambiente decorrente da libertação de CO₂ em resultado da produção de energia (Alegre e Covas, 2010).

A norma ISO 15686-5: 2008 estabelece algumas definições, princípios, diretrizes e recomenda metodologias de cálculo e de avaliação à área do custo no ciclo de vida, abrangendo edifícios e bens imobiliários construídos. São abordados, entre outros, dois conceitos fundamentais. A abordagem de custos no ciclo de vida e a abordagem de custos na vida completa.

Segundo a ISO 15685-5: 2008 a abordagem de custos no ciclo de vida é uma metodologia para uma avaliação económica sistematizada do custo no ciclo de vida durante um período de análise. Não são incluídos nesta abordagem os custos decorrentes da fase de conceção e planeamento anteriores ao projeto. Incluem-se os custos do projeto, de construção, de operação e manutenção, de ocupação como rendas e impostos pela utilização do espaço, e de desativação. A abordagem de custos na vida completa é uma metodologia para uma consideração económica sistematizada de todos os custos e benefícios na vida completa durante um período de análise. São incluídos nesta abordagem os custos decorrentes da fase de conceção e planeamento anteriores ao projeto, os custos de projeto, de construção, de operação e manutenção, de ocupação e de desativação. Deverão, também, ter em conta os custos e os benefícios, tangíveis e intangíveis para a entidade gestora, assim como as externalidades.

Na Figura 7 apresenta-se a relação entre custos no ciclo de vida e custos na vida completa, de acordo com a norma ISO 15686-5: 2008

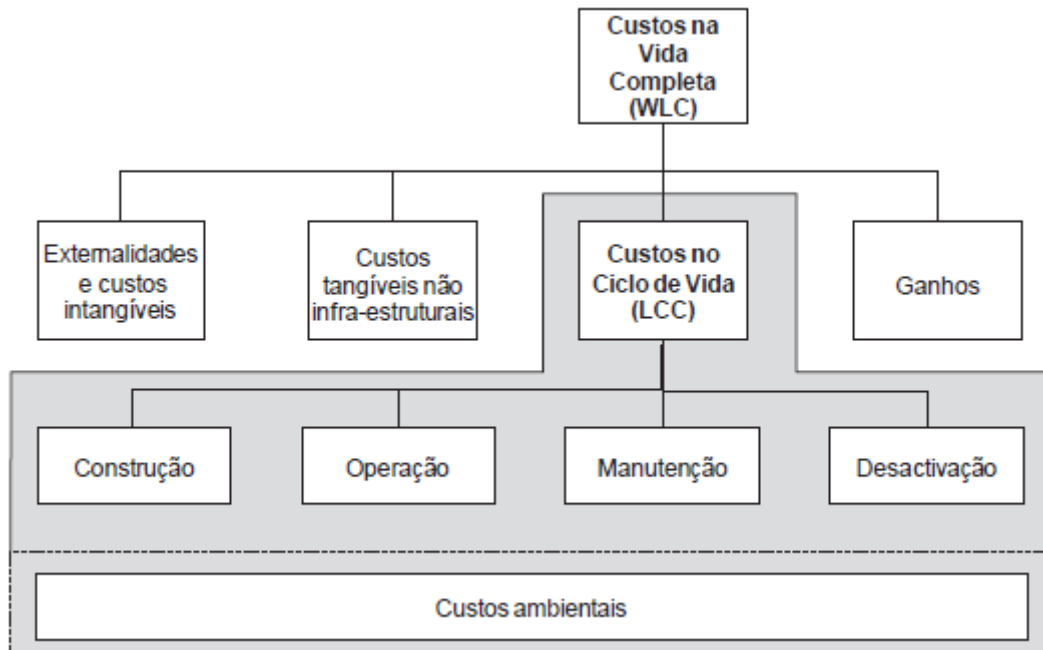


Figura 7 - Relação entre custos no ciclo de vida e custos na vida completa
(adaptado de Alegre e Covas, 2010)

A comparação de alternativas de intervenção na infraestrutura deverá incorporar os princípios das abordagens de custos no ciclo de vida e de custos na vida completa. Portanto, é necessário apurar o custo e o benefício de cada alternativa de intervenção. O método mais adequado consiste em calcular o VAL, que quando é positivo indica que o projeto é economicamente viável para o período de análise e taxa de atualização consideradas, uma vez que permite cobrir o investimento inicial, bem como a remuneração exigida pelo investidor (taxa de atualização), e ainda gerar um excedente financeiro. Quando o VAL é negativo o projeto é inviável (Carriço, 2013). O VAL resulta do somatório dos *cash-flows* anuais atualizados a uma taxa de atualização (Alegre e Covas, 2010).

$$VAL = \sum_{t=0}^n a_t S_t = \frac{S_0}{(1+i)^0} + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad (1)$$

em que:

S_n - saldo do *cash-flow* do ano n (€) dado pelo balanço entre os custos e os benefícios em cada ano de análise;

a_t - fator de atualização [-];

i - taxa de atualização [-];

n - diferença entre o ano do fim e o ano do início do período de análise;

t - número de anos do horizonte temporal.

A taxa de atualização pode ser nominal ou real. A que se deve utilizar dependerá da forma como o VAL é calculado, isto é, se é calculado a partir de preços correntes (preços vigentes no ano a que dizem respeito) ou de preços constantes (tendo como referência um determinado ano, corrigidos de modo a eliminar a inflação, tornando comparáveis preços relativos a anos diferentes) (Alegre e Covas, 2010). A taxa de atualização nominal é constituída por três componentes:

$$TA_{nominal} = [(1 + T_1) \times (1 + T_2) \times (1 + T_3)] - 1 \quad (2)$$

em que:

T_1 - rendimento real (correspondente à remuneração real desejada para os capitais próprios);

T_2 - prémio de risco (ou prémio anual de risco, corresponde à taxa dependente da evolução económica, financeira, global e setorial do projeto, bem como o montante total envolvido no projeto);

T_3 - taxa de inflação.

A taxa da atualização real é definida pela fórmula:

$$TA_{real} = [(1 + T_1) \times (1 + T_2)] - 1 \quad (3)$$

Se os valores de custos e de benefícios forem expressos em preços correntes, deve-se calcular o VAL com a taxa de atualização nominal, caso contrário, deve-se adotar a taxa de atualização real.

O facto de o abastecimento de água ser um serviço de monopólio natural, as intervenções e reabilitação não conduzem à angariação de novos clientes. Conduzem apenas a ganhos de eficiência e de imagem perante o exterior e, por esta razão, ao invés de se calcular os custos e benefícios de uma dada alternativa, deve-se calcular apenas os custos e compara-los com os custos de manter a situação de *statu quo* (manutenção das práticas correntes de operação e manutenção) no mesmo período de análise (Alegre e Covas, 2010).

3 Caso de Estudo - Reabilitação de um Sistema Adutor da Águas do Douro e Paiva

O presente capítulo tem como objetivo a aplicação da GPI a um caso de estudo real. O caso de estudo envolve um problema de decisão para selecionar a melhor alternativa de intervenção de reabilitação num sistema de adução de água pertencente à empresa Águas do Douro e Paiva, S.A. O sistema de adução em questão está dividido em dois troços. O primeiro troço está compreendido entre Ramalde e Cabanas e é composto por duas condutas paralelas, uma em betão pré-esforçado (BPE) com um diâmetro nominal (DN) de 1250 mm, e outra em ferro fundido dúctil (FFd) com um DN de 1200 mm. O segundo troço está compreendido entre Cabanas e Pedrouços e é também composto por duas condutas paralelas, uma em betão BPE com um DN de 1000 mm, e outra em FFd com um DN de 1200 mm. No dia 4 de janeiro de 2015 ocorreu uma rutura na conduta de BPE no troço entre Cabanas e Pedrouços, na localidade de Rio Tinto, após a qual se concluiu que, de momento, não existem condições de funcionamento na conduta de BPE. Este sistema adutor é responsável pelo abastecimento de cerca de metade da cidade do Porto e à totalidade dos concelhos de Gondomar, Valongo, Matosinhos e Maia, o que corresponde a cerca de 40 % do volume total de faturação da Águas do Douro e Paiva.

O presente capítulo divide-se em diferentes partes. Após esta nota introdutória apresenta-se a empresa Águas do Douro e Paiva, S.A. e em seguida o diagnóstico da situação atual. Seguidamente apresentam-se as alternativas de intervenção, as métricas selecionadas, descreve-se e aplica-se o método multicritério de agregação AWARE Plan e termina-se com uma análise de sensibilidade.

3.1 A Águas do Douro e Paiva, S.A

A Águas do Douro e Paiva, S.A é uma empresa de capitais exclusivamente públicos e foi em 26 de julho de 1998 que se celebrou, com o Ministério do Ambiente, o contrato de concessão do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água à Área Sul do Grande Porto, tendo ficado concessionária pelo período de trinta anos. A atividade de exploração iniciou-se em janeiro de 1998, embora ainda limitada aos municípios do Porto, Valongo, Gondomar, Maia e Matosinhos (site AdDP).

Atualmente, a responsabilidade da empresa é a conceção, construção e gestão do sistema de captação, tratamento, e adução de água em alta, em regime de exclusividade, a 20 concelhos (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), que são simultaneamente acionistas e clientes (Boaventura, 2013).

O sistema de abastecimento é composto por 7 captações de água (rio Douro, Paiva, Ferro e Vizela, Ferreira, Ovil e captação subterrânea em Ovar), cerca de 454 km de condutas, 4 estações de tratamento de água (ETA), 8 estações de cloragem, 26 estações elevatórias e 31 reservatórios (site AdDP; Boaventura, 2013). Na Figura 8 apresenta-se a configuração atual do sistema de abastecimento de água em exploração



Figura 8 - O sistema de abastecimento de água da AdDP

O volume de água anual distribuído aos clientes foi, em 2013, igual a 100 milhões de metros cúbicos de água. A tarifa praticada foi na ordem dos 0,3778 €/m³ e o montante global das vendas de água atingiu os 37,781 milhões de euros (site AdDP).

Atualmente o país encontra-se, por resolução do governo, num processo de agregação dos 19 sistemas de abastecimento de água e de saneamento urbano em 5 sistemas de maior dimensão,

para potenciar economias de escala e de processo e por forma a terminar com ineficiências económicas de alguns sistemas. Assim, a Águas do Douro e Paiva irá fundir-se com a SIMDOURO, com a Águas do Noroeste e com a Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro para formarem a Águas do Norte.

3.2 Diagnóstico da Situação Atual

As condutas em BPE compreendidas entre Ramalde e Pedrouços foram construídas pelos já extintos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS) do Porto em 1977, tendo portanto 38 anos de atividade. A estrutura destas condutas consiste num anel de betão armado com 8 centímetros de espessura, amarrados por um cabo de aço helicoidal (3,5 mm) coberto por uma fina camada de betão. O troço de condutas compreendidas entre Ramalde e Pedrouços funciona graviticamente e é responsável pelo abastecimento a cerca de metade do concelho do Porto e à totalidade dos concelhos de Gondomar, Valongo, Matosinhos e Maia, o que se traduz em cerca de 40% do volume total de faturação da Águas do Douro e Paiva. Este sistema adutor está dividido em dois troços. De Ramalde a Cabanas é composto por duas condutas paralelas, uma em BPE com um DN 1250 e outra em FFd com um DN 1200. De Cabanas a Pedrouços é composto, também, por duas condutas paralelas, uma em BPE com um DN 1000 e outra em FFd com um DN 1200. Na Figura 9 apresenta-se o traçado do sistema adutor entre Ramalde e Pedrouços.

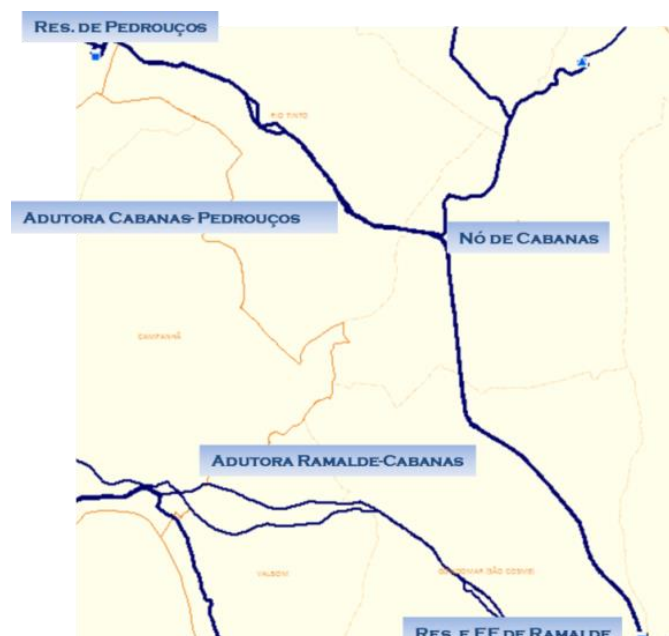


Figura 9 - Sistema adutor entre Ramalde e Pedrouços

No sistema adutor entre Ramalde e Pedrouços já ocorreram várias ruturas de grande dimensão nas condutas de BPE, a última das quais no passado dia 4 de janeiro no troço entre Cabanas e Pedrouços. A ocorrência desta rutura deveu-se ao rebentamento da conduta junto ao embocamento, o que resultou em elevados estragos e perigos para bens públicos e privados. O

tempo de intervenção para o corte de água na conduta foi bastante reduzido, demorou cerca de 40 minutos, tendo essa operação sido realizada de forma correta, uma vez que o fecho abrupto de válvulas de seccionamento poderia originar novas roturas noutras locais. Na Figura 10 apresentam-se fotografias que mostram o local da rutura e estado de conservação da conduta.



Figura 10 - Local da rutura e estado de conservação da conduta

Na zona onde se verificou o rebentamento, verificou-se a existência de diversos arames de aço (do tipo A500) rebentados junto à cabeça de uma tubagem. Este fenómeno foi também observado no interior de algumas caixas de visita desta adutora. Num outro tubo que também foi colocado a descoberto, detetou-se uma pequena área (com cerca de 20x20 cm) apresentando os arames seccionados. Ambas as situações são visíveis na Figura 10. A perda de continuidade dos arames leva à perda da resistência da conduta à pressão exercida pela água, uma vez que o betão por si só não garante essa resistência. Estas situações indicam-nos o quão frágil está o estado de conservação da conduta.

No dia anterior e no próprio dia da rutura, a Águas do Douro e Paiva teve conhecimento de certas anomalias em condutas da Águas de Gaia, Indáqua Feira, Águas de Gondomar, Câmara Municipal de Cinfães e Câmara Municipal de Felgueiras, pelo que, por forma a despistar uma causa comum para estas situações, verificou-se a atividade sísmica da região, tendo-se concluído que não existiu nenhum fenómeno anormal na região.

Em 2014, mais precisamente em janeiro, realizou-se uma inspeção visual no interior da conduta de betão pré-esforçado, em virtude de se ter observado água à superfície do pavimento em diversos locais da conduta. Da inspeção constatou-se que não foram identificados danos estruturais na conduta, concluindo-se que as fugas se deveriam à deterioração de alguns

vedantes na ligação entre a tubagem. Posteriormente, na sequência da inspeção efetuada, foram colocadas vinte juntas AMEX em quatro áreas no troço entre Cabanas e Pedrouços.

Na sequência da rutura ocorrida no passado dia 4 de janeiro, procedeu-se, após a criação das condições de segurança, a uma nova inspeção visual no interior da conduta na zona do rebentamento. Tal como anteriormente, não se verificaram problemas estruturais generalizados nas tubagens adjacentes, apenas se verificou uma fissura transversal (radial), numa área com cerca de 1 m² revelando uma deterioração da superfície interna do betão com cerca de 1 centímetro de profundidade e pequenos ataques às juntas de união dos troços pelo interior. Estas observações são consistentes com as observações anteriores e na Figura 11 mostra-se a referida fissura.

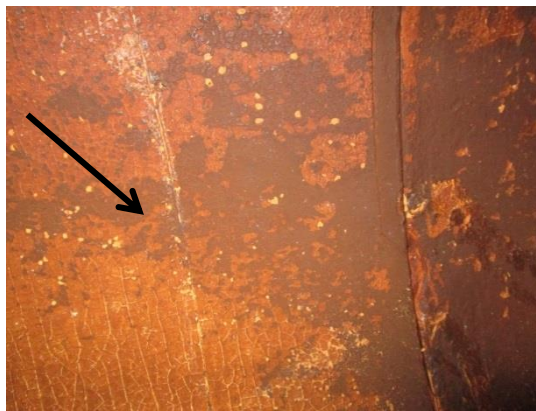


Figura 11 - Inspeção visual ao interior da conduta

Desde 2002 registaram-se 5 ocorrências na conduta adutora de BPE com DN 1250 entre Ramalde e Cabanas e 12 na adutora de BPE com DN 1000 entre Cabanas e Pedrouços. Destas, duas foram ruturas de grande dimensão e ocorreram em janeiro de 2010. Em datas anteriores, ocorreram ainda duas outras ruturas: uma em janeiro/fevereiro de 1998 e outra em maio/junho de 1999. A primeira deveu-se à obra de instalação da conduta de FFd. Na Figura 12 apresentam-se as zonas onde ocorreram as ruturas de pequenas e grandes dimensões



Figura 12 - Locais onde ocorreram ruturas de grandes dimensões e fugas de menores dimensões no sistema adutor entre Ramalde e Pedrouços

Da análise do historial destas condutas adutoras foi possível efetuar quatro constatações: a maioria das ocorrências é de menor dimensão, provocadas por fugas nos vedantes de ligação entre os tubos e o custo de reparação é relativamente baixo, não se registando danos significativos; as grandes ruturas são em muito menor número, mas os custos de reparação e de reposição de bens públicos e privados é muito elevado; duas das grandes ruturas aconteceram nos meses de janeiro, tipicamente o mês mais frio na zona do Porto; as grandes ruturas ocorreram sempre nas zonas de maiores pressões, tipicamente acima de 8 bar; as restantes ocorrências são em menor número, podendo indiciar a existência de eventuais defeitos pontuais na fase de construção da conduta.

É de salientar na análise deste histórico que ele apenas reflete as condições de operação estáveis e de baixo caudal face ao caudal nominal (cerca de 30%). Caso estas condições de escoamento não tivessem sido adotadas, seguramente que o histórico de problemas seria muito maior.

A construção de conduta em FFd foi pensada para abastecer a totalidade do volume necessário da linha Ramalde-Pedrouços. Já as condutas de BPE, tendo em conta o histórico de ruturas e fugas nessas condutas, apenas têm funcionado com um caudal permanentemente estável (entre 1.000 a 1.300 m³/h, isto é, entre 24.000 e 31.200 m³/d), uma vez que valores de caudal superiores ou alterações bruscas de escoamento hidráulico aumentam significativamente o risco de rutura. Estas condutas passaram assim a funcionar com uma redundância “condicionada”.

Com o recurso ao programa EPANET, modelou-se esta parte da rede com o objetivo de verificar a viabilidade de abastecimento a todos os pontos da rede através do uso exclusivo da conduta de FFd. Foram analisados dois cenários:

- Caudais fornecidos no dia de maior consumo de 2014 (volume de saída do reservatório de Ramalde de 106.469 m³).
 - As pressões são positivas em todos os pontos;
 - As velocidades de escoamento estão abaixo do valor máximo recomendado (1,5 m/s);
 - Do ponto de vista teórico, não existem problemas de transporte de água nesta conduta para os consumos considerados.

- Caudais fornecidos no dia de maior consumo de 2014 acrescidos de 20% (volume de saída do reservatório de Ramalde de 127.796 m³)
 - As pressões são positivas em todos os pontos. A pressão mais baixa registada na conduta situa-se à entrada do reservatório de Pedrouços e apresenta uma pressão mínima de 4,92 m.c.a;
 - Em determinados pontos a velocidade máxima recomendada é ultrapassada, atingindo o valor máximo de 1,69 m/s próximos do reservatório de Ramalde;
 - Também neste caso, e do ponto de vista teórico, não existem problemas de transporte de água nesta conduta.

Relativamente à gestão de energia da rede, não são de prever aumentos significativos de custos pelo facto do abastecimento ser garantido apenas por uma conduta. Neste caso, terá mais impacto a quantidade de reserva a montante (Ramalde) nomeadamente em períodos de manutenção dessa infraestrutura.

3.3 Identificação dos Objetivos

Este caso de estudo não resulta propriamente de um prévio processo de planeamento em GPI mas sim da necessidade que surgiu em analisar o sistema adutor após a ocorrência de uma grave rutura, por forma a encontrar a melhor solução para este problema. Assim, considerando este caso de estudo definiram-se os seguintes objetivos:

- Assegurar a sustentabilidade e integridade infraestrutural;
- Garantir o cumprimento dos requisitos regulatórios e contratuais relativos a falhas de abastecimento;
- Assegurar a sustentabilidade económico-financeira da EG (entidade gestora).

3.4 Definição das Alternativas de Intervenção

As alternativas de intervenção no sistema adutor em estudo têm os seguintes objetivos: aumentar a fiabilidade do sistema, por forma a eliminar ou minimizar os problemas estruturais da conduta; garantir a capacidade hidráulica do sistema; criar redundância no sistema. Deste modo, as alternativas de intervenção consideradas são as seguintes:

A₀: desativar a conduta de BPE, mantendo as atuais práticas de operação e manutenção na conduta de FFd (*statu quo*);

A₁: reabilitação parcial da conduta de BPE, na zona onde ocorreu a rutura, substituindo a parte afetada por um troço em aço de 6 metros e manutenção de um caudal permanente estável, a variar entre 1.000 a 1.300 m³/h;

A₂: reabilitação parcial da conduta de BPE, na zona onde ocorreu a rutura, substituindo a parte afetada por um troço em FFd de 6 metros e manutenção de um caudal permanente estável a variar entre 1.000 a 1.300 m³/h;

A₃: reabilitação total da conduta de BPE (*relining*) e substituição da parte afetada, na zona onde ocorreu a rutura, por um troço em aço de 6 metros;

A₄: reabilitação total da conduta de BPE (*relining*) e substituição da parte afetada, na zona onde ocorreu a rutura, por um troço em FFd de 6 metros

A₅: substituição da conduta de BPE por outra em FFd com um diâmetro nominal de 1200 mm;

A₆: substituição da conduta de BPE por outra em FFd com um diâmetro nominal de 700 mm;

A₇: substituição da conduta de BPE por outra em aço com um diâmetro nominal de 1200 mm;

A₈: substituição da conduta de BPE por outra em aço com um diâmetro nominal de 700 mm;

A₉: construção de uma nova conduta em FFd com um novo traçado e com um diâmetro nominal de 1200 mm;

A₁₀: esta alternativa é idêntica à A₉ com a diferença de que neste caso o diâmetro nominal é de 700 mm;

A₁₁: construção de uma nova conduta em aço com um novo traçado e com um diâmetro nominal de 1200 mm;

A₁₂: esta alternativa é idêntica à A₁₁ com a diferença de que neste caso o diâmetro nominal é de 700 mm.

Nas alternativas A₁ e A₂, onde apenas se prevê a substituição da parte afetada por um troço em aço ou FFd com 6 metros e com um DN 1000, está previsto que essa substituição demore 1 ano, estando a conduta operacional em 2016. Nas restantes alternativas, onde se prevê a reabilitação da conduta de BPE ou a construção de condutas novas, estima-se que esse processo dure cerca de dois anos, prevendo-se que nestas alternativas a conduta entre em serviço em 2017. Nas Figuras 13 e 14 apresentam-se os traçados das condutas nas várias alternativas.

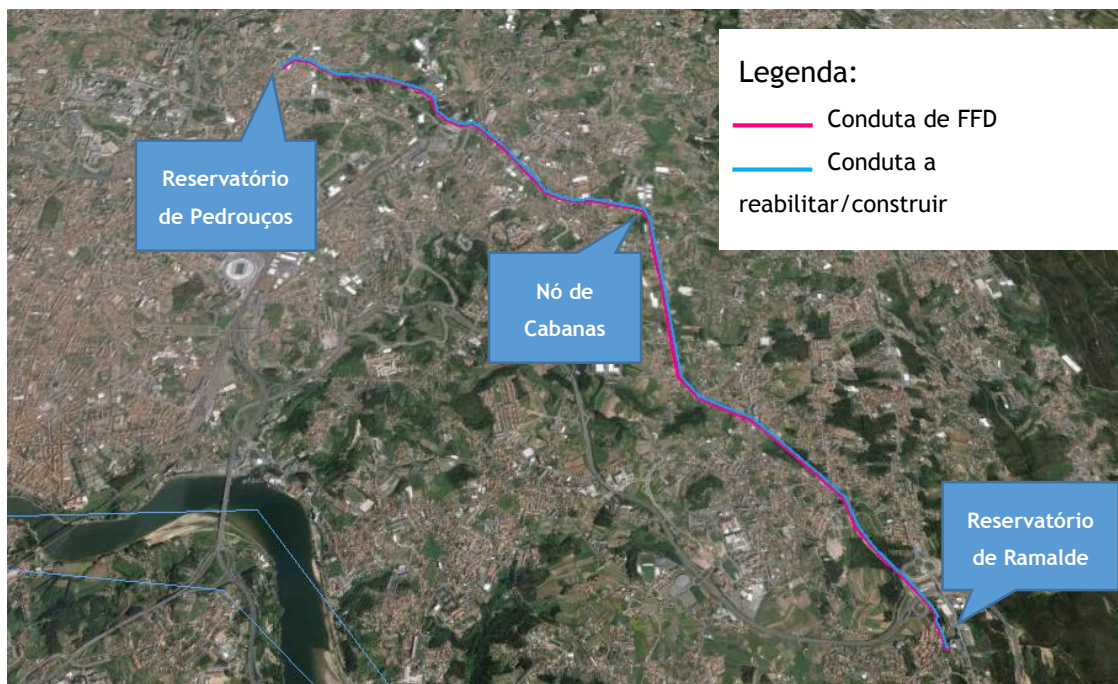


Figura 13 - Traçado da conduta de FFd e da conduta a reabilitar ou a construir nas alternativas A₁, A₂, A₃, A₄, A₅, A₆, A₇ e A₈

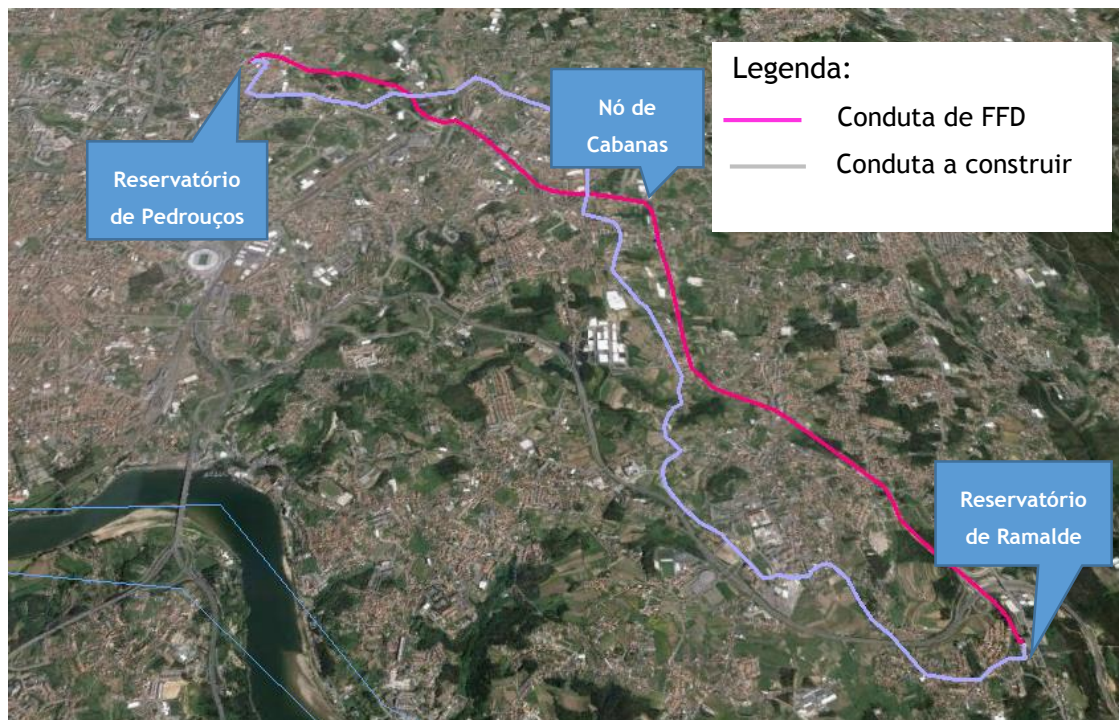


Figura 14 - Traçado da conduta de FFd e da conduta a construir nas alternativas A₉, A₁₀, A₁₁ e A₁₂

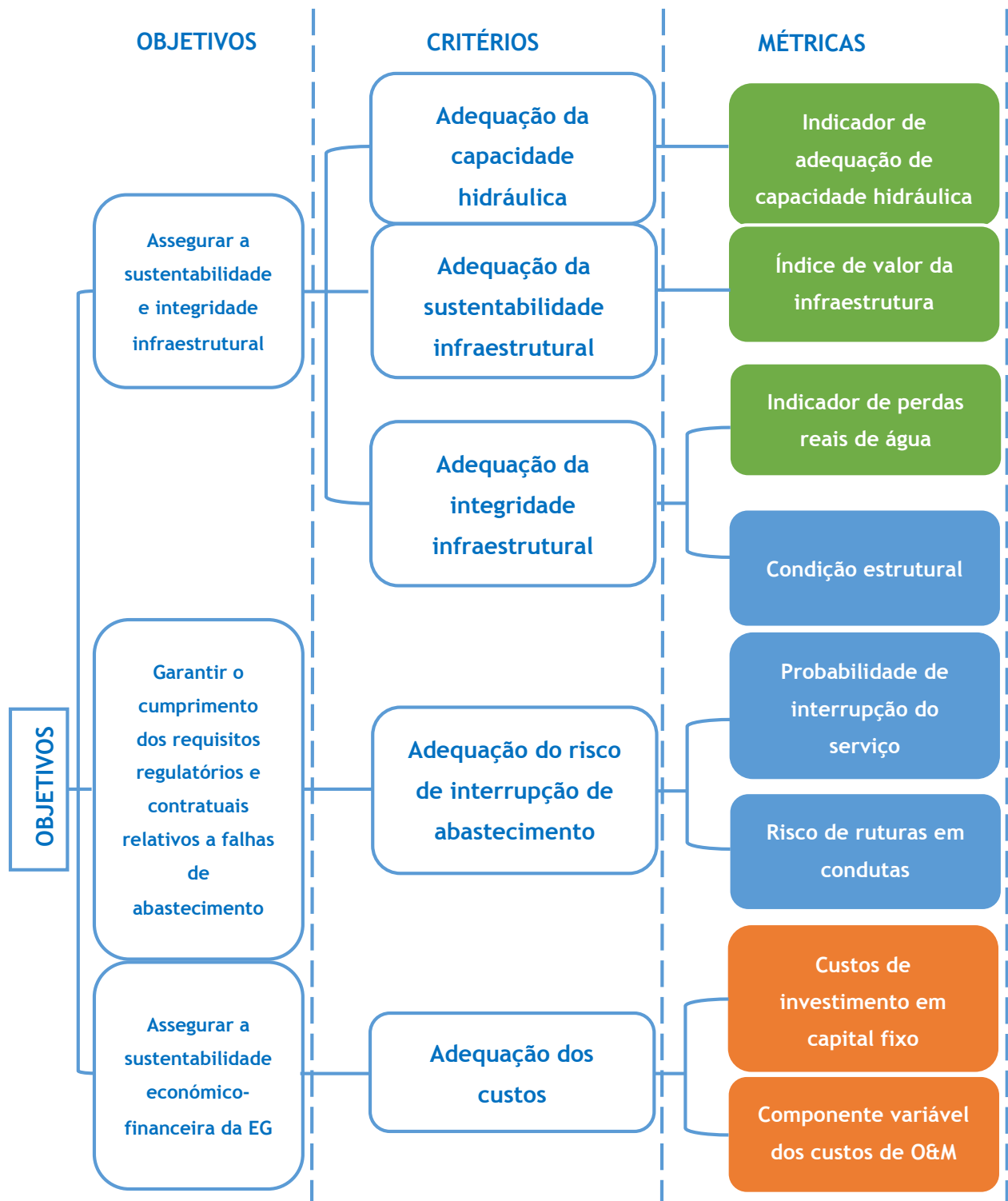
No Quadro 8 apresentam-se as dimensões das condutas do sistema adutor entre Ramalde e Pedrouços para cada alternativa.

Quadro 8 - Dimensões das condutas para cada alternativa

Alternativa	Troço	Material	Comprimento (m)	DN (mm)
A0	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
A1	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Cabanas	BPE	4860	1250
	Cabanas-Pedrouços	BPE-(Aço 6 metros)	4524	1000
A2	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Cabanas	BPE	4860	1250
	Cabanas-Pedrouços	BPE-(FFd 6 metros)	4524	1000
A3	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Cabanas	BPE	4860	1250
	Cabanas-Pedrouços	BPE-(Aço 6 metros)	4524	1000
A4	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Cabanas	BPE	4860	1250
	Cabanas-Pedrouços	BPE-(FFd 6 metros)	4524	1000
A5	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
A6	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	700
A7	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Pedrouços	Aço	9384	1200
A8	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Pedrouços	Aço	9384	700
A9	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Pedrouços	FFd	11752	1200
A10	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Pedrouços	FFd	11752	700
A11	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Pedrouços	Aço	11752	1200
A12	Ramalde-Pedrouços	FFd	9384	1200
	Ramalde-Pedrouços	Aço	11752	700

3.5 Estabelecimento de Métricas de Avaliação

É com base em métricas das dimensões risco, desempenho e custo que as alternativas de intervenção são avaliadas. Neste caso de estudo específico serão utilizadas 8 métricas para a avaliação das alternativas, sendo que haverá 3 para a dimensão do desempenho, 3 referentes à dimensão do risco e duas à dimensão do custo. Na Figura 15 apresentam-se as métricas de avaliação, bem como os critérios e objetivos que lhes estão associados.



LEGENDA: ■ Desempenho ■ Risco ■ Custo

Figura 15 - Objetivos, critérios e métricas de avaliação consideradas para o problema de decisão da reabilitação do sistema adutor da Águas do Douro e Paiva

3.5.1 Indicador de Adequação da Capacidade Hidráulica

O objetivo do indicador de adequação da capacidade hidráulica é o de avaliar se o sistema adutor está efetivamente dimensionado para satisfazer as necessidades de consumo de água atuais e futuras. Este indicador obtém-se através do quociente entre a capacidade máxima de transporte das condutas em cada alternativa e a necessidade de água prevista num dado ano para o pleno fornecimento do serviço. Quando o sistema tem uma capacidade transporte superior às necessidades, o resultado da divisão aritmética é superior a 1, caso contrário, quando as condutas estão subdimensionadas para esse ano, o resultado é inferior a 1. Relativamente às necessidades de água, os técnicos da Aguas do Douro e Paiva preveem uma diminuição de 0,8% ao ano até 2026, prevendo-se uma estabilização a partir desse ano.

A equação matemática que permite determinar o indicador de adequação da capacidade hidráulica é dada pela seguinte expressão:

$$P_1(t) = \frac{Q_S(t)}{Q_N(t)} \quad (4)$$

em que:

$P_1(t)$ - indicador de adequação da capacidade hidráulica do sistema no instante t (-);

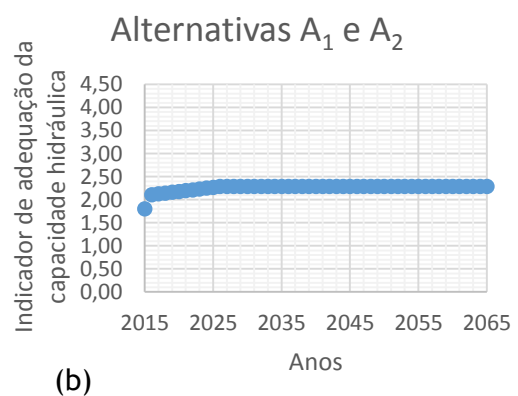
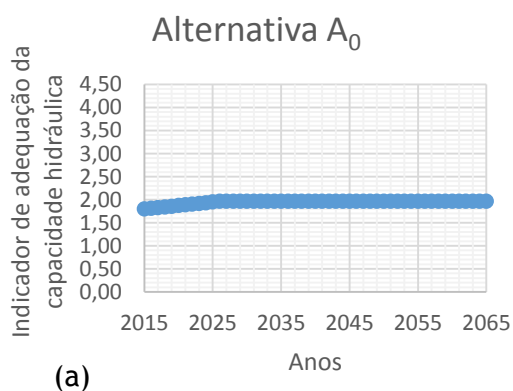
t - instante temporal de cálculo (ano);

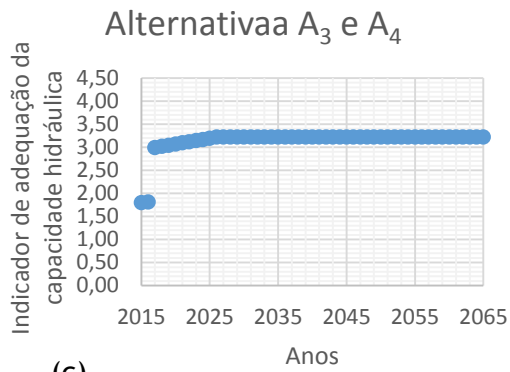
$Q_S(t)$ - caudal máximo transportado pelo sistema em t (m³/dia);

$Q_N(t)$ - necessidades de água em t (m³/dia).

No Quadro 23 do Anexo 1 apresentam-se os resultados para o indicador de adequação da capacidade hidráulica em cada uma das alternativas

Na Figura 16 apresenta-se a evolução do indicador de adequação da capacidade hidráulica para cada alternativa.

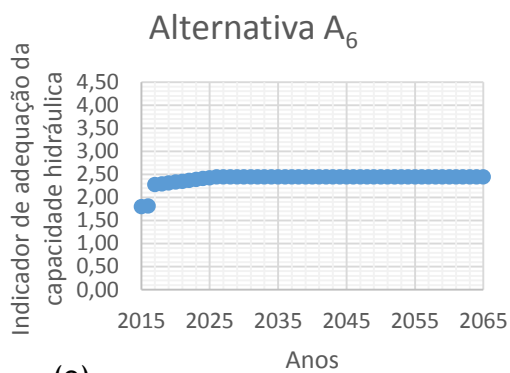




(c)



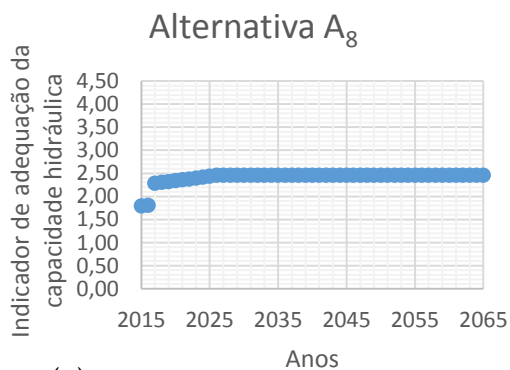
(d)



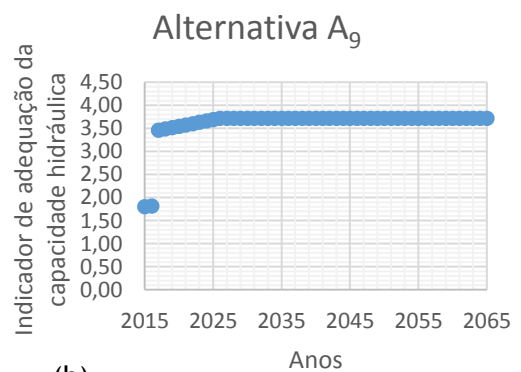
(e)



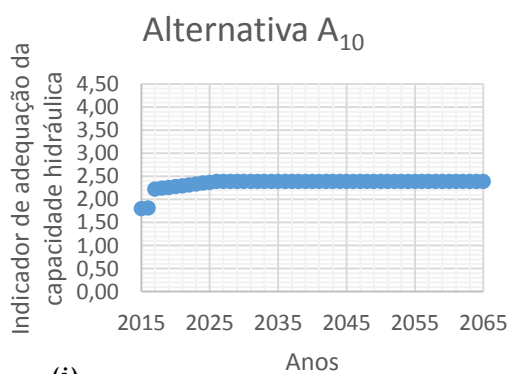
(f)



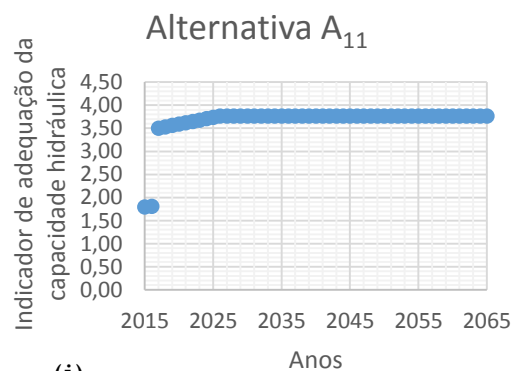
(g)



(h)



(i)



(j)

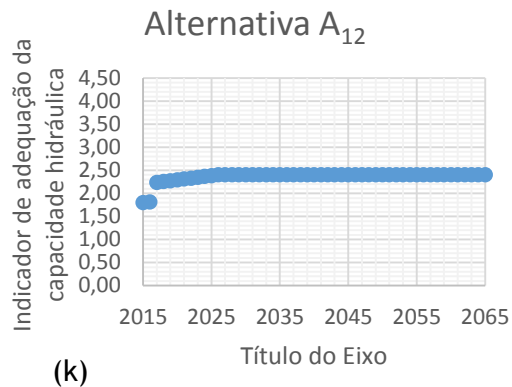


Figura 16 - Evolução do indicador de adequação da capacidade hidráulica para as alternativas: (a) A₀; (b) A₁ e A₂; (c) A₃ e A₄; (d) A₅; (e) A₆; (f) A₇; (g) A₈; (h) A₉; (i) A₁₀; (j) A₁₁; (K) A₁₂

Analisando os resultados obtidos pode-se concluir o seguinte:

- Em todas as alternativas de intervenção o sistema tem uma capacidade de transporte superior às necessidades, incluindo a alternativa A₀, onde o sistema é apenas composto por uma conduta. Nesta alternativa, o indicador de adequação da capacidade hidráulica será, a partir de 2026, igual a 1,96;
- As alternativas A₅, A₇, A₉ e A₁₁ são as que apresentam um maior excesso de capacidade hidráulica. A partir de 2026 o indicador para estas alternativas será superior a 3,7.

3.5.2 Índice de Valor da Infraestrutura

O índice de valor da infraestrutura (IVI) é um indicador muito útil para avaliar o grau de juventude, de maturidade ou de envelhecimento de uma infraestrutura. É obtido através da razão entre o valor atual da infraestrutura e o correspondente valor de substituição (Alegre e Covas, 2010)

$$IVI(t) = \frac{\sum_{i=1}^N (cs_{i,t} \times \frac{vr_{i,t}}{vu_i})}{\sum_{i=1}^N cs_{i,t}} \quad (5)$$

em que:

t - ano em que se está a fazer a avaliação (ano);

$IVI(t)$ - índice de valor da infraestrutura no ano t (-);

N - nº total de ativos (-);

$cs_{i,t}$ - custo de substituição do ativo i no ano t (€);

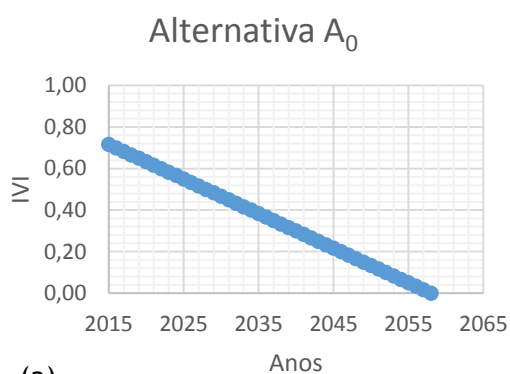
$vr_{i,t}$ - vida útil residual do ativo i no ano t (ano);

vu_i - vida útil técnica total do ativo i (ano).

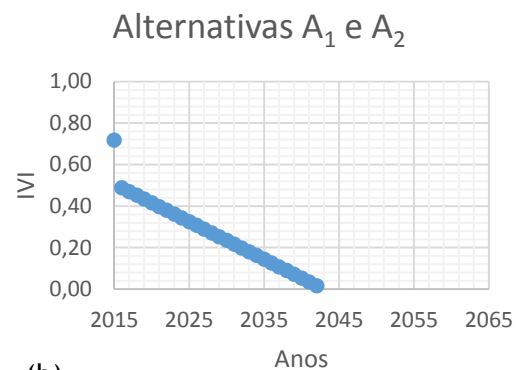
O IVI representa, para um componente único, a razão entre a vida residual e a vida útil, ou seja, a percentagem de vida útil que o componente ainda tem. Nas situações em que as infraestruturas estão estabilizadas, o IVI resulta em valores na ordem dos 0,50 (0,40-0,60), o que quer dizer que o valor atual da infraestrutura é 50% do valor da substituição da mesma. Para valores acima dos 0,50, as infraestruturas ou são jovens, ainda não estabilizadas, ou, embora já antigas, ainda atravessam uma fase de crescimento, ou poderá querer dizer que se está a sobre-investir em reabilitação. Para valores inferiores a 0,40, é-nos indicado que a infraestrutura se encontra envelhecida e necessita de investimentos significativos em reabilitação (Alegre e Covas, 2010).

No Quadro 24 do Anexo 1 apresentam-se os resultados obtidos para o IVI em cada uma das alternativas.

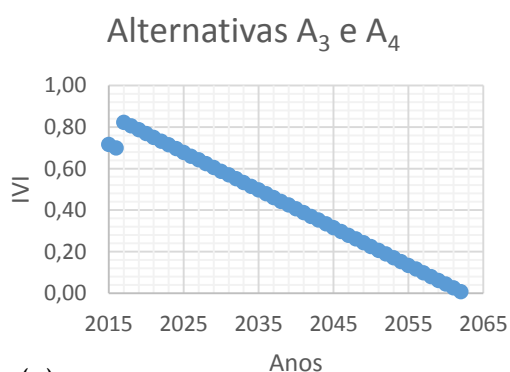
Na Figura 17 apresenta-se a evolução temporal do índice de valor da infraestrutura para cada alternativa de intervenção.



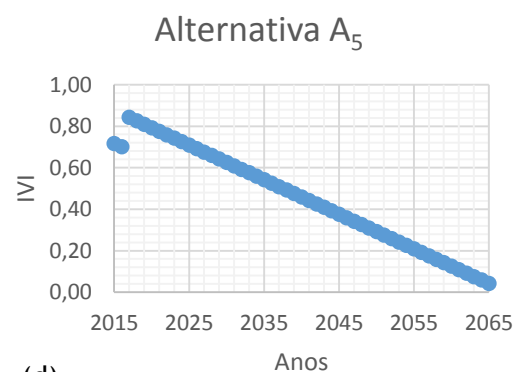
(a)



(b)



(c)



(d)

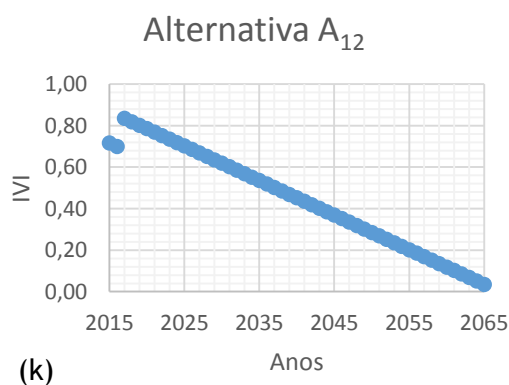
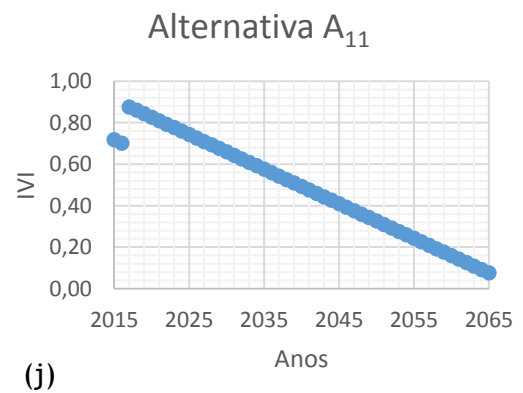
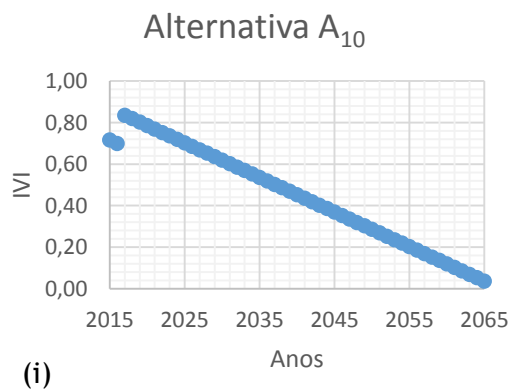
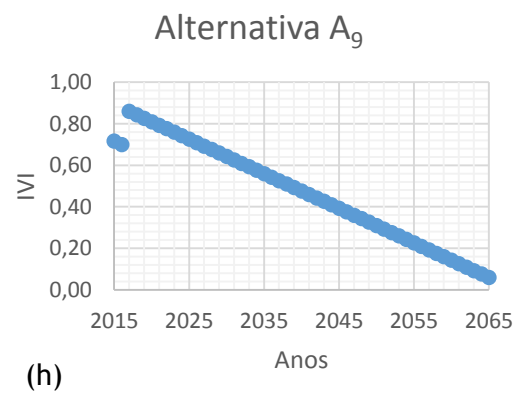
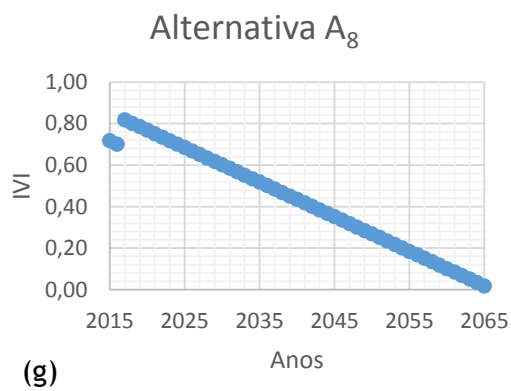
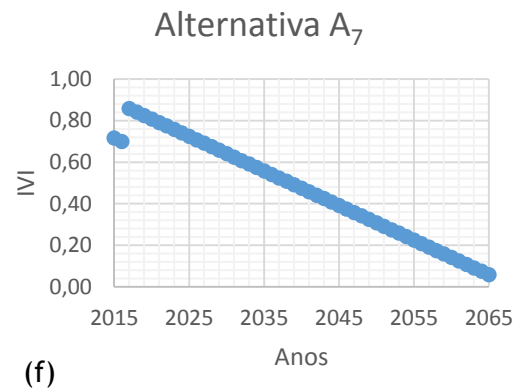
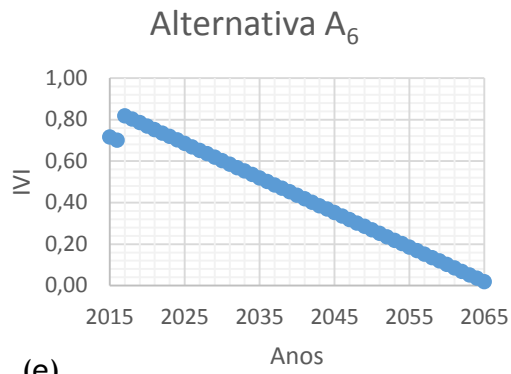


Figura 17 - Evolução do índice de valor da infraestrutura para as alternativas: (a) A₀; (b) A₁ e A₂; (c) A₃ e A₄; (d) A₅; (e) A₆; (f) A₇; (g) A₈; (h) A₉; (i) A₁₀; (j) A₁₁; (k) A₁₂

Os resultados obtidos permitem concluir o seguinte:

- As alternativas A_1 e A_2 são as que apresentam menores valores de IVI ao longo do período de análise. É de esperar que assim seja, uma vez que nestas alternativas de intervenção apenas está previsto substituir a zona afetada por um troço novo, mantendo a restante conduta de BPE, que já tem 38 anos, operacional sem qualquer reabilitação;
- Na alternativa A_0 , sistema apenas composto por uma conduta, prevê-se que a infraestrutura passe para uma situação que se considera envelhecida, com necessidade de investimentos significativos em reabilitação, a partir de 2034;
- As alternativas A_3 e A_4 apresentam um IVI ligeiramente superior comparativamente com a alternativa A_0 , prevendo-se que a infraestrutura passe para uma situação que se considera envelhecida a partir de 2041. Nestas alternativas é onde está previsto uma reabilitação total da conduta de BPE;
- As restantes alternativas são bastante similares, diferindo numericamente devido à diferença de diâmetros e devido à extensão das novas condutas. Estas alternativas são as que apresentam, globalmente, os maiores valores de IVI.

3.5.3 Indicador de Perdas Reais de Água

O indicador de perdas reais de água representa nesta métrica a quantidade de água perdida em fugas (m^3) por unidade de tempo (dia) e por unidade de comprimento da conduta (km). Este é o indicador recomendado pela IWA para as perdas reais de água quando o sistema tem menos de 20 conexões por km de conduta como é o caso do sistema adutor em estudo (Martins, 2014). Existe outro indicador recomendado para as perdas reais de água, o ILI (*Infrastructure leakage Index*), em português, índice de fugas da infraestrutura. O ILI é obtido através da seguinte expressão:

$$\frac{CARL}{UARL} \quad (6)$$

em que:

CARL - *Current Annual Real Losses* (Atuais Perdas Reais Anuais);

UARL - *Unavoidable Annual Real Losses* (Inevitáveis perdas reais anuais);

- $UARL (l/d) = (18 \times Lm + 0,8 \times Nc + 25 \times Lp) \times P$

- Lm = comprimento da conduta (km);

- Nc = número de conexões a ramais;

- Lp = comprimento total das conexões (m)

- P = pressão média (m)

O ILI é uma boa metodologia para as perdas reais de água, visto que tem em conta a pressão da rede. No extremo máximo de boa gestão de entidades gestoras, no que diz respeito às perdas reais de água, o ILI atinge valores muito próximos de 1 (CARL=UARL), mas este não tem necessariamente que ser o objetivo, a não ser que a água seja escassa ou cara. Um ILI compreendido entre 1 e 2 representa, nos países desenvolvidos, um excelente nível técnico de gestão das perdas reais, onde a continuidade da redução das perdas já não se traduz numa mais-valia económica. Valores de ILI superiores a 2 indicam que há possibilidades de melhoria, e este índice vai piorando à medida que aumenta (Martins, 2014). Porém, este método não permite efetuar uma extrapolação ao longo de um horizonte temporal.

Já a metodologia apresentada por Laven e Lambert (2012) permite efetuar essa extrapolação. Durante 15 anos, estes autores recolheram dados estatísticos sobre perdas reais de água em mais de 25 países e construíram uma curva e respetiva lei de ajustamento linear que possibilita o cálculo do acumulado médio de perdas de água, o indicador de perdas reais (P_3), com as unidades apresentadas anteriormente. Na Figura 18 apresenta-se a curva e respetiva lei de ajustamento linear.

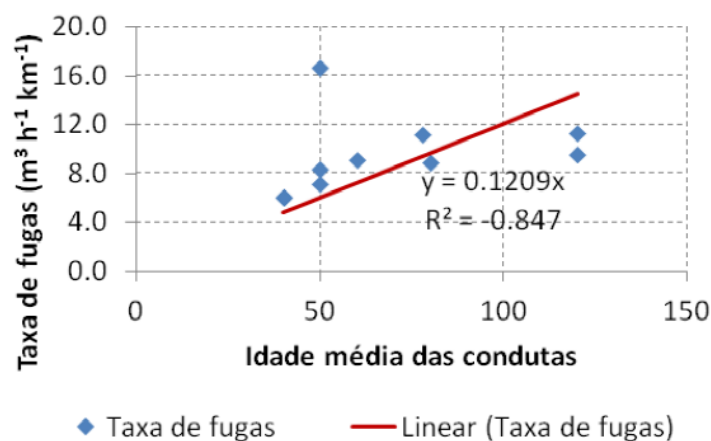


Figura 18 - Curva e equação utilizada para determinação do indicador de perdas reais de água (adaptado de Laven e Lambert, 2012)

Reescrevendo a equação do gráfico de modo a considerar como unidade temporal o dia, resulta na seguinte expressão para este indicador de desempenho:

$$P_3 = 2,9 \times I \quad (7)$$

em que:

P_3 - indicador de perdas reais de água ($m^3/(dia.km)$);

I - idade média das condutas que pode ser majorada ou minorada conforme o seu estado (anos).

É importante referir, também, que na prática nem todas as condutas poderão ter a mesma taxa de perdas. A taxa de perdas pode depender de muitos fatores, como os materiais, o diâmetro e a pressão. O método mais assertivo para apurar as perdas de água, ao longo dos anos, deveria ter em conta para além da idade, os materiais, o diâmetro, a pressão e outros fatores locais como as condições do solo. No entanto, este é o estado de conhecimentos atuais sobre esta matéria e o estudo efetuado por Laven e Lambert (2012) evidenciou uma certa proximidade de resultados entre esta lei de ajustamento linear e a fórmula UARL.

Nos Quadros 25 e 26 do Anexo 1 apresentam-se os resultados obtidos para esta métrica nas diferentes alternativas

A Figura 19 apresenta a evolução do indicador de perdas reais de água nas diferentes alternativas.

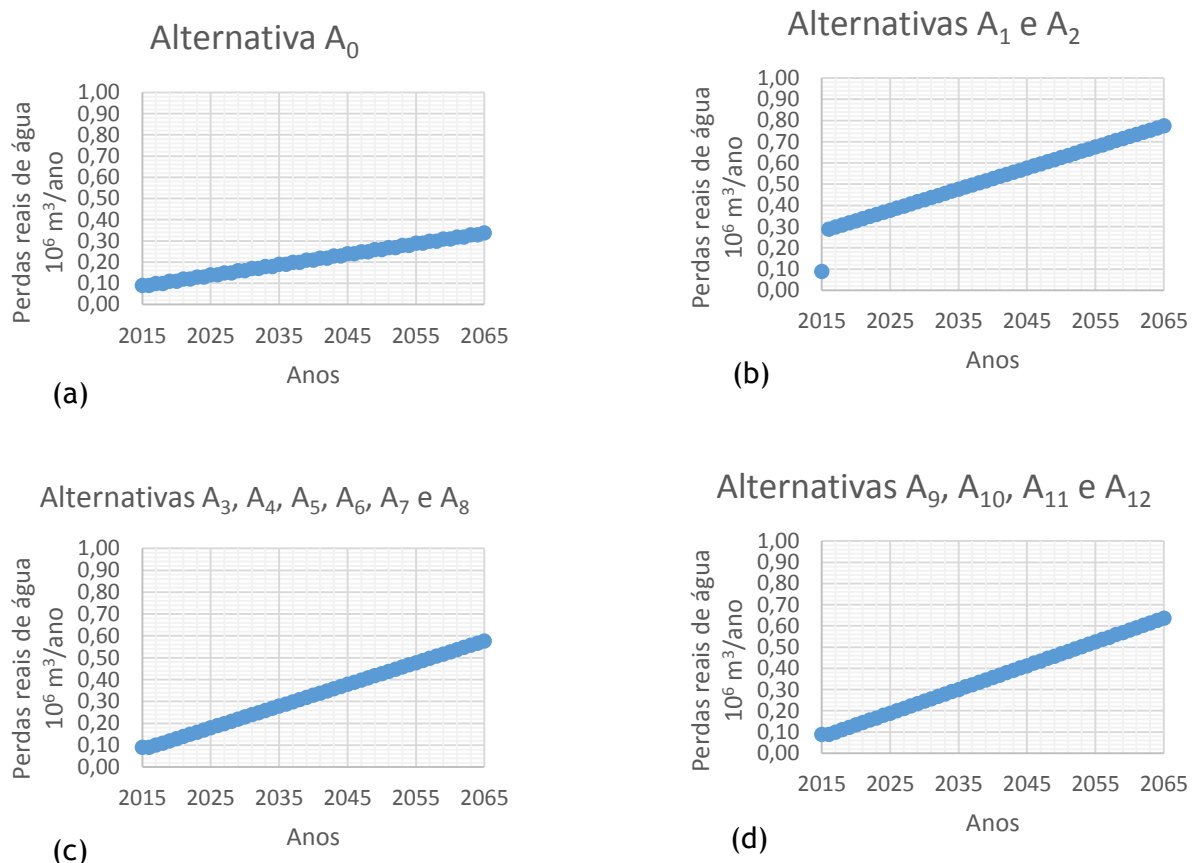


Figura 19 - Evolução do indicador de perdas reais de água para as alternativas: (a) A₀; (b) A₁ e A₂; (c) A₃, A₄, A₅, A₆, A₇ e A₈; (d) A₉, A₁₀, A₁₁ e A₁₂

Os resultados obtidos permitem constatar o seguinte:

- O volume de perdas no ano 2015, contando apenas com a conduta de FFd, será aproximadamente igual a $0,09 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, o que corresponde a cerca de 0,23% do volume anual total de água entrada no sistema;

- A alternativa A_0 é a que apresenta melhor desempenho nesta métrica, uma vez que é constituída por uma única conduta construída em 1998, enquanto as outras alternativas são compostas por duas condutas, uma a reabilitar ou a construir, contando com o acréscimo de perdas nessa conduta;

3.5.4 Condição Estrutural

Ao longo da sua vida, uma conduta está exposta à ação de vários fatores que induzem a degradação da sua condição estrutural até chegar a altura em que ocorre um colapso. A escala de condição estrutural, com classes definidas a partir de gamas de taxas de falha, que podem ser entendidas como pequenas ruturas e que podem sofrer, ou não, alguma reparação localizada. Estas gamas foram estabelecidas considerando a vida útil técnica, dado não existir informação suficiente para sustentar outras abordagens (Carriço, 2013).

A curva da banheira aplica-se a componentes como uma rede de distribuição de água e representa as fases de vida desse tipo de componente ao longo do tempo. Uma vez aplicado a um componente, a curva da banheira apresenta, normalmente, três fases características no seu ciclo de vida: mortalidade infantil; vida útil (técnica) ou maturidade; e a fase de degradação ou deterioração (Carriço, 2013). Na Figura 20 apresenta-se a curva da banheira.

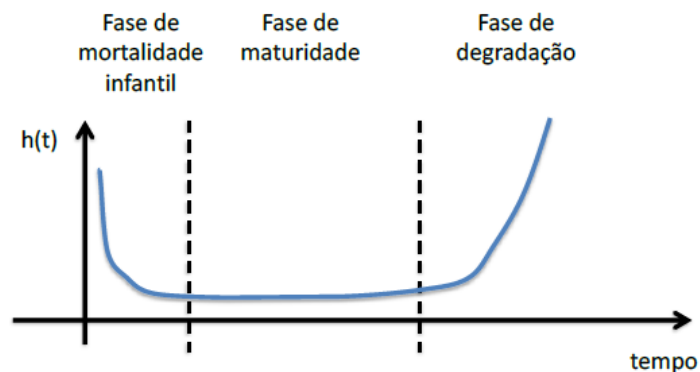


Figura 20 - Curva da banheira (adaptado de Carriço, 2013)

A fase inicial, que corresponde ao período em que os componentes novos entram em funcionamento, apresenta uma taxa de falhas elevada devido sobretudo a erros de projeto ou deficiências de fabrico, instalação/montagem ou controlo de qualidade. Nas condutas adutoras de grande dimensão, como neste caso de estudo, considera-se que à partida são tidas em conta as melhores práticas de construção, escolhidos os melhores materiais e utilizados todos os cuidados previstos em projeto e, por conseguinte, considera-se que não se verifica a primeira fase, verificando-se apenas as duas últimas fases.

A vida útil (técnica) depende, em larga escala, dos materiais das condutas. No Quadro 9 apresentam-se as vidas úteis (técnicas) dos materiais utilizados.

Quadro 9 - Vida útil (técnica)

Material	Vida útil (técnica) em anos
Betão Pré Esforçado	50
Ferro Fundido Dúctil	60
Aço	60

Após a fase de maturação a função de risco cresce de forma acentuada em consequência de fenómenos de degradação. Para descrever a fiabilidade dos componentes recorre-se, normalmente, à distribuição exponencial e no presente caso de estudo utilizou-se a seguinte:

$$\gamma = c \times (e^{\alpha \times t} - 1) \quad (8)$$

em que:

γ - taxa de falhas (nº falhas/(km.ano));

c - parâmetro de escala (adimensional);

α - parâmetro de forma que traduz o mecanismo de degradação (adimensional);

t - instante temporal (ano).

Relativamente ao parâmetro de escala, c , considerou-se que este corresponde ao inverso da metade do tempo de vida útil do material. Para o Aço considerou-se que o parâmetro de forma que traduz o mecanismo de degradação, α , corresponde a 80% do valor do FFd. Considerou-se, também, que a condição da conduta reabilitada é equivalente à de uma nova conduta em betão pré-esforçado.

Na Figura 21 apresentam-se as curvas de degradação para cada material em função das respetivas vidas úteis e a definição de uma escala de condição estrutural com base em gamas de taxas de falha.

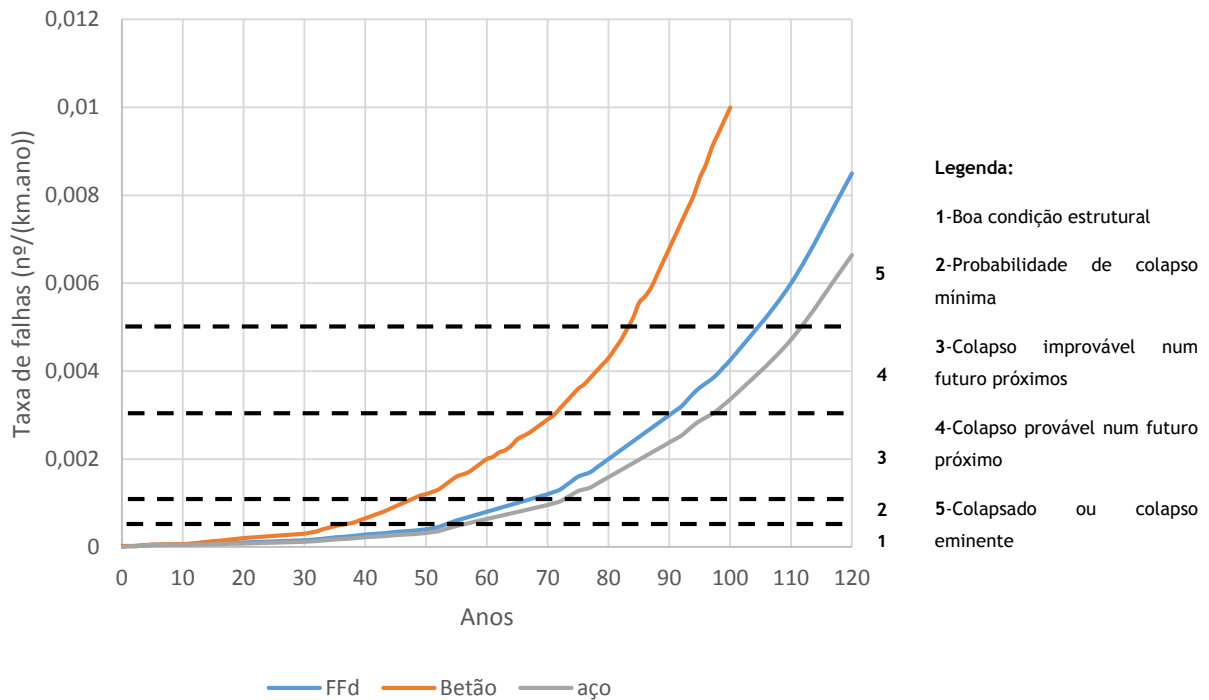


Figura 21 - Curvas de degradação e classes de escala de condição estrutural

No Quadro 10 apresentam-se as gamas de taxa de falhas adotadas nas diversas classes de condição estrutural, que variam de 1 a 5.

Quadro 10 - Escala de condição estrutural

Condição estrutural	Taxe de falhas (nº/(km.ano))	Descrição
1	<0,0003	Boa condição estrutural
2	0,0003 - 0,001	Probabilidade de colapso mínima
3	0,001 - 0,003	Colapso improvável num futuro próximo
4	0,003 - 0,005	Colapso provável num futuro próximo
5	>0,005	Colapsado ou colapso eminente

No Quadro 27 do Anexo 1 apresentam-se os resultados obtidos para a condição estrutural em cada alternativa.

Na Figura 22 apresenta-se a evolução, ao longo de um horizonte temporal, da condição estrutural para as diferentes alternativas.

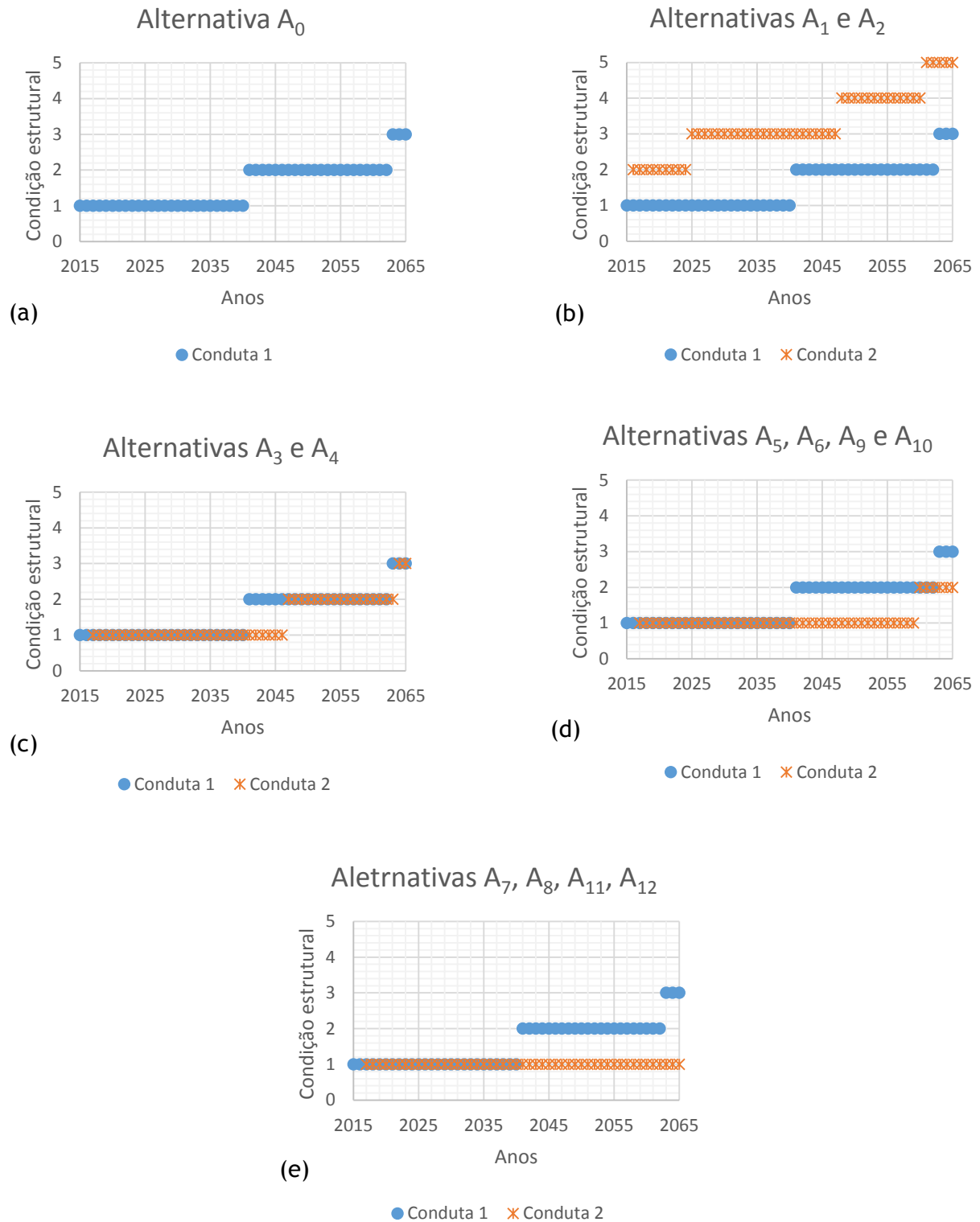


Figura 22 - Evolução da condição estrutural das condutas nas alternativas: (a) A_0 ; (b) A_1 e A_2 ; (c) A_3 e A_4 ; (d) A_5, A_6, A_9 e A_{10} ; (e) A_7, A_8, A_{11} e A_{12}

Os resultados obtidos permitem concluir o seguinte:

- Na alternativa A_0 haverá um agravamento da condição estrutural, chegando a atingir em 2063 a classe 3 (colapso improvável num futuro próximo);

- As restantes alternativas são todas elas compostas por duas condutas e na conduta 2 das alternativas A_1 e A_2 a condição estrutural chegará à classe 5 (colapsado ou colapso eminente) em 2061;
- Existe uma semelhança entre as alternativas A_3 e A_4 , entre as alternativas A_5 , A_6 , A_9 e A_{10} e entre as alternativas A_7 , A_8 , A_{11} , A_{12} , uma vez que envolvem intervenções idênticas.

3.5.5 Probabilidade de Interrupção do Serviço de Abastecimento de Água

A probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água é uma métrica que se traduz numa medida de fiabilidade do sistema, e uma das maiores preocupações da entidade gestora é garantir a maior fiabilidade possível, para que não haja interrupção do abastecimento ao reservatório de Pedrouços. Neste contexto, esta métrica refere-se à interrupção total do serviço de abastecimento de água ao reservatório de Pedrouços e quanto maior for a redundância do sistema, menor será a probabilidade de interrupção total do abastecimento. No caso de sistemas compostos por duas condutas esta probabilidade é dada pela seguinte expressão (Cariço, 2013):

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (9)$$

em que:

$P(t)$ - probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento no instante t (-);

t - instante temporal em que se está a fazer o cálculo (ano);

n - número de componentes (-);

$P_i(t)$ - probabilidade de falha do componente i no instante t (-).

É com base na taxa de falha do respetivo componente para um dado ano que se determina a probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água, isto é, a partir da taxa de falhas das condutas adutoras. Nas situações em que não existe informação disponível para caracterizar de uma forma mais precisa a falha, pode-se recorrer a um processo de Poisson que é adequado para estes casos (Cariço, 2013). Tendo em conta o processo de Poisson, a probabilidade de falha num dado instante obtém-se através da seguinte expressão:

$$P(t) = 1 - e^{-\gamma t} \quad (10)$$

em que:

$P(t)$ - probabilidade de falha no instante t (-);

γ - taxa de falhas (nº falhas/(km.ano));

t - instante temporal em que se está a efetuar o cálculo (ano).

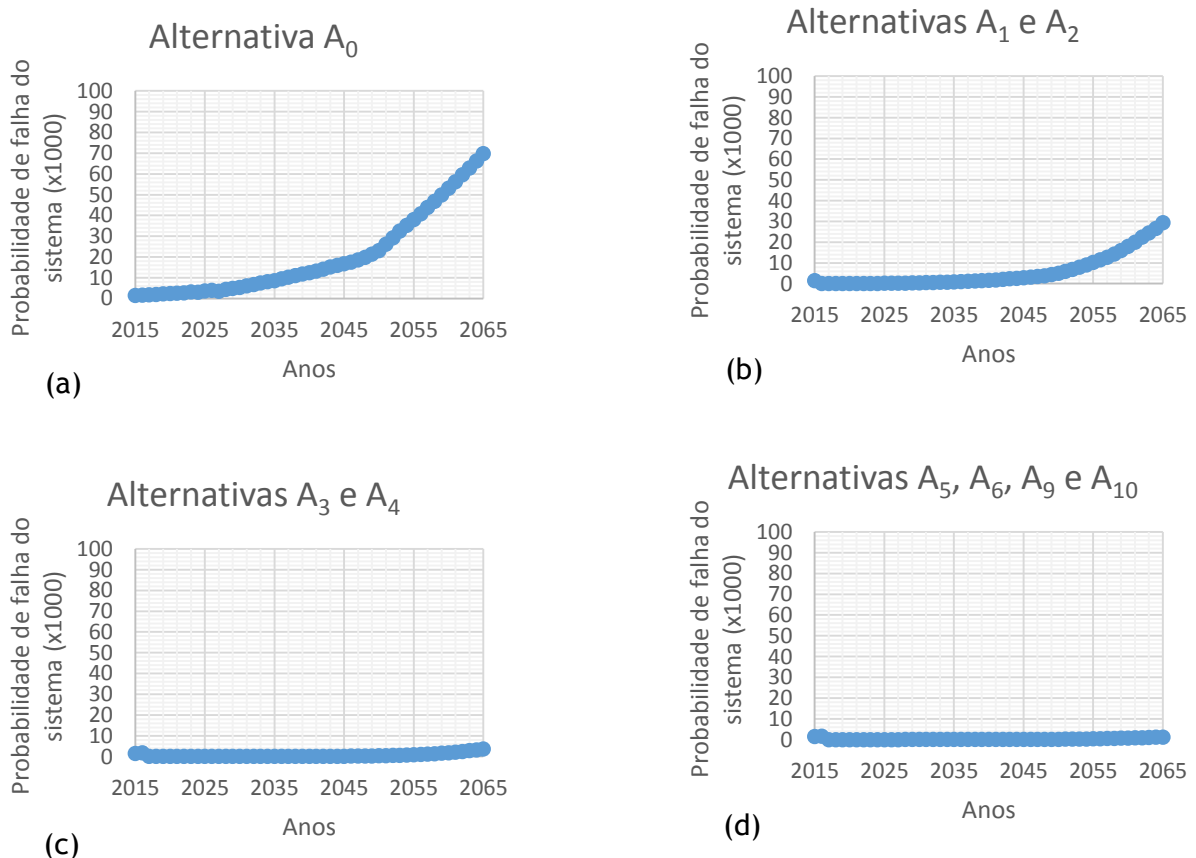
No Quadro 11 apresentam-se as probabilidades de falha estimadas com base de Equação 10, correspondentes às taxas de falha associadas às classes de condição estrutural.

Quadro 11 - Probabilidade de falha num dado ano

Condição estrutural	Taxe de falhas (n°/(km.ano))	Probabilidade num ano
1	<0,0003	<0,013
2	0,0003 - 0,001	0,013 - 0,06
3	0,001 - 0,003	0,06 - 0,19
4	0,003 - 0,005	0,19 - 0,34
5	>0,005	>0,34

No Quadro 28 do Anexo 1 apresentam-se os resultados obtidos nesta métrica para cada uma das alternativas.

Na Figura 23 apresenta-se a evolução temporal, ao longo de um período de análise, da probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água para as diferentes alternativas. De modo a representar os valores graficamente, ampliou-se a escala utilizando um fator multiplicativo de 1000.



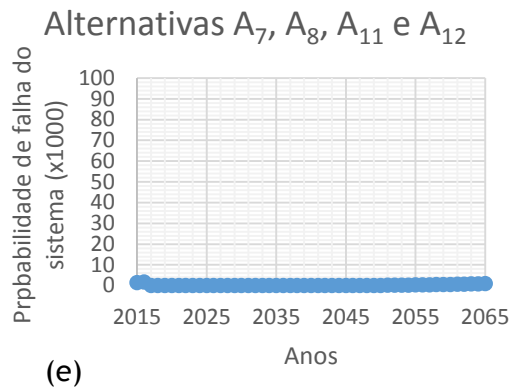


Figura 23 - Evolução da probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento nas alternativas: (a) A₀; (b) A₁ e A₂; (c) A₃ e A₄; (d) A₅, A₆, A₉ e A₁₀; (e) A₇, A₈, A₁₁ e A₁₂

Os resultados obtidos permitem constatar o seguinte:

- A alternativa A₀ é a que apresenta maior probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água, que se deve à não redundância desta alternativa;
- Apesar das alternativas A₁ e A₂ apresentarem redundância ao abastecimento de água, a probabilidade de interrupção do serviço é a segunda mais alta, razão que se deve, ao facto de nestas alternativas, praticamente toda a conduta de BPE não ser alvo de reabilitação;
- As alternativas A₃ e A₄ aparecem na terceira posição em termos de probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água, visto que nesta alternativa está prevista uma reabilitação integral da conduta de BPE;
- As restantes alternativas são semelhantes, nas situações em que está previsto a substituição da conduta por uma de FFd ou por uma de Aço.

3.5.6 Risco de Rutura em Conduitas

O risco de ruturas em condutas é uma métrica que traduz o risco associado à ocorrência de uma rutura nas condutas que transportam água do reservatório de Ramalde até ao reservatório de Pedrouços. No caso concreto desta métrica, entende-se por rutura apenas o colapso da conduta, não se incluindo anomalias associadas a pequenas fugas. Este é um aspeto importante, uma vez que estas ruturas dão origem à interrupção do serviço na conduta em causa.

O risco pode ser apurado através do produto da probabilidade de ocorrência de um dado evento pelas respetivas dimensões de consequência (Carriço, 2013):

$$R(t) = P(t) \times C(t) \quad (11)$$

em que:

$R(t)$ - risco no instante t (-);

t - instante temporal em que se está a fazer o cálculo (ano);

$P(t)$ - probabilidade no instante t (-);

$C(t)$ - consequência no instante t (-).

A probabilidade no instante t utilizada foi a mesma da métrica anterior, ou seja, a probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água. Por conseguinte, a consequência mais relevante para o caso de estudo é a interrupção do abastecimento, então, como dimensão de consequência utilizou-se a capacidade hidráulica das condutas, expressa em percentagem do volume de água necessário não fornecido. Assim, a consequência no instante t é determinada por:

$$C(t) = 1 - \frac{Q_C(t)}{Q_N(t)} \quad (12)$$

em que:

$C(t)$ - consequência no instante t (-);

$Q_C(t)$ - caudal máximo transportado pela conduta em t (m³/dia);

$Q_N(t)$ - necessidades de água em t (m³/dia);

t - tempo a que se refere o cálculo (ano).

Para as alternativas em que existe apenas uma conduta, o risco é obtido pela Equação 11. Mas para as alternativas em que o sistema é composto por duas condutas, é necessário analisar a consequência de falha de uma ou de ambas as condutas. Por forma a melhorar a perceção pode-se usar uma árvore de acontecimentos, onde são apresentadas, num diagrama sequencial, as várias e possíveis consequências resultantes de um certo acontecimento inicial. Na Figura 24 apresenta-se a referida árvore de acontecimentos.

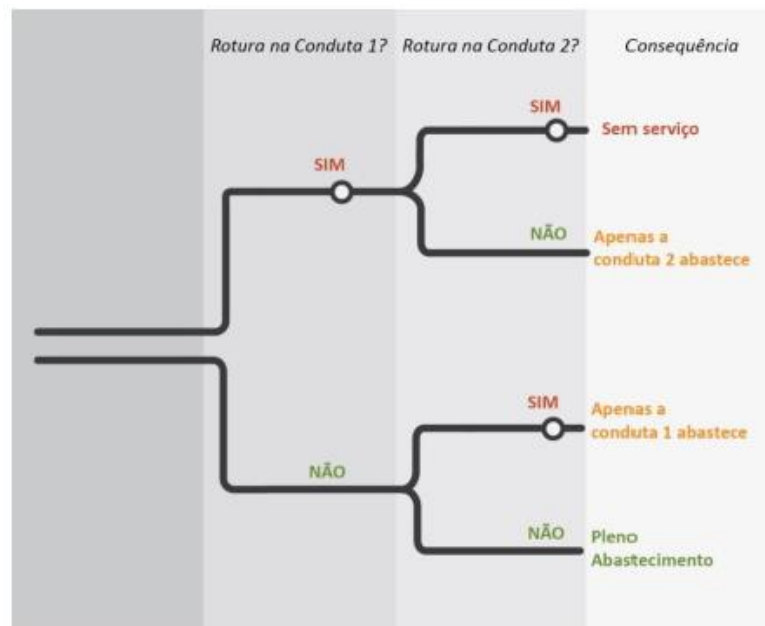


Figura 24 - Árvore de acontecimentos usada para a análise da consequência nas alternativas $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}$ e A_{12}

Assim, para as alternativas em que o sistema adutor é composto por duas condutas, o risco total é dado pela seguinte fórmula:

$$R(t) = P_{c1} \cdot [P_{c2} \cdot C_{sem\ serviço} + (1 - P_{c2}) \cdot C_{c2}] + (1 - P_{c1}) \cdot [P_{c2} \cdot C_{c1} + (1 - P_{c2}) \cdot C_{pleno}] \quad (13)$$

em que:

$R(t)$ - risco de rutura em condutas no instante t (-);

P_{c1} - probabilidade de ocorrência de uma rutura na conduto 1 (existente);

P_{c2} - probabilidade de ocorrência de uma rutura na conduto 2 (conduto nova ou a reabilitar);

$C_{sem\ serviço}$ - interrupção total do fornecimento de água;

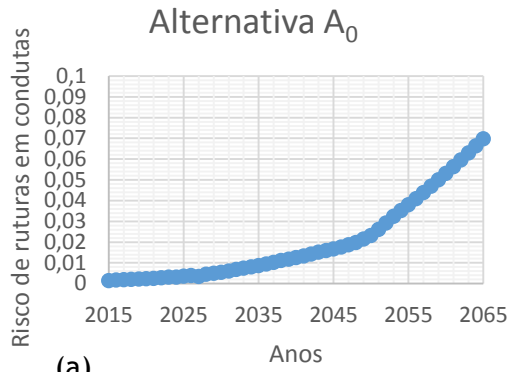
C_{c1} - fornecimento do serviço de água apenas pela conduto 1;

C_{c2} - fornecimento do serviço de água apenas pela conduto 2;

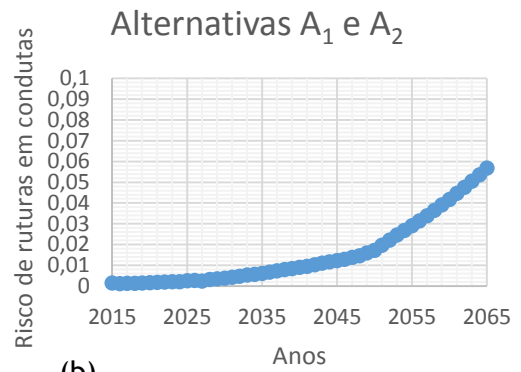
C_{pleno} - pleno fornecimento do serviço de água.

No Quadro 29 do Anexo 1 apresentam-se os resultados obtidos nesta métrica para as diferentes alternativas.

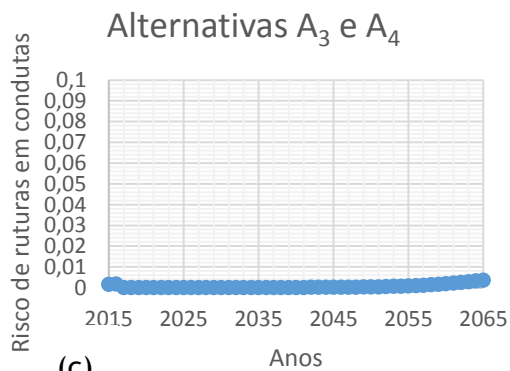
Na Figura 25 apresenta-se a evolução temporal desta métrica para as várias alternativas.



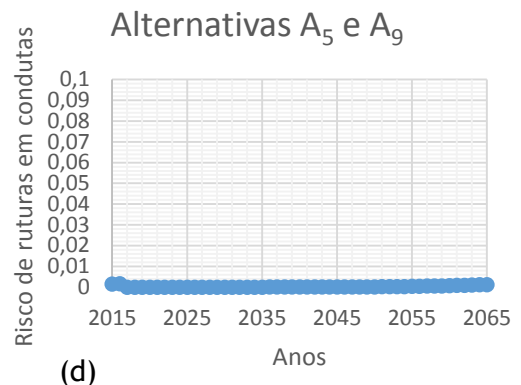
(a)



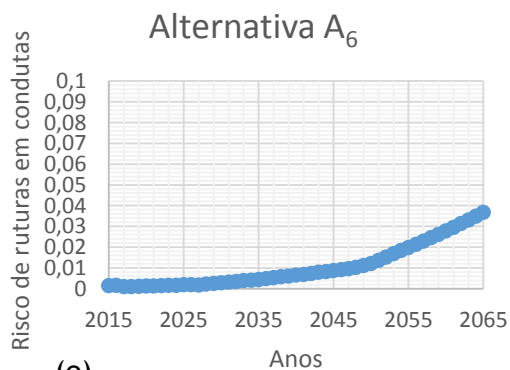
(b)



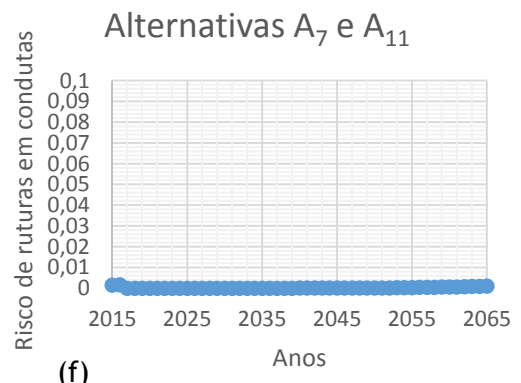
(c)



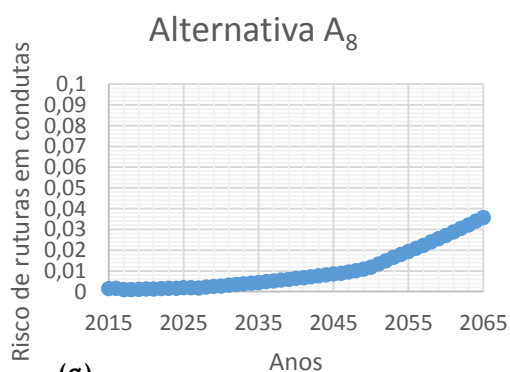
(d)



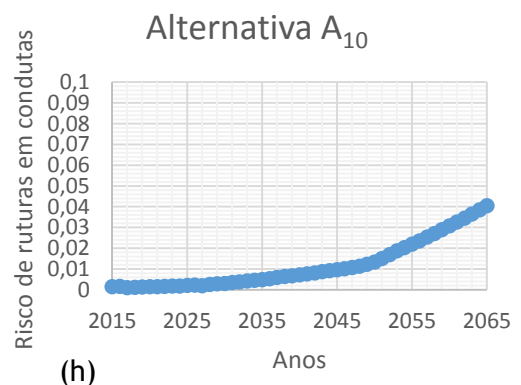
(e)



(f)



(g)



(h)

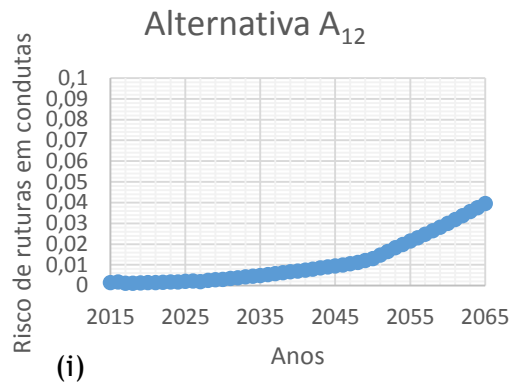


Figura 25 - Evolução do risco de ruturas em condutas para as alternativas: (a) A₀; (b) A₁ e A₂; (c) A₃ e A₄; (d) A₅ e A₉; (e) A₆; (f) A₇ e A₁₁; (g) A₈; (h) A₁₀; (i) A₁₂

Analisando os resultados obtidos nesta métrica pode-se concluir o seguinte:

- Como esta métrica traduz o risco de rutura associado à interrupção do serviço de abastecimento de água, a alternativa que apresenta maior risco é a alternativa A₀, uma vez que corresponde à situação composta apenas por uma conduta de FFd (conduta 1) construída em 1998, onde a consequência em caso de rutura será a interrupção do serviço de abastecimento de água;
- As alternativas A₁ e A₂ são as que apresentam o segundo maior risco. Estas alternativas correspondem às situações em que após se reabilitar apenas a zona danificada (conduta 2), se manterá um caudal permanentemente estável a variar entre 1.000 a 1.300 m³/h, que será insuficiente para satisfazer as reais necessidades no caso de rutura na conduta 1;
- As alternativas A₆, A₈, A₁₀ e A₁₂ apresentam resultados próximos uns dos outros, podendo ser agrupadas no terceiro maior risco. Nestas alternativas a conduta 2 terá um DN 700, que será insuficiente para transportar um caudal que satisfaça as necessidades no caso de rutura na conduta 1. O motivo para não apresentarem resultados semelhantes prende-se com o facto de os materiais serem diferentes (FFd ou aço) e os comprimentos serem também diferentes;
- Nas restantes alternativas há bastante redundância no sistema. No caso de uma das condutas sofrer uma rutura, a outra terá capacidade suficiente para satisfazer as necessidades ao longo do período de análise.

3.5.7 Custos de Investimento em Capital Fixo

Os custos de investimento em capital fixo (ICF) referem-se aos custos associados à instalação ou reabilitação de condutas. Os custos de ICF em condutas resultam do produto entre os custos

unitários de instalação/reabilitação e o respetivo comprimento da conduta, em função do material, diâmetro e classe de pressão.

No Quadro 12 apresentam-se os custos unitários (€/m) de instalação e reabilitação de condutas e na Figura 26 os custos de ICF para cada alternativa.

Quadro 12 - Custos unitários

Material	DN (mm)	Custo unitário (€/m)
FFd	1200	1 100 €
FFd	1000	920 €
FFd	700	820 €
Aço	1200	1 350 €
Aço	1000	990 €
Aço	700	810 €
Relining	-	550 €

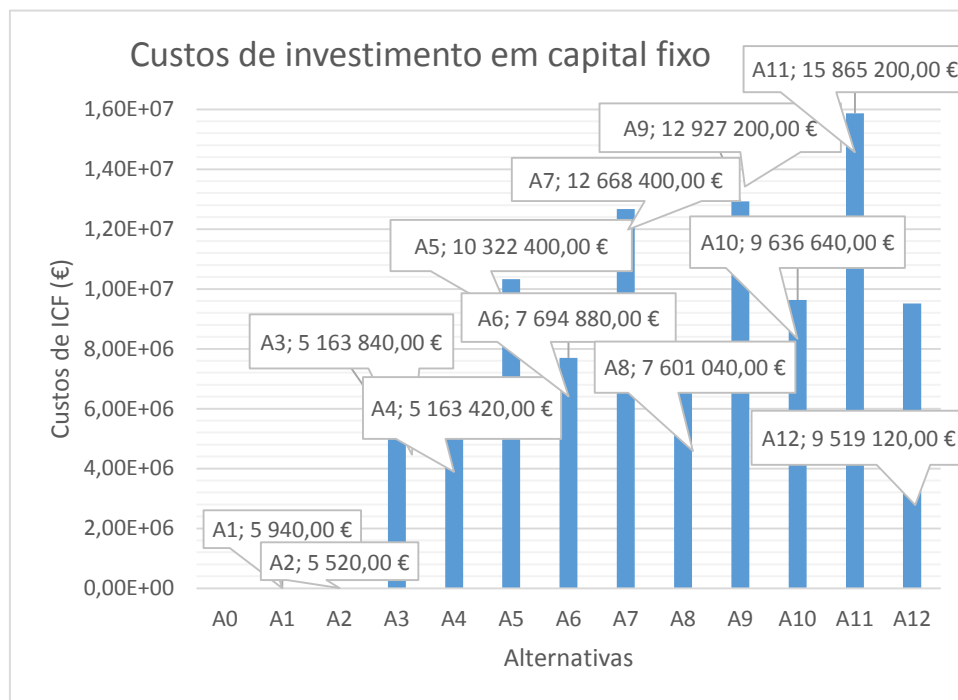


Figura 26 - Custos de ICF por alternativa

Devido ao elevado valor que os custos de ICF representam na maior parte das alternativas, surge a necessidade de recorrer a um empréstimo bancário. Para esse efeito, simulou-se uma contração de um empréstimo com pagamentos anuais, 25 períodos de capitalizações e com uma taxa de juro de 4%. O valor da prestação a pagar ao banco é dado pela seguinte fórmula:

$$R = VAR_n \times \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} \quad (14)$$

onde:

R - renda periódica constante (€);

VAR_n - valor futuro das rendas a receber em n períodos (€);

i - taxa de juro (%);

n - períodos de capitalização (anos)

No Quadro 30 do Anexo 1 apresentam-se os resultados obtidos nesta métrica nas diversas alternativas e no Anexo 2 os Quadros de amortizações para cada alternativa.

Na Figura 27 apresentam-se as rendas periódicas constantes por alternativas.

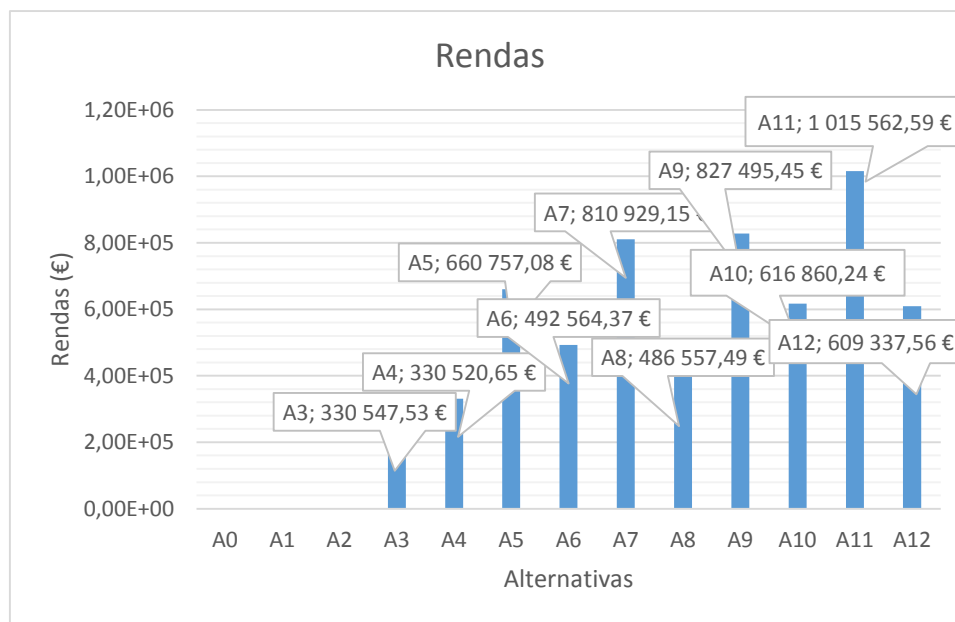


Figura 27 - Rendas periódicas constantes por alternativa

Analisando os resultados pode-se constatar o seguinte:

- A alternativa A_0 não apresenta qualquer custo de ICF uma vez que é a alternativa em que se mantém o fornecimento de água apenas pela conduta 1 e desativação da conduta 2 (*statu quo*);
- As alternativas mais económicas, logo a seguir à alternativa de *statu quo*, são a A_1 e A_2 uma vez que consideram apenas a substituição da zona afetada por um troço novo de 6 metros (Aço em A_1 e FFd em A_2);
- Nas restantes alternativas, a diferença de custos deve-se à opção de reabilitação ou construção, aos diâmetros e à extensão da nova conduta.

3.5.8 Componente Variável dos Custos de Operação e Manutenção Atualizados

A métrica componente variável dos custos de operação e manutenção atualizados (C_2) obtém-se através do somatório dos custos de produção de água perdida e dos custos de manutenção

associados à reparação das condutas. Os custos de operação e manutenção (O&M) são determinados através da seguinte fórmula:

$$C_2 = \sum_{j=1}^m (C_M + C_P) \times \frac{1}{(1+i)^j} \quad (15)$$

sendo que:

C_2 - componente variável dos custos de O&M atualizados (€);

m - período de análise (ano);

C_M - custos de manutenção associados à reparação de condutas (€);

C_P - custos de produção de água perdida (€);

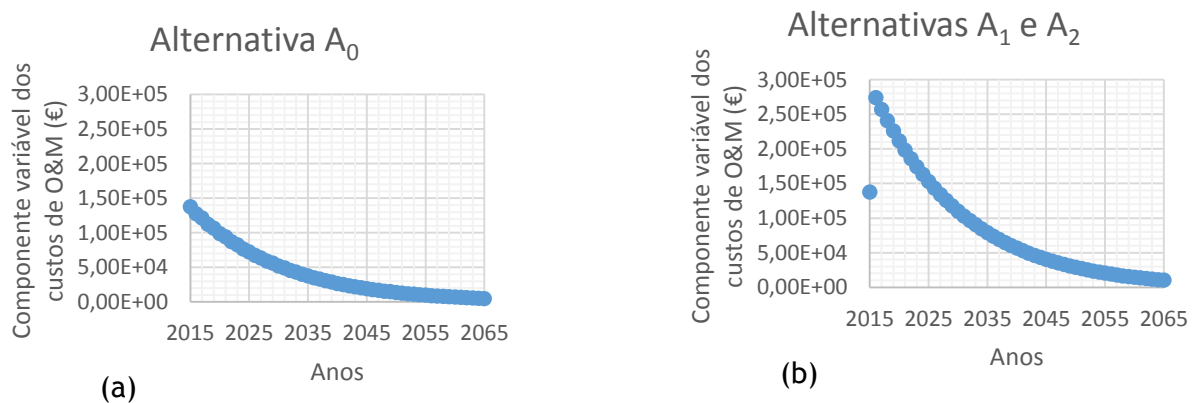
i - taxa de atualização (-).

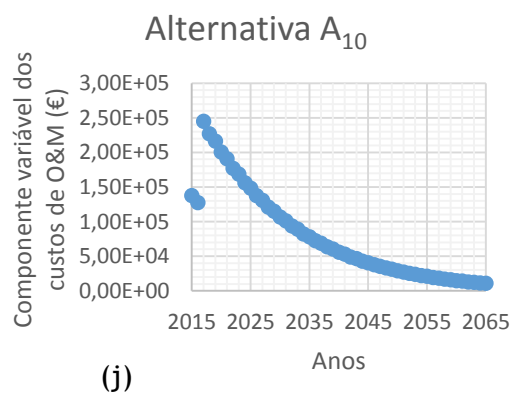
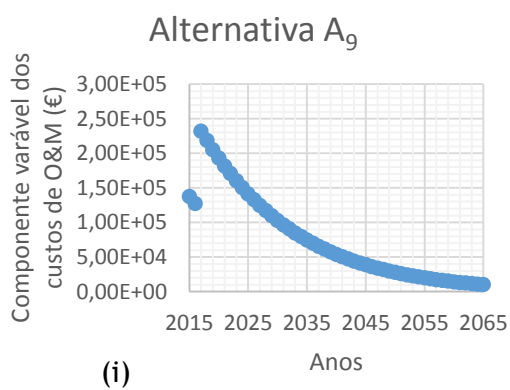
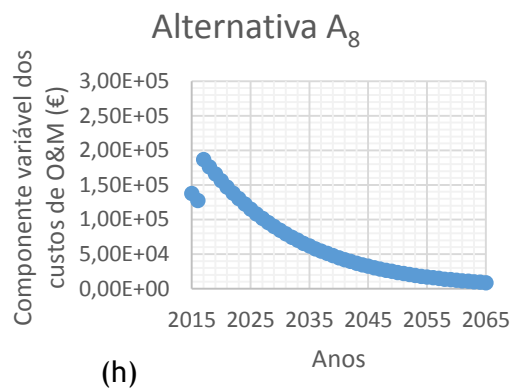
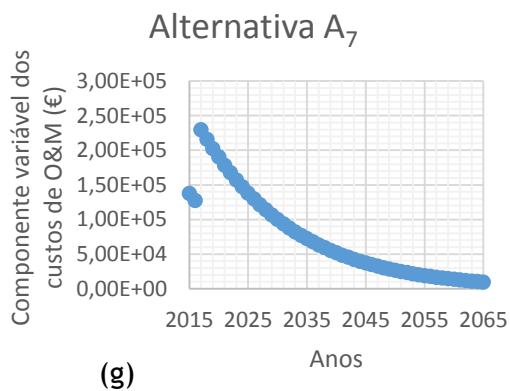
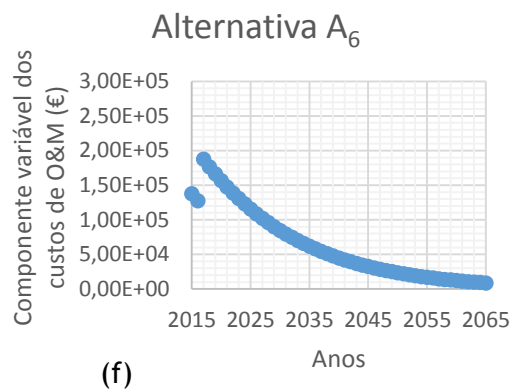
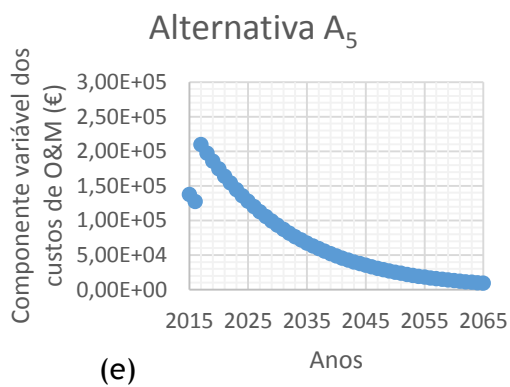
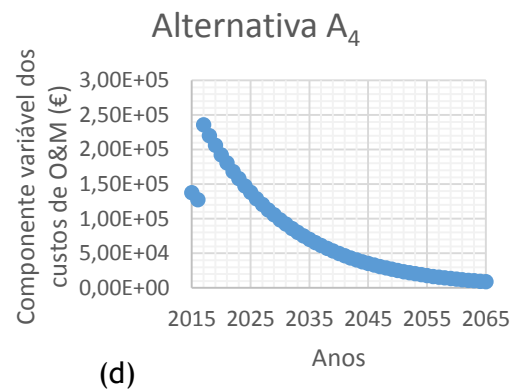
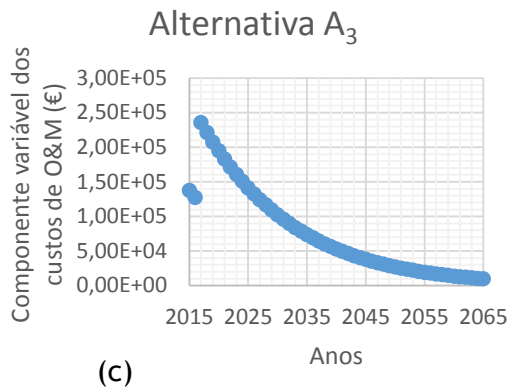
Os custos de produção de água perdida referem-se aos custos de tratamento de água no que diz respeito apenas ao volume de água perdida. O motivo pelo qual se considerou apenas o volume de água perdida prende-se com o facto de assim ser possível distinguir as alternativas entre si. O custo de tratamento é de 0,385€/m³ e para avaliar os custos ao longo do período de análise considerou-se a análise a preços constantes.

No que diz respeito aos custos de manutenção associados à reparação de condutas em cada alternativa, foi considerado que correspondem a cerca de 1% ao ano dos custos ICF.

No Quadro 31 do Anexo 1 apresentam-se os resultados obtidos com esta métrica nas diversas alternativas.

Na Figura 28 apresenta-se a evolução temporal da componente variável dos custos de operação e manutenção.





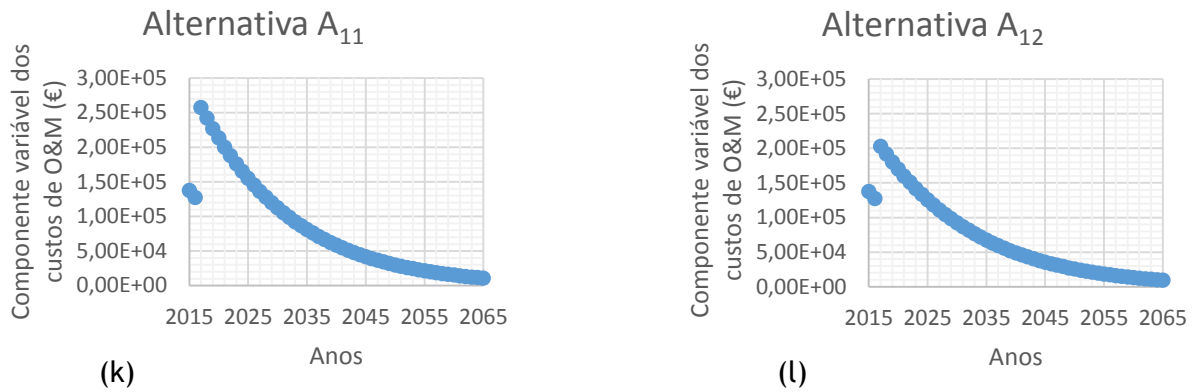


Figura 28 - Evolução da componente dos custos de O&M atualizados para as alternativas: (a) A_0 ; (b) A_2 e A_2 ; (c) A_3 ; (d) A_4 ; (e) A_5 ; (f) A_6 ; (g) A_7 ; (h) A_8 ; (i) A_9 ; (j) A_{10} ; (k) A_{11} ; (l) A_{12}

Os resultados obtidos permitem constatar o seguinte:

- A alternativa A_0 é a que apresenta os valores mais baixos, uma vez que esta alternativa é composta apenas por uma conduta que conta com 17 anos em 2015, o que implica apenas o volume de perdas e os custos de manutenção dessa conduta;
- As restantes alternativas são todas elas compostas por duas condutas, contando para além dos custos de volume de água perdida e de manutenção da conduta com 17 anos (conduta 1), com os custos equivalentes da conduta a reabilitar ou a construir;
- Destacam-se com os valores mais elevados, as alternativas A_1 , A_2 e A_{11} . Nas primeiras duas mencionadas deve-se essencialmente ao facto de apenas estar prevista a substituição da zona afetada na conduta 2 (troço de 6 metros), sem reabilitar a restante extensão da conduta, o que, visto que essa conduta tem 38 anos em 2015, apresentará maiores custos de água perdida. Na A_{11} deve-se essencialmente aos mais elevados custos de manutenção, visto que o material da conduta é o mais caro (aço com DN 1200) e terá maior extensão de conduta.

3.6 Método de Agregação

No âmbito da gestão patrimonial de infraestruturas, a ordenação das alternativas de intervenção deve ser apoiada por métodos que permitam organizar os resultados das métricas e devolver aos decisores a melhor, ou as melhores alternativas. Neste sentido, os métodos de avaliação multicritério são os mais adequados para apoiar os decisores na escolha de soluções. Estes métodos possibilitam o uso de forma consistente da informação obtida em cada métrica e conduzem, analisando um grupo de alternativas, à escolha da melhor e a uma classificação ordenada de preferência entre alternativas.

Dos métodos de apoio à decisão multicritério que já foram utilizados em estudos de GPI destacam-se os seguintes: soma ponderada, ELECTRE III, ELECTRE TRI-BI E AWARE Plan (Carriço, 2013). Destes métodos, o AWARE Plan (Advanced Water Assets Rehabilitation) é o que vai ser utilizado neste caso de estudo. Este método resulta de um projeto de investigação europeu, decorrido entre 2009 e 2011, com o objetivo de produzir um método de agregação multicritério, com ferramentas adequadas e eficazes para apoiar as entidades gestoras de sistemas urbanos de água na tomada de decisão e no planeamento de intervenções de reabilitação, através da ordenação das alternativas de intervenção consideradas em problemas de decisão em GPI. Deste projeto de investigação também resultou no desenvolvimento do software AWARE Plan disponível em www.baseform.com (Alegre *et al.*, 2011; Carriço 2013).

A normalização neste método é feita tendo em conta uma escala que varia entre 0 e 3, onde 0 corresponde ao pior valor da métrica e o valor 3 corresponde ao melhor. A conversão das escalas poderá não ser linear entre 0 e 3 mas sim trilinear, e isso será definido pelo utilizador através de intervalos de referência associados a um código de três cores (verde, amarelo e vermelho) conforme apresentado na Figura 29 (Carriço, 2013).

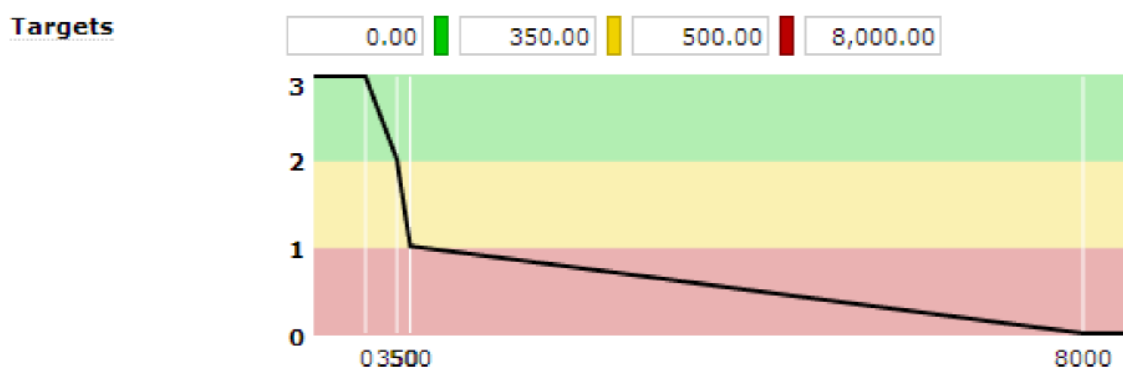


Figura 29 - Exemplo de definição de escala da normalização da métrica no método AWARE Plan

As cores estão associadas a um intervalo de escala normalizada. Por exemplo, a cor verde está associada ao intervalo entre 0 e 1, a cor amarela ao intervalo de 1 a 2 e a cor vermelha ao intervalo de 2 a 3. A razão de ser deste código de três cores, verde, amarelo e vermelho, é para que sejam associadas às classes qualitativas de bom, satisfatório e insatisfatório, respetivamente (Carriço, 2013).

Para cada métrica, os coeficientes de ponderação são definidos tendo em conta uma escala constituída por cinco classes: very low (0,50); low (0,75); médium (1,0); high (1,5) e very high (2,0).

O valor global de cada ação de intervenção obtém-se através da seguinte expressão:

$$V(a_i) = \frac{\sum w_j \times g_j(a_i)}{\sum w_j} \quad (16)$$

em que:

$V(a_i)$ - pontuação global da ação de intervenção i ;

w_j - coeficiente de ponderação da métrica j ;

$g_j(a_i)$ - valor normalizado (entre 0 e 3) da métrica j para a ação de intervenção i .

Deste modo, cada alternativa de intervenção terá um valor global que varia entre 0 e 3 e a ordenação das alternativas de intervenção será definida de acordo com o respetivo valor global obtido.

Na definição dos intervalos de referência para normalizar as métricas consideradas num problema de GPI, poderá existir alguma dificuldade visto que em alguns casos são áreas de aplicação relativamente recentes em GPI. As métricas de dimensão de desempenho não são, no entanto, um exemplo desta dificuldade, uma vez que já existe uma considerável bibliografia sobre avaliação de desempenho com classificações associadas. Já nas métricas de dimensão custo, os intervalos de referência são mais facilmente perceptíveis para um financeiro do que para um engenheiro e dependem muito da capacidade financeira da entidade gestora. Porém, as métricas da dimensão risco são as que apresentam maior dificuldade na definição dos intervalos, uma vez que são um campo de análise relativamente recente em GPI e os resultados desta métrica podem, por vezes, ser números para os quais os engenheiros não têm a sensibilidade necessária.

No Quadro 13 apresentam-se os intervalos de referência utilizados na definição das classes das métricas utilizadas neste caso de estudo. É importante referir que a métrica P_1 (indicador de adequação da capacidade hidráulica do sistema) tem duplo sentido de preferência, visto que o valor ideal desta métrica é a unidade. Assim, os valores inferiores à unidade são indesejados uma vez que revelam escassez de capacidade hidráulica do sistema. E, os valores que excedam a unidade indicam-nos que o sistema se encontra sobredimensionado, sendo que quanto maior for o valor, maior é o sobredimensionamento.

Quadro 13 - Intervalos de referência das métricas no AWARE Plan

Métrica	Bom	Razoável	Mau
P _{1_1}	[1,00; 2,00[	[2,00; 3,00[	[3,00; 4,00]
P _{1_2}	[2,00; 1,00[	[1,00; 0,90[	[0,90; 0,00]
P ₂	[1,00; 0,60[	]0,60; 0,40[	]0,40; 0,00]
P ₃	[0,00; 0,20[	]0,20; 0,40[	]0,40; 1,00]
R ₁	[1; 3[	]3; 4[	]4;5]
R ₂	[0,00; 0,06[	]0,06; 0,19[	]0,19; 1,00]
R ₃	[0,00; 0,04[	]0,04; 0,07[	]0,07;0,10]
C ₁	[0,00€; 513 000,00€[	]513 000,00€; 897 000,00€[	] 897 000,00€; 1 300 000,00€]
C ₂	[0,00€; 150 000,00€[	]150 000,00€; 300 000,00€[	]300 000,00€; 550 000,00€]

Legenda: P₁ = indicador de adequação da capacidade hidráulica; P₂ = índice de valor da infraestrutura; P₃ = indicador de perdas reais de água; R₁ = condição estrutural; R₂ = probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água; R₃ = risco de ruturas em condutas; C₁ = custos de ICF; C₂ = componente variável dos custos de O&M atualizados

Os coeficientes de ponderação de cada métrica a utilizar no método AWARE Plan apresentam-se no Quadro 14.

Quadro 14 - Pesos utilizados no AWARE Plan

	P _{1_1}	P _{1_2}	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
Pesos usados no AWARE Plan	0,5	0,5	0,75	0,5	1	1,5	2	2	0,75

Legenda: P₁ = indicador de adequação da capacidade hidráulica; P₂ = índice de valor da infraestrutura; P₃ = indicador de perdas reais de água; R₁ = condição estrutural; R₂ = probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água; R₃ = risco de roturas em condutas; C₁ = custos de ICF; C₂ = componente variável dos custos de O&M atualizados.

Utilizando no software AWARE Plan os intervalos de referência do Quadro 13, os pesos do Quadro 14 e os resultados de cada métrica de avaliação do Anexo 1 obteve-se a seguinte ordenação apresentada na Figura 30.

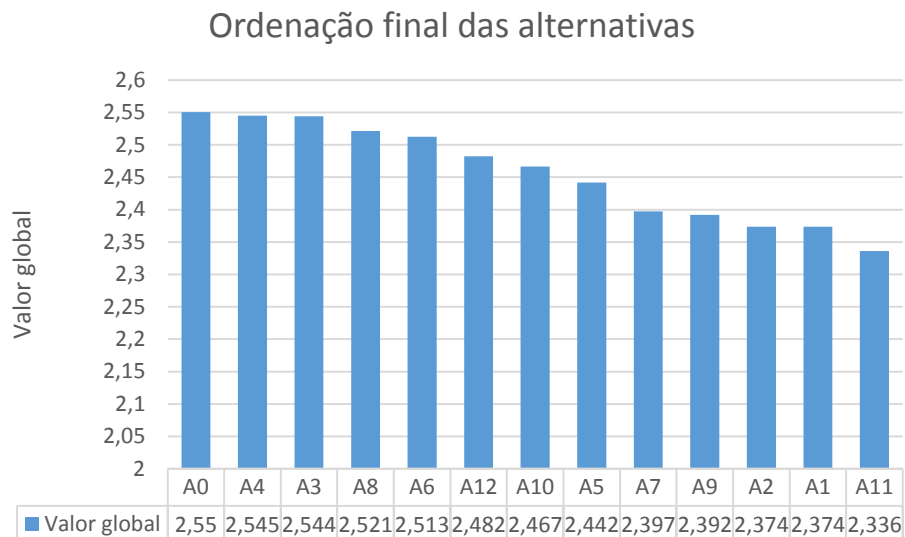


Figura 30 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan

Analisando os resultados de Figura 30 pode-se constatar que a melhor alternativa é a A₀ seguida da A₄ e a pior é a A₁₁. A alternativa A₀ corresponde à situação em que se desativa a conduta de BPE, mantendo o serviço de abastecimento de água apenas pela conduta 1 (FFd), o que, segundo os cálculos efetuados, é suficiente para as necessidades. Como esta alternativa não apresenta custos, apresenta no início do período de análise um bom desempenho e um baixo risco, obteve-se no global o maior valor.

O software AWARE Plan permite verificar a ordenação das alternativas de intervenção em diferentes instantes do período de análise, assim como a classe qualitativa (bom, satisfatório e insatisfatório) atribuída a cada métrica nesse instante temporal, através do código de cores, conforme ilustrado na Figura 31. É de salientar que na Figura 31 a dimensão dos círculos representa a importância relativa das métricas (coeficientes de ponderação), e quanto maior é o círculo maior é o peso atribuído à métrica.

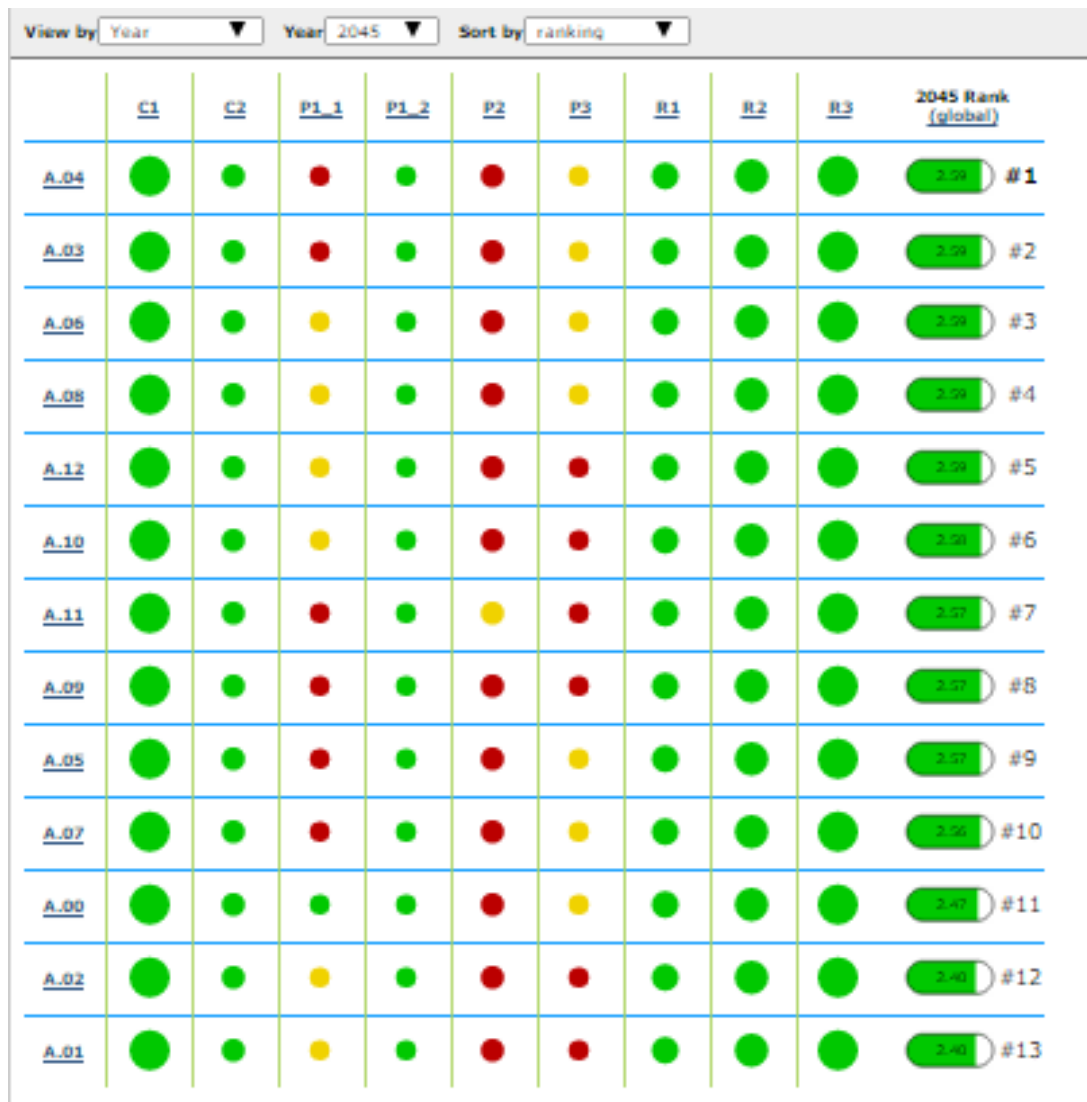


Figura 31 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan no ano 2045

Pela visualização da Figura 31 pode-se constatar que em 2045 aparece em primeiro lugar a alternativa A₄ seguida da A₃ e a alternativa A₀, que até 2040 aparece em primeiro lugar, surge agora na décima primeira posição. O ano 2040 corresponde ao último período de capitalização do empréstimo que se pretende contrair à banca e daí em diante a métrica C₁ (custos de ICF) assume valores iguais a zero para todas as alternativas, motivo pelo qual se explica a alteração da ordenação das alternativas.

Como a representação gráfica da ordenação das alternativas de intervenção em diferentes instantes é bastante confusa, essa ordenação será apresentada em texto. Assim, até 2040 surge em primeiro lugar a alternativa A₀, em 2045 surge a A₄, em 2050 a A₁₂, em 2055 a A₉, em 2060 a A₁₁ e em 2065 surge novamente na primeira posição a alternativa A₁₁.

No Anexo 3 apresentam-se os resultados obtidos no AWARE Plan para cada alternativa nos diferentes instantes temporais.

3.6.1 Análise de Sensibilidade

Neste subcapítulo será apresentado uma análise de sensibilidade para averiguar se a ordenação final das alternativas se altera.

No Quadro 15 apresentam-se os novos pesos das métricas, atribuídos nesta simulação e na Figura 32 a ordenação final das alternativas.

Quadro 15 - Pesos utilizados no AWARE Plan considerando-os iguais entre si

	P _{1_1}	P _{1_2}	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
Pesos usados no AWARE Plan	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Legenda: P₁ = indicador de adequação da capacidade hidráulica; P₂ = índice de valor da infraestrutura; P₃ = indicador de perdas reais de água; R₁ = condição estrutural; R₂ = probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água; R₃ = risco de roturas em condutas; C₁ = custos de ICF; C₂ = componente variável dos custos de O&M atualizados.

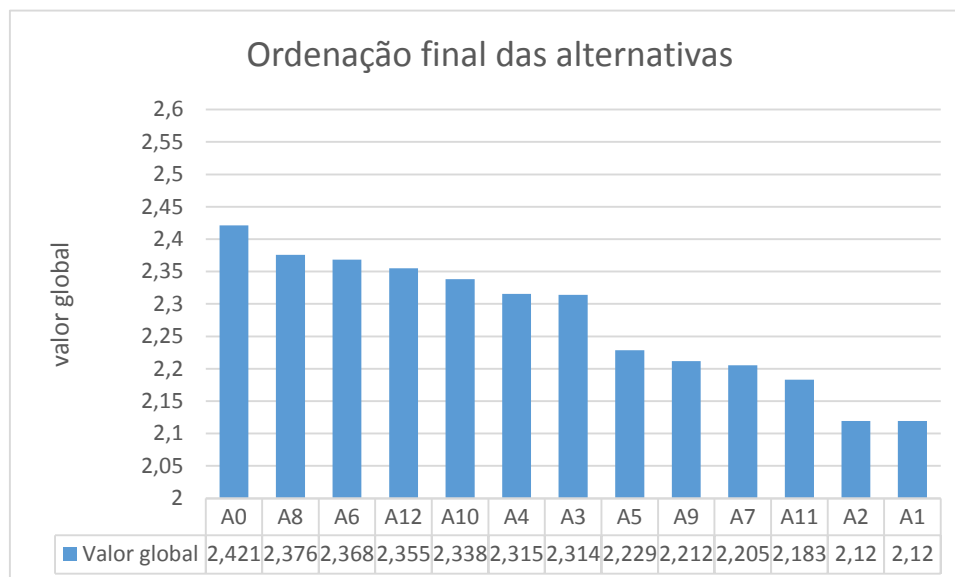


Figura 32 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando os pesos das métricas iguais entre si

Da análise da Figura 32 constata-se que há alterações na ordenação final mas, no entanto, a alternativa A₀ surge novamente como a melhor. Na pior alternativa surge a alternativa A₁.

Na próxima análise consideraram-se apenas as métricas da dimensão risco. No Quadro 16 apresentam-se os pesos das métricas da dimensão risco e na Figura 33 a ordenação final das alternativas.

Quadro 16 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão risco

	P _{1_1}	P _{1_2}	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
Pesos usados no AWARE Plan	-	-	-	-	1	1,5	2	-	-

Legenda: R₁ = condição estrutural; R₂ = probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água; R₃ = risco de roturas em condutas.

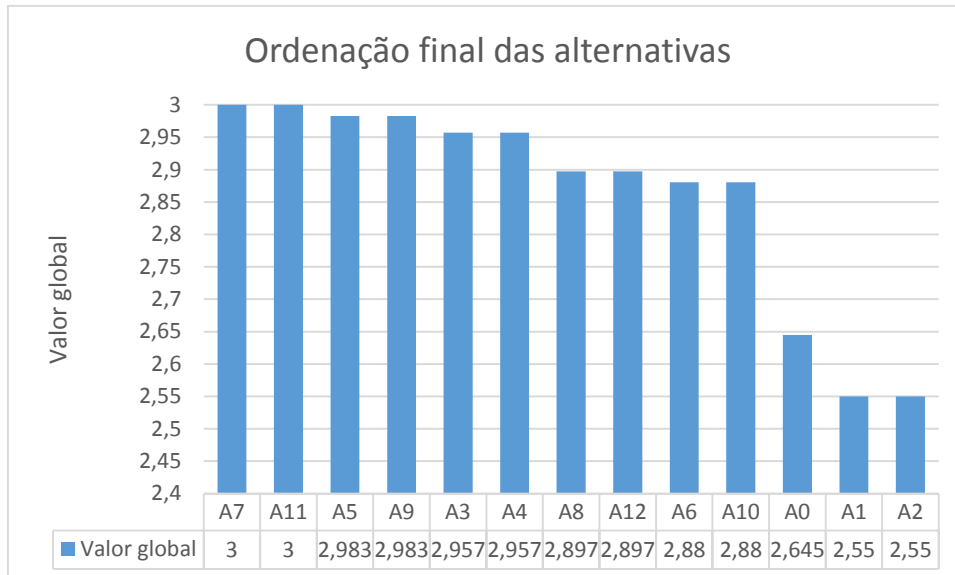


Figura 33 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão risco

Pode-se constatar pela análise da Figura 33 que se verificam alterações na ordenação final das alternativas. As melhores alternativas são a A₇ e a A₁₁ seguida das A₅ e A₉ e as piores são as A₁ e A₂.

Na análise seguinte consideraram-se apenas as métricas da dimensão desempenho. No Quadro 17 apresentam-se os pesos das métricas da dimensão risco e na Figura 34 a ordenação final das alternativas.

Quadro 17 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão desempenho

	P _{1_1}	P _{1_2}	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
Pesos usados no AWARE Plan	0,5	0,5	0,75	0,5	-	-	-	-	-

Legenda: P₁ = indicador de adequação da capacidade hidráulica; P₂ = índice de valor da infraestrutura; P₃ = indicador de perdas reais de água.

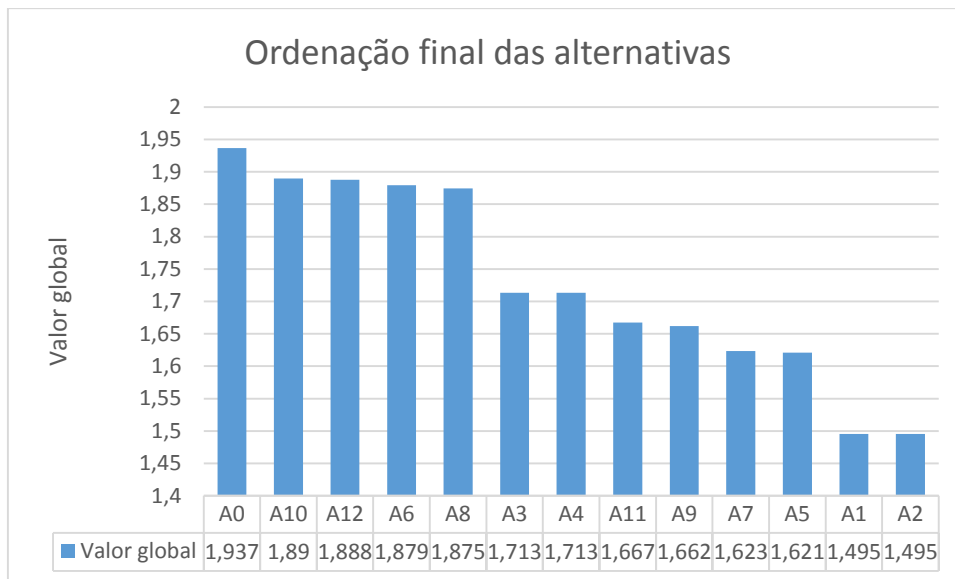


Figura 34 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão desempenho

Na Figura 34 pode-se verificar que a melhor alternativa é a A₀ seguida da A₁₀ e a pior é a A₂

Na próxima análise teve-se apenas em consideração as métricas da dimensão custo. Os pesos das métricas da dimensão custo apresentam-se no Quadro 18 e a ordenação final das alternativas na Figura 35.

Quadro 18 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão custo

	P _{1_1}	P _{1_2}	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
Pesos usados no AWARE Plan	-	-	-	-	-	-	-	2	0,75

Legenda: C₁ = custos de ICF; C₂ = componente variável dos custos de O&M atualizados.

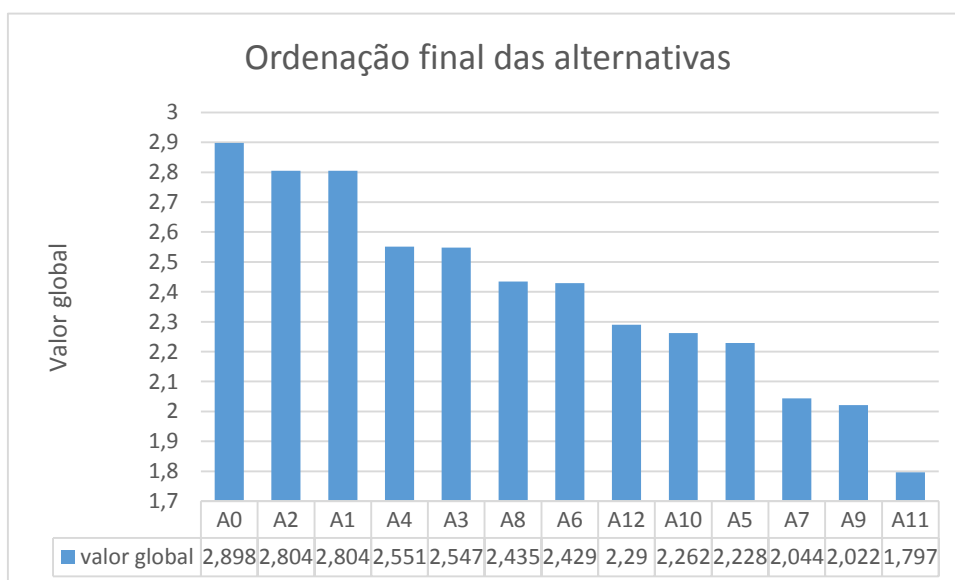


Figura 35 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão custo

Os resultados apresentados na Figura 35 indicam que a melhor alternativa é a A₀ seguida da A₂ e da A₁ e a pior alternativa é a A₁₁

Na análise que se segue teve-se apenas em consideração as métricas de dimensão risco e custo. Os pesos das métricas apresentam-se no Quadro 19 e a ordenação final das alternativas na Figura 36.

Quadro 19 - Pesos utilizados no AWARE Plan, das métricas da dimensão risco e custo

	P _{1_1}	P _{1_2}	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
Pesos usados no AWARE Plan	-	-	-	-	1	1,5	2	2	0,75

Legenda: R₁ = condição estrutural; R₂ = probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água; R₃ = risco de roturas em condutas; C₁ = custos de ICF; C₂ = componente variável dos custos de O&M atualizados.

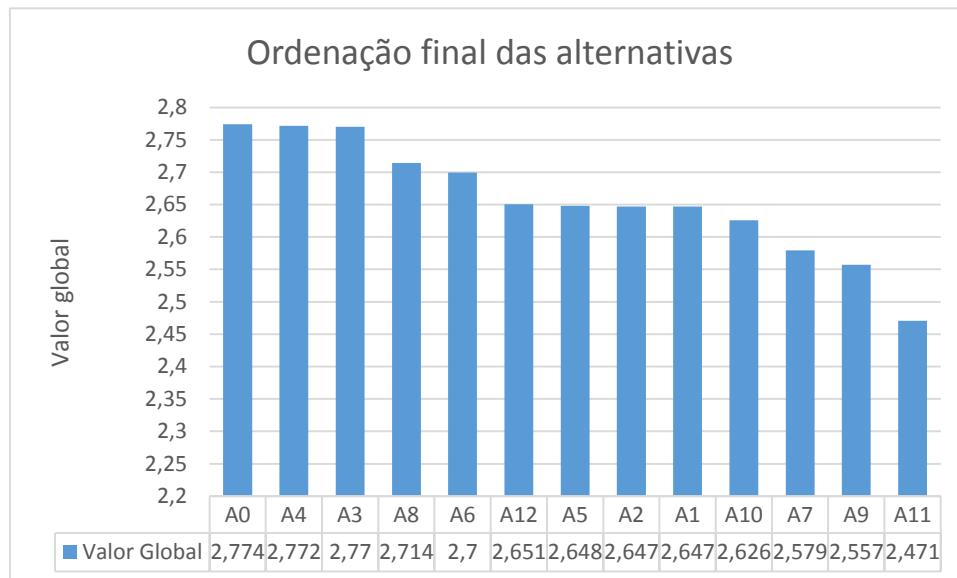


Figura 36 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão risco e custo

Os resultados obtidos nesta simulação evidenciam que a melhor alternativa é a A₀ seguida da A₄ e a pior é a A₁₁, tal como se pode ver na Figura 36.

Na análise seguinte foram apenas tidas em consideração as métricas da dimensão risco e desempenho. No Quadro 20 apresentam-se os pesos das métricas e na Figura 37 a ordenação final das alternativas.

Quadro 20 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão risco e desempenho

	P _{1_1}	P _{1_2}	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
Pesos usados no AWARE Plan	0,5	0,5	0,75	0,5	1	1,5	2	-	-

Legenda: P₁ = indicador de adequação da capacidade hidráulica; P₂ = índice de valor da infraestrutura; P₃ = indicador de perdas reais de água; R₁ = condição estrutural; R₂ = probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água; R₃ = risco de roturas em condutas.

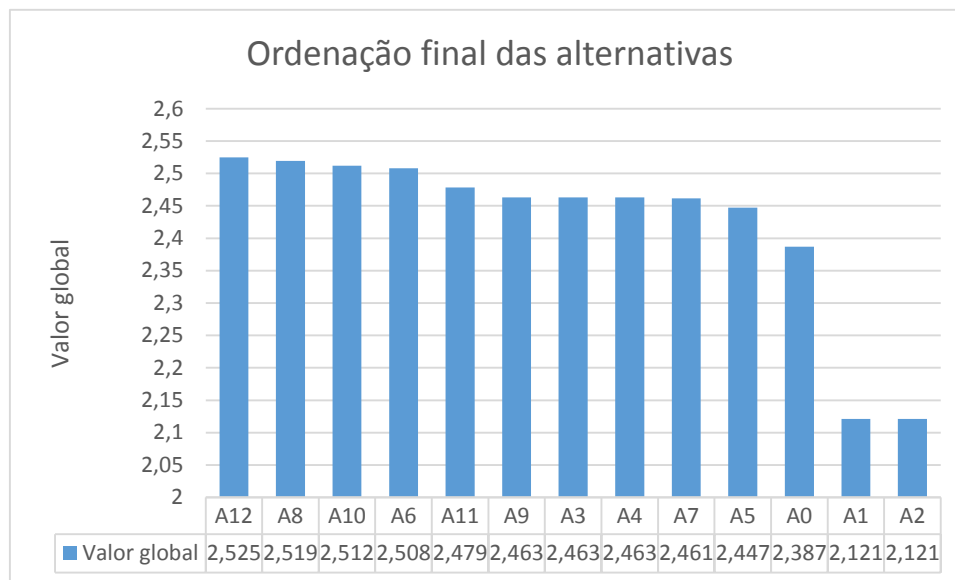


Figura 37 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão risco e desempenho

Da análise da Figura 37 pode-se constatar que a melhor alternativa é a A₁₂ seguida da A₈ e a pior alternativa é a A₂.

Na análise que se segue teve-se apenas em consideração as métricas da dimensão desempenho e custo. Apresentam-se no Quadro 21 os pesos destas métricas e na Figura 38 a ordenação final das alternativas.

Quadro 21 - Pesos utilizados no AWARE Plan das métricas da dimensão desempenho e risco

	P _{1_1}	P _{1_2}	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
Pesos usados no AWARE Plan	0,5	0,5	0,75	0,5	-	-	-	2	0,75

Legenda: P₁ = indicador de adequação da capacidade hidráulica; P₂ = índice de valor da infraestrutura; P₃ = indicador de perdas reais de água; C₁ = custos de ICF; C₂ = componente variável dos custos de O&M atualizados.

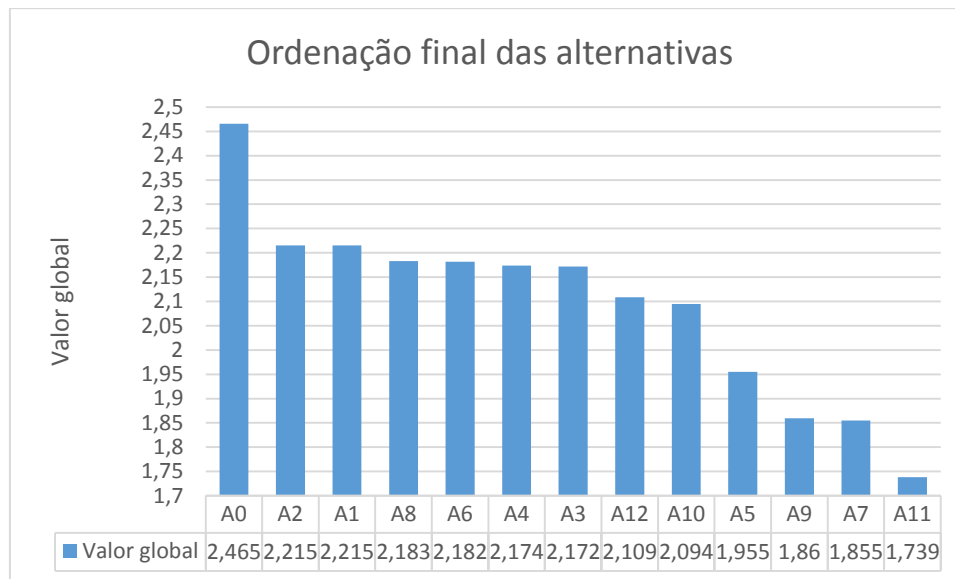


Figura 38 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan e considerando apenas as métricas da dimensão desempenho e custo

Na Figura 38 pode-se constatar que nesta simulação a melhor alternativa é a A₀ seguida da A₂ e A₁ e a pior alternativa é a A₁₁

Por fim, na última análise de sensibilidade verificou-se qual a ordenação final considerando todas as métricas exceto a métrica C₁ (custos de ICF). No Quadro 22 apresentam-se os pesos das métricas e na Figura 39 a ordenação final das alternativas.

Quadro 22 - Pesos utilizados no AWARE Plan excetuando a métrica C₁

	P _{1_1}	P _{1_2}	P ₂	P ₃	R ₁	R ₂	R ₃	C ₁	C ₂
Pesos usados no AWARE Plan	0,5	0,5	0,75	0,5	1	1,5	2	-	0,75

Legenda: P₁ = indicador de adequação da capacidade hidráulica; P₂ = índice de valor da infraestrutura; P₃ = indicador de perdas reais de água; R₁ = condição estrutural; R₂ = probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água; R₃ = risco de roturas em condutas; C₂ = componente variável dos custos de O&M atualizados.

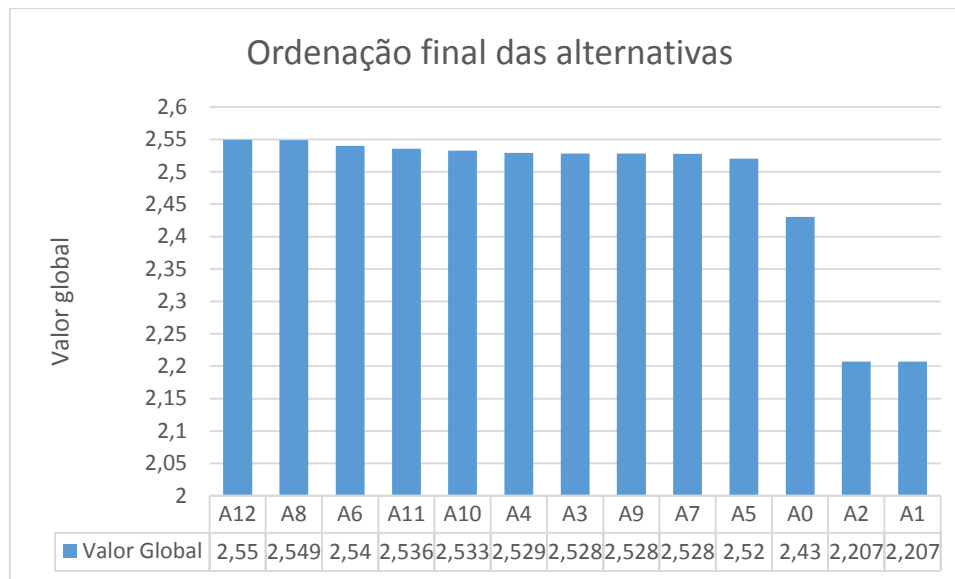


Figura 39 - Ordenação final das alternativas de intervenção utilizando o AWARE Plan, considerando todas as métricas exceto a métrica C_1

Os resultados apresentados na Figura 39 indicam que a melhor alternativa é a A_{12} seguida da A_8 e as piores alternativas são as A_2 e A_1 .

3.6.2 Discussão dos Resultados

As oito análises de sensibilidade efetuadas não foram unânimes quanto à ordenação final das alternativas. No entanto, cinco das oito análises efetuadas evidenciaram a alternativa A_0 como a melhor, o que confere suporte e fundamentação à solução final.

Na análise de sensibilidade em que se considerou apenas as métricas da dimensão risco a alternativa A_0 surge no global como a décima primeira melhor alternativa. Este resultado deve-se ao facto de esta alternativa ser a que obtém os piores resultados nas métricas R_2 (probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água) e R_3 (risco de ruturas em condutas) em virtude de ser composta apenas por uma conduta. No entanto, só a partir de 2060 e 2065 é que se obtém uma classificação de razoável nessas métricas e até lá terão uma classificação de bom.

Quando se considerou apenas as métricas da dimensão risco e desempenho e quando se excluiu a métrica C_1 (custos de ICF), a alternativa A_0 surge novamente na décima primeira posição. A mesma explicação dada anteriormente serve para este caso, uma vez que as métricas R_1 e R_2 são as que têm os coeficientes de ponderação do AWARE Plan mais elevados, o que atribui maior relevância à classificação obtida nestas métricas.

Nas restantes análises de sensibilidade a alternativa A_0 surge sempre como a melhor opção. Se por um lado, esta alternativa é a que apresenta os mais reduzidos custos ao longo do período de análise, por outro também apresenta no geral uma classificação de bom nas métricas de desempenho e risco ao longo do período de análise, conforme ilustrado na Figura 40. De referir

que a Figura 40 ilustra os resultados tendo por base todas as métricas com os pesos inicialmente divulgados, não sendo referente a nenhuma análise de sensibilidade.

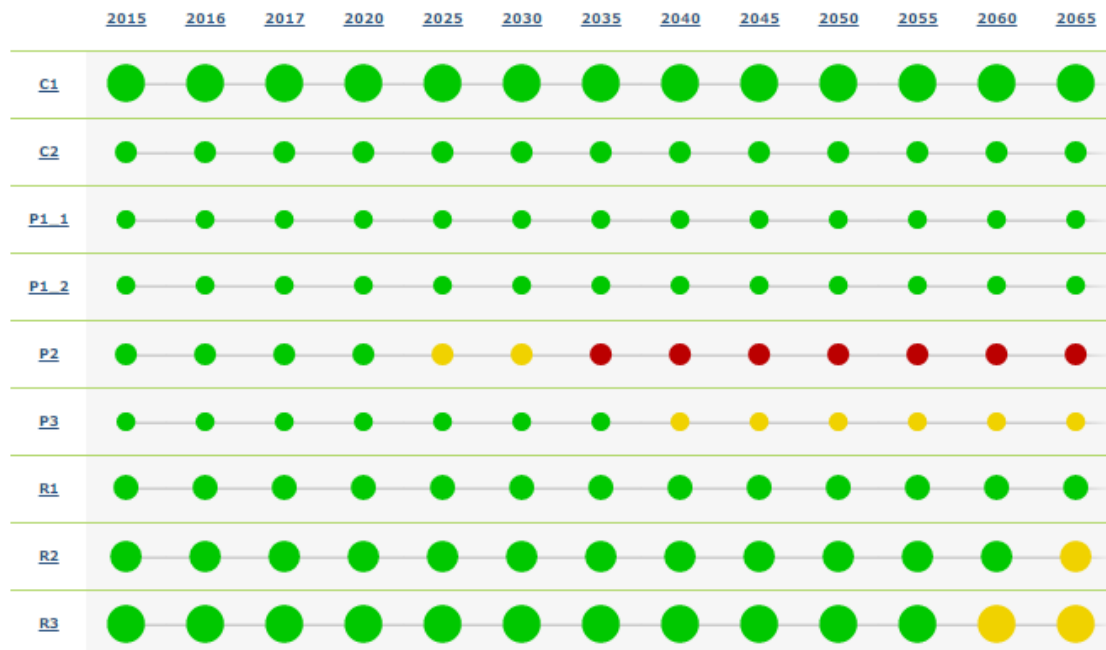


Figura 40 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₀

Analisando com maior detalhe os resultados da Figura 39, pode-se verificar que no que diz respeito às métricas da dimensão custo a alternativa A₀ obteve sempre uma boa classificação.

Relativamente às métricas de desempenho, destaca-se que a P₂ (índice de valor da infraestrutura) passa para uma classificação de razoável em 2025 e para uma classificação má em 2035, o que indica que por essa altura a infraestrutura se encontrará envelhecida e necessitará de investimentos significativos em reabilitação. Talvez se justifique realizar, um pouco antes dessa altura, um novo estudo que avalie soluções de reabilitação ou construção. Até lá a entidade gestora pode criar alguma almofada financeira por forma a suportar melhor esses futuros custos. Destaca-se, também, que na métrica P₁ (indicador de adequação da capacidade hidráulica) obteve-se sempre uma boa classificação e que na métrica P₃ (indicador de perdas reais de água) obteve-se uma boa classificação até 2040, e daí em diante uma classificação razoável.

Já nas métricas da dimensão risco os resultados são bastante satisfatórios. Na métrica R₁ (condição estrutural) obteve-se sempre uma boa classificação, na métrica R₂ (probabilidade de interrupção do serviço de abastecimento de água) passa-se em 2065 de uma boa classificação para uma classificação razoável e, na métrica R₃ (risco de roturas em condutas), até 2055 a classificação dos resultados é boa e daí em diante é razoável.

4 Conclusões

4.1 Síntese e Conclusões Gerais

A presente dissertação teve como objetivo principal a seleção ou ordenação preferencial de alternativas de intervenção numa infraestrutura de abastecimento de água, tendo em consideração as particularidades dessa infraestrutura.

No primeiro capítulo encontra-se o enquadramento geral do tema, os objetivos e metodologia, e a estrutura desta dissertação.

O capítulo 2 descreve-se o estado da arte sobre gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água, onde se destaca a metodologia proposta por Alegre e Covas (2010). Esta metodologia assenta numa abordagem multidimensional para a elaboração de planos de reabilitação e caracteriza-se por envolver três níveis de decisão: estratégico; tático e operacional. As decisões que se tomam nestes níveis têm por base as avaliações do desempenho, do risco e dos custos. Assim, no capítulo 2 apresentaram-se os conhecimentos sobre os três níveis de decisão e sobre as avaliações do desempenho, risco e custo.

No capítulo 3 apresenta-se um caso de estudo que consiste na escolha da melhor solução de reabilitação de um sistema adutor da Águas do Douro e Paiva. Para a resolução do problema foram consideradas 13 alternativas de intervenção e 8 métricas de avaliação (três de risco, três de desempenho e duas de custo). Os resultados obtidos em cada métrica, nas diversas alternativas, foram introduzidos no método de agregação multicritério AWARE Plan, o qual devolveu a melhor alternativa de intervenção e uma ordenação preferencial das restantes. Efetuou-se, também, uma análise de sensibilidade por forma a servir de suporte à decisão final.

A realização desta dissertação permitiu compreender melhor a componente de gestão de infraestruturas das entidades gestoras, a gestão patrimonial de infraestruturas, assim como a metodologia multicritério AWARE Plan de apoio à decisão.

A definição das alternativas e a construção das métricas de avaliação foram tarefas complexas. Consegui-lo só foi possível após discutir com o orientador, tendo como base a consulta bibliográfica, a informação fornecida pela entidade gestora e a envolvência de diferentes competências, tais como a engenharia e a gestão.

O estabelecimento de métricas de avaliação, e o respetivo apuramento de resultados, revelou-se como uma das etapas mais difíceis e, inicialmente, um processo moroso, uma vez que alguns dos casos assentam em informação escassa, ou inexistente, nomeadamente as da dimensão risco. Constatou-se, ainda, que os resultados das métricas da dimensão risco podem não ser devidamente interpretados, numa escala de gravidade.

A ordenação preferencial das alternativas foi conseguida utilizando o método multicritério AWARE Plan. Este requer uma definição de intervalos de referência associados a um código de cores que, por seu lado, indicam três classes qualitativas do tipo: bom, razoável ou mau. Estes intervalos de referência servem para atribuir uma classificação aos resultados das métricas. Não obstante a associação do código de cores às três classes qualitativas ajudar na categorização das alternativas de intervenção, pode revelar-se complicado a definição desses intervalos em algumas métricas.

A utilização do método AWARE Plan indicou que a melhor alternativa de intervenção corresponde à alternativa *statu quo*, que consiste em desativar uma conduta e manter as práticas de operação e manutenção na outra conduta, ficando o sistema adutor composto por apenas uma conduta. Esta alternativa revelou-se, no cômputo geral, a que melhor satisfaz os objetivos de assegurar a sustentabilidade e integridade infraestrutural, de garantir o cumprimento dos requisitos regulatórios e contratuais relativos a falhas de abastecimento, e de assegurar a sustentabilidade económico-financeira da entidade gestora.

A solução final deve sempre ser alvo de uma análise de sensibilidade para servir como suporte e fundamentação. As oito análises de sensibilidade efetuadas não foram unânimes quanto à ordenação final das alternativas. No entanto, cinco das oito análises efetuadas evidenciaram a alternativa *statu quo* como a melhor, o que atesta a veracidade da conclusão final.

4.2 Desenvolvimentos Futuros

Visto que o estabelecimento de métricas de avaliação revelou ser uma tarefa complexa, e que certos problemas de decisão na gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água são típicos, seria interessante que se definisse um conjunto de métricas para os problemas mais típicos em GPI.

Importante seria, também, definir os intervalos de referência para certas métricas da dimensão risco, através de estudos e/ou análises estatísticas que permitam constatar com mais rigor, uma escala de gravidade.

A metodologia de GPI descrita e proposta por Alegre e Covas (2010) assenta na definição de objetivos, critérios, métricas e metas. Neste estudo, esta mesma metodologia foi aplicada sem, no entanto, considerar as metas. Deste modo, seria produtivo validar a metodologia utilizando metas associadas às métricas de avaliação, efetuando uma análise temporal dos desvios dessas metas.

5 Referências Bibliográficas

- Alegre, H., Coelho, S. (2012). Infrastructure asset management of urban water systems (Chapter 3). LNEC, Lisboa.
- Alegre, H., Covas, D., Coelho, S.T., Almeida, M.C., Cardoso, M.A. (2011). AWARE-P: uma abordagem integrada para gestão patrimonial de infraestruturas de sistemas urbanos de água. LNEC, Lisboa.
- Alegre, H., Covas, D. (2010). Gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água: uma abordagem centrada na reabilitação. ERSAR, Lisboa.
- Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J., Parena, R. (2004). Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. ERSAR, Lisboa.
- Boaventura, J. (2013). “Indicadores de desempenho - Uma ferramenta no processo de melhoria contínua aplicada à gestão de um sistema multimunicipal.” Dissertação elaborada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- Carriço, N. (2013). “Metodologia multicritério de apoio à decisão na gestão patrimonial de infraestruturas urbanas de água.” Dissertação elaborada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico (IST).
- Decreto-Lei nº 194/2009, de 20 de Agosto. Estabelece o regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos.
- Decreto-Lei nº 195/2009, de 20 de Agosto. Altera o regime jurídico dos serviços de âmbito multimunicipal de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos.
- ISO 15685-5: 2008. “*Buildings and constructed assets - Service-life planning - Part 5: Life-cycle costing*”. International Organization for Standardization.
- Laven, K., Lambert, A. O. (2012). “What do we know about real losses on transmission mains?” IWA Water Loss 2012.
- Martins, J. (2014). Management of Change in Water Companies - In Search of Sustainability and Excellence. IWA Publishing, Londres.
- NP ISO 24510: 2012. *Atividades relativas aos serviços de abastecimento público de água e de gestão de águas residuais - Recomendações para a avaliação do desempenho e para a melhoria do serviço aos utilizadores*. Instituto Português da Qualidade.

NP ISO 24512: 2012. *Atividades relativas aos serviços de abastecimento público de água e de gestão de águas residuais - Recomendações para a gestão das organizações e para a avaliação do desempenho do serviço de abastecimento público de água*. Instituto Português da Qualidade.

NP ISO 31000: 2013. *Gestão do risco - Princípios e linhas de orientação*. Instituto Português da Qualidade.

Sanina, P. (2010). “Metodologia para a gestão de infraestruturas de abastecimento de água com base na avaliação de desempenho: uma abordagem integrada.” Dissertação elaborada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico (IST).

Site AdDP. Águas do Douro e Paiva. História da empresa. <http://www.addp.pt/pt/dados.php?ref=historia> (acedido em abril de 2015)

Anexo 1 Resultados Obtidos para as métricas

Quadro 23 - Indicador de adequação da capacidade hidráulica

	Alternativa	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065
Indicador da adequação da capacidade hidráulica	A0	1,80	1,81	1,83	1,87	1,95	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
	A1	1,80	2,11	2,13	2,18	2,27	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28
	A2	1,80	2,11	2,13	2,18	2,27	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28
	A3	1,80	1,81	3,00	3,07	3,20	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22
	A4	1,80	1,81	3,00	3,07	3,20	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22
	A5	1,80	1,81	3,66	3,74	3,90	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93
	A6	1,80	1,81	2,27	2,33	2,43	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
	A7	1,80	1,81	3,71	3,80	3,96	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99
	A8	1,80	1,81	2,29	2,34	2,44	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
	A9	1,80	1,81	3,46	3,54	3,69	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72
	A10	1,80	1,81	2,22	2,28	2,37	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
	A11	1,80	1,81	3,51	3,59	3,74	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77
A12	1,80	1,81	2,24	2,29	2,39	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	

Quadro 24 - Índice de valor da infraestrutura

	Alternativa	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065
Índice de valor da infraestrutura	A0	0,72	0,70	0,68	0,63	0,55	0,47	0,38	0,30	0,22	0,13	0,05	-0,03	-0,12
	A1	0,72	0,49	0,47	0,42	0,32	0,23	0,14	0,05	-0,04	-0,13	-0,22	-0,31	-0,40
	A2	0,72	0,49	0,47	0,42	0,32	0,23	0,14	0,05	-0,04	-0,13	-0,22	-0,31	-0,40
	A3	0,72	0,70	0,82	0,77	0,68	0,59	0,50	0,41	0,32	0,22	0,13	0,04	-0,05
	A4	0,72	0,70	0,82	0,77	0,68	0,59	0,50	0,41	0,32	0,22	0,13	0,04	-0,05
	A5	0,72	0,70	0,84	0,79	0,71	0,63	0,54	0,46	0,38	0,29	0,21	0,13	0,04
	A6	0,72	0,70	0,82	0,77	0,69	0,60	0,52	0,44	0,35	0,27	0,19	0,10	0,02
	A7	0,72	0,70	0,86	0,81	0,72	0,64	0,56	0,47	0,39	0,31	0,22	0,14	0,06
	A8	0,72	0,70	0,82	0,77	0,68	0,60	0,52	0,43	0,35	0,27	0,18	0,10	0,02
	A9	0,72	0,70	0,86	0,81	0,73	0,64	0,56	0,48	0,39	0,31	0,23	0,14	0,06
	A10	0,72	0,70	0,84	0,79	0,70	0,62	0,54	0,45	0,37	0,29	0,20	0,12	0,04
	A11	0,72	0,70	0,88	0,83	0,74	0,66	0,58	0,49	0,41	0,33	0,24	0,16	0,08
	A12	0,72	0,70	0,84	0,79	0,70	0,62	0,54	0,45	0,37	0,29	0,20	0,12	0,04

Quadro 25 - Perdas reais de água ($m^3/(\text{dia.km})$)

	Alternativa	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065
Perdas reais de água ($m^3/(\text{dia.km})$)	A0	26,1	26,1	29	31,9	40,6	46,4	55,1	60,9	69,6	75,4	84,1	89,9	98,6
	A1	26,1	84,1	87	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2	182,7	197,2	211,7	226,2
	A2	26,1	84,1	87	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2	182,7	197,2	211,7	226,2
	A3	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2
	A4	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2
	A5	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2
	A6	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2
	A7	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2
	A8	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2
	A9	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2
	A10	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2
	A11	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2
	A12	26,1	26,1	29	37,7	52,2	66,7	81,2	95,7	110,2	124,7	139,2	153,7	168,2

Quadro 26 - Volume de perdas reais de água por alternativa (10^6 m³/ano)

	Alternativa	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065
Perdas reais de água (10^6 m ³ /ano)	A0	0,09	0,09	0,10	0,11	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24	0,26	0,29	0,31	0,34
	A1	0,09	0,29	0,30	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58	0,63	0,68	0,73	0,77
	A2	0,09	0,29	0,30	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58	0,63	0,68	0,73	0,77
	A3	0,09	0,09	0,10	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58
	A4	0,09	0,09	0,10	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58
	A5	0,09	0,09	0,10	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58
	A6	0,09	0,09	0,10	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58
	A7	0,09	0,09	0,10	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58
	A8	0,09	0,09	0,10	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58
	A9	0,09	0,09	0,10	0,13	0,19	0,25	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64
	A10	0,09	0,09	0,10	0,13	0,19	0,25	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64
	A11	0,09	0,09	0,10	0,13	0,19	0,25	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64
	A12	0,09	0,09	0,10	0,13	0,19	0,25	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64

Quadro 27 - Evolução da condição estrutural em cada alternativa

	Alternativa	Conduta	Material	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065	
Condição estrutural	A0	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	
	A1	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	BPE	-	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	5
	A2	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	BPE	-	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	5
	A3	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	BFE	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3
	A4	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	BFE	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3
	A5	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	FFd	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	A6	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	FFd	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	A7	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	Aço	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	A8	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	Aço	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	A9	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	FFd	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	A10	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	FFd	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	A11	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
		Conduta 2	Aço	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	A12	Conduta 1	FFd	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
Conduta 2		Aço	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Quadro 28 - Evolução da probabilidade de falha do sistema em cada alternativa

	Alternativa	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065
Probabilidade da interrupção do serviço de abastecimento de água	A0	0,00149	0,00169	0,00182	0,00242	0,00364	0,00543	0,00866	0,01252	0,01678	0,02313	0,03802	0,05310	0,06980
	A1	0,00149	0,00004	0,00005	0,00008	0,00019	0,00039	0,00086	0,00162	0,00281	0,00495	0,01019	0,01789	0,02935
	A2	0,00149	0,00004	0,00005	0,00008	0,00019	0,00039	0,00086	0,00162	0,00281	0,00495	0,01019	0,01789	0,02935
	A3	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00007	0,00013	0,00030	0,00079	0,00180	0,00361
	A4	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00007	0,00013	0,00030	0,00079	0,00180	0,00361
	A5	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00003	0,00007	0,00014	0,00036	0,00070	0,00123
	A6	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00003	0,00007	0,00014	0,00036	0,00070	0,00123
	A7	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00005	0,00011	0,00029	0,00056	0,00098
	A8	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00005	0,00011	0,00029	0,00056	0,00098
	A9	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00003	0,00007	0,00014	0,00036	0,00070	0,00123
	A10	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00003	0,00007	0,00014	0,00036	0,00070	0,00123
	A11	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00005	0,00011	0,00029	0,00056	0,00098
A12	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00005	0,00011	0,00029	0,00056	0,00098

Quadro 29 - Risco de ruturas em condutas

	Alternativa	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065
Risco de ruturas em condutas	A0	0,00149	0,00169	0,00182	0,00242	0,00364	0,00543	0,00866	0,01252	0,01678	0,02313	0,03802	0,05310	0,06980
	A1	0,00149	0,00120	0,00129	0,00170	0,00254	0,00381	0,00616	0,00903	0,01231	0,01731	0,02911	0,04183	0,05686
	A2	0,00149	0,00120	0,00129	0,00170	0,00254	0,00381	0,00616	0,00903	0,01231	0,01731	0,02911	0,04183	0,05686
	A3	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00007	0,00013	0,00030	0,00079	0,00180	0,00361
	A4	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00007	0,00013	0,00030	0,00079	0,00180	0,00361
	A5	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00003	0,00007	0,00014	0,00036	0,00070	0,00123
	A6	0,00149	0,00169	0,00101	0,00131	0,00190	0,00282	0,00450	0,00652	0,00875	0,01208	0,01992	0,02792	0,03685
	A7	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00005	0,00011	0,00029	0,00056	0,00098
	A8	0,00149	0,00169	0,00098	0,00128	0,00185	0,00274	0,00438	0,00634	0,00851	0,01175	0,01936	0,02712	0,03577
	A9	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00003	0,00007	0,00014	0,00036	0,00070	0,00123
	A10	0,00149	0,00169	0,00110	0,00144	0,00210	0,00311	0,00497	0,00720	0,00965	0,01333	0,02196	0,03076	0,04057
	A11	0,00149	0,00169	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00003	0,00005	0,00011	0,00029	0,00056	0,00098
A12	0,00149	0,00169	0,00108	0,00140	0,00205	0,00304	0,00485	0,00702	0,00942	0,01300	0,02142	0,02998	0,03952	

Quadro 30 - Custos de ICF e Rendas periódicas constantes por alternativa

Alternativa	Condutas	Troço	Material	DN (mm)	Comprimento (m)	Ano de investimento	Custo de condutas novas (€)	Custo de reabilitação (M€)	ICF (€)	Renda (€)
A0	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	-	-
A1	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	5 940 €	-
	Conduta 2	Ramalde-Cabanas	BPE	1250	4860	2015	-	-		
	Conduta 2	Cabanas-Pedrouços	BPE-Aço	1000	4524	2015	5 940 €	-		
A2	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	5 520 €	-
	Conduta 2	Ramalde-Cabanas	BPE	1250	4860	2015	-	-		
	Conduta 2	Cabanas-Pedrouços	BPE-FFd	1000	4524	2015	5 520 €	-		
A3	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	5 163 840 €	330 547,53 €
	Conduta 2	Ramalde-Cabanas	BPE	1250	4860	2015	-	2 673 000 €		
	Conduta 2	Cabanas-Pedrouços	BPE-Aço	1000	4524	2015	5 940 €	2 484 900 €		
A4	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	5 163 420 €	330 520,65 €
	Conduta 2	Ramalde-Cabanas	BPE	1250	4860	2015	-	2 673 000 €		
	Conduta 2	Cabanas-Pedrouços	BPE-FFd	1000	4524	2015	5 520 €	2 484 900 €		
A5	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	10 322 400 €	660 757,08 €
	Conduta 2	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	10 322 400 €	-		
A6	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	7 694 880 €	492 564,37 €
	Conduta 2	Ramalde-Pedrouços	FFd	700	9384	2015	7 694 880 €	-		
A7	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	12 668 400 €	810 929,15 €
	Conduta 2	Ramalde-Pedrouços	Aço	1200	9384	2015	12 668 400 €	-		
A8	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	7 601 040 €	486 557,49 €
	Conduta 2	Ramalde-Pedrouços	Aço	700	9384	2015	7 601 040 €	-		
A9	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	12 927 200 €	827 495,45 €
	Conduta 2	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	11752	2015	12 927 200 €	-		
A10	Conduta 1	Ramalde-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	9 636 640 €	616 860,24 €
	Conduta 2	Ramalde-Pedrouços	FFd	700	11752	2015	9 636 640 €	-		

Quadro 31 - Custos de ICF e Rendas periódicas constantes por alternativa (continuação)

Alternativa	Condutas	Troço	Material	DN (mm)	Comprimento (m)	Ano de investimento	Custo de condutas novas (€)	Custo de reabilitação (M€)	ICF (€)	Renda (€)
A11	Conduta 1	Ramal-de-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	15 865 200 €	1 015 562,59 €
	Conduta 2	Ramal-de-Pedrouços	Aço	1200	11752	2015	15 865 200 €	-		
A12	Conduta 1	Ramal-de-Pedrouços	FFd	1200	9384	2015	-	-	9 519 120 €	609 337,56 €
	Conduta 2	Ramal-de-Pedrouços	Aço	700	11752	2015	9 519 120 €	-		

Quadro 32 - Componente variável dos custos de O&M atualizados

	Alternativa	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2065
Componente variável dos custos de operação e manutenção atualizados	A0	137 641,72 €	127 446,04 €	121 284,22 €	98 882,00 €	72 611,45 €	51 829,22 €	37 735,52 €	26 798,96 €	19 379,04 €	13 706,34 €	9 856,40 €	6 947,71 €	4 973,10 €
	A1	137 641,72 €	273 977,44 €	256 961,45 €	211 792,32 €	152 999,00 €	110 156,27 €	79 072,87 €	56 607,67 €	40 426,42 €	28 806,78 €	20 485,56 €	14 541,15 €	10 304,14 €
	A2	137 641,72 €	273 973,56 €	256 957,85 €	211 789,46 €	152 997,05 €	110 154,95 €	79 071,97 €	56 607,06 €	40 426,00 €	28 806,49 €	20 485,37 €	14 541,02 €	10 304,06 €
	A3	137 641,72 €	127 446,04 €	235 651,50 €	194 875,80 €	141 485,90 €	102 320,65 €	73 740,08 €	52 978,26 €	37 956,30 €	27 125,66 €	19 341,42 €	13 762,47 €	9 774,19 €
	A4	137 641,72 €	127 446,04 €	235 647,90 €	192 366,78 €	138 072,65 €	98 256,39 €	70 183,97 €	49 751,49 €	35 394,28 €	25 008,40 €	17 730,95 €	12 493,36 €	8 831,94 €
	A5	137 641,72 €	127 446,04 €	209 782,16 €	174 339,88 €	127 509,50 €	92 808,54 €	67 266,30 €	48 572,32 €	34 957,69 €	25 084,86 €	17 952,49 €	12 817,18 €	9 130,84 €
	A6	137 641,72 €	127 446,04 €	187 255,41 €	156 457,42 €	115 339,00 €	84 525,50 €	61 629,01 €	44 735,67 €	32 346,53 €	23 307,74 €	16 743,01 €	11 994,03 €	8 570,62 €
	A7	137 641,72 €	127 446,04 €	229 895,33 €	190 306,36 €	138 376,02 €	100 204,11 €	72 299,60 €	51 997,90 €	37 289,08 €	26 671,56 €	19 032,37 €	13 552,13 €	9 631,04 €
	A8	137 641,72 €	127 446,04 €	186 450,88 €	155 818,76 €	114 904,33 €	84 229,68 €	61 427,67 €	44 598,64 €	32 253,28 €	23 244,28 €	16 699,82 €	11 964,64 €	8 550,61 €
	A9	137 641,72 €	127 446,04 €	232 114,12 €	193 381,26 €	141 362,71 €	103 149,45 €	74 718,23 €	54 066,70 €	38 888,88 €	27 956,16 €	19 995,49 €	14 298,31 €	10 180,02 €
	A10	137 641,72 €	127 446,04 €	244 962,58 €	200 321,33 €	148 304,34 €	106 364,04 €	77 933,55 €	55 555,68 €	40 378,19 €	28 645,85 €	20 685,33 €	14 617,77 €	10 499,55 €
	A11	137 641,72 €	127 446,04 €	257 302,74 €	213 376,79 €	154 971,34 €	112 411,25 €	81 021,66 €	58 356,71 €	41 808,59 €	29 943,26 €	21 347,88 €	15 218,72 €	10 806,44 €
A12	137 641,72 €	127 446,04 €	202 895,33 €	170 186,44 €	125 576,71 €	92 405,76 €	67 406,26 €	49 090,29 €	35 502,02 €	25 651,12 €	18 426,72 €	13 230,63 €	9 453,38 €	

Anexo 2 Quadros de Amortizações

Quadro 33 - Quadro de amortizações da alternativa A₃

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A ₃	1	5 163 840,00 €	330 547,53 €	206 553,60 €	123 993,93 €
	2	5 039 846,07 €	330 547,53 €	201 593,84 €	128 953,69 €
	3	4 910 892,37 €	330 547,53 €	196 435,69 €	134 111,84 €
	4	4 776 780,54 €	330 547,53 €	191 071,22 €	139 476,31 €
	5	4 637 304,22 €	330 547,53 €	185 492,17 €	145 055,36 €
	6	4 492 248,86 €	330 547,53 €	179 689,95 €	150 857,58 €
	7	4 341 391,28 €	330 547,53 €	173 655,65 €	156 891,88 €
	8	4 184 499,40 €	330 547,53 €	167 379,98 €	163 167,56 €
	9	4 021 331,84 €	330 547,53 €	160 853,27 €	169 694,26 €
	10	3 851 637,58 €	330 547,53 €	154 065,50 €	176 482,03 €
	11	3 675 155,55 €	330 547,53 €	147 006,22 €	183 541,31 €
	12	3 491 614,23 €	330 547,53 €	139 664,57 €	190 882,96 €
	13	3 300 731,27 €	330 547,53 €	132 029,25 €	198 518,28 €
	14	3 102 212,99 €	330 547,53 €	124 088,52 €	206 459,01 €
	15	2 895 753,97 €	330 547,53 €	115 830,16 €	214 717,38 €
	16	2 681 036,60 €	330 547,53 €	107 241,46 €	223 306,07 €
	17	2 457 730,53 €	330 547,53 €	98 309,22 €	232 238,31 €
	18	2 225 492,21 €	330 547,53 €	89 019,69 €	241 527,85 €
	19	1 983 964,37 €	330 547,53 €	79 358,57 €	251 188,96 €
	20	1 732 775,41 €	330 547,53 €	69 311,02 €	261 236,52 €
	21	1 471 538,89 €	330 547,53 €	58 861,56 €	271 685,98 €
	22	1 199 852,91 €	330 547,53 €	47 994,12 €	282 553,42 €
	23	917 299,50 €	330 547,53 €	36 691,98 €	293 855,55 €
	24	623 443,94 €	330 547,53 €	24 937,76 €	305 609,78 €
	25	317 834,17 €	330 547,53 €	12 713,37 €	317 834,17 €

Quadro 34 - Quadro de amortizações da alternativa A₄

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A ₄	1	5 163 420,00 €	330 520,65 €	206 536,80 €	123 983,85 €
	2	5 039 436,15 €	330 520,65 €	201 577,45 €	128 943,20 €
	3	4 910 492,95 €	330 520,65 €	196 419,72 €	134 100,93 €
	4	4 776 392,02 €	330 520,65 €	191 055,68 €	139 464,97 €
	5	4 636 927,05 €	330 520,65 €	185 477,08 €	145 043,57 €
	6	4 491 883,48 €	330 520,65 €	179 675,34 €	150 845,31 €
	7	4 341 038,17 €	330 520,65 €	173 641,53 €	156 879,12 €
	8	4 184 159,05 €	330 520,65 €	167 366,36 €	163 154,29 €
	9	4 021 004,76 €	330 520,65 €	160 840,19 €	169 680,46 €
	10	3 851 324,31 €	330 520,65 €	154 052,97 €	176 467,68 €
	11	3 674 856,63 €	330 520,65 €	146 994,27 €	183 526,38 €
	12	3 491 330,24 €	330 520,65 €	139 653,21 €	190 867,44 €
	13	3 300 462,81 €	330 520,65 €	132 018,51 €	198 502,14 €
	14	3 101 960,67 €	330 520,65 €	124 078,43 €	206 442,22 €
	15	2 895 518,45 €	330 520,65 €	115 820,74 €	214 699,91 €
	16	2 680 818,54 €	330 520,65 €	107 232,74 €	223 287,91 €
	17	2 457 530,63 €	330 520,65 €	98 301,23 €	232 219,42 €
	18	2 225 311,20 €	330 520,65 €	89 012,45 €	241 508,20 €
	19	1 983 803,00 €	330 520,65 €	79 352,12 €	251 168,53 €
	20	1 732 634,48 €	330 520,65 €	69 305,38 €	261 215,27 €
	21	1 471 419,21 €	330 520,65 €	58 856,77 €	271 663,88 €
	22	1 199 755,32 €	330 520,65 €	47 990,21 €	282 530,44 €
	23	917 224,89 €	330 520,65 €	36 689,00 €	293 831,65 €
	24	623 393,24 €	330 520,65 €	24 935,73 €	305 584,92 €
	25	317 808,32 €	330 520,65 €	12 712,33 €	317 808,32 €

Quadro 35 - Quadro de amortizações da alternativa A₅

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A5	1	10 322 400,00 €	660 757,08 €	412 896,00 €	247 861,08 €
	2	10 074 538,92 €	660 757,08 €	402 981,56 €	257 775,53 €
	3	9 816 763,39 €	660 757,08 €	392 670,54 €	268 086,55 €
	4	9 548 676,84 €	660 757,08 €	381 947,07 €	278 810,01 €
	5	9 269 866,83 €	660 757,08 €	370 794,67 €	289 962,41 €
	6	8 979 904,42 €	660 757,08 €	359 196,18 €	301 560,91 €
	7	8 678 343,51 €	660 757,08 €	347 133,74 €	313 623,34 €
	8	8 364 720,16 €	660 757,08 €	334 588,81 €	326 168,28 €
	9	8 038 551,88 €	660 757,08 €	321 542,08 €	339 215,01 €
	10	7 699 336,88 €	660 757,08 €	307 973,48 €	352 783,61 €
	11	7 346 553,27 €	660 757,08 €	293 862,13 €	366 894,95 €
	12	6 979 658,31 €	660 757,08 €	279 186,33 €	381 570,75 €
	13	6 598 087,56 €	660 757,08 €	263 923,50 €	396 833,58 €
	14	6 201 253,98 €	660 757,08 €	248 050,16 €	412 706,93 €
	15	5 788 547,05 €	660 757,08 €	231 541,88 €	429 215,20 €
	16	5 359 331,85 €	660 757,08 €	214 373,27 €	446 383,81 €
	17	4 912 948,04 €	660 757,08 €	196 517,92 €	464 239,16 €
	18	4 448 708,88 €	660 757,08 €	177 948,36 €	482 808,73 €
	19	3 965 900,15 €	660 757,08 €	158 636,01 €	502 121,08 €
	20	3 463 779,07 €	660 757,08 €	138 551,16 €	522 205,92 €
	21	2 941 573,14 €	660 757,08 €	117 662,93 €	543 094,16 €
	22	2 398 478,99 €	660 757,08 €	95 939,16 €	564 817,93 €
	23	1 833 661,06 €	660 757,08 €	73 346,44 €	587 410,64 €
	24	1 246 250,42 €	660 757,08 €	49 850,02 €	610 907,07 €
	25	635 343,35 €	660 757,08 €	25 413,73 €	635 343,35 €

Quadro 36 - Quadro de amortizações da alternativa A₆

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A6	1	7 694 880,00 €	492 564,37 €	307 795,20 €	184 769,17 €
	2	7 510 110,83 €	492 564,37 €	300 404,43 €	192 159,94 €
	3	7 317 950,89 €	492 564,37 €	292 718,04 €	199 846,34 €
	4	7 118 104,55 €	492 564,37 €	284 724,18 €	207 840,19 €
	5	6 910 264,36 €	492 564,37 €	276 410,57 €	216 153,80 €
	6	6 694 110,56 €	492 564,37 €	267 764,42 €	224 799,95 €
	7	6 469 310,61 €	492 564,37 €	258 772,42 €	233 791,95 €
	8	6 235 518,67 €	492 564,37 €	249 420,75 €	243 143,63 €
	9	5 992 375,04 €	492 564,37 €	239 695,00 €	252 869,37 €
	10	5 739 505,67 €	492 564,37 €	229 580,23 €	262 984,15 €
	11	5 476 521,53 €	492 564,37 €	219 060,86 €	273 503,51 €
	12	5 203 018,01 €	492 564,37 €	208 120,72 €	284 443,65 €
	13	4 918 574,36 €	492 564,37 €	196 742,97 €	295 821,40 €
	14	4 622 752,96 €	492 564,37 €	184 910,12 €	307 654,25 €
	15	4 315 098,71 €	492 564,37 €	172 603,95 €	319 960,42 €
	16	3 995 138,29 €	492 564,37 €	159 805,53 €	332 758,84 €
	17	3 662 379,45 €	492 564,37 €	146 495,18 €	346 069,19 €
	18	3 316 310,25 €	492 564,37 €	132 652,41 €	359 911,96 €
	19	2 956 398,29 €	492 564,37 €	118 255,93 €	374 308,44 €
	20	2 582 089,85 €	492 564,37 €	103 283,59 €	389 280,78 €
	21	2 192 809,07 €	492 564,37 €	87 712,36 €	404 852,01 €
	22	1 787 957,06 €	492 564,37 €	71 518,28 €	421 046,09 €
	23	1 366 910,97 €	492 564,37 €	54 676,44 €	437 887,93 €
	24	929 023,04 €	492 564,37 €	37 160,92 €	455 403,45 €
	25	473 619,59 €	492 564,37 €	18 944,78 €	473 619,59 €

Quadro 37 - Quadro de amortizações da alternativa A7

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A7	1	12 668 400,00 €	810 929,15 €	506 736,00 €	304 193,15 €
	2	12 364 206,85 €	810 929,15 €	494 568,27 €	316 360,88 €
	3	12 047 845,98 €	810 929,15 €	481 913,84 €	329 015,31 €
	4	11 718 830,66 €	810 929,15 €	468 753,23 €	342 175,92 €
	5	11 376 654,74 €	810 929,15 €	455 066,19 €	355 862,96 €
	6	11 020 791,78 €	810 929,15 €	440 831,67 €	370 097,48 €
	7	10 650 694,30 €	810 929,15 €	426 027,77 €	384 901,38 €
	8	10 265 792,93 €	810 929,15 €	410 631,72 €	400 297,43 €
	9	9 865 495,49 €	810 929,15 €	394 619,82 €	416 309,33 €
	10	9 449 186,17 €	810 929,15 €	377 967,45 €	432 961,70 €
	11	9 016 224,46 €	810 929,15 €	360 648,98 €	450 280,17 €
	12	8 565 944,29 €	810 929,15 €	342 637,77 €	468 291,38 €
	13	8 097 652,91 €	810 929,15 €	323 906,12 €	487 023,03 €
	14	7 610 629,88 €	810 929,15 €	304 425,20 €	506 503,95 €
	15	7 104 125,93 €	810 929,15 €	284 165,04 €	526 764,11 €
	16	6 577 361,81 €	810 929,15 €	263 094,47 €	547 834,68 €
	17	6 029 527,14 €	810 929,15 €	241 181,09 €	569 748,06 €
	18	5 459 779,07 €	810 929,15 €	218 391,16 €	592 537,99 €
	19	4 867 241,09 €	810 929,15 €	194 689,64 €	616 239,51 €
	20	4 251 001,58 €	810 929,15 €	170 040,06 €	640 889,09 €
	21	3 610 112,50 €	810 929,15 €	144 404,50 €	666 524,65 €
	22	2 943 587,85 €	810 929,15 €	117 743,51 €	693 185,64 €
	23	2 250 402,21 €	810 929,15 €	90 016,09 €	720 913,06 €
	24	1 529 489,15 €	810 929,15 €	61 179,57 €	749 749,58 €
	25	779 739,57 €	810 929,15 €	31 189,58 €	779 739,57 €

Quadro 38 - Quadro de amortizações da alternativa A₈

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A ₈	1	7 601 040,00 €	486 557,49 €	304 041,60 €	182 515,89 €
	2	7 418 524,11 €	486 557,49 €	296 740,96 €	189 816,53 €
	3	7 228 707,59 €	486 557,49 €	289 148,30 €	197 409,19 €
	4	7 031 298,40 €	486 557,49 €	281 251,94 €	205 305,55 €
	5	6 825 992,85 €	486 557,49 €	273 039,71 €	213 517,78 €
	6	6 612 475,07 €	486 557,49 €	264 499,00 €	222 058,49 €
	7	6 390 416,58 €	486 557,49 €	255 616,66 €	230 940,83 €
	8	6 159 475,76 €	486 557,49 €	246 379,03 €	240 178,46 €
	9	5 919 297,30 €	486 557,49 €	236 771,89 €	249 785,60 €
	10	5 669 511,70 €	486 557,49 €	226 780,47 €	259 777,02 €
	11	5 409 734,68 €	486 557,49 €	216 389,39 €	270 168,10 €
	12	5 139 566,58 €	486 557,49 €	205 582,66 €	280 974,83 €
	13	4 858 591,75 €	486 557,49 €	194 343,67 €	292 213,82 €
	14	4 566 377,93 €	486 557,49 €	182 655,12 €	303 902,37 €
	15	4 262 475,56 €	486 557,49 €	170 499,02 €	316 058,47 €
	16	3 946 417,09 €	486 557,49 €	157 856,68 €	328 700,81 €
	17	3 617 716,28 €	486 557,49 €	144 708,65 €	341 848,84 €
	18	3 275 867,44 €	486 557,49 €	131 034,70 €	355 522,79 €
	19	2 920 344,65 €	486 557,49 €	116 813,79 €	369 743,70 €
	20	2 550 600,95 €	486 557,49 €	102 024,04 €	384 533,45 €
	21	2 166 067,50 €	486 557,49 €	86 642,70 €	399 914,79 €
	22	1 766 152,71 €	486 557,49 €	70 646,11 €	415 911,38 €
	23	1 350 241,33 €	486 557,49 €	54 009,65 €	432 547,84 €
	24	917 693,49 €	486 557,49 €	36 707,74 €	449 849,75 €
	25	467 843,74 €	486 557,49 €	18 713,75 €	467 843,74 €

Quadro 39 - Quadro de amortizações da alternativa A9

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A9	1	12 927 200,00 €	827 495,45 €	517 088,00 €	310 407,45 €
	2	12 616 792,55 €	827 495,45 €	504 671,70 €	322 823,74 €
	3	12 293 968,81 €	827 495,45 €	491 758,75 €	335 736,69 €
	4	11 958 232,12 €	827 495,45 €	478 329,28 €	349 166,16 €
	5	11 609 065,96 €	827 495,45 €	464 362,64 €	363 132,81 €
	6	11 245 933,15 €	827 495,45 €	449 837,33 €	377 658,12 €
	7	10 868 275,03 €	827 495,45 €	434 731,00 €	392 764,44 €
	8	10 475 510,59 €	827 495,45 €	419 020,42 €	408 475,02 €
	9	10 067 035,57 €	827 495,45 €	402 681,42 €	424 814,02 €
	10	9 642 221,54 €	827 495,45 €	385 688,86 €	441 806,58 €
	11	9 200 414,96 €	827 495,45 €	368 016,60 €	459 478,85 €
	12	8 740 936,11 €	827 495,45 €	349 637,44 €	477 858,00 €
	13	8 263 078,11 €	827 495,45 €	330 523,12 €	496 972,32 €
	14	7 766 105,79 €	827 495,45 €	310 644,23 €	516 851,21 €
	15	7 249 254,58 €	827 495,45 €	289 970,18 €	537 525,26 €
	16	6 711 729,31 €	827 495,45 €	268 469,17 €	559 026,27 €
	17	6 152 703,04 €	827 495,45 €	246 108,12 €	581 387,32 €
	18	5 571 315,72 €	827 495,45 €	222 852,63 €	604 642,82 €
	19	4 966 672,90 €	827 495,45 €	198 666,92 €	628 828,53 €
	20	4 337 844,37 €	827 495,45 €	173 513,77 €	653 981,67 €
	21	3 683 862,70 €	827 495,45 €	147 354,51 €	680 140,94 €
	22	3 003 721,77 €	827 495,45 €	120 148,87 €	707 346,57 €
	23	2 296 375,19 €	827 495,45 €	91 855,01 €	735 640,44 €
	24	1 560 734,75 €	827 495,45 €	62 429,39 €	765 066,06 €
	25	795 668,70 €	827 495,45 €	31 826,75 €	795 668,70 €

Quadro 40 - Quadro de amortizações da alternativa A₁₀

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A10	1	9 636 640,00 €	616 860,24 €	385 465,60 €	231 394,64 €
	2	9 405 245,36 €	616 860,24 €	376 209,81 €	240 650,43 €
	3	9 164 594,93 €	616 860,24 €	366 583,80 €	250 276,44 €
	4	8 914 318,49 €	616 860,24 €	356 572,74 €	260 287,50 €
	5	8 654 030,99 €	616 860,24 €	346 161,24 €	270 699,00 €
	6	8 383 331,99 €	616 860,24 €	335 333,28 €	281 526,96 €
	7	8 101 805,02 €	616 860,24 €	324 072,20 €	292 788,04 €
	8	7 809 016,98 €	616 860,24 €	312 360,68 €	304 499,56 €
	9	7 504 517,42 €	616 860,24 €	300 180,70 €	316 679,54 €
	10	7 187 837,88 €	616 860,24 €	287 513,52 €	329 346,73 €
	11	6 858 491,15 €	616 860,24 €	274 339,65 €	342 520,59 €
	12	6 515 970,56 €	616 860,24 €	260 638,82 €	356 221,42 €
	13	6 159 749,14 €	616 860,24 €	246 389,97 €	370 470,28 €
	14	5 789 278,86 €	616 860,24 €	231 571,15 €	385 289,09 €
	15	5 403 989,78 €	616 860,24 €	216 159,59 €	400 700,65 €
	16	5 003 289,13 €	616 860,24 €	200 131,57 €	416 728,68 €
	17	4 586 560,45 €	616 860,24 €	183 462,42 €	433 397,82 €
	18	4 153 162,63 €	616 860,24 €	166 126,51 €	450 733,74 €
	19	3 702 428,89 €	616 860,24 €	148 097,16 €	468 763,09 €
	20	3 233 665,81 €	616 860,24 €	129 346,63 €	487 513,61 €
	21	2 746 152,20 €	616 860,24 €	109 846,09 €	507 014,15 €
	22	2 239 138,04 €	616 860,24 €	89 565,52 €	527 294,72 €
	23	1 711 843,32 €	616 860,24 €	68 473,73 €	548 386,51 €
	24	1 163 456,82 €	616 860,24 €	46 538,27 €	570 321,97 €
	25	593 134,85 €	616 860,24 €	23 725,39 €	593 134,85 €

Quadro 41 - Quadro de amortizações da alternativa A₁₁

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A ₁₁	1	15 865 200,00 €	1 015 562,59 €	634 608,00 €	380 954,59 €
	2	15 484 245,41 €	1 015 562,59 €	619 369,82 €	396 192,78 €
	3	15 088 052,63 €	1 015 562,59 €	603 522,11 €	412 040,49 €
	4	14 676 012,15 €	1 015 562,59 €	587 040,49 €	428 522,11 €
	5	14 247 490,04 €	1 015 562,59 €	569 899,60 €	445 662,99 €
	6	13 801 827,05 €	1 015 562,59 €	552 073,08 €	463 489,51 €
	7	13 338 337,54 €	1 015 562,59 €	533 533,50 €	482 029,09 €
	8	12 856 308,45 €	1 015 562,59 €	514 252,34 €	501 310,25 €
	9	12 354 998,19 €	1 015 562,59 €	494 199,93 €	521 362,66 €
	10	11 833 635,53 €	1 015 562,59 €	473 345,42 €	542 217,17 €
	11	11 291 418,36 €	1 015 562,59 €	451 656,73 €	563 905,86 €
	12	10 727 512,50 €	1 015 562,59 €	429 100,50 €	586 462,09 €
	13	10 141 050,41 €	1 015 562,59 €	405 642,02 €	609 920,58 €
	14	9 531 129,83 €	1 015 562,59 €	381 245,19 €	634 317,40 €
	15	8 896 812,44 €	1 015 562,59 €	355 872,50 €	659 690,09 €
	16	8 237 122,34 €	1 015 562,59 €	329 484,89 €	686 077,70 €
	17	7 551 044,64 €	1 015 562,59 €	302 041,79 €	713 520,81 €
	18	6 837 523,84 €	1 015 562,59 €	273 500,95 €	742 061,64 €
	19	6 095 462,20 €	1 015 562,59 €	243 818,49 €	771 744,10 €
	20	5 323 718,09 €	1 015 562,59 €	212 948,72 €	802 613,87 €
	21	4 521 104,23 €	1 015 562,59 €	180 844,17 €	834 718,42 €
	22	3 686 385,80 €	1 015 562,59 €	147 455,43 €	868 107,16 €
	23	2 818 278,64 €	1 015 562,59 €	112 731,15 €	902 831,45 €
	24	1 915 447,20 €	1 015 562,59 €	76 617,89 €	938 944,70 €
	25	976 502,49 €	1 015 562,59 €	39 060,10 €	976 502,49 €

Quadro 42 - Quadro de amortizações da alternativa A₁₂

	Período	Montante em Dívida	Prestação	Juros	Amortização
A12	1	9 519 120,00 €	609 337,56 €	380 764,80 €	228 572,76 €
	2	9 290 547,24 €	609 337,56 €	371 621,89 €	237 715,67 €
	3	9 052 831,58 €	609 337,56 €	362 113,26 €	247 224,29 €
	4	8 805 607,29 €	609 337,56 €	352 224,29 €	257 113,26 €
	5	8 548 494,02 €	609 337,56 €	341 939,76 €	267 397,79 €
	6	8 281 096,23 €	609 337,56 €	331 243,85 €	278 093,71 €
	7	8 003 002,52 €	609 337,56 €	320 120,10 €	289 217,45 €
	8	7 713 785,07 €	609 337,56 €	308 551,40 €	300 786,15 €
	9	7 412 998,92 €	609 337,56 €	296 519,96 €	312 817,60 €
	10	7 100 181,32 €	609 337,56 €	284 007,25 €	325 330,30 €
	11	6 774 851,02 €	609 337,56 €	270 994,04 €	338 343,51 €
	12	6 436 507,50 €	609 337,56 €	257 460,30 €	351 877,26 €
	13	6 084 630,25 €	609 337,56 €	243 385,21 €	365 952,35 €
	14	5 718 677,90 €	609 337,56 €	228 747,12 €	380 590,44 €
	15	5 338 087,46 €	609 337,56 €	213 523,50 €	395 814,06 €
	16	4 942 273,40 €	609 337,56 €	197 690,94 €	411 646,62 €
	17	4 530 626,79 €	609 337,56 €	181 225,07 €	428 112,48 €
	18	4 102 514,30 €	609 337,56 €	164 100,57 €	445 236,98 €
	19	3 657 277,32 €	609 337,56 €	146 291,09 €	463 046,46 €
	20	3 194 230,86 €	609 337,56 €	127 769,23 €	481 568,32 €
	21	2 712 662,54 €	609 337,56 €	108 506,50 €	500 831,05 €
	22	2 211 831,48 €	609 337,56 €	88 473,26 €	520 864,30 €
	23	1 690 967,19 €	609 337,56 €	67 638,69 €	541 698,87 €
	24	1 149 268,32 €	609 337,56 €	45 970,73 €	563 366,82 €
	25	585 901,50 €	609 337,56 €	23 436,06 €	585 901,50 €

Anexo 3 Resultados Obtidos no AWARE Plan



Figura 41 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₀



Figura 42 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₁



Figura 43 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₂



Figura 44 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₃



Figura 45 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₄



Figura 46 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₅



Figura 47 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₆



Figura 48 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₇



Figura 49 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₈



Figura 50 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₉



Figura 51 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₁₀



Figura 52 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₁₁



Figura 53 - Resultados obtidos com o método AWARE Plan para a alternativa A₁₂